

**Universidad Autónoma de Sinaloa**  
**Colegio en Ciencias Agropecuarias**  
**Doctorado en Ciencias Agropecuarias**



**TESIS:**  
**“FERTILIZACIÓN ORGÁNICA**  
**Y MINERAL EN MAICES DE SINALOA”.**

**Que para obtener el grado de**  
**Doctor en Ciencias Agropecuarias**

**P R E S E N T A:**

**JUAN ÁNGEL GARCÍA SAÑUDO**

**DIRECTOR DE TESIS: DR. PEDRO SANCHEZ PEÑA**

**CO-DIRECTOR DE TESIS: DR. SAÚL PARRA TERRAZA**

**ASESORES: DR. SERGIO HERNANDEZ VERDUGO**  
**DR. MANUEL VILLARREAL ROMERO**

**Culiacán, Sinaloa, México; julio 2015.**



# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA

## COLEGIO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA CULIACÁN  
FACULTAD DE AGRONOMÍA VALLE DEL FUERTE  
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR  
FACULTAD DE AGRONOMÍA VALLE DEL CARRIZO

En la Ciudad de Culiacán Rosales, Sinaloa, el día 20 de enero del año 2020, el que suscribe Juan Ángel García Sañudo, Graduado del Programa de Doctorado en Ciencias Agropecuarias, con número de cuenta 98661027, de la Unidad Académica Facultad de Agronomía Culiacán, del Colegio de Ciencias Agropecuarias de la UAS, manifiesto ser autor intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de la Dr. Pedro Sánchez Peña cediendo los derechos del trabajo titulado "Fertilización Orgánica y Mineral en Maíces de Sinaloa", a la Facultad de Agronomía Culiacán, del Colegio de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Sinaloa, para su difusión, con fines académicos y de investigación por medios impresos y digitales, todo esto en apego al artículo 27 de la Ley Federal de Derechos de Autor.

La Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México) protege el contenido de la presente tesis. Los usuarios de la información contenida en ella deberán citar obligatoriamente la tesis como fuente, dónde la obtuvo y mencionar al autor intelectual. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ATENTAMENTE



-----  
Juan Ángel García Sañudo



## UAS- Dirección General de Bibliotecas

### Repositorio Institucional

#### Restricciones de uso

Todo el material contenido en la presente tesis está protegido por la Ley Federal de Derechos de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

Queda prohibido la reproducción parcial o total de esta tesis. El uso de imágenes, tablas, gráficas, texto y demás material que sea objeto de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente correctamente mencionando al o los autores del presente estudio empírico. Cualquier uso distinto, como el lucro, reproducción, edición o modificación sin autorización expresa de quienes gozan de la propiedad intelectual, será perseguido y sancionado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor.



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir Igual, 4.0 Internacional.

# Fertilización con vermicomposta en maíz criollo y su tasa de descomposición en el suelo

## Fertilization of criollo corn with vermicompost and its rate of decomposition in the soil

## Fertilização com vermicomposto em milho crioulas e sua taxa de decomposição no solo

Juan Ángel García Sañudo<sup>1</sup>, Manuel Villarreal Romero<sup>2</sup>, Pedro Sánchez Peña<sup>3</sup>, Saúl Parra Terraza<sup>4</sup> & Sergio Hernández Verdugo<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Licenciado en Ingeniería Agronómica, Especialista en Fitotecnia, Magister en Ciencias de la Producción Agrícola en Horticultura, Estudiante de Doctorado en Ciencias Agropecuarias.

<sup>2,4</sup>Ingeniero Agrónomo, Magister en Ciencias en Edafología, Doctor en Ciencias en Edafología.

<sup>3</sup>Licenciado en Ingeniería Agronómica, Master Of Science Agronomy, Doctor en Ciencias.

<sup>5</sup>Ingeniero Agrónomo, Magister en Ciencias en Biología, Doctor en Ecología

<sup>1</sup>Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario No 116, Secretaría de Educación Pública, Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria, Culiacán, Sinaloa, México.

<sup>2,3,4,5</sup>Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Sinaloa, Culiacán, Sinaloa, México

<sup>1</sup>[jangelgs58@mexico.com](mailto:jangelgs58@mexico.com); <sup>2</sup>[manuelvillarreal2@yahoo.com.mx](mailto:manuelvillarreal2@yahoo.com.mx); <sup>3</sup>[penap@hotmail.com](mailto:penap@hotmail.com);

<sup>4</sup>[saul.parra@uas.edu.mx](mailto:saul.parra@uas.edu.mx); <sup>5</sup>[sergioh2002mx@yahoo.com.mx](mailto:sergioh2002mx@yahoo.com.mx)

### Resumen

Las tierras agrícolas en Sinaloa se han cultivado por más de 50 años de manera intensiva, con un uso creciente de fertilizantes químicos y reducida aplicación de abonos orgánicos, lo cual ha desembocado en un problema ambiental que va en aumento paulatinamente; es por esto que el presente trabajo se enfoca en el estudio de la aplicación de abonos orgánicos como la vermicomposta y el supermagro en el cultivo de maíz criollo. Los tratamientos estudiados fueron: T1= Maíz criollo fertilizantes orgánicos y con fertilización mineral; T2= Maíz criollo con fertilizantes orgánicos y sin fertilización mineral; T3= Maíz criollo sin fertilizantes orgánicos y con fertilización mineral; T4= Maíz criollo sin fertilización; T5= Maíz híbrido con fertilización mineral de N, P y K y T6= Maíz híbrido sin fertilización. Se utilizaron 3 t ha<sup>-1</sup> de vermicomposta en presiembra, 250 L

ha<sup>-1</sup> de supermagro y fertilizantes minerales 350 N, 120 P, 0 K; el diseño experimental fue bloques completos al azar, con cuatro repeticiones. Las variables de respuesta fueron: liberación de CO<sub>2</sub> del suelo, tasa de descomposición de vermicomposta en suelo y rendimiento de grano de maíz. La acumulación de biomasa en etapas de desarrollo de maíz fue beneficiada por el estímulo de la concentración de CO<sub>2</sub> al obtener un rendimiento aceptable de grano, con aplicación de vermicomposta como fertilizante orgánico, concluyendo que la aplicación de los abonos orgánicos vermicomposta y supermagro mostró que el rendimiento de maíz criollo de Sinaloa es factible de acuerdo a los resultados obtenidos.

**Palabras clave:** maíz criollo, fertilización orgánicos, descomposición de vermicomposta

## Abstract

The agricultural lands of Sinaloa have been intensively cultivated for over 50 years with increasing use of chemical fertilizers and decreasing use of organic applications. This situation has led to an environmental problem which is gradually getting worse; this is this study chooses to focus on the study of the application of organic additives such as vermicompost and supermagro in the cultivation of criollo corn. The treatments studied were: T1= criollo corn organic fertilizers with mineral fertilization; T2= criollo corn with organic fertilizers and without mineral fertilization; T3= criollo corn without organic fertilizers and with mineral fertilization; T4= criollo corn without fertilization; T5= hybrid corn with mineral fertilization of N, P and K and T6= hybrid corn without fertilization. 3 t.ha<sup>-1</sup> of vermicompost in pre-seeding stage, 250 L.ha<sup>-1</sup> of supermagro and mineral fertilization (350 N, 120 P, 0 K); the experimental design implemented randomized complete blocks, with four repetitions. The response variables were: CO<sub>2</sub> release from soil, vermicompost decomposition rate in soil and corn grain yield. The accumulation of biomass in corn development stages was benefited by the stimulation of the CO<sub>2</sub> concentration after obtaining an acceptable grain yield, with the application of vermicompost as an organic fertilizer, concluding that the application of organic additives of vermicompost and supermagro showed that criollo corn grain yield of Sinaloa is practicable in accordance with the experiment results.

**Key-words:** criollo corn, organic fertilization, decomposition of vermicompost

## Resumo

As terras para agricultura em Sinaloa foram cultivadas por mais de 50 anos de maneira intensiva, com um uso crescente de fertilizantes químicos e reduzida aplicação de adubos orgânicos, o que levou a um problema ambiental que aumenta gradualmente; razão pela qual este trabalho enfoca o estudo na aplicação de fertilizantes orgânicos, como vermicomposto e supermagro, na cultura do milho crioulo. Os tratamentos avaliados foram: T1 = milho crioulo com adubos orgânicos e fertilização mineral, T2 = milho crioulo com adubos orgânicos sem fertilização mineral; T3 = milho crioulo sem adubos orgânicos e fertilização mineral; T4 = milho crioulo sem fertilização, T5 = milho híbrido com fertilização mineral de N, P e K, e; T6 = milho híbrido sem fertilização. Foram utilizados 3 t.ha<sup>-1</sup> de vermicomposto em pré-semeação, 250 L.ha<sup>-1</sup> de supermagro e fertilizantes minerais 350 N, 120 P, 0 K; o desenho experimental foi em blocos completos casualizados com quatro repetições. As variáveis de resposta foram: liberação de CO<sub>2</sub> no solo, taxa de decomposição de vermicomposto no solo e produtividade de grãos de milho. O acúmulo de biomassa em estágios de desenvolvimento do milho foi beneficiado pelo estímulo da concentração de CO<sub>2</sub> ao obter um desempenho aceitável do grão, com aplicação de vermicomposto como adubo orgânico, concluindo-se que a aplicação dos adubos orgânicos, vermicomposto e supermagro, mostrou que o rendimento de milho crioulo de Sinaloa é viável de acordo com os resultados obtidos.

**Palavras-chave:** milho crioulo, adubação orgânica, decomposição de vermicomposto

## Introducción

El uso de abonos orgánicos constituye una práctica de manejo fundamental en la rehabilitación de la capacidad productiva de suelos degradados. La adición de residuos vegetales o estiércoles incrementa la actividad y cantidad de la biomasa

microbiana del suelo, que en los cultivos varía de 100 a 600 mg kg<sup>-1</sup> (Anderson y Domsch, 1989). El compostaje y el lombricompostaje del estiércol, son procesos aeróbicos de transformación de residuos orgánicos, animales y vegetales, que

ocurren constantemente en la naturaleza bajo la acción de lombrices, bacterias y hongos descomponedores de la materia orgánica. El aprovechamiento de estos residuos orgánicos cobra cada día mayor importancia como medio eficiente de reciclaje racional de nutrientes que ayuda al crecimiento de las plantas y devuelven al suelo muchos de los elementos extraídos durante el proceso productivo (Cerrato *et al.*, 2007). Asimismo, mejoran las características físicas y previenen la erosión del suelo, reducen la dependencia de insumos externos de alto costo económico y ambiental, enfocándose en una agricultura sostenible, donde se disminuye y elimina el empleo de agroquímicos a fin de proteger el ambiente y la salud animal y humana (Acevedo y Pire, 2004). En el año del 2008, México ocupó el 4º lugar mundial en la producción de maíz, con una superficie sembrada de 7.94 millones de hectáreas y una producción de 24.4 millones de toneladas (Financiera Rural, 2009), esta importancia del cultivo del maíz a nivel mundial y nacional se debe a la adaptabilidad del cultivo, debido a la enorme diversidad genética con que cuenta. Actualmente en México se han reportado 59 razas de maíz criollo (Ron Parra, *et al.* 2006) las cuales presentan diversas características agro-morfológicas que prácticamente le permiten al cultivo de maíz crecer en casi cualquier lugar, en este contexto, algunos maíces criollos y sus parientes silvestres están incluidos en las listas de especies de interés para la conservación (NOM-059-SEMARNAT-2001) y, en consecuencia son prioridad en la estrategia nacional para la conservación de la agrobiodiversidad. Por lo anterior, la finalidad de este trabajo es la de utilizar productos orgánicos para observar la respuesta en la producción de maíz criollo, evaluando la tasa de descomposición de la vermicomposta y liberación de  $\text{CO}_2$  en suelo.

## Materiales y métodos

Esta investigación se realizó en los terrenos del área experimental de la Facultad de Agronomía, localizada en el km 17.5 de la carretera Culiacán-

El dorado, al sureste de Culiacán, Sinaloa, México, en el Valle de Culiacán; las coordenadas geográficas del lugar son 24° 48' 30" de latitud norte y 107° 24' 30" de longitud oeste, la altitud sobre el nivel del mar es de 38 m (CAEVACU, 1985). El clima de acuerdo a la clasificación de Koppen modificado por García (1973), es del tipo  $\text{BS}_1(\text{h}')\text{w}(\text{e})$ , descrito como clima semiárido con lluvias de verano, presencia de lluvias invernales, precipitación media anual de 88mm, temperatura media anual de 24.8°C, presentándose la media máxima de 41°C en el verano y la media mínima de 3°C en el invierno. La humedad atmosférica relativa media anual es de 68%, presentándose la media máxima de 81% en el mes de septiembre y la media mínima de 51% en el mes de abril. El tipo de suelo es vertisol (haplustert), de textura arcillosa (70.52% de arcilla, 18% de limo y 11.48% de arena), pobre en materia orgánica (0.9%) y pH moderadamente alcalino (7.5-7.6), y sin problemas de salinidad, con una conductividad eléctrica de 0.3  $\text{dS m}^{-1}$ .

### Siembra

Se realizó manualmente colocando cinco semillas de maíz por metro lineal a una profundidad de 0.05 m.

### Sistema de riego

Se utilizó un sistema de riego por goteo (fertirriego) con líneas regantes con 0.40 m de distancia entre goteros, con un gasto de agua de 1.6  $\text{Lh}^{-1}$

### Tratamientos

Fueron T1= Maíz criollo con fertilizantes orgánicos y con fertilización mineral, T2= Maíz criollo con fertilizantes orgánicos y sin fertilización mineral, T3= Maíz criollo sin fertilizantes orgánicos y con fertilización mineral, T4= Maíz criollo sin fertilizantes orgánicos y sin fertilización mineral, T5= Maíz híbrido con fertilización mineral\*\* y T6= Maíz híbrido sin aplicación de fertilizante, \*120N-60P-00K \*\*350N-120P-00K.

### Fertilizantes

Se utilizaron fertilizantes minerales Nitrógeno= urea, Fósforo=  $P_2O_5$ , en presiembra 3 t ha<sup>-1</sup> de vermicomposta, y en desarrollo del cultivo 250 Lha<sup>-1</sup> de supermagro.

### Parámetros evaluados

Fueron, en suelo antes de la siembra fertilidad a 0.15 y 0.30 m de profundidad, nitrógeno total método kjeldahl (Alcántar y Sandoval, 1999), materia orgánica (Walkley-Black), fósforo y potasio (Peech Morgan), liberación de CO<sub>2</sub> del suelo Jenkinson y Powlson, (1976) en donde se extrae la muestra y se tamiza con tamiz de 0.002 m obteniendo 50 g de suelo el cual se coloca en un frasco de litro agregándole 30 ml de agua destilada incubándola una semana, después se agrega en el frasco una caja de Petri con 5 ml de N<sub>a</sub>OH se sella herméticamente y se toma la lectura a las 24 horas siguientes vaciando el contenido de la caja de Petri en un matraz Erlenmeyer adicionándole 2 ml de BaCl (2 %) con 3 a 4 gotitas de fenolftaleína titulándose en una bureta anotándose la lectura, utilizándose la siguiente fórmula  $(B - P) N \times 22$  en donde B = ml de gasto de HCl del blanco, P = ml de gasto de HCl de muestra y N = normalidad de HCl, realizando esta actividad por 10 días consecutivos; la tasa de descomposición de la vermicomposta en el suelo se determinó de acuerdo con Gerónimo Cruz *et al.* (2002), todo ello utilizando bolsitas de malla plástica de 0.25 x 0.15 m conteniendo la vermicomposta, enterrándolas a una profundidad de 0.15 m y extrayéndolas en los tiempos indicados (15, 30, 50, 70 y 90 días después de enterradas) aplicando la formula siguiente:  $BR (\%) = (X_t / X_0) 100$  en donde BR = Biomasa remanente, X<sub>0</sub> = Peso inicial del material utilizado y X<sub>t</sub> = Peso del material al momento del muestreo, basado en la relación siguiente:  $TD = DFI - DFS/ND$ , también se obtuvo en planta de maíz, producción de grano. Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el paquete JMP graficando con SigmaPlot y el paquete estadístico SAS, Versión 6.03 (SAS Institute, 1988).

### Diseño experimental

Fue el de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones.

### Unidad experimental

Consistió en tres surcos de 5 m de longitud y 0.76 m de separación entre ellos, equivalente a 11.4 m cada uno. Se cosecharon las 10 plantas del surco central a fin de obtener la producción de grano de maíz.

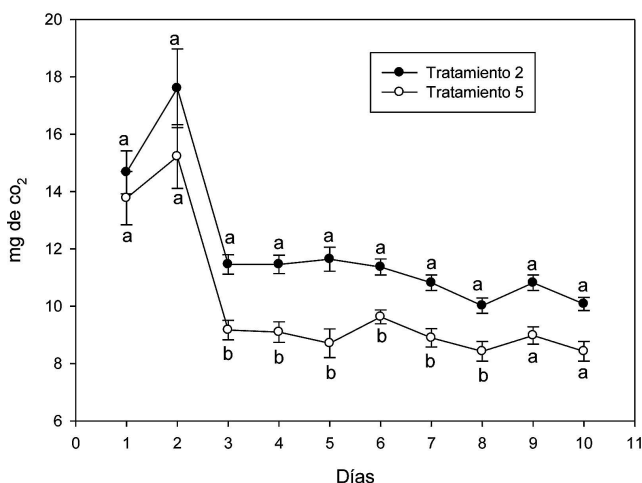
## Resultados y discusión

### Emisión de CO<sub>2</sub> en el suelo

La emisión de CO<sub>2</sub> del suelo, excepto en los dos primeros días (48 h) de incubación, fue significativamente mayor ( $P < 0.05$ ) en todas las fechas de muestreo en el tratamiento T2 con fertilización orgánica a base de vermicomposta y supermagro respecto al tratamiento T5 sin fertilización orgánica (Figura 1). En los dos primeros días de incubación se observó una rápida emisión de CO<sub>2</sub> del suelo en ambos tratamientos, es decir,  $14.67 \pm 0.75$  a  $17.6 \pm 1.37$  mg de CO<sub>2</sub> en el T2 y  $13.77 \pm 0.93$  a  $15.22 \pm 1.11$  mg de CO<sub>2</sub> en T5, valores estadísticamente iguales ( $P > 0.05$ ) en el T5. A partir del tercer día de incubación se observó una declinación en la emisión del CO<sub>2</sub> en ambos tratamientos, la cual fue disminuyendo gradualmente hasta el día 10 o fin del estudio; durante los días 3, 4, 5 y 6 de incubación de las muestras los valores de CO<sub>2</sub> en el T2 fluctuaron entre  $11.64 \pm 0.42$  a  $11.37 \pm 0.28$  mg; por su parte, en el T5 los valores fluctuaron entre  $9.63 \pm 0.24$  y  $8.71 \pm 0.50$  mg; los valores de ambos tratamientos fueron estadísticamente diferentes ( $P < 0.002$ ) en este periodo de tiempo. En el tiempo comprendido del día 7 al 10, continuó el declive en la emisión de CO<sub>2</sub>, pero manteniéndose estadísticamente diferente en cada uno de estos días ( $P < 0.0014$ ), tal que en T2 varió de

10.82±0.27 a 10.02±0.27 mg, mientras que en T5 fluctuó entre 8.99±0.30 y 8.43±0.34mg. Este patrón de emisión de CO<sub>2</sub> del suelo concuerda con lo señalado en otros estudios; Omay *et al.*, 1997) influyendo los factores de humedad, temperatura, pH y conductividad principalmente los cuales se llevaron a cabo en suelos de textura arcillosa al igual que el presente trabajo y en condiciones climáticas muy similares.

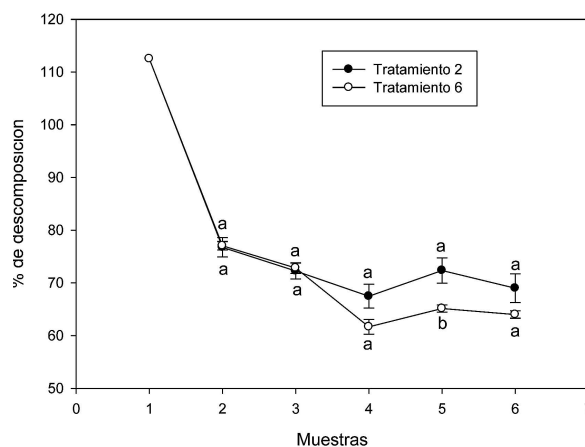
Brookes *et al.* (2008) observaron valores de emisión de CO<sub>2</sub> del suelo tratado con varios substratos orgánicos, incluido extracto de composta, de alrededor de 30 µg C-CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> de suelo; estos mismos autores mencionaron que la diferencia en incremento en emisión de C-CO<sub>2</sub> fue relativamente baja, menos del 10%, al comparar suelo tratado con enmiendas orgánicas y con fertilizante a base de nitrógeno y fósforo minerales. En el presente estudio las diferencias del T2=fertilizantes orgánicos entre el T5= fertilizantes químicos, fueron entre el 6.13% al inicio y del 17.35% al final del estudio.



**Figura 1.** Evolución de CO<sub>2</sub> del suelo, en función del tratamiento de fertilización del suelo. Tratamiento 2 = Con fertilizantes orgánicos y sin fertilización mineral; Tratamiento 5 = Sin fertilizantes orgánicos y fertilización mineral (350N-120-00K)

## Tasa de descomposición de la vermicomposta

La biomasa remanente de la vermicomposta como se observa en la (figura 2), sufrió un cambio muy significativo al inicio del período de incubación en relación al resto del período, debido a los factores de temperatura, humedad y pH principalmente; estos procesos pueden variar en duración de semanas a meses (Aira *et al.* 2005). En el primer y segundo muestreo (15 y 30 días de incubación respectivamente), se observó cómo es un poco más elevada la biomasa remanente en el T6 sin fertilización con respecto al T2 con fertilizantes orgánicos a base de vermicomposta y con supermagro, es decir, 77.04±0.8 a 72.82±1.02 de biomasa remanente en el T6 y 76.75±1.83 a 72.26±1.5 en el T2. A partir de la muestra 3, 4 y 5; 50, 70 y 90 días de incubación respectivamente, se observó cómo el T2 contiene más biomasa remanente en relación al T6, fluctuando los valores entre 67.48±2.26 a 69±2.73 y 61.66±1.4 a 64±0.7 respectivamente; los valores de ambos tratamientos fueron estadísticamente diferentes ( $P < 0.02$ ) en el muestreo 4 (70 días de incubación), Esta variación observada sugiere la existencia de sucesión en la comunidad microbiana en función de su mayor o menor especificidad para la descomposición de diferentes formas de la materia orgánica (Silvana *et al.* 2005).



**Figura 2.** Tasa de descomposición de la vermicomposta aplicada al suelo, en función del tratamiento de fertilización. Tratamiento 2 = Con fertilizantes orgánicos biofertilizante y sin fertilización mineral; Tratamiento 6 = Sin fertilización.

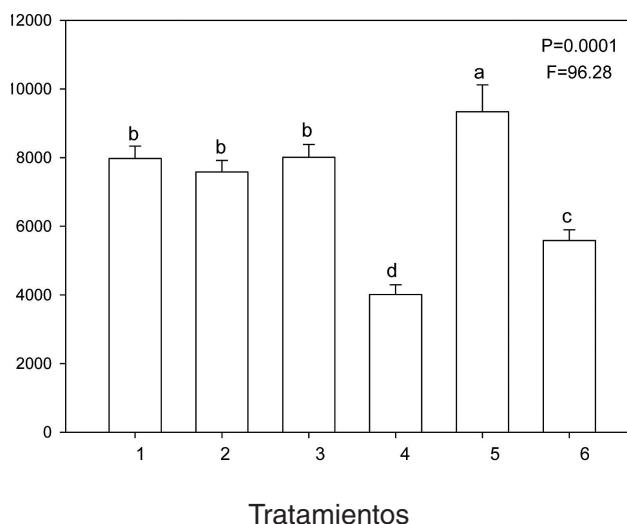


## Rendimiento de grano de maíz

Se puede observar en la Figura 3 que los tratamientos T1, T2 con fertilizantes orgánicos y T3 sin fertilizantes orgánicos y fertilización mineral no fueron estadísticamente diferentes entre sí, ya que produjeron de  $7964.63 \pm 357.14$ ,  $7581.63 \pm 336.52$  y  $8007.38 \pm 378.52$  t ha<sup>-1</sup> de grano respectivamente. La fertilización orgánica benefició el desarrollo del maíz y las diferencias detectadas en los tratamientos evaluados se relacionaron con el contenido de elementos nutritivos en la planta y sus comunidades microbianas (Moreno *et al.* 2005). Notándose una diferencia significativa ( $P < 0.0001$ ) en el T5 maíz híbrido y alta dosis de fertilización mineral (350N-120P-00K) con una producción de  $9333.75 \pm 785.32$  tha<sup>-1</sup>. El rendimiento obtenido en el maíz criollo tratado con fertilizantes orgánicos fue superior a la media experimental en la región, que es de 5 a 6 t ha<sup>-1</sup>. Los resultados muestran que con la fertilización orgánica y fertilización mineral reducida en un 65 % (122.5N-42P-00K) de la tradicional que se emplea en el maíz híbrido, es posible obtener rendimientos satisfactorios comparados con los de fertilización mineral elevada (350N-120P-00K). Estos resultados coinciden a lo reportado por Smith y Read (2008) y por (Ochoa *et al.*, 2009) quienes mencionan que los abonos orgánicos, como la composta y vermicomposta, los microorganismos benéficos (biofertilizantes), sustancias húmicas, etc. pueden aportar

una mayor eficiencia en el aprovechamiento de los nutrientes por los cultivos.

Rendimiento (tha<sup>-1</sup>)



**Figura 3.** Rendimiento de grano de maíz th<sup>-1</sup> en función de los tratamientos de fertilización. Tratamiento 1 = Con fertilizantes orgánicos y fertilización mineral (120N-60P-00K); Tratamiento 2 = con fertilizantes orgánicos; Tratamiento 3 = con fertilización mineral (120N-60P-00K); Tratamiento 5 = con fertilización mineral (350N-120-00K) y Tratamientos 4 y 6 sin fertilización. Los tratamientos T1, T2, T3 y T4 corresponden a maíz criollo; los T5 y T6 son maíz híbrido.

## Conclusiones

El patrón de emisión de CO<sub>2</sub> del suelo fue similar al de descomposición de la vermicomposta aplicada al suelo. En los dos períodos iniciales de incubación se observó el valor mayor de liberación de CO<sub>2</sub>, el cual correspondió con la mayor tasa de descomposición de la vermicomposta; los restantes tiempos de incubación en ambos parámetros presentaron una disminución progresiva hasta el final del período de incubación del suelo. El tratamiento T2 de fertilización orgánica presentó mayor liberación de CO<sub>2</sub> que el T5 en todo

el periodo de incubación y la tasa de descomposición de la vermicomposta fue mayor a partir del segundo período de incubación. La tasa de descomposición de la vermicomposta en el suelo observada sugiere que durante el tiempo de su incubación liberó nutrientes que fueron aprovechados para la nutrición de las plantas de maíz criollo, mismos que sirvieron como complemento a la fertilización reducida de N, P y K aplicada, y así producir un rendimiento de grano aceptable respecto al rendimiento del maíz híbrido.

Los resultados de este trabajo arrojan que es factible utilizar vermicomposta y supermagro en conjunto con fertilización reducida en un 65 % (122.5N-42P-00K), para lograr una aceptable producción de grano de maíz criollo nativo de Sinaloa, México.

## Agradecimientos

Se agradece la colaboración del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Universidad Autónoma de Sinaloa, Colegio de Ciencias Agropecuaria, Facultad de Agronomía, Coordinación de Posgrado de la FA, Mario Pérez Ahumada y Manuel López, por su valioso apoyo para la realización del presente trabajo de investigación.

## Literatura citada

1. Acevedo, I. & Pire, R. (2004). Efectos del lombricompost como enmienda de un sustrato para el crecimiento del lechoso (Carica papaya L.). *Interciencia* 29: 274-279.
2. Aira, M., Monroy, F. & Domínguez, J. (2005). Ageing effects on nitrogen dynamics and enzyme activities in casts of Aporrectodea caliginosa (Lumbricidae). *Pedobiología* 49:467-473.
3. Alcántar, G. G. & Sandoval, V. M. (1999). *Manual de análisis químico de tejido vegetal*. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. Chapingo, México. Publicación especial. Núm. 10.
4. Anderson, T. & Domsch, K. (1989). Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. *Soil Biol. Biochem.* 21: 417- 479.
5. Brookes, P.; Cayuela, M.; Contin, M.; De Nobili, M.; Kemmitt, S. & Mondini, C. (2008). The mineralization of fresh and humified soil organic matter by the soil microbial biomass. *Waste Manag.* 28(4): 716-722.
6. Cerrato, M.; Leblanc, H. & Kameko, C. (2007). Potencial de mineralización de nitrógeno de Bokashi, compost y lombricompost producidos en la Universidad Earth. *Tierra Tropical* 3: 183-197.
7. Financiera Rural, *Monografía del Maíz Grano*. Marzo (2009).
8. Gerónimo, A.; Salgado García, S.; Catzin, F. & Ortiz, A. (2002). Descomposición del follaje del nescafé (*Mucuna spp.*) en la época seca. *Interciencia* V 27 No 11:625-630.
9. Jenkinson, D. & Powlson, D. (1976). The effects of bio-cidal treatments on metabolism in soil. V. A method for measuring soil biomass. *Soilbiology and Biochemistry*, v.8, p. 209-213.
10. Moreno, R.; Valdés, P.; & Zarate, L. (2005) Desarrollo de tomate en sustratos de vermicompost/arena bajo condiciones de invernadero. *Agricultura Técnica* 65(1): 26-34.
11. Ochoa, M.; Figueroa, V.; Cano, R.; Preciado, A.; Moreno, R. & Rodríguez, D. (2009). Té de composta como fertilizante orgánico en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*) en invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 15(3):245-250.
12. Omay, A.; Rice, C.; Maddux, L. & Gordon, W. (1997). Changes in soil microbial and chemical properties under long-term crop rotation and fertilization. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:1672-1678.
13. Ron, P.; Sánchez, J.; Jiménez, A.; Carrera, J.; Martín, J.; Morales, M.; De la Cruz, L.; Hurtado, S.; Mena, S. & Rodríguez, J. (2006). *Maíces Nativos del Occidente de México*. I. Colectas 2004. Scientia-CUCBA 8(1): 1-139. ISBN: 970-27-0955-5. Editorial Tecnología y Aplicaciones Gráficas.
14. Silvana, A.; Wagner, B. & Carlos, C. (2005) Effect of sewage sludge on microbial biomass, basal respiration, metabolic quotient and soil enzymatic activity. *Appl Soil Ecol* 30:65-77.
15. Smith, S. & Read, D. (2008) *Mycorrhizal Symbiosis*. Acad. Press. London, UK. 787 p. Statistix. 2005. Statistix para Windows versión 7.0 : Analytical Software.

ESTA TESIS FUE REALIZADA POR JUAN ÁNGEL GARCÍA SAÑUDO, BAJO LA DIRECCIÓN DEL CONSEJO PARTICULAR QUE SE INDICA, Y HA SIDO APROBADA POR EL MISMO, COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

**DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**(SELLO DE  
POSGRADO)**

CONSEJO PARTICULAR

DIRECTOR

DR. PEDRO SANCHEZ PEÑA

CO-DIRECTOR

DR. SAÚL PARRA TERRAZA

ASESOR

DR. SERGIO HERNANDEZ VERDUGO

ASESOR

DR. MANUEL VILLARREAL ROMERO

CULIACÁN, SINALOA, JULIO DE 2015.

## **DEDICATORIA**

**A mis padres**

**Juan García Ramos (q.p.d.)  
Ma. Teresa Sañudo (q.p.d.)**

**A mi esposa**

**Cecilia**

**e**

**hijos**

**Ángel Abraham (q.p.d.)  
Jorge Roberto  
Abel Alejandro**

**A mis hermanos**

**Roberto (q.p.d.)  
Ma. Luisa  
Sergio  
Mario  
Ma. Teresa  
Rodolfo Arturo  
Martha Patricia**

**Por su comprensión y apoyo, mi más eterno agradecimiento.**

## **AGRADECIMIENTOS**

**Este trabajo no habría sido posible sin la colaboración y apoyo de las siguientes personas e instituciones para las cuales reciban mi más sincero reconocimiento:**

**Al comité de doctorado:**

- Dr. Pedro Sánchez Peña**
- Dr. Saúl Parra Terraza**
- Dr. Sergio Hernández Verdugo**
- Dr. Manuel Villarreal romero**

**Se agradece la colaboración del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Universidad Autónoma de Sinaloa, Colegio de Ciencias Agropecuaria, Facultad de Agronomía, Coordinación de Posgrado de la FA, Mario Alfonso Pérez Ahumada y Carmel Manuel López Borquez, por su valioso apoyo para la realización del presente trabajo de investigación.**

**A la Secretaría de Educación Pública, Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria, Coordinación Estatal D.G.E.T.A., a mis compañeros de trabajo del Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario N° 116.**

**A mis compañeros del doctorado, Marino Valenzuela López, Juan Martin Parra Delgado, Felipe Ayala Tafuya, Moisés Gilberto Yáñez Juárez y Ricardo Guillermo López España, por su apoyo y experiencia.**

# CONTENIDO

INDICE DE CUADROS	i
INDICE DE FIGURAS	ii
RESUMEN	iii
GENERAL ABSTRACT	iv
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL Y REVISIÓN DE LITERATURA	1
1.1 INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1.1 LITERATURA CITADA	7
1.2 REVISIÓN DE LITERATURA	14
1.2.1 CONOCIMIENTO TAXONÓMICO DEL MAÍZ	14
1.2.2 ORIGEN DEL MAÍZ	17
1.2.2.1 ORIGEN ASIÁTICO	20
1.2.2.2 ORIGEN ANDINO	20
1.2.2.3 ORIGEN MEXICANO	21
1.2.2.4 ORIGEN DEL MAÍZ TUNICADO	21
1.2.2.5 ORIGEN DEL MAÍZ SILVESTRE	21
1.2.2.6 ORIGEN DEL TEOSINTE	21
1.2.3 DOMESTICACIÓN DEL MAÍZ	23
1.2.4 DIVERSIDAD DEL MAÍZ	26
1.2.5 MAÍZ CRIOLLO	29
1.2.6 HÍBRIDOS	33
1.2.7 LITERATURA CITADA	34
1.3 SUELO, FERTILIZANTES, LIBERACIÓN DE CO <sub>2</sub> Y TASA DE DESCOMPOSICIÓN DE LOS PRODUCTOS ORGÁNICOS	46
1.3.1 SUELO	46
1.3.2 FERTILIZANTES	47
1.3.2.1 FERTILIZACIÓN MINERAL DE SÍNTESIS	48
1.3.2.1.1 NITRÓGENO	48
1.3.2.1.2 FÓSFORO	49

1.3.2.1.3 POTASIO	50
1.3.2.2 PRODUCTOS ORGÁNICOS	50
1.3.2.2.1 ESTIERCOL	51
1.3.2.2.2 COMPOSTA	51
1.3.2.2.3 VERMICOMPOSTA	53
1.3.2.2.4 GALLINAZA	55
1.3.3 LIBERACIÓN DE CO <sub>2</sub>	57
1.3.4 TASA DE DESCOMPOSICIÓN DE LOS PRODUCTOS ORGÁNICOS	58
1.3.5 LITERATURA CITADA	60
<b>CAPITULO II: FERTILIZACIÓN CON VERMICOMPOSTA EN MAÍZ     CRIOLLO Y SU TASA DE DESCOMPOSICIÓN EN EL SUELO</b>	<b>70</b>
2.1 RESUMEN	70
2.2 ABSTRACT	71
2.3 INTRODUCCIÓN	71
2.4 MATERIALES Y MÉTODOS	72
2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	73
2.6 CONCLUSIONES	75
2.7 LITERATURA CITADA	76
<b>CAPITULO III: RESPUESTA DEL MAÍZ (<i>zea maíz</i> L.) A DIFERENTES     TIPOS DE FERTILIZACIÓN EN SINALOA.</b>	<b>77</b>
3.1 RESUMEN	77
3.2 ABSTRACT	78
3.3 INTRODUCCIÓN	78
3.4 MATERIALES Y MÉTODOS	79
3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	81
3.6 CONCLUSIONES	90
3.7 LITERATURA CITADA	91
<b>CAPITULO IV: FERTILIZACIÓN ORGÁNICA Y MINERAL EN MAICES     DE SINALOA.</b>	<b>94</b>
4.1 INTRODUCCIÓN	94

<b>4.2 MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>96</b>
<b>4.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>101</b>
<b>CAPITULO V: DISCUSIÓN GENERALE</b>	<b>122</b>
<b>5.1 LITERATURA CITADA</b>	<b>125</b>



## INDICE DE CUADROS

Cuadro 1.1	Clasificación del género Zea	14
Cuadro 3.1	Tratamientos utilizados para evaluar el comportamiento de maíz	80
Cuadro 3.2	Liberación de CO <sub>2</sub> del suelo, en función del tratamiento de fertilización del suelo	82
Cuadro 3.3	Valores promedio biomasa seca producida por las plantas de maíz en época de floración en función del tratamiento de fertilización	86
Cuadro 4.1	Tratamientos utilizados para evaluar el comportamiento de maíz	97
Cuadro 4.2	Contenido de N, P y K (suelo), en los tratamientos utilizados para evaluar el comportamiento de maíz nativo	102
Cuadro 4.3	Eficiencia agronómica relativa (EAR) de los tratamientos orgánicos evaluados en maíz nativo	107
Cuadro 4.4	Contenido de N, P y K (suelo), en los tratamientos utilizados para evaluar el comportamiento de maíz híbrido	111
Cuadro 4.5	Eficiencia agronómica relativa (EAR) de los tratamientos orgánicos evaluados en maíz híbrido	116
Cuadro 4.6	Comparación de medias de las variables evaluadas en maíz híbrido	119

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Evolución de CO <sub>2</sub> del suelo, en función del tratamiento de fertilización	74
Figura 2.2	Tasa de descomposición de la vermicomposta aplicada al suelo, en función del tratamiento de fertilización	74
Figura 2.3	Rendimiento de grano de maíz th-1 en función de los tratamientos de fertilización	75
Figura 3.1	Contenido de nitrógeno total (%) en la vermicomposta aplicada al suelo, en función del tratamiento de fertilización	84
Figura 3.2	Contenido de nitrógeno inorgánico (N-NO <sub>3</sub> ppm) en suelo, en función del tratamiento de fertilización	85
Figura 3.3	Contenido de nitrógeno por las plantas de maíz en etapa de floración, en función de los tratamientos de fertilización	87
Figura 3.4	Contenido de potasio por las plantas de maíz en etapa de floración, en función de los tratamientos de fertilización	88
Figura 3.5	Rendimiento de grano de maíz en función del tratamiento de fertilización	90
Figura 4.1	Tasa de descomposición de los productos orgánicos aplicados al suelo, en función del tratamiento de fertilización	103
Figura 4.2	Liberación de CO <sub>2</sub> del suelo, en función de los tratamientos de fertilización	105
Figura 4.3	Rendimiento de grano de maíz en función del tratamiento de fertilización	110
Figura 4.4	Tasa de descomposición de los productos orgánicos	112

aplicados al suelo, en función del tratamiento de fertilización

- Figura 4.5 Liberación de CO<sub>2</sub> del suelo, en función de los tratamientos de fertilización 114
- Figura 4.6 Rendimiento de grano de maíz en función del tratamiento de fertilización 121

## RESUMEN

Este trabajo se realizó en el campo experimental de la Facultad de Agronomía, misma que se localiza en el km 17.5 de la carretera Culiacán-Eldorado, al sureste de Culiacán, Sinaloa, en el Valle de Culiacán. Se estudió la respuesta de tres productos orgánicos (composta, vermicomposta y gallinaza) y fertilizante mineral, en el rendimiento de grano de maíz nativo e híbrido de Sinaloa, así mismo se estudió la tasa de descomposición de estos productos y la liberación de CO<sub>2</sub> del suelo, así como la absorción de N, P y K del cultivo de maíz. Los tratamientos fueron: T1= composta 100%; T2= vermicomposta 100%; T3= gallinaza 100%; T4= composta 50%-vermicomposta 50%; T5= vermicomposta 50%-gallinaza 50%; T6= composta 50%-gallinaza 50%; T7= composta 50%-químico 50%; T8= vermicomposta 50%-químico 50%; T9= gallinaza 50%-químico 50%; T10= químico 100% y T11= testigo absoluto con maíz nativo; se realizaron dos proyectos de investigación a la vez, uno utilizando como material maíz nativo del estado de Sinaloa (cuarenteño) y el otro utilizando un maíz híbrido (pioneer 30P49), los dos usados comúnmente por los productores. Se hicieron análisis de suelo y productos orgánicos antes de la siembra y después de concluido el proyecto, la siembra se realizó manualmente colocando 5 semillas de maíz por metro lineal a una profundidad de 5 cm. La unidad experimental consistió en 3 surcos de 5 m de longitud y 76 cm de separación entre ellos, Las parcelas experimentales fueron de 11.4 m<sup>2</sup>. El diseño experimental fue el de bloques completos al azar con once tratamientos y tres repeticiones. Las variables evaluadas fueron: tasa de descomposición, liberación de CO<sub>2</sub> en el suelo, absorción de N, P y K, así como rendimiento de grano; La finalidad de este trabajo fue la de Conocer la respuesta a la fertilización orgánica y mineral en el cultivo de maíz nativo e híbrido de Sinaloa, determinando su efecto en rendimiento de grano, crecimiento y nutrición nitrogenada, fosfórica y potásica, conocer la tasa de descomposición de la composta, vermicomposta y gallinaza, así como la liberación de CO<sub>2</sub> del suelo (con productos orgánicos) en el sitio experimental.

## ABSTRACT

This work was conducted at the experimental field of Agronomy, same that is located at km 17.5 of the road Culiacan-Eldorado, southeast of Culiacan, Sinaloa in Culiacan Valley. The response of three organic products (compost, vermicompost and manure) and mineral fertilizer in the grain yield of Sinaloa native and hybrid maize was studied likewise the decomposition rate of these products and the release of CO<sub>2</sub> from soil was studied as well as the absorption of N, P and K from maize. The treatments were: T1 = 100% compost; T2 = 100% vermicompost; T3 = 100% chicken manure; T4 = 50% compost -vermicomposta 50%; T5 = 50% chicken manure vermicompost 50%; T6 = composted chicken manure 50% 50%; T7 = -químico compost 50% 50%; T8 = -químico vermicompost 50% 50%; T9 = manure -químico 50% 50%; Chemical T10 = T11 = 100% and absolute control with native corn; two research projects were conducted simultaneously, one using native materials like corn Sinaloa (Cuarenteño) and the other using a hybrid corn (Pioneer 30P49), both commonly used by producers. analysis of soil and organic products before planting were made and after project completion, planting was done manually placing 5 maize seeds per meter at a depth of 5 cm. The experimental unit consisted of 3 rows 5 m long and 76 cm of separation between them, The experimental plots were of 11.4 m<sup>2</sup>. The experimental design was randomized complete with eleven treatments and three repetitions blocks. The variables evaluated were: rate of decomposition, releasing CO<sub>2</sub> in the soil, uptake of N, P and K, as well as grain yield; The purpose of this work was to know the answer to the organic and mineral fertilization in the cultivation of native and hybrid maize Sinaloa, determining their effect on grain yield, growth and nitrogen nutrition, potassium phosphate, determine the rate of decomposition compost, vermicompost and manure, as well as the release of CO<sub>2</sub> from the ground (with organic products) at the experimental site.

# CAPITULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL Y REVISIÓN DE LITERATURA

## 1.1 INTRODUCCIÓN GENERAL

El maíz (*Zea mays L.*), es el cultivo alimenticio representativo en México, debido a que su grano es rico en proteína y carbohidratos. La tortilla de maíz suministra el 59 % de la ingesta en energía y el 39 % de la ingesta en proteína, además es consumido en diferentes derivados (INTA, 1999).

El maíz (*Zea mays*) es un cultivo alimentario de importancia crítica en América Latina y gran parte de África y Asia (Smale *et al.*, 2001). Junto con frijoles (*Phaseolus vulgaris*), que proporciona el sustento de millones de personas, sobre todo en las zonas rurales, y está íntimamente ligada a las tradiciones sociales y culturales (Kelemen *et al.*, 2009 y Staller, 2010).

Las tierras agrícolas de la región en Sinaloa se han trabajado por más de 50 años de manera intensiva, pero en los últimos 30 los productores redujeron notablemente la aplicación de abonos orgánicos a causa del inicio de una agricultura intensiva (López *et al.*, 2001), generando una disminución en el uso de fertilizantes orgánicos hasta un punto en el que la aplicación de los inorgánicos se convirtió en un problema ambiental en muchos lugares del mundo (Butler *et al.*, 2007).

Por otro lado el cambio hacia nuevas técnicas de cultivo, la utilización masiva y sistemática de abonos minerales, el empleo de herbicidas selectivos, la quema de rastrojos y la eliminación de residuos de las cosechas entre otros factores, han incidido negativamente en el mantenimiento del contenido de materia orgánica del suelo ocasionando erosión en los suelos (Fuentes, 2006).

El uso de abonos orgánicos constituye una práctica de manejo fundamental en la rehabilitación de la capacidad productiva de suelos degradados. La adición de residuos vegetales o estiércoles incrementa la actividad y cantidad de la biomasa microbiana del suelo, que en los cultivados varía de 100 a 600 mg kg<sup>-1</sup> (Anderson y Domsch, 1989).

Los abonos orgánicos tienden a aumentar el potencial de inóculo micorrízico del suelo, la colonización y la absorción de nutrimentos (Gosling *et al.*, 2006); también

aportan materia orgánica, nutrimentos y microorganismos, lo cual favorece la fertilidad del suelo y la nutrición de las plantas (Eghball *et al.*, 2004).

El compostaje y el lombricompostaje del estiércol, son procesos aeróbicos de transformación de residuos orgánicos, animales y vegetales, que ocurren constantemente en la naturaleza bajo la acción de lombrices, bacterias y hongos descomponedores de la materia orgánica. El aprovechamiento de estos residuos orgánicos cobra cada día mayor importancia como medio eficiente de reciclaje racional de nutrientes, que ayuda al crecimiento de las plantas y devuelven al suelo muchos de los elementos extraídos durante el proceso productivo (Cerrato *et al.*, 2007). Asimismo, mejoran las características físicas y previenen la erosión del suelo, reducen la dependencia de insumos externos de alto costo económico y ambiental, enfocado a una agricultura sostenible, en donde se disminuye y elimina el empleo de agroquímicos a fin de proteger el ambiente, y la salud animal y humana (Acevedo y Pire, 2004). El compostaje produce un material valioso con alto contenido de humus, que puede utilizarse como mejorador de suelos y fertilizante, la composta (INE, 2007).

La literatura reporta los beneficios de la fertilización orgánica como superior a la fertilización inorgánica al lograr mayor contenido de nutrientes en la planta, ejemplos de tales estudios muestran que en repollo, lechuga, espinaca y zanahoria fertilizados con composta obtuvieron niveles significativamente altos de ácido ascórbico,  $\beta$ -caroteno y niveles bajos de nitratos (Lester, 2006).

Desde el punto de vista agrícola, con el compostaje se obtiene un material maduro, estable e higienizado, con un alto contenido en materia orgánica y componentes húmicos denominado composta, el cual puede ser utilizado sin riesgo en agricultura por ser inocuo y no contener sustancias fitotóxicas, favoreciendo el crecimiento y el desarrollo de las plantas, aumentan la fertilidad y mejoran las propiedades físico-químicas de los suelos, pues la materia orgánica estabilizada y rica en nutrientes disponibles aumentan la microbiota de éstos, aumentan la retención de agua, la capacidad de intercambio catiónico, mejoran el pH, la textura y porosidad; convirtiéndose por tanto en un material con valor agronómico que puede ser utilizado para enmiendas orgánicas, aplicable para los

distintos tipos de suelo y en cultivos tanto hortícolas, de jardinería, agrícola como en invernadero (Mora, 2006).

En la actualidad se hace énfasis en la necesidad de establecer prácticas que permitan mantener el nivel de productividad de los suelos, incrementar la producción agrícola y preservar los ecosistemas en el tiempo (Matheus, 2007).

La aplicación de materia orgánica también aumenta la actividad de las fosfatasas al estimular la biomasa microbiana y la secreción de las raíces (Deng y Tabatabai, 1997; Purakayastha *et al.*, 2006). La fosfatasa ácida es influenciada por la fisiología de la planta y el suministro de P inorgánico: su actividad disminuye con la edad y aumenta cuando hay deficiencia de P (Cruz Flores *et al.*, 2005). Por el contrario, la actividad de ureasa muestra una respuesta variable a la aplicación de abonos orgánicos y hay una mayor actividad ureasa en suelos con composta que sin ella (Banik *et al.*, 2006, Antonious, 2003).

El maíz se considera un recurso genético importante y la tecnología asociada a su cultivo también es reconocida como importante no sólo por su componente cultural, sino su importancia económica en el desarrollo de variedades mejoradas. En este contexto, algunas variedades de maíz criollo y sus parientes silvestres están incluidas en las listas de especies de interés para la conservación (NOM-059-SEMARNAT-2001) y, en consecuencia son prioridad en la estrategia nacional de la conservación de la agrobiodiversidad, junto con otras especies.

La ecología y la diversidad genética del maíz, la diversidad y la dinámica de las poblaciones de maíz, y el mantenimiento de razas criollas de maíz han sido bien estudiados, sobre todo entre los agricultores de subsistencia en México, el centro de maíz de origen (Bellon, 1991, Bellon y Brush, 1994, Bellon *et al.*, 2003a, Bellon y Berthaud, 2004, Birol *et al.*, 2009, Brush *et al.*, 2003, Brush y Perales, 2007 y Kelemen *et al.*, 2009). En particular, la diversidad de las poblaciones de maíz ha sido objeto de una intensa investigación, debido a la preocupación de que la adopción generalizada de variedades mejoradas está causando la pérdida de la diversidad del maíz presente en las variedades locales (van Heerwaarden *et al.*, 2009).



Las tasas de descomposición y liberación de los nutrientes están determinadas por la calidad de la materia orgánica. La calidad del material vegetal es definida por los constituyentes orgánicos y los contenidos de nutrientes. La calidad del carbono de un material orgánico depende de las proporciones del carbón soluble, la celulosa (hemicelulosa) y la lignina; en este caso la calidad se refiere a la energía disponible para los organismos descomponedores (Sánchez *et al.*, 2008). Durante las etapas iniciales de la descomposición de los materiales orgánicos recientemente incorporados hay un rápido aumento en el número de organismos heterótrofos, acompañado por la emisión de grandes cantidades de CO<sub>2</sub>, incremento la actividad microbiológica global que puede ser considerada como el reflejo del nivel energético de un medio dado (Havlin *et al.*, 1999).

El proceso de descomposición de los residuos orgánicos depende del ambiente químico generado por el residuo y de su interacción con los microorganismos del suelo. Los factores del suelo que controlan el proceso son: humedad, temperatura, pH, aireación y disponibilidad de nutrientes (Schjonning *et al.*, 1999). Los más determinantes son el contenido de humedad, los eventos de secado y rehumedecimiento (Kruse *et al.*, 2004) y la temperatura del suelo (Rodrigo *et al.*, 1997; Kätterer, 1998). Entre los factores del residuo encontramos: composición química, relación carbono/nitrógeno (C:N), contenido de lignina (Whitmore, 1996) y tamaño de las partícula del residuo, así como la forma de contacto con el suelo y la microflora natural (Parr y Papendick, 1978). Los factores que producen el mayor efecto sobre el crecimiento y actividad microbiana tendrán el mayor potencial para alterar la tasa de descomposición (Creus *et al.*, 1998). Parte del C producto de la descomposición del rastrojo es liberado como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y otra parte es asimilada por la biomasa microbiana involucrada en el proceso de descomposición (Alexander, 1997; Gilmour *et al.*, 2003).

Si la cantidad de N presente en la descomposición de residuos orgánicos es mayor que la requerida por los microorganismos, existirá una mineralización neta con liberación de N inorgánico. Si la cantidad de N en el residuo es igual a la cantidad requerida, no habrá mineralización neta. Si, por el contrario, la cantidad de N presente en el residuo es menor que el requerido por la biomasa microbiana,

será inmovilizado N inorgánico adicional, el que se obtendrá a partir del suelo para completar el proceso de descomposición (Cabrera, 2007).

Hay tres pilares básicos, desde el punto de vista agrícola, sobre los que se fundamenta la posible recuperación del equilibrio entre el CO<sub>2</sub> captado de la atmósfera y el desprendido desde el suelo: 1) aumento de la biomasa y de la producción de los cultivos por la introducción de nuevas variedades y rotaciones de los mismos, por un incremento de la eficiencia de los fertilizantes y por una ampliación de la superficie de regadío, 2) el incremento de la materia orgánica del suelo y una menor tasa de mineralización, por tanto una menor liberación de CO<sub>2</sub> y el 3) ahorro de combustibles fósiles en la agricultura, disminuyendo las labores agrícolas y utilizando maquinaria de menor potencia, todos estos esfuerzos combinados pueden reducir las concentraciones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, aliviar el calentamiento global del planeta (Reicosky, 2005), y disminuir la preocupación de la sociedad en este tema, que fue lo que dio lugar, como resultado inmediato, a la firma del protocolo de (Kyoto en 1997).

Los ecosistemas vegetales tienen la capacidad de asimilar el carbono mediante la fotosíntesis e incorporarlo a su estructura por lo cual son importantes reservas de carbono (Benjamín Ordóñez y Masera, 2001). La fijación de CO<sub>2</sub> atmosférico por los ecosistemas vegetales es un componente muy importante en el balance global del carbono en el planeta. Esta retención de CO<sub>2</sub> se puede evaluar midiendo el intercambio neto de CO<sub>2</sub> entre el sistema suelo-vegetal y la atmósfera, y se define como el flujo neto por fotosíntesis y respiración de CO<sub>2</sub> entre la superficie vegetal y la atmósfera, sin considerar el CO<sub>2</sub> almacenado o liberado en la capa de aire bajo las mediciones de CO<sub>2</sub> (Martens *et al.*, 2004).

La evolución del CO<sub>2</sub> es un parámetro ligado al manejo de materiales orgánicos el cual representa una medición integral de la respiración del suelo, conocida como respiración edáfica basal (respiración de las raíces, fauna del suelo y la mineralización del carbono a partir de diferentes “pools” del carbono de suelo y desechos), es decir, representa la estimación de la actividad microbiana (García y Rivero, 2008).

La respiración metabólica de la comunidad de organismos asociados al detritus orgánico es el proceso que libera el carbono hacia la atmósfera en forma de CO<sub>2</sub>. De esta manera, la respiración heterotrófica contribuye a la descomposición, junto a otros procesos como la humificación y la fragmentación del detritus (Carmona *et al.*, 2006).

Es necesario desarrollar nuevas prácticas de manejo del suelo, como la siembra directa, para almacenar más CO<sub>2</sub> en el suelo, y optimizar la fotosíntesis de las plantas para aumentar las producciones de los cultivos. (Reicosky, 2007)

En el año 2012, México ocupó el cuarto lugar en producción de maíz en el mundo (FAO, 2014). En este año, más del 50% de la superficie que se cultivó en México fue de maíz, dado que se sembraron en todo el territorio 15' 545, 464.39 hectáreas con 217 cultivos, y de maíz se sembraron 7' 372, 218.19 hectáreas, con una producción de 22' 372, 218.19 toneladas (SIAP, 2014). Esta importancia del cultivo del maíz a nivel mundial y nacional se debe a la enorme adaptabilidad del cultivo, debido a la enorme diversidad genética con que cuenta el cultivo, actualmente en México se han reportado 59 razas de maíz criollo (Ron Parra, *et. al.*, 2006) las cuales presentan diversas características agro-morfológicas que prácticamente le permite al cultivo de maíz crecer en casi cualquier lado. La finalidad de este trabajo fue la de Conocer la respuesta a la fertilización orgánica y mineral en el cultivo de maíz nativo e híbrido de Sinaloa, determinando su efecto en rendimiento de grano, crecimiento y nutrición nitrogenada, fosfórica y potásica, conocer la tasa de descomposición de la composta, vermicomposta y gallinaza, así como la liberación de CO<sub>2</sub> del suelo (con productos orgánicos) en el sitio experimental.

### 1.1.1 LITERATURA CITADA

- Acevedo, I. C. y R. Pire. 2004. Efectos del lombricompost como enmienda de un sustrato para el crecimiento del lechoso (*Carica papaya* L.). *Interciencia* 29: 274-279.
- Anderson, T. H. and K. H. Domsch. 1989. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. *Soil Biol. Biochem.* 21: 417- 479.
- Alexander M. 1977. *Introduction to soil microbiology*. 2<sup>o</sup> Edition. John Wiley & Sons. New York. N.Y. Bartholomew W. 1965. *Mineralization*.
- Antonious, G. F. 2003. Impact of soil management and two botanical insecticides on urease and invertase activity. *J. Environ. Sci. Health* 38: 479–488.
- Banik, P., P. K. Ghosal, T. K. Sasmal, S. Bhattacharya, B. K. Sarkar, and D. K. Bagchi. 2006. Effect of organic and inorganic nutrients for soil quality conservation and yield of rainfed low land rice in sub–tropical plateau region. *J. Agron. Crop Sci.* 192: 331–343.
- Bellon M.R. 1991. La etnoecología de gestión variedad de maíz: un estudio de caso de México. *Hum. Ecol*, 19 (1991), pp 389-418.
- Bellon M.R., Brush S.B. 1994. Guardianes de maíz en Chiapas, México. *Econ. Bot.*, 48 (1994), pp 196-209.
- Bellon, MR, Adato, M., Becerril, J., Mindek, D., 2003a. El impacto de la mejora de Germoplasma de Maíz en la mitigación de la pobreza: el caso del material derivado de Tuxpeño en México. Instituto Internacional de Investigaciones sobre Políticas Alimentarias, Washington, DC.

- Bellon M.R. y Berthaud J. 2004. El maíz transgénico y la evolución de la diversidad de variedades autóctonas en México. La importancia del comportamiento de los agricultores. *Plant Physiol.*, 134 (2004), pp 883-888.
- Benjamín–Ordóñez, J. A., y O. Maser. 2001. Captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosque* 7(1):3–12.
- Birol E., Villalba E.R., Smale M. 2009. Preferencias de los agricultores para la *milpa* y la diversidad del maíz transgénico en México: un enfoque de clases latentes. *Environ. Prog. Econ*, 14 (2009), pp 521-540.
- Brush S.B., Tadesse D., Van Dusen E. 2003. La diversidad de cultivos en la agricultura campesina e industrializada: México y California. *Sociedad y Recursos Naturales*, 16 (2003), pp 123-141.
- Brush S.B., Perales H.R. 2007. Un paisaje de maíz: el origen étnico y la agrobiodiversidad en Chiapas, México. *Agric. ECOSYST. Ambiente*, 121 (2007), pp 211-221.
- Butler, D. M., N. M. Ranells, D. H. Franklin, M. H. Poore, and J. T. Green. 2007. Ground cover impacts on nitrogen export from manured riparian pasture. *J. Environ. Qual.* 36: 155-162.
- Cabrera M. 2007. Mineralización y nitrificación: procesos claves en el ciclo del nitrógeno. Simposio Fertilidad 2007 IPNI Cono sur/Fertilizar A C. [www.inpofos.org](http://www.inpofos.org).
- Carmona, M., M. Aguilera, C. Pérez e I. Serey. 2006. Actividad Respiratoria en el horizonte orgánico de suelos de ecosistemas forestales del centro y sur de Chile. *Gayana Bot.* 63: 1-12.

- Cerrato, M. E., H. A. Leblanc y C. Kameko. 2007. Potencial de mineralización de nitrógeno de Bokashi, compost y lombricompost producidos en la Universidad Earth. *Tierra Tropical* 3: 183-197.
- Creus C., G. Studdert, H. Echeverría y S. Sanchez. 1998. Descomposición de residuos de cosecha de maíz y dinámica del nitrógeno en el suelo. *Revista Ciencia del Suelo* 16:51-57.
- Cruz Flores, G., D. Flores–Román, G. Alcantar–González, y A. Trinidad–Santos. 2005. Fosfatasa ácida, nitrato reductasa, glutamina sintetasa y eficiencia de uso de fósforo y nitrógeno en cereales. *Terra Latinoamericana* 23: 457–468.
- Deng, S. P., and M. A. Tabatabai. 1997. Effect of tillage and residue management on enzyme activities in soils: III. Phosphatases and arylsulfatase. *Biol. Fertility Soils* 24:141–146.
- Eghball, B., D. Ginting, and J. E. Gilley. 2004. Residual effects of manure and compost applications on corn production and soil properties. *Agron. J.* 96:442–447.
- FAO (2014) FAO STAT. Available at: <http://faostat.fao.org> (accessed February 2014).
- Fuentes Colmeiro Ramón. 2006. *Agrosistemas sostenibles y ecológicos La reconversión agropecuaria*. Universidad de Santiago de Compostela, pág. 250.
- García, A. y C. Rivero. 2008. Evaluación del carbono microbiano y la respiración basal en respuesta a la aplicación de lodo papelerero en los suelos de la Cuenca del Lago de Valencia, Venezuela. *Rev. Fac. Agron. (Maracay)* 34: 215-229.

- Gilmour J.T., C.G. Cogger, L.W. Jacobs, G.K. Evanylo y D.M. Sullivan. 2003. Decomposition and plant-available nitrogen in biosolids: laboratory studies, field studies, and computer simulation. *J. Environ. Qual.* 32:1498-1507.
- Gosling, P., A. Hodge, G. Goodlass, and G. D. Bending. 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming. *Agric. Ecosystems Environ.* 113: 17–35.
- Havlin, J. L., J. D. Beaton, S. L. Tisdale, and W. L. Nelson. 1999. Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management. Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ, USA.
- INEGI;url:[http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/Agro/ca2007/Resultados\\_Agricola/default.as.2007](http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/Agro/ca2007/Resultados_Agricola/default.as.2007)INE;url:<http://www.tlaxcala.gob.mx/municipios/alzayanca/geo.html>.2007.
- INTA 1999. Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria. Informe técnico anual 1999 - 2000. Programa Granos Básicos CNIA – INTA.
- Kätterer T., M. Reichstein, O. Andren y A. Lomander. 1998. Temperature dependence of organic matter decomposition: a critical review using literature data analyzed with different models. *Biol. Fertil. Soils* 27:258-262.
- Keleman A., Hellin J., Bellon M. R. 2009. Prácticas de diversidad del maíz, la política de desarrollo rural y de los agricultores: lecciones de Chiapas, México. *Geogr. J.*, 175 (2009), pp 52-70.
- Kruse J., D. Kissel y M. Cabrera. 2004. Effects of drying and rewetting on C and N mineralization in soils and incorporated residues. *Nutr Cycl. Agroecosystems.* 69:247-256.

Kyoto, 1997. Protocolo de Kyoto. United Nations Frame Work Convention on Climate Change.

López M., J. D., A. Díaz E., E. Martínez R. y R. D. Valdez C. 2001. Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento de maíz. Terra 19: 293-299.

Martens, C., T. J. Shay, H. P. Mendlovitz, D. M. Matross, S. S. Saleska, S. C. Wofsy, W. S. Woodward, M. C. Menton, J. M. S. De Moura, P. M. Crill, O. L. De Moraes, and R. L. Lima. 2004. Radon fluxes in tropical forest ecosystem of brazilian Amazonia: night-time CO<sub>2</sub> net ecosystem exchange derived from random and eddy covariance methods. Global Change Biol. 10: 618–629.

Matheus, L.Jesús, Montilla, José Fermín y Fernández, Oswaldo. *Eficiencia Agronomica Relativa de tres abonos orgánicos (vermicompost, compost, y gallinaza) en plantas de maíz (Zea mays L).* Agricultura Andina / Volúmen 13 Julio - Diciembre 2007, Laboratorio de Investigación de Suelos. Departamento de Ciencias Agrarias. NURR-ULANURR-ULA.

NOM-059-SEMARNAT-2001. Norma Oficial Mexicana. Protección Ambiental – Especies nativas de México de flora y fauna silvestres – Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio – Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación. 6 de Marzo del 2002. México, D.F.

Parr J. y R. Papendick. 1978. Factors affecting the descomposition of crop residues by microorganisms. Crop residues management systems. Am. Soc. Agron. Special Publication N° 31. Am. Soc. Agron., Crop Sci. Soc. Am., Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin, USA. P.101-129.



Purakayastha, T. J., S. Bhadraray, P. K. Chhonkar, and V. Verma. 2006. Microbial biomass phosphorus and alkaline phosphomonoesterase activity in the rhizosphere of different wheat cultivars as influenced by inorganic phosphorus and farmyard manure. *Biol. Fertility Soils* 43: 153–161.

Reicosky, D.C. 2005. Impact of the Kyoto Protocol Ratification on global transactions of carbon. Congreso Internacional sobre Agricultura de Conservación. Córdoba (España). 188-198.

Reicosky, D.C. 2007. <http://pvnsteep.wsu.edu/directseed/conf98/soil2.htm>.

Rodrigo A., S. Recous, C. Neel y B. May. 1997. Modelling temperature and moisture effects on C\_N transformation in soils: Comparison of nine models. *Ecol Model* 102: 325-339.

Ron P J, Sánchez J, Jiménez A, Carrera J, Martín J, Morales M, De la Cruz L., Hurtado S, Mena S, Rodríguez J (2006). *Maíces Nativos del Occidente de México*. I. Colectas 2004.

Sánchez, S., G. Crespo, M. Hernández y Y. García. 2008. Factores bióticos y abióticos que influyen en la descomposición de la hojarasca en pastizales. *Pastos Forrajes* 31: 99-108.

Schjonning P., J. Thomsen, P. Moberg, H. de Jorge, K. Kreisensen y B. Christensen. 1999. Turnover of organic matter in differently textured soils: I Physical characteristics of structurally disturbed and intact soils. *Geoderma* 89: 177-198.

Smale M., Bellon M. R., Gómez J. A. A. 2001. La diversidad del maíz, los atributos de la variedad, y los agricultores "opciones en el sureste de Guanajuato", México. *Econ. Prog. Cult. Cambiar*, 50 (1) (2001), pp 201-225.

Staller J. E. 2010. Mazorcas de maíz y Culturas: Historia de *Zea mays* L. Springer, Heidelberg, Alemania (2010)

Whitmore A. 1996. Modeling the release and loss of nitrogen after vegetable crops. Netherland Journal Agric. Science. 44:73-86.

## 1.2 REVISIÓN DE LITERATURA

### 1.2.1 Conocimiento taxonómico del maíz.

El género *Zea* pertenece a la familia Poaceae que comprende más de 600 géneros Cuadro 1. Los dos géneros del Nuevo Mundo más emparentados con el maíz son *Tripsacum* y *Zea* (Galinat, 1977; Rzedowski, 2001).

Cuadro 1. Clasificación del género *Zea*

Género	Especie	Subespecie	Raza	Distribución
		<i>Z. mays</i> subsp. Mays		Cultivada mundialmente, en México la mayor diversidad de razas de maíces
		<i>Z. mays</i> Subs. mexicana (Schrader) Iltis	Nobogame Mesa Central	México (Chihuahua) México ( Norte de Michoacán y sur de Guanajuato)
			Durango	México (Durango)
			Chalco	México (casi exclusivamente Chalco y Texcoco, Estado de México)
		<i>Z. mays</i> Subs. parviglumis Iltis & Doebley	Balsas	México (Guerrero, Michoacán, Morelos, Oaxaca, Jalisco y Estado de México)
<i>Zea</i> (anuales)	<i>Zea mays</i> L.	<i>Z. mays</i> Subs. huehuetenange nsis Doebley	Huehuetenango	Guatemala (Huehuetenango)

Fuente: Wilkes, 1967; Iltis y Doebley, 1980; Doebley y Iltis, 1980; Sánchez *et al.*, 1998; OCDE, 2003.

El género *Tripsacum* relacionado con *Zea*, es nativo del Nuevo Mundo con 20 especies distribuidas desde la región noreste de Estados Unidos de Norteamérica, hasta Paraguay, su número cromosómico básico es  $x = 18$  y puede ser diploide, triploide y aún con mayores niveles de ploidía dentro del género. Existen híbridos naturales entre maíz y *Tripsacum*, una de las especies *T. andersonii* es considerada un híbrido estéril de éstas. Son plantas perennes, herbáceas y robustas de uno y hasta cuatro metros de alto. Las características morfológicas que separan al *Tripsacum* del maíz y del teocintle son: 1) Cada una de las ramas de las inflorescencias poseen en su parte basal las flores femeninas y en la terminal las masculinas (Weatherwax, 1955b; de Wet *et al.* 1971, 1981; Mangelsdorf, 1974); y 2) la forma y consistencia del fruto (Doebley, 1983b).

La clasificación del género *Zea* ha cambiado con el tiempo. En un inicio los primeros ordenamientos emplearon aspectos morfológicos resultantes de la selección humana durante el proceso de domesticación (Harshberger, 1896; Mangelsdorf *et al.* 1964; Wilkes, 1967). Este ordenamiento permitió la diferenciación de dos secciones: la sección *Euchlaena* que incluía todos los teocintles en este grupo; y por la otra parte la sección *Zea*, y que sólo incluía al maíz. Posteriormente Doebley e Iltis, 1980, elaboraron una clasificación para *Zea* con base en estructuras morfológicas neutras, aunque un elemento clave fue la descripción de las glumas de las espiguillas en las dos especies, considerada como una estructura en la que el humano no interviene en su modificación. El resultado fue una nueva división que produjo dos secciones: *Luxuriantes* y *Zea* (Doebley e Iltis, 1980; Doebley, 2003).

*Zea mays* agrupa cuatro subespecies:

*Zea mays* L. ssp. *huehuetenangensis* (Iltis & Doebley) Doebley; distribuida en la zona de San Antonio Huista, Buxup, Lupina y Tzisbaj en altitudes de 900-1650 m en Guatemala.

*Zea mays* L. ssp. *mexicana* (Schrader) Iltis, comprende las Razas Chalco del Valle de México, Mesa Central en el Bajío y Nobogame en la región sur de Chihuahua (Wilkes, 1967). Este último es el más precoz de las tres razas mencionadas.

*Zea mays* L. ssp. *parviglumis* Iltis & Doebley o raza Balsas según (Wilkes, 1967), la cual se distribuye desde la Sierra Madre del Sur, Cuenca del Balsas y Oaxaca hasta Nayarit.

*Zea mays* L. ssp. *mays*, el maíz cultivado propiamente, la cual se distribuye en casi todo el territorio nacional.

El maíz es una planta de porte robusto y de hábito anual; el tallo es simple, erecto, de elevada longitud alcanzando alturas de uno a cinco m, con pocos macollos o ramificaciones, su aspecto recuerda al de una caña de azúcar por la presencia de nudos y entrenudos y su médula esponjosa. Las hojas nacen en los nudos de manera alterna a lo largo del tallo; se encuentran abrazadas al tallo mediante la vaina que envuelve el entrenudo y cubre la yema floral, de tamaño y ancho variable. Las raíces primarias son fibrosas presentando además raíces adventicias, que nacen en los primeros nudos por encima de la superficie del suelo, ambas tienen la misión de mantener a la planta erecta (Jugenheimer, 1988). Es una planta monoica de flores unisexuales, que presenta flores masculinas y femeninas bien diferenciadas en la misma planta: la inflorescencia masculina es terminal, se conoce como panícula (o espiga) consta de un eje central o raquis y ramas laterales; a lo largo del eje central se distribuyen los pares de espiguillas de forma polística y en las ramas con arreglo dístico y cada espiguilla está protegida por dos brácteas o glumas, que a su vez contienen en forma apareada las flores estaminadas; en cada florecilla componente de la panícula hay tres estambres donde se desarrollan los granos de polen. La coloración de la panícula está en función de la tonalidad de las glumas y anteras, que pueden ser de coloración verde, amarilla, rojiza o morada. Las inflorescencias femeninas (mazorcas) se localizan en las yemas axilares de las hojas, son espigas de forma cilíndrica que consisten de un raquis central u olote donde se insertan las espiguillas por pares, cada espiguilla con dos flores pistiladas una fértil y otra abortiva, estas flores se arreglan en hileras paralelas, las flores pistiladas tienen un ovario único con un pedicelo unido al raquis, un estilo muy largo con propiedades estigmáticas donde germina el polen, la inflorescencia femenina (mazorca) puede formar alrededor de 400 a 1000 granos arreglados en promedio de ocho a 24 hileras por mazorca; todo

esto encerrado en numerosas brácteas o vainas de las hojas (totomoxtle), los estilos largos saliendo de la punta del raquis como una masa de hilo sedoso se conocen como pelo de elote; el jilote es el elote tierno. Por las características mencionadas, el maíz es una planta de polinización abierta (anemófila) propensa al cruzamiento, la gran mayoría de los granos de polen viajan de 100 a 1000 m (Reyes, 1990; Jugenheimer, 1988), en la mazorca cada grano o semilla es un fruto independiente llamado cariósipide que está insertado en el raquis cilíndrico u olote; la cantidad de grano producido por mazorca está limitada por el número de granos por hilera y de hileras por mazorca. Como cualquier otro cereal, las estructuras que constituyen el grano del maíz (pericarpio, endospermo y embrión) le confieren propiedades físicas y químicas (color, textura, tamaño, etc.) que han sido importantes en la selección del grano como alimento.

### **1.2.2 Origen del maíz**

El debate sobre el origen del maíz todavía continúa y comprender ese problema no es solo de interés meramente académico. Es importante para promover programas agresivos de mejoramiento y para la transferencia de caracteres deseables de especies silvestres afines y cultivares locales en la evolución y el continuo mejoramiento del maíz. Hay varios artículos que revisan y discuten el origen del maíz, el teocintle es considerado el ancestro directo del maíz actual, y según las últimas evidencias arqueológicas, el origen del maíz data de 8,700 años antes de nuestra era, en la región de Iguala en el estado de Guerrero, en la localidad de Tlaxmalac (Ranere *et al.*, 2009, Piperno *et al.*, 2009).

La hipótesis de que el maíz fue domesticado de un maíz silvestre es parte de la teoría tripartita (Mangelsdorf y Reeves, 1939). La teoría del “anfidiplóide” propuesta por Anderson (1945) postula que un maíz primitivo se originó en el sureste de Asia mediante la hibridación y duplicación genómica de dos especies cada una con cinco pares de cromosomas, tales como *Coix* y *Sorghum*. Andres, 1950, después de que descubrió en Argentina una forma débil de un maíz tunicado llamado “semivestidos”, sugirió que este tipo de maíz fue el ancestro del

maíz moderno. Finalmente Singleton, 1951, sugirió que el mutante denominado “corn grass” puede mostrar algunos de los caracteres primitivos de tipo ancestral. Goodman, 1965, después de haber revisado ampliamente las teorías en curso sobre el origen del maíz, concluyó que “hasta que se conozca más acerca de las relaciones de la genética y morfología entre las Maydeae americanas y orientales, y las Andropogoneae, escribir una historia de la evolución del maíz y/o sus parientes continuará siendo semejante a un intento por completar un rompecabezas con las tres cuartas partes de sus piezas ausentes”. Parece que desde cuando se escribió esta conclusión, muchas piezas del rompecabezas han sido encontradas, aunque no significa que el panorama final ha sido completado. Sin embargo, después de dos décadas Goodman, 1988, hace una nueva revisión de la literatura sobre la historia y evolución del maíz y aún encuentra que a pesar de muchos estudios hechos y propuestas de teorías hasta entonces, todavía no existe consenso acerca de cómo y dónde ocurrió el origen y evolución temprana del maíz. El único avance real que ha ocurrido en ese lapso de tiempo ha sido el llegar a un gran consenso de que el teocintle y, en especial el teocintle anual mexicano, es el ancestro del maíz cultivado.

*Zea mays*, comúnmente llamado maíz, choclo, millo o elote, es una planta gramínea anual originaria de América introducida en Europa en el siglo XVI. Actualmente, es el cereal con mayor volumen de producción en el mundo, superando al trigo y al arroz (FAO, 2006).

El centro de origen para *Zea mays* subsp. *mays* comprende la región de Mesoamérica, localizada entre el centro y sur de México hasta América Central. El origen del maíz no ha sido sencillo de rastrear. La mazorca es única entre los cereales y de ahí que la dilucidación de su origen haya sido un gran desafío científico. Existen varias teorías que explican el posible origen del maíz; la teoría del teocintle como ancestro del maíz, teoría tripartita, teoría *Tripsacum-diploperennis*, teoría de la transmutación sexual catastrófica, teoría multicéntrica del origen del maíz y la teoría unicéntrica del origen del maíz; sin embargo, solamente tres de ellas han sido las más debatidas por los diferentes

investigadores seguidores sobre el origen de este cereal, y hoy en día es la más aceptada la teoría del teocintle como ancestro del maíz (Kato, 2009).

Dos importantes descubrimientos han ayudado a reformular el entendimiento de la domesticación y la dispersión temprana del maíz. El primero es la acumulación de evidencia genética que el maíz ha surgido de un teocinte anual (*Zea mays ssp. parviglumis*), que se encuentra actualmente en la región del Río Balsas al oeste de México (Matsuoka *et al.*, 2002). El segundo, los resultados que se han generado por espectrometría de masas por acelerador (AMS), en la dotación de Carbono-14 de muy pequeños fragmentos de maíz, determinando una confiable cronología para la comparecencia inicial y eventual de la dispersión del maíz (Staller *et al.*, 2006).

Recientemente se ha puesto atención en estudios biológicos y arqueológicos que han estado aportando nuevos lineamientos para poder concluir cuando, por qué y cómo el maíz se distribuyó de su centro de origen a nuevas regiones mucho más allá de su zona de domesticación inicial, la teoría del origen del maíz más aceptada data de los experimentos de cruza hechas por el Profesor Pandurang en México aproximadamente en 1930 al cruzar "Teozintle" (*Zea Mays spp mexicana*) con maíz y producir una mazorca muy parecida al actual maíz (Márquez, 2008). Aunque se tienen evidencias arqueológicas de registros de maíz en todo el Continente Americano, se considera a México como el centro de diversidad de la especie pues las evidencias arqueológicas más antiguas las ubican en México antes de la llegada de los europeos (Kato y col., 2009).

El centro geográfico de origen y dispersión se ubica en el Municipio de Coxcatlán en el valle de Tehucán, Estado de Puebla, en la denominada Mesa Central de México a 2.500 m sobre el nivel del mar; en este lugar el antropólogo norteamericano Richard Stockton MacNeish encontró restos arqueológicos de plantas de maíz que, se estima, datan del 7.000 a. C. Teniendo en cuenta que ahí estuvo el centro de la civilización Azteca es lógico concluir que el maíz constituyó para los primitivos habitantes una fuente importante de alimentación. Aun, se pueden observar en las galerías de las pirámides (que todavía se conservan) pinturas, grabados y esculturas que representan al maíz. Las grandes



civilizaciones mesoamericanas no habrían surgido sin la agricultura, y sin un sistema de medición del tiempo que organizaba sus actividades cotidianas y rituales de los pueblos mesoamericanos. El calendario determinaba los momentos en que se cultivaba, se comerciaba o se hacía la guerra y también decía el destino de los seres humanos, aunque se ha dicho y escrito mucho acerca del origen del maíz, todavía hay discrepancias respecto a los detalles de su origen. Generalmente se considera que el maíz fue una de las primeras plantas cultivadas por los agricultores hace entre 7 000 y 10 000 años. La evidencia más antigua del maíz como alimento humano proviene de algunos lugares arqueológicos en México donde algunas pequeñas mazorcas de maíz estimadas en más de 5 000 años de antigüedad fueron encontradas en cuevas de los habitantes primitivos (Wilkes, 1979, 1985). Las varias teorías relacionadas con el centro de origen del maíz se pueden resumir en la siguiente forma:

#### **1.2.2.1 Origen Asiático**

El maíz se habría originado en Asia, en la región del Himalaya, producto de un cruzamiento entre *Coix* spp. y algunas *Andropogóneas*, probablemente especies de *Sorghum*, ambos parentales con cinco pares de cromosomas (Anderson, 1945). Esta teoría no ha tenido un gran apoyo y se reconoce es uno de los cultivos alimenticios que se originaron en el Nuevo Mundo. Sin embargo, la teoría de que el maíz es un anfidiplóide está ganando terreno a partir de estudios citológicos y con marcadores moleculares.

#### **1.2.2.2 Origen andino**

El maíz se habría originado en los altos Andes de Bolivia, Ecuador y Perú (Mangelsdorf y Reeves, 1959). La principal justificación para esta hipótesis fue la presencia de maíz reventón en América del Sur y la amplia diversidad genética presente en los maíces andinos, especialmente en las zonas altas de Perú. Una seria objeción a esta hipótesis es que no se conoce ningún pariente salvaje del maíz, incluyendo teosinte, en esa región (Wilkes, 1989). En los últimos años, Mangelsdorf descartó la hipótesis del origen andino.

### **1.2.2.3 Origen mexicano**

Muchos investigadores creen que el maíz se habría originado en México donde el maíz y el teosinte han coexistido desde la antigüedad y donde ambas especies presentan una diversidad muy amplia (Wheatherwax, 1955; Iltis, 1983; Galinat, 1988; Wilkes, 1989). El hallazgo de polen fósil y de mazorcas de maíz en cuevas en zonas arqueológicas apoya seriamente la posición de que el maíz se había originado en México.

### **1.2.2.4 Origen del maíz tunicado**

Mangelsdorf defendió la hipótesis de que el maíz se originó de una forma silvestre de maíz tunicado en las tierras bajas de América del Sur: propuso que el teosinte era un híbrido natural de *Zea* y *Tripsacum* (Mangelsdorf, 1947, 1952, 1974; Mangelsdorf y Reeves, 1939, 1959). Aunque finalmente Mangelsdorf descartó esta hipótesis, la misma generó y estimuló gran cantidad de investigación. En los últimos tiempos la hipótesis de participación de las tres especies, maíz tunicado, teosinte y *Tripsacum* fue rechazada al no estar apoyada por datos citotaxonómicos y citogenéticos del maíz y del teosinte.

### **1.2.2.5 Origen del maíz silvestre**

El maíz se originó de una antigua forma salvaje de maíz nativo, ahora extinta, en las alturas de México o Guatemala (Weatherwax, 1954, 1955; Mangelsdorf 1974). Randolph, 1959, sugirió que los ancestros del maíz cultivado eran alguna forma de maíz silvestre. El maíz primitivo, el teosinte y *Tripsacum* divergían entre ellos muchos miles de años antes de que el maíz silvestre evolucionara como para llegar a ser una planta cultivada. Como nunca se han encontrado el maíz silvestre o formas silvestres de plantas de maíz, esta teoría no recibe gran consideración.

### **1.2.2.6 Origen del teosinte**

El maíz deriva del teosinte a través de mutaciones y por selección natural (Longley, 1941) o fue obtenido por los primeros agricultores fitomejoradores (Beadley, 1939, 1978, 1980). Es generalmente aceptado el hecho de que el

teosinte es el antecesor silvestre y/o allegado al maíz y que ha participado directamente en el origen del maíz cultivado. La hipótesis de Beadley de que el maíz es una forma domesticada de teosinte ha encontrado considerable apoyo (Iltis, 1983; Mangelsdorf, 1986; Galinat, 1988, 1995; Goodman, 1988; Doebley, 1990).

Los granos de teosinte están encastrados en frutos de envolturas rígidas. Los componentes de esas envolturas rígidas también están presentes en el maíz, pero su desarrollo está alterado de modo tal que los granos no están encastrados como en el teosinte, sino que están expuestos en la mazorca. Doebley y Stec, 1991, 1993, Doebley *et al.*, 1990 y Dorweiler *et al.*, 1993, han identificado, descrito y mapeado genéticamente un *locus* de características cuantitativas (QTL), el *tga 1* (arquitectura de gluma teosinte 1) el cual controla esta diferencia fundamental entre maíz y teosinte. Cuando este QTL de maíz, el *tga 1*, fue transferido al teosinte, su grano no fue retenido fuertemente dentro de la cúpula y quedó parcialmente expuesto. En el experimento contrario, cuando el QTL de teosinte fue transferido al maíz, la gluma se endureció y desarrolló características similares a las del teosinte. Este descubrimiento del *tga 1* explica uno de los posibles pasos de la transformación del teosinte en maíz. Esto también ilustra el hecho de que la evolución de una nueva adaptación puede ser gobernada por un *locus* simple y que esa evolución puede ocurrir en relativamente pocas etapas amplias (Orr y Coyne, 1992). Iltis y Doebley, 1980, sugirieron que el maíz y el teosinte son dos subespecies de *Zea mays*. Esta opinión, sin embargo, no es muy aceptada por los fitomejoradores del maíz aunque cuenta con el apoyo de los botánicos.

Algunos experimentados estudiosos del maíz no están de acuerdo con la teoría de la evolución del teosinte a maíz y creen que el maíz se originó de antiguas formas de maíz silvestre (Mangelsdorf, 1986; Wilkes, 1985, 1989). Wilkes, 1979 y Wilkes y Goodman, 1995, han resumido en forma de diagrama varios modelos probables para el origen del maíz. Estos son: i) evolución vertical del maíz moderno a partir de maíz silvestre; ii) progresión de teosinte a maíz; iii) separación del maíz y el teosinte, originados ambos en un ancestro común, habiéndose separado durante el proceso evolutivo; y, iv) hibridación, habiéndose originado el maíz como un híbrido entre teosinte y una gramínea desconocida. Los últimos informes indican

que la naturaleza anfidiplóide o tetraplóide del cariotipo del maíz agrega un elemento más al enigma del origen del maíz.

Ya sea que el maíz se haya originado del teosinte o que el teosinte y el maíz se originaron separadamente, hay un hecho indiscutido y es que el germoplasma del teosinte ha introgrado extensivamente en el del maíz durante su evolución y domesticación en México. A partir de las evidencias disponibles es posible concluir que el origen del maíz involucró la mutación de varios *loci* importantes en las formas antiguas de teosinte y de ahí esos genes se trasladaron a estructuras genéticas favorables bajo el efecto de numerosos *loci* menores (Galinat, 1988; Doebley, 1994), la notable transformación de una gramínea maleza a planta altamente productiva con una mazorca llena de granos comestibles y en tan corto tiempo, ya sea por selección natural o con la participación de agricultores-fitomejoradores, es sin embargo difícil de comprender.

### **1.2.3 Domesticación del maíz**

Uno de los momentos más importantes en la vida de las antiguas comunidades mayas fue, sin duda alguna, la domesticación del grano del maíz. Haber logrado dar el enorme salto de ser una planta silvestre hasta convertirse en base de la alimentación de los mayas de ayer y de hoy requirió, con toda seguridad, un gran número de años y siglos. ¿A dónde se remonta el origen del maíz? ¿Qué pruebas existen de su domesticación y uso intensivo? El presente apartado intenta dar respuesta a éstas y otras interrogantes, quizá sea de todos conocida la idea de que el hombre y la mujeres que vivieron originalmente las tierras de lo que hoy llamamos América provengan de África. En su paso incansable, las personas han caminado a lo largo de los siglos; de ese modo fueron surcando las praderas y el borde de los ríos, empinándose por las altas cordilleras y rodeándolas; de ese modo, caminando y caminando, llegaron a lo que hoy se conoce como el Estrecho de Bering, que para ese entonces, debido a los cambios climáticos, se encontraba unido por bloques de hielo a través de los cuales los hombres y mujeres de aquel entonces se introdujeron a nuestro territorio americano. Sin detenerse más que lo necesario, las personas vivían de la caza y la recolección de frutos y raíces para

alimentarse, cazaban animales salvajes y pescaban en ríos y lagunas. Los arqueólogos han encontrado evidencias de huesos humanos que demuestran que ya estaban viviendo hace 30 mil años al norte de América, 25 mil en lo que hoy es México, 20 mil en el Perú, 15 mil en Chile y 10 mil en Patagonia. Sin embargo, se tienen datos de un cambio de vida en las comunidades originarias de estas tierras desde aproximadamente ocho mil años antes de Cristo, en este lento y paulatino cambio, descubrieron una planta que ahora conocemos y apreciamos: el maíz. Era una planta que sólo crecía en estado silvestre y su fruto no era más grande que el dedo pequeño de la mano. El origen de esta planta se remonta al Valle de Tehuacán, Puebla: el descubrimiento en el año de 1961, de una pequeña mazorca de maíz, que, después de estudiarla, se ha fechado siete mil años antes de Cristo, aproximadamente. Algunos grupos indígenas la dominan “madre del maíz”. “Fue encontrada en una capa de tierra que cubría el piso de una cueva que la gente utilizaba como refugio. Los habitantes de esa caverna deben haber comido aquellos primeros elotitos junto con otras hierbas y plantas, algunas frutas, caracoles de río y carne de pescado y animal silvestre, en tierras mayas, el descubrimiento más temprano de restos de maíz comestible se hizo en la orilla del lago de Petenxil, en Guatemala. Por eso sabemos que nuestros antepasados lo cultivaban seguramente a partir de 3,000 años antes de Cristo” (DE VOS J., 2001). Pero, ¿cuál es el origen de esta planta? ¿Cómo llegó hasta esta tierra? Las únicas respuestas se remontan a los mitos cosmogónicos o de la creación entre los mayas. Ellos recrean y explican lo que no tiene explicación, o aquello que no se sabe cómo explicarlo; en los mitos indígenas y, por consiguiente, entre los mitos mayas, se entremezclan diversos personajes. Dioses y animales, ya sea cuadrúpedos o aves, se unen para sacar adelante la empresa de la creación del cosmos y de todo cuanto existe sobre la faz de la tierra, por debajo de ella y lo que hay en ella. Tal es el caso del maíz, este cereal que logró, de alguna manera, la formación de grandes reinos de la antigüedad, en el área maya existen varias fuentes que nos informan sobre el origen del maíz (Thompson J. Eric, 1970). Aunque cada región conserva sus mitos cosmogónicos en los que hay similitud; los mayas yucatecos también conservan el suyo que está registrado en los libros

del Chilam Balam de Chumayel. Dice que “el espíritu o divinidad del maíz quedó solo dentro de la gracia, término ritual adoptado por los mayas para llamar al maíz, cuando no había ni cielo ni tierra. Después fue pulverizado al final del katún porque no podía haber nacido en el primer katún. Tenía los largos bucles, es de suponer, como apunta R. Roys, que se tratara de los cabellos o barbas de elote, que suelen verse en las mejillas del dios maíz, Su divinidad le llegó al irse. Estaba oculta dentro de la piedra. En un oscuro pasaje se menciona que el guacamayo hacía algo detrás del actún, la columna de piedra. La piedra bajo la cual estaba el maíz se llama *chac ye tun*, 'gran piedra de punta', *ocontún* 'pilar de piedra', *zuhuy tun* 'piedra virgen, no contaminada'. En el juego de palabras, al maíz se le llama 'tun', que significa no sólo piedra en general, sino específicamente jade, a su vez símbolo de precioso” (Thompson J. Eric, 1970), Thompson describe un relato similar recogido entre los mayas mopanes de Belice, en el que cuentan que el maíz estaba oculto bajo una enorme roca o gran peña, y sólo las hormigas podían llegar a ellas y alimentarse del grano, por una pequeña grieta de la piedra. La zorra comió de los granos que no podían cargar las hormigas, y siguió a las hormigas hasta encontrar el lugar exacto donde se encontraba dicha semilla, pero no pudo entrar por ser muy pequeña la grieta. De vuelta con los otros animales, la zorra se echó una flatulencia y sus vientos olían tan bien, que sus compañeros quisieron saber qué había comido. Le siguieron y conocieron su secreto; les pidieron a las hormiguitas sacar más granos, pero éstas sólo podían sacar para su sustento. Pidieron ayuda a la hormiga roja y a la rata, pero tampoco pudieron. Finalmente le comunicaron al hombre el secreto de aquel maravilloso alimento, el hombre pidió ayuda a los dioses, éstos a los pájaros carpinteros para ubicar la parte más blanda de la roca y después de 12 intentos los dioses envían a un último rayo que pulveriza la piedra y libera el grano. Al principio los granos eran blancos, pero el rayo abrasó algunos granos que se volvieron rojos, ahumó a otros que se volvieron amarillos y carbonizó a otros que se volvieron negros. Los hombres más jóvenes se llevaron el maíz. Entre los mayas quichés existe un relato muy hermoso: “Los dioses hicieron de barro a los primeros mayas-quichés. Poco duraron, eran blandos, sin fuerza; se desmoronaron antes de caminar.

Luego probaron con la madera. Los muñecos de palo hablaron y anduvieron, pero eran secos; no tenían sangre ni sustancia, memoria ni rumbo. No sabían hablar con los dioses o no encontraban nada que decirles. Entonces los dioses hicieron de maíz a las madres y a los padres. Con maíz amarillo y maíz blanco amasaron su carne. Las mujeres y los hombres de maíz veían como los dioses, su mirada se extendía sobre el mundo entero. Los dioses echaron un vaho y les dejaron los ojos nublados para siempre, porque no querían que las personas vieran más allá del horizonte” (Gaelano Eduardo, 2002).

Así lo cuenta el libro sagrado del Popol Vuh. Existen otros muchos relatos mayas sobre el origen del grano (Florescano, Enrique, 1999), la mayor parte de ellos menciona a las hormigas y la piedra debajo de la cual se halla dicho grano. Los antiguos mayas no sólo quisieron explicarse el origen y la domesticación de esta planta, sino el origen mismo del cosmos y de todo cuanto existe; más aún, buscaron explicar su propio origen, la eterna e inquietante pregunta: ¿quiénes somos y de dónde venimos? Para esto último, los mayas y todos los pueblos mesoamericanos encontraron en el maíz su origen y su esencia. “La identificación del origen del maíz con el origen del cosmos, el nacimiento de los seres humanos y el comienzo de la vida civilizada expresan la importancia que estos pueblos le atribuyeron a la domesticación de esta planta” (Florescano, Enrique, 1999).

#### **1.2.4 Diversidad del maíz**

El cultivo del maíz en México se hace actualmente en un amplio rango de altitud y variación climática, desde el nivel del mar hasta los 3,400 msnm. Se siembra en zonas tórridas con escasa precipitación, en regiones templadas, en las faldas de las altas montañas, en ambientes muy cálidos y húmedos, en escaso suelo, en pronunciadas laderas o en amplios valles fértiles, en diferentes épocas del año y bajo múltiples sistemas de manejo y desarrollo tecnológico (CONABIO, 2011, Hernández X., 1985b). A esta gran diversidad de ambientes, los agricultores, indígenas o mestizos, mediante su conocimiento y habilidad, han logrado adaptar y mantener una extensa diversidad de maíces nativos (Muñoz 2003, Márquez, 2007).

El maíz como cultivo es un sistema dinámico y continuo. Su polinización es libre y hay movimiento o flujo de semilla por los agricultores año con año al mantener, intercambiar y experimentar con semilla propia o de otros vecinos de la misma localidad o de regiones distantes. A diferencia de las plantas silvestres, esto dificulta la distinción de unidades discretas para clasificar su diversidad. Una aproximación a su estudio y entendimiento ha sido seleccionar en este continuo las principales unidades (tipos o formas) que le caracterizan y a las que se han denominado razas, el término raza se ha utilizado en el maíz y en las plantas cultivadas para agrupar individuos o poblaciones que comparten características en común, de orden morfológico, ecológico, genético y de historia de cultivo, que permiten diferenciarlas como grupo (Anderson y Cutler, 1942, Harlan y de Wet, 1971, Hernández y Alanís, 1970). Las razas se agrupan a su vez en grupos o complejos raciales, los cuales se asocian a una distribución geográfica y climática más o menos definida y a una historia evolutiva común (Goodman y McK. Bird, 1977, McK. Bird y Goodman, 1977, Ruíz *et al.* 2008, Sánchez, 1989, Sánchez *et al.*, 2000). El concepto y la categoría de raza es de gran utilidad como sistema de referencia rápido para comprender la variación de maíz, para organizar el material en las colecciones de bancos de germoplasma y para su uso en el mejoramiento (McClintock, 1981, Wellhausen, 1988), así como para describir la diversidad a nivel de paisaje (Perales y Golicher, 2011). Sin embargo, cada raza puede comprender numerosas variantes diferenciadas en formas de mazorca, color y textura de grano, adaptaciones y diversidad genética.

Las razas se nombran a partir de distintas características fenotípicas (Cónico, por la forma de la mazorca), tipo de grano (Reventador, por la capacidad del grano para explotar y producir palomitas), por el lugar o región donde inicialmente fueron colectadas o son relevantes (Tuxpeño de Tuxpam, Veracruz; Chalqueño, típico del Valle de Chalco) o por el nombre con que son conocidas por los grupos indígenas o mestizos que las cultivan (Zapalote Chico en el Istmo de Oaxaca o Apachito en la Sierra Tarahumara) (McClintock 1981, Wellhausen *et al.*, 1951).

En América Latina se han descrito cerca de 220 razas de maíz (Goodman y McK. Bird, 1977), de las cuales 64 (29%) se han identificado, y descrito en su mayoría,



para México (Anderson, 1946, Wellhausen *et al.*, 1951, Hernández y Alanís, 1970, Ortega, 1986, Sánchez, 1989, Sánchez *et al.*, 2000).

En México encontramos una gran diversidad de maíces que se han venido ampliando, gracias a la variación de condiciones ambientales y la multiplicidad de culturas asociadas a su cultivo. Sin embargo, el noroeste de México, particularmente el estado de Sinaloa existen muy pocos trabajos de este tipo (Castro *et al.*, 2006, Chávez-Ontiveros, *et al.*, 2007).

De las 64 razas que se reportan para México, 59 se pueden considerar nativas y 5 que fueron descritas inicialmente en otras regiones (Cubano Amarillo, del Caribe, y cuatro razas de Guatemala Nal Tel de Altura, Serrano, Negro de Chimaltenango y Quicheño), pero que también se han colectado o reportado en el país, las razas de maíz de México se han agrupado, con base en caracteres morfológicos, de adaptación y genéticos (isoenzimas) en siete grupos o complejos raciales (Goodman y Mck Bird, 1977, Ruíz *et al.*, 2008, Sánchez *et al.*, 2000).

Palacios *et al.*, 2008, reportaron que de 152 colectas de maíz que realizaron en 15 de los 18 municipios del estado de Sinaloa, estas pertenecen principalmente a nueve razas, las cuales son: Tabloncillo, Tuxpeño, Elotero de Sinaloa, Tabloncillo Perla, Blando de Sonora, Reventador, Vandeño, Onaveño y Jala (Figura 39). Lo anterior, indica que en Sinaloa, persisten maíces nativos de la mayoría de las razas reportadas en los antecedentes de investigación, pero en algunas razas la frecuencia es demasiado baja como es el caso de las razas Reventador, Onaveño y Vandeño, y en otras, están prácticamente desaparecidas, como es el caso de las razas Chapalote, Dulcillo y Bofo (Palacios *et al.*, 2008).

Se puede confirmar que en el estado de Sinaloa existen también la raza Chapalote y Dulcillo del Noroeste; colectadas y conservadas (*in situ* y *ex situ*) en investigaciones realizadas en la Universidad Autónoma de Sinaloa, aunque no se encuentren en el último reporte de la diversidad racial de maíz en Sinaloa (Palacios *et al.*, 2008).

### **1.2.5 Maíz criollo**

El termino “Maíz criollo” es un término campesino que comúnmente se utiliza para denotar que es un material nativo de la comunidad, región, estado o país y que se diferencia de un material extranjero, un maíz híbrido o una variedad mejorada. Está conformado por una población heterogénea de plantas, las cuales son diferenciadas por los agricultores por su color, textura, forma de grano, forma de la mazorca, ciclo del cultivo, y uso. Asimismo, son materiales que han sido formados por los agricultores y durante muchos años, mediante una selección empírica, y lo conservan y lo mejoran año con año en un complejo sistema de intercambio de semillas y genes (Aragón *et al.*, 2005).

El término “criollo” surgió desde la conquista de América por los españoles, este se utilizó para nombrar a los hijos de españoles que nacían en América (Wikipedia, 2012). Lo anterior ha llevado a grandes confusiones y discusiones sobre el hecho de que a los maíces no se les debe nombrar como criollos, sino que se debe utilizar el término “nativo”, ya que este se aplica mejor porque hace referencia a pertenencia al lugar donde se encuentre, nosotros no vamos a entrar en detalle sobre este aspecto ya que sería dedicarle tiempo que no requiere y que se puede utilizar en cosas más importantes, además los campesinos que cultivan estos maíces los van a seguir llamando criollos porque es el término que conocen es lo que les enseñaron sus antepasados y no van a cambiar de idea nada más porque les digamos que no es correcto, por lo tanto nosotros manejaremos el termino como nativo y/o criollo.

En México, no obstante la gran inversión y los muchos años de influencia del mejoramiento formal e introducción masiva de variedades mejoradas de maíz, los agricultores de pequeña escala siguen cultivando las variedades de maíz criollo que les permiten atender la demanda de los mercados especializados, donde su producción adquiere mayor valor y mejor precio, México es el centro del origen y diversidad del maíz. Es reconocido que los productores conservan la diversidad del cultivo por razones sociales, económicas, culturales y cuando las variedades locales muestran un comportamiento agronómico superior al de las mejoradas (Bellon, 2004).

A pesar de los varios decenios de mejoramiento formal y promoción de las variedades resultantes, gran parte de los productores mexicanos sigue sembrando las variedades locales de maíz. Si bien la ineficiencia de las cadenas de semilla explica en parte la no adopción del maíz mejorado, también es cierto que los productores toman la decisión deliberada de seguir sembrando los materiales criollos, hay evidencias del porqué de esta persistencia, que en parte se debe a que existen mercados especializados de maíz que exigen características que solo los maíces criollos poseen (Keleman y Hellin, 2009). Los defensores de la conservación de la agrobiodiversidad han resaltado los posibles vínculos entre las variedades criollas de los agricultores, los mercados agrícolas y las mejores condiciones de vida.

Sin embargo, acceder a estos mercados tiene un costo para los productores porque, como sucede en todos los lugares, la participación en sí implica costos de transacción. Estos incluyen la búsqueda de información, las negociaciones, la puesta en vigor y el monitoreo de los acuerdos. Además, dichos costos se generan cuando los bienes se movilizan a lo largo de la cadena de valor, al ser producidos, procesados y distribuidos. Para realizar la investigación descrita en este documento, se efectuó un trabajo de campo cualitativo, complementado con una revisión bibliográfica y el análisis de datos secundarios (Keleman y otros, 2013).

El centro de origen para *Zea mays* subsp. *mays* comprende la región de Mesoamérica, localizada entre el centro y sur de México hasta América Central. Existen muchos esfuerzos por parte de arqueólogos, botánicos, lingüistas, antropólogos, entre otros, por descifrar su origen, evolución y dispersión. Los restos arqueobotánicos de maíz que se han descubierto en cuevas del Valle de Tehuacán, se calcula que tienen una antigüedad de entre 4500 a 7000 años. Asimismo, se han encontrado en la cueva de Guilá Naquitz en los valles centrales de Oaxaca restos con una antigüedad de 6200 años aproximadamente (Benz, 2001; Piperno & Flannery, 2001). Por otra parte en el Noroeste de México, norte de Sinaloa y suroeste de Estados Unidos, los restos arqueológicos denotan una

antigüedad aproximada de 4500 años (Carpenter *et al.*, 2005; Carpenter *com pers.*, 2006)

Aunque el período exacto de domesticación y los ancestros de los cuales surgió el maíz no son concluyentes. Se cree que hacia el año 3000 a.c. la domesticación de las plantas en el centro-sur de México era total y que la introducción del maíz al noroeste de México y el suroeste de E.U. puede atribuirse a la dispersión de grupos hablantes yuto-azteca que ocurrió durante los primeros siglos inmediatamente después del periodo Altitermal (Holoceno Medio), aproximadamente 1500 años después de su domesticación inicial (Carpenter *et al.*, 2005; Carpenter *com. pers.*, 2006).

Hellin y Bellon, 2007, comentan que las prácticas tradicionales de manejo de las semillas de maíz incluyen el uso de las que proceden de la última cosecha o que se obtienen de familiares o amigos. Por ello, resulta importante conocer el papel que juega el agricultor en la selección, manejo y almacenamiento de la semilla a través de variables como: rendimiento, facilidad de manejo y sabor. A su vez, es una característica común entre los agricultores tener más de una variedad local de un mismo sistema de cultivo, lo cual no es exclusivo del maíz. Esta es una manera de lidiar con el estrés y los altos riesgos que implica la producción agrícola en ambientes marginales.

Entre las características físicas que determinan el uso de semillas criollas se puede señalar a que este tipo de especies poseen mejores capacidades de adaptación tanto a sequías, suelos pobres y condiciones climáticas extremas incluso son más resistentes a plagas (Perales *et al.*, 2003). Otro aspecto que favorece la diversidad del maíz es la existencia de platillos tradicionales como pozole, tamales y pinoles que en cada región del país usan diferente tipo de maíz que determinan la selección de una variedad de maíz según sus condiciones de sabor y vista.

Otros autores, (Soleri *et al.*, 2006, Perales *et al.*, 2005) encuentran que las variedades criollas de maíz requieren menos agroquímicos a diferencia de las semillas mejoradas e híbridas ya que gran parte de su rentabilidad se explica por el uso de los mismos. Los productores de maíz que usan variedades criollas son

más intensivos en mano de obra y menos intensivos en agroquímicos y maquinaria situación que prevalece en productores con características indígenas, después de largos años de uso de semilla híbrida, muchas de las variedades de maíces criollos y “nativos” han desaparecido. Sin embargo, una cantidad importante de pequeños productores en distintas zonas del país han logrado conservarlas hasta el día de hoy.

En particular, la diversidad de las poblaciones de maíz ha sido objeto de una intensa investigación, debido a la preocupación de que la adopción generalizada de variedades mejoradas está causando la pérdida de la diversidad del maíz presente en las variedades locales (van Heerwaarden *et al.*, 2009).

También existe evidencia de que incluso los agricultores que han adoptado variedades mejoradas siguen manteniendo las variedades locales debido a su resistencia superior en ambientes marginales (Kelemen *et al.*, 2009 , los requisitos de aportes menores de nitrógeno) (Kelemen *et al.*, 2009 y Bellon y Hellín, 2011), comparativamente bajo costo de la semilla (Almekinders *et al.*, 1994) una mejor resistencia a la pudrición (Almekinders *et al.*, 1994 y Bellon *et al.*, 2006), y las características culinarias superiores (Bellon y Hellín, 2011 y Isakson, 2011) en comparación con la mejora variedades. El mantenimiento de la diversidad del maíz en la granja (*in situ*) es, pues, de interés tanto a nivel local para uso de los agricultores y en el mundo-como reservorio de diversidad genética para un posible uso futuro (Ceroni *et al.*, 2007, Isakson, 2011 y Newton *et al.*, 2010), las variedades criollas de que se dispone son: Cuarenteño, Cuarentón, Diente de Caballo, Catete blanco y amarillo, Borra de Vino (también llamado Corazón de Indio), Copetín rojo chico y Arco Iris o Guaraní.

El maíz mexicano evolucionó a partir de una planta silvestre, la importancia del estudio de los registros arqueológicos son la mejor fuente para reconstruir su filogenia. Sin embargo, la historia del maíz mexicano sigue siendo un misterio. (Benz B. F., 1997), se han documentado alrededor de 35 razas, las cuales tienen diferentes características de acuerdo a su tamaño de la planta, la mazorca y el tipo de grano. Esta gran variedad ha facilitado que los usos culinarios se adecuen a las características de los mismos.

### **1.2.6 Híbridos**

Como alternativa a la escasa calidad y baja producción del maíz, en los últimos años y en diversos países se ha trabajado con los llamados “maíces de calidad proteínica” (o QPM, del inglés *quality protein maize*). Estos trabajos, encabezados por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), se han conducido desde 1996 en México, en colaboración con el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP). En este tiempo se han generado, evaluado e incrementado semillas de híbridos y variedades de maíz con alta calidad de proteína, el grano de los maíces de calidad proteínica tiene 100 por ciento más lisina y triptofano que el de los maíces comunes; de acuerdo con Bressani, 1994, la calidad de la proteína de los maíces de calidad proteínica es similar a la de la leche. El aprovechamiento de los maíces de calidad proteínica en la alimentación humana es de 90 por ciento, mientras que con los maíces comunes sólo se aprovecha el 39 por ciento (Sierra y colaboradores, 2001), estos maíces de calidad proteínica también pueden utilizarse en la alimentación animal, en aves y cerdos, donde se ha encontrado que se necesita menor cantidad de alimento para incrementar un kilogramo de peso, si se lograra aumentar el consumo de los maíces de calidad proteínica en la población, especialmente la rural, se podría mejorar el nivel nutricional en México, de manera especial en niños, madres, lactantes y ancianos. Lo anterior requiere del convencimiento de autoridades a distintos niveles de decisión, así como de la coordinación de instituciones municipales, estatales y federales.

### 1.2.7 Literatura citada

Anderson, E. 1945. What is *Zea mays*? A report of progress. *Chron. Bot.*, 9: 88-92.

Anderson, E. 1946. Maize in Mexico. A preliminary survey. *Annals of Missouri Botanical Garden* 33: 147-247.

Anderson, E. y H. C. Cutler. 1942. Races of *Zea mays* I. Their recognition and classification. *Annals of Missouri Botanical Garden* 29:69-88.

Aira, M., Monroy, F., Dominguez, J. 2006a. Changes in microbial biomass and microbial activity of pig slurry after the transit through the gut of the earthworm *Eudrilus eugeniae*. *Biology and Fertility of Soils* 42:371-376.

Almekinders CJM, Louwaars NP, DeBruijn GH. Sistemas de semillas locales y su importancia para el suministro de semillas mejoradas en los países en desarrollo. *Euphytica*, 78 (1994), pp 207-216.

Aragón, C. F., Taba S., Hernández C. J. M., Figueroa C. J. D., Serrato A. V. 2005. Actualización de la información sobre los maíces criollos de Oaxaca. Proyecto CONABIO CS-002. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Disponible [En Línea] en:  
<http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/InfCS002.pdf>

Beadle, G.W. 1939. Teosinte and the origin of maize. *J. Hered.*, 30: 245-247.

Beadle, G.W. 1978. Teosinte and the origin of maize. In D.B. Walden, ed. *Maize breeding and genetics*, p. 113-128. New York, NY, USA, J. Wiley & Sons.

Beadle, G.W. 1980. The ancestry of corn. *Sci. Am.*, 242: 112-119.

- Bellon, M. R. 2004. Conceptualizing interventions to support on-farm genetic resource conservation. *World Development* 32(1): 159-172.
- Bellon M. R., Adato M, Becerril J, Mindek D. 2006. Perciben los beneficios de los agricultores pobres de los diferentes tipos de germoplasma de maíz: el caso de criollización en las tierras bajas de México tropical. *Dev. Mundial.*, 34 (2006), pp 113-129.
- Bellon M. R. y Hellin J. 2011. La plantación de híbridos, manteniendo las variedades locales: modernización de la agricultura y la tradición entre los productores de maíz a pequeña escala en Chiapas, México. *Dev. Mundial.*, 39 (2011), pp 1434-1443.
- Benz, B. F. 1997. Diversidad y distribución prehispánica del maíz mexicano. *Arqueología mexicana* 5(25):17-23.
- Benz, B. F. 2001. Archaeological evidence of teosinte domestication from Guilá Naquitz. *PNAS* 98 (4): 2104-2106
- Bressani, R. (1994), "Opaque 2 corn in human nutrition and utilization", en *Quality protein maize: 1964-1994. Proc. Of the international symposium on quality protein maize*, Embrapa/cnpms, Sete Lagoas MG Brasil, diciembre 1-3, págs. 41-63.
- Carpenter J., Sánchez G. & E. Villalpando 2005. The Late Archaic/Early Agricultural Period in Sonora, Mexico. *New Perspective on the Late Archaic Across the Borderlands*. University of Texas Press, Austin. pp. 3-40
- Carpenter S. J. 2006. Reflexiones sobre el maíz prehispánico en Sinaloa y Sonora. Comunicación personal.
- Castro, VI., Sánchez-Peña, P., Garzón-Tiznado, J. A., Velarde, F. S., Hernández-Verdugo, S., Inzunza-Castro, J. F., Sánchez, P. J. 2006. Caracterización



fenotípica e identificación de transgenes en poblaciones de maíces (*Zea mays* L.) criollos del estado de Sinaloa. Memorias del Congreso Mexicano de la Sociedad Científica Mexicana de Ecología, 26-29 de noviembre, Morelia, Michoacán, México.

Ceroni M., Liu S., Costanza R. 2007. Papeles ecológicos y económicos de la biodiversidad en los agroecosistemas. DI Jarvis, C. Padoch, HD Cooper (Eds.), Manejo de la Biodiversidad en Sistemas Agrícolas, Columbia University Press, Nueva York, NY (2007), pp 338-361.

Chávez-Ontiveros, J., Méndez-Marroquín, K. P., Pineda-Hidalgo, K. V., López-Orozco, L., Sánchez-Peña, P., Garzón-Tiznado, J. A., López-Valenzuela, J. A. 2007. Análisis de diversidad genética de maíces nativos del estado de Sinaloa. Resúmenes de VII congreso del noroeste, segundo nacional en ciencias alimentarias y biotecnología. Hermosillo, Son. Mex.

CONABIO. 2011. Base de datos del proyecto global "Recopilación, generación, actualización y análisis de información acerca de la diversidad genética de maíces y sus parientes silvestres en México". Octubre de 2010. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D. F. <http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/proyectoMaices.html>

DE VOS J., "Nuestra raíz", Editorial Clío. México 2001

de Wet, J.M.J., and J.R. Harlan, and C.A. Grant. 1971. Origin and evolution of teosinte [*Zea Mexicana* (Schrad.) Kuntze]. *Euphytica* 20:255-265.

de Wet, J.M.J., D.H. Timothy, K.W. Hilu, and G.B. Fletcher. 1981. Systematics of South American *Tripsacum* (Gramineae). *Amer. J. Bot.* 68(2):269-276.

Doebley, J. 1983b. The taxonomy and evolution of *Tripsacum* and teosinte, the closest relatives of maize. *In*: D.T. Gordon, J.K. Knokke and L.R. Nault (eds). Proc. Intl. Maize Virus Disease. Colloquium and Workshop. The Ohio State. pp 15-28

Doebley, J. 1990. Molecular evidence and the evolution of maize. *Econ. Bot.*, 44: 6-27.

Doebley, J. 1994. Genetics and the morphological evolution of maize. *In* M. Freeling & V. Walbot, eds. *The maize handbook*, p. 66-77. New York, NY, USA, Springer-Verlag.

Doebley, J. y Iltis H. H. 1980. Taxonomy of *Zea* (Gramineae). I. A subgeneric classification with key to taxa. *Amer. J. Bot.* 67(6): 982-993.

Doebley, J. & Stec, A. 1991. Genetic analysis of the morphological differences between maize and teosinte. *Genetics*, 129: 285-295.

Doebley, J. & Stec, A. 1993. Inheritance of the morphological differences between maize and teosinte: comparison of results for two F2 populations. *Genetics*, 134: 559-570.

Doebley, J.F. 2003. The Taxonomy of *Zea*. <http://teosinte.wisc.edu/taxonomy.html>

Dorweiler, J., Stec, A., Kermicle, J. & Doebley, J. 1993. Teosinte glume architecture 1: a genetic locus controlling a key step in maize evolution. *Science*, 262: 233-235.

FAO: producción mundial del maíz en 2006

Florescano, Enrique, "Memoria Indígena", Editorial Taurus. México 1999

Gaelano Eduardo, "Memorias de Fuego" I. Siglo XXI. México 2002

Galinat, W.C. 1977. The origin of corn. *In*: Sprague, G. F. (ed.). *Corn and Corn Improvement*. Agronomy 18. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin. pp 1 – 47.

Galinat, W.C. 1988. The origin of corn. *In* G.F. Sprague & J.W. Dudley, eds. *Corn and corn improvement*, p. 1-31. Madison, WI, USA, American Society of Agronomy.

Galinat, W.C. 1995. El origen del maíz: el grano de la humanidad - The origin of maize: grain of humanity. *Econ. Bot.*, 49: 3-12.

Goodman, M.M. 1965. The history and origin of maize. North Carolina Agric. Expt. Sta. Tech. Bull. 170.

Goodman, M. M. y R. McK. Bird. 1977. The races of maize IV: Tentative grouping of 219 Latin American races. *Economic Botany* 31:204-221.

Goodman, M.M. 1988. The history and evolution of maize. *CRC Crit. Rev. Plant Sci.*, 7: 197-220.

Harlan, J. R. y J. M. J. de Wet. 1971. Toward a rational classification of cultivated plants. *Taxon* 20(4):509-517.

Hellin, J. y M. Bellon (2007). "Manejo de semillas y diversidad del maíz". LEISA, 23-2, Septiembre.

Hernández X., E. 1985a. Maize and man in the Greater Southwest. *Economic Botany* 39(4):416-430.

- Hernández X., E. y G. Alanís F. 1970. Estudio morfológico de cinco razas de maíz de la Sierra Madre Occidental de México: Implicaciones filogenéticas y fitogeográficas. *Agrociencia* 5 (1): 3–30.
- Illis, H.H. 1983. From teosinte to maize: the catastrophic sexual transmutation. *Science*, 222: 886-894.
- Illis, H.H & Doebley, J. 1980. Taxonomy of *Zea* (Gramineae). II. Subspecific categories in the *Zea mays* complex and a generic synopsis. *Am. J. Bot.*, 67: 994-1004.
- Isakson S. R. 2011. Aprovechamiento del mercado y la conservación de la biodiversidad de los cultivos: un análisis de los medios de vida de campesinos y la diversidad del maíz en las tierras altas de Guatemala. *Dev. Mundial.*, 39 (2011), pp 1444-1459.
- Jugenheimer, R.W. 1988. Maíz, variedades mejoradas, métodos de cultivo y producción de semillas. Limusa. México. 841p.
- Kato, T.A., C. Mapes, L.M. Mera, J.A. Serratos, y R.A. Bye. 2009. Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 116 pp. México, D.F.
- Keleman, A. y J. Hellin. 2009. Specialty maize varieties in Mexico: A case study in market-driven agrobiodiversity conservation. *Journal of Latin American Geography* 8: 147-174.

- Keleman, A., J. Hellin y D. Flores. 2013. Diverse Varieties and Diverse Markets: Scale-related “profitability cross-over” in the Central Mexican Highlands. *Human Ecology* DOI: 10.1007/s10745-013-9566-z.
- Longley, A.E. 1941. Chromosome morphology in maize and its relatives. *Bot. Rev.*, 7: 263-289.
- Mangelsdorf, P.C. 1947. The origin and evolution of maize. In M. Demerec, ed. *Advances in genetics*. I, p. 161-207. New York, NY, USA, Academic Press.
- Mangelsdorf, P.C. 1952. Hybridization in the evolution of maize. In J.W. Gowen, ed. *Heterosis*, p. 175-198. Ames, IA, Iowa State College Press.
- Mangelsdorf, P.C. 1974. *Corn, its origin, evolution and improvement*. Cambridge, MA, USA, Belknap Press, Harvard University Press.
- Mangelsdorf, P.C. 1986. The origin of corn. *Sci. Am.*, 255(2): 72-78.
- Mangelsdorf, P.C. & Reeves, R.G. 1939. The origin of Indian corn and its relatives. *Texas Agric. Exp. Sta. Bull.* 574, p. 1-315.
- Mangelsdorf, P.C. & Reeves, R.G. 1959. The origin of corn. III. Modern races, the product of teosinte introgression. *Bot. Mus. Leafl. Harv. Univ.*, 18: 389-411.
- Mangelsdorf, P.C. and W.C. Galinat. 1964. The tunicate *locus* in maize dissected and reconstituted. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 51(2):147-150.
- Márquez Sánchez, Fidel. 2008. De las Variedades Criollas de Maíz (*Zea mays*) a los Híbridos Transgénicos. I: Recolección de Germoplasma y Variedades Mejoradas. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo* 5(2):151-166

Matsuoka Y, Vigouroux Y. Goodman M, Sanchez J, Buckler E and Doebley J. (2002). *A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping*. Proceedings of the National Academy of Sciences 99: 6080-6084. Orr H and Coyne J (1992). *The genetics of adaptation – a reassessment*. AmNat., 140: 725.

McClintock, B., Kato-Y, T.A. & Blumenshein, A. 1981. *Chromosome constitution of races of maize*. Chapingo, México, Colegio de Postgraduados.

McK. Bird, R. y M. M. Goodman. 1977. The races of maize V: Grouping maize races on the basis of ear morphology. Economic Botany 31:471-481.

Morris, M. L. y M. A. López Pereira. 2000. Impactos del mejoramiento de maíz en América Latina, 1966-1997. CIMMYT. México, D.F. 45 p.

Muñoz O., A. 2003. Centli-maíz. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco. México. 210 p.

Newton A. C., Akar T., Baresel J. P., Bebeli P. J., Bettencourt E., Bladenopoulos K. W., Czembor J. H., Fasoula D. A., Katsiotis A., Koutis K., Koutsika-Sotiriou M., Kovacs G., Larsson H., Pinheiro de Carvalho M. A. A., Rubiales D., Russell J., Dos Santos T. M. M., Vaz Patto M. C. Variedades locales de cereales para la agricultura sostenible. Una revisión. Agronomía para el Desarrollo Sostenible, 30 (2) (2010), pp 237-269.

Orr, H.A. & Coyne, J.A. 1992. The genetics of adaptation - a reassessment. *Am. Nat.*, 140: 725.

Ortega P., R. 1986. Variedades y razas mexicanas de maíz y su evaluación en cruzamientos con líneas de clima templado como material de partida para

mejoramiento. Traducción al español de la tesis de doctorado abreviada. Instituto de Plantas N. I. Vavilov. Leningrado, URSS. 22 p.

Palacios, V. O., Ortega C. A., Guerrero H. M., Hernández C. J. M. y Peinado F. L. A. 2008. Proyecto FZ002. Conocimiento de la diversidad y distribución actual del maíz nativo y sus parientes silvestres en México. Componente 1: Diversidad y distribución actual de los maíces nativos en Sinaloa. CONABIO-Inifap.

Perales RH, Brush SB, Qualset CO (2003) Landraces of maize in Central Mexico: an altitudinal transect. *Econ Bot* 57:7–20

Perales, Hugo R, Bruce F. Benz, y Stephen B. Brush 2005. Maize diversity and ethnolinguistic diversity in Chiapas, Mexico.

Perales R., H. y D. Golicher. 2011. Modelos de distribución para las razas de maíz en México y propuesta de centros de diversidad. Informe técnico preparado para la CONABIO. ECOSUR. Chiapas. México. 108 p. Manuscrito.

Piperno D, Ranere A, Holst I, Iriarte J, and Dickau R (2009). *Starch grain and phytolith evidence for early ninth millennium B.P. maize from the Central Balsas River Valley, Mexico*. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 106(13): 5019–5024.

Piperno D and Flanery K (2001) *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 98, 2101-2103

Ranere A, Piperno D, Holst I, Dickau I, and Iriarte J (2009). *The cultural and chronological context of early Holocene maize and squash domestication in the Central Balsas River Valley, Mexico*. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 106(13): 5014–5018.

- Randolph, L.F. 1959. The origin of maize. *Indian J. Genet. Plant Breed*, 19: 1-12.
- Reyes C., P. 1990. El maíz y su cultivo. AGT-EDITOR S.A. México, D.F.
- Rzedowski, G. C. de J. Rzedowski y J. Rzedowski. 2001. Flora Fanerogámica del Valle de México. 2a. Ed. Instituto de Ecología, A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro, Michoacán. 14066 pp.
- Sánchez, G. J. J., Kato Y. T. A., Aguilar S. M., Hernández C. J. M., López R. A. et al. 1998. Distribución y caracterización del teocintle. Libro técnico núm. 2, cipac-inifap, Guadalajara.
- Sanchez G., J. J. 1989. Relationships among the Mexican Races o maize. Ph. D. Thesis. North Caroline State University, Department of Crop Science. Raleigh, N. C. 187 p.
- Sánchez J, J., M. M. Goodman y C. W. Stuber. 2000. Isozymatic and morphological diversity in the Races of maize of México. *Economic Botany*. 54(1): 43–59.
- Sierra M., M. A. Palafox C., O. Cano R., F. A. Rodríguez M., A. Espinosa C., A. Turrent F., N. Gómez M., H. Córdova O., N. Vergara A., R. Aveldaño S., J. A. Sandoval R., S. Barrón F., J. Romero M., F. Caballero H., M. González C., E. Betanzos M. (2001), *Descripción varietal de H-519 C, H-553 C y V-537 C, maíces con alta calidad de proteína para el trópico húmedo de México*, Veracruz, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, CIRGOC, Campo Experimental Cotaxtla, folleto técnico núm. 30, 21 págs.
- Singleton, W.R. 1951. Inheritance of corn grass, amacromutation in maize, and its possible significance as an ancestral type. *Amer. Nat.* 85:81-86.



- Soleri, D., D. Cleveland y F. Aragón Cuevas (2006). —Transgenic Crops and Crop Varietal Diversity: The Case of Maize in Mexico. *BioScience*, June, Vol. 56, No. 6. (pp. 503-513).
- Staller J, Tykot R, Benz B. (2006) *Histories of Maize*. Multidisciplinary Approaches to Prehistory, Linguistics, Biogeography, Domestication, and Evolution of Maize. Academic Press.
- Thompson J. Eric, "Historia y Religión de los Mayas". Siglo XXI. México 1970
- van Heerwaarden J., Hellin J., Visser R.F., van Eeuwijk F.A. 2009. Estimación de la erosión genética del maíz en la pequeña agricultura modernizada. *Theoretical and Applied Genetics*, 119 (5) (2009), pp 875-888.
- Weatherwax, P. 1954. *Indian corn in old America*. New York, NY, USA, MacMillian Publishing.
- Weatherwax, P. 1955. History and origin of corn. I. Early history of corn and theories as to its origin. In G.F. Sprague, ed. *Corn and corn improvement*, 1st ed., p. 1-16. New York, NY, USA, Academic Press.
- Weatherwax, P. 1955b. Structure and Development of Reproductive Organs. In: Sprague, G. F. (ed.). *Corn and Corn Improvement*. Academic Press, New York. pp. 89-121.
- Wellhausen, E. J., L. M. Roberts, E. Hernández X. en colaboración de P. C. Mangelsdorf. 1951. Razas de maíz en México. Su origen, características y distribución. Oficina de Estudios Especiales-Secretaría de Agricultura y Ganadería. Folleto técnico Núm. 55. México D. F.

Wilkes, H. G. 1967. Teosinte: the closest relative of maize. Bussey Inst., Harvard Univ., Cambridge.

Wilkes, H.G. 1979. Mexico and Central America as a centre for the origin of agriculture and the evolution of maize. *Crop Improv* 6(1): 1-18.

Wilkes, H.G. 1985. Teosinte: the closest relative of maize revisited. *Maydica*, XXX: 209-223.

Wilkes, H.G. 1989. Maize: domestication, racial evolution and spread. *In* D.R. Harris & G.C. Hillman, eds. *Forage and farming*, p. 440-454. London, Unwin Hyman.

Wilkes, H.G. & Goodman, M.M. 1995. Mystery and missing links: the origin of maize. *In* S. Taba, ed. *Maize genetic resources*, p. 1-6. Mexico, DF, CIMMYT.

Wikipedia. 2012. Criollo. Disponible [En Línea] en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Criollo>.

## **1.3 El suelo, fertilizantes, liberación de CO<sub>2</sub> y tasa de descomposición de los productos orgánicos**

### **1.3.1 El suelo**

El suelo cubre la mayor parte de la superficie terrestre con una capa delgada cuyo espesor varía de pocos centímetros a varios metros de profundidad. Están compuestos de partículas rocosas y minerales de tamaño diverso, mezcladas con agua, aire y organismos vivos de origen vegetal, animal, microbiano y de sus restos. Según el concepto del tiempo que tiene el hombre, la formación de los suelos es sumamente lenta. En lugares en que el clima es húmedo y cálido, son menester miles de años para formar unos cuantos centímetros de suelo. En los climas fríos y secos, hace falta más tiempo aún e incluso es posible que no se formen suelos en absoluto. Si bien el suelo es un recurso renovable, su lenta formación lo hace casi irremplazable (FAO, 1983-a), los suelos son una mezcla dinámica, siempre cambiante a medida de que las aguas llegan y se retiran y que los reinos vegetal y animal, y los microorganismos viven y mueren. Las partículas del suelo son desplazadas por el viento, el agua, el hielo y la gravedad, a veces lentamente y otras con rapidez. Pero aun cuando el suelo cambie, las capas de suelo permanecen prácticamente constantes durante la vida de un ser humano, a menos que el hombre las desplace o levante o are, todos los suelos tienen vida y los buenos la tienen abundante. Los organismos vegetales, animales y microbianos contribuyen a la fertilidad del suelo. Las raíces de las plantas se unen en el suelo y lo van rompiendo, al paso que las plantas en descomposición se convierten en humus. Los animales excavadores de madrigueras mezclan los suelos, y sus excrementos aportan nutrientes que mejoran la estructura del suelo. A parte de los habitantes más evidentes del suelo, tales como roedores, insectos, ácaros, babosas y caracoles, arañas y lombrices de tierra, hay innumerables residentes microscópicos, algunos de los cuales son provechosos para el hombre y los cultivos y otros nocivos. Los microorganismos participan en las transformaciones enzimáticas básicas que propician el crecimiento a las plantas superiores, incluidos nuestros cultivos alimentarios.

En el suelo se producen reacciones químicas a raíz del intercambio de iones positivos o cationes. En los suelos arcillosos se producen más intercambios que en los demás tipos de suelos. Esas reacciones químicas también son esenciales para el desarrollo vegetal y son buen indicio de la fertilidad del suelo.

El maíz se adapta muy bien a todo tipo de suelo principalmente con pH entre 6 a 7 son a los que mejor se adaptan. También requieren suelos profundos, ricos en materia orgánica, con buena circulación del drenaje para no producir encharques que originen asfixia radicular.

El maíz, como todo cultivo requiere de suelos con profundidad adecuada y buena fertilidad natural para desarrollarse y producir de acuerdo a su potencial genético.

La preparación del suelo depende del sistema de producción utilizado por el productor. Esta actividad también se ve influenciada por otros factores como precipitación, tipo de suelo y condición económica del productor. Hay que recordar que para el productor el recurso más valioso es el suelo, por lo tanto, debe conservarlo. Una adecuada preparación del suelo, ayuda a controlar malezas, enriquecer el suelo incorporando rastrojos. Da permeabilidad, controla algunas plagas y permite una buena germinación de la semilla.

Hernández, *et. al.*, 2007, realizaron a cabo un experimento de invernadero con aportaciones de materia orgánica en suelos agrícolas del municipio de Texcoco, México, con el fin de mejorar las propiedades de suelos degradados por erosión hídrica y eólica, evaluaron variables de nitrógeno orgánico, materia orgánica, fósforo, potasio y diversidad microbiana. Sus resultados mostraron incremento de la materia orgánica con los tratamientos de estiércol de 80 y 100 toneladas por hectárea de estiércol.

### **1.3.2. Fertilizantes**

Los suelos donde se cultiva el maíz, no tienen la capacidad para proporcionar los nutrientes necesarios para el crecimiento eficiente de las plantas o no otorgarían el rendimiento adecuado, para ello se debe recurrir al empleo de fertilización. El maíz tiene gran capacidad de absorción de nutrientes y requiere de una alta fertilización, la demanda por nitrógeno es alta, además de otros como el fósforo

para obtener buena producción, es importante realizar un abonado ajustándose a las necesidades presentadas por la planta de una forma controlada e inteligente, si queremos conocer la fertilidad natural del suelo se requiere que el productor tome una muestra de suelo de su terreno y la remita a un laboratorio para su respectivo análisis físico-químico, las principales fuentes de contaminación ambiental por nitrógeno, provienen de los fertilizantes nitrogenados (Gomiero *et al.*, 2011).

### **1.3.2.1 Fertilización química de síntesis (Nitrógeno, fósforo y potasio)**

#### **1.3.2.1.1 Nitrógeno.**

La cantidad de nitrógeno a aplicar depende de las necesidades de producción que se deseen alcanzar así como el nivel de la fertilidad del suelo.

Un déficit de N en el suelo puede afectar a la calidad y rendimiento de la cosecha del cultivo. Los síntomas de deficiencia de este elemento se ven más reflejados en aquellos órganos fotosintéticos, las hojas, que aparecen con coloraciones amarillentas sobre los ápices y se van extendiendo a lo largo de todo el nervio. Las mazorcas aparecen sin granos en las puntas, el nitrógeno (N) es tal vez el nutriente más importante y limitante en el agroecosistema, dada su participación en múltiples reacciones bioquímicas implicadas fisiológicamente en el crecimiento, desarrollo y producción de cultivos (Rao, 2009). Sin embargo, en la actualidad el aporte de N al suelo vía fertilización de síntesis química industrial, es poco viable desde el punto de vista económico y ambiental, lo que implica la búsqueda de nuevas alternativas para la fijación, aporte y ciclaje en el agroecosistema (Sánchez y Logan, 1992; Prager *et al.*, 2012; Sanclemente, 2013), el nitrógeno es uno de los nutrientes esenciales que más limitan el rendimiento del maíz. Este macronutriente participa en la síntesis de proteínas y por ello es vital para toda la actividad metabólica de la planta. Su deficiencia provoca reducciones severas en el crecimiento del cultivo, básicamente por una menor tasa de crecimiento y expansión foliar que reducen la captación de la radiación fotosintéticamente activa. Las deficiencias de nitrógeno se evidencian por clorosis (amarillamiento) de las hojas más viejas.

### **1.3.2.1.2 Fósforo**

Sus dosis de aplicación dependen principalmente del tipo de suelo presente. El fósforo da vigor a las raíces. Su déficit afecta a la fecundación y el grano no se desarrolla bien, la fertilización fosfatada es algo más exacto que para el caso del nitrógeno y un buen análisis de suelo determinara la presencia de este elemento en el sistema suelo así se podrá determinar la cantidad de fósforo a aplicar al cultivo. En general los suelos que presentan problemas con la disponibilidad de fósforo son aquellos que no reúnen la condición para el cultivo del maíz por lo cual es aconsejable fertilizar con fósforo según análisis del laboratorio, los efectos de la disponibilidad de P sobre la longitud del ciclo del cultivo y el rendimiento pueden ser variados. Limitaciones en la disponibilidad de P reducen la acumulación de materia seca de los cultivos y la tasa de crecimiento del cultivo alrededor del momento de floración, implicando una disminución del número de granos y del rendimiento (Andrade *et al.*, 1996; Fontanetto, 1993).

Los suplementos de fósforo en forma de fertilizantes son los más utilizados para garantizar plantas de maíz sanas y grandes rendimientos. El maíz utiliza fósforo todo el año para la producción de tallos, hojas y mazorcas. Si un suelo es deficiente en fósforo, el rendimiento y el crecimiento de las plantas pueden ser notablemente más limitados o algunos nutrientes vegetales pueden ser desviados de la producción de orejas a la producción de hojas y tallos. Cuando se utiliza correctamente, un fertilizante de fósforo puede aumentar notablemente el rendimiento de maíz, pero puede tener algunas consecuencias no deseadas también, son diversos los factores que intervienen sobre la disponibilidad del fósforo en el suelo, tales como el nivel de fertilidad del suelo, capacidad de fijación de P del suelo, métodos de labranza, equipo y fechas de siembra, especie cultivada antes del maíz, compactación del suelo, temperatura, humedad del suelo, etc. por todas las limitantes se recomienda siempre contar con un buen historial del suelo (Andrade *et al.*, 1996; Fontanetto, 1993).

### **1.3.2.1.3 Potasio**

El potasio (K) es un macro nutriente esencial requerido en grandes cantidades para el normal crecimiento y desarrollo de los cultivos. Algunas de las principales funciones de las plantas donde el K está comprometido son: la osmoregulación, la síntesis de los almidones, la activación de enzimas, la síntesis de proteínas, el movimiento estomático y el balance de cargas iónicas (Maathuis y Sanders, 1994; Marschner, 1995).

La mayoría de los cultivos anuales de grano requieren K en los primeros estadios del crecimiento y la máxima absorción se verifica durante la etapa vegetativa (Lawton y Cook, 1954; Kafkafi y Xu, 1999).

El potasio se encuentra en tres formas en el sistema suelo: potasio soluble este se encuentra disponible para el sistema radicular del cultivo, el no disponible absorbido por las partículas del suelo o potasio de intercambio, y finalmente el potasio no intercambiable que es el que está fuertemente retenido por el suelo, luego se debe tener muy claro las condiciones que posee el suelo, ante una elevada demanda por parte del cultivo, es posible que el suelo no logre abastecerlo en ausencia de fertilización, aun conteniendo una dotación suficiente de K, Salvagiotti *et al.*, 2006.

Otros elementos. Calcio y magnesio. Son nutrimentos que pueden presentarse en forma deficiente o en exceso en la planta.

### **1.3.2.2 Productos orgánicos**

Las técnicas de fertilización orgánicas certificadas son; compostas, estiércol compostado, vermicomposta, abonos verdes, leguminosas, extractos de algas marinas, bacterias fijadoras de nitrógeno entre otros (Labrador *et al.*, 2004).

Los abonos orgánicos tienden a aumentar el potencial de inóculo micorrízico del suelo, la colonización y la absorción de nutrimentos (Gosling *et al.*, 2006).

Los residuos vegetales se deben de quedar en el campo después de la cosecha, para que construye la materia orgánica, devuelva los nutrientes al suelo y ayuda a proteger contra la erosión del suelo (Gliessman, 2007 y Paliwal *et al.*, 2000).

#### **1.3.2.2.1 Estiércol**

Wu y Powell 2007 mencionan que el 50% del estiércol es biodegradado en el primer año, lo cual garantiza el contenido de MO en el suelo en predios donde se ha aplicado estiércol por años consecutivos. (Julca *et al.*, 2006) señalan que el estiércol es una excelente fuente de MO y recomienda su uso para mejorar suelos muy pobres, también reportan concentraciones de MO en el estiércol de alrededor de 5%. (Fitzpatrick, 1996) señala que la mayoría de los suelos contienen 1.6% de MO pero en suelos muy áridos, el porcentaje puede bajar a menos de 1%.

#### **1.3.2.2.2 Composta**

La composta se forma por la descomposición de productos orgánicos y esta sirve para abonar la tierra. Es un proceso en el que no interviene la mano del hombre, el reciclaje es 100% natural, el compostaje es una tecnología prometedora para el tratamiento del estiércol. Durante el compostaje, los materiales orgánicos se degradan aeróbicamente por microorganismos, por lo tanto reduciendo significativamente el volumen y la masa de estos residuos orgánicos. Mientras tanto, el libre de patógenos, no tóxico y rica en nutrientes de compost final se puede producir en determinadas condiciones con suficiente tiempo de compostaje (Scheutz *et al.*, 2011).

El compostaje es un método biológico que transforma desechos orgánicos de distintos materiales con la participación de microorganismos, en un producto relativamente estable y rico en sustancias similares al humus del suelo, cuyo uso se ha incrementado en los últimos años como alternativa efectiva para mejorar la productividad y la calidad de los suelos (Claassen y Carey, 2004). Se trata de un proceso bio-oxidativo bajo condiciones controladas de humedad, temperatura y oxígeno (García, 1990).

Es el proceso de la descomposición de los desperdicios orgánicos en el cual, la materia vegetal y animal se transforman en abono, material orgánico, es todo aquel material que se pudre, como la hojarasca, desperdicios de comida, estiércol, plumas, yerba o pasto, etc., el compostaje no se puede considerar una nueva tecnología, pero entre las estrategias de gestión de residuos que está ganando



interés como una opción adecuada para los abonos con los beneficios económicos y ambientales, ya que este proceso elimina o reduce el riesgo de propagación de agentes patógenos, parásitos y semillas de malas hierbas asociadas con directa aplicación de estiércol y conduce a un producto estabilizado final que se puede utilizar para mejorar y mantener la calidad del suelo y la fertilidad (Larney y Hao, 2007).

El composteo se define como un proceso biooxidativo de los residuos orgánicos en condiciones controladas de temperatura, humedad y aireación, en la cual participan grupos microbianos, dependiendo de la etapa del proceso (Brady y Weil, 1999; citado por Velasco, 2004), un ejemplo claro de composta lo realiza la misma naturaleza. Si observas bien, las hojas que caen de los árboles, flores, y frutas, un tiempo después de que están en el suelo comienzan a descomponerse hasta que se vuelven tierra nuevamente.

El compost maduro es un agente de carga económica para optimizar el proceso de compostaje. Mezcla de compost maduro con las materias primas puede mejorar los huecos entre las partículas de composición pila, lo que aumenta la permeabilidad del aire (Iqbal *et al.*, 2010). Debido a la característica de aumento de volumen, compost maduro podría crear un entorno adecuado para el crecimiento microbiano en la pila de compostaje (Scheutz *et al.*, 2009). Por lo tanto, el compost maduro también se conoce como ser un agente inoculante en muchos estudios (Kato y Miura, 2008 y Abichou *et al.*, 2009).

Una composta es la mezcla de materiales orgánicos, de tal manera que fomenten su degradación y descomposición. El producto final se usa para fertilizar y enriquecer la tierra de los cultivos, dentro de un suelo sano, la materia orgánica y el humus son esencialmente importantes, si queremos conservar nuestras tierras para asegurar nuestra sobrevivencia. Añadir composta y reciclando así nutrientes y minerales son las mejores llaves para combatir enfermedades de los cultivos. Se necesita urgentemente humus en todo el mundo para revitalizar y estabilizar los suelos empobrecidos, el principal uso de la composta es mantener o incrementar el contenido de MO del suelo y el aporte de nutrimentos. Lo anterior permite lograr el objetivo de incrementar el rendimiento de las cosechas, con beneficios que se

manifiestan de forma más clara a mediano y largo plazo (Beltrán Morales *et al.*, 2009).

#### **1.3.2.2.3 Vermicomposta**

Recibe este nombre el producto obtenido mediante el procedimiento biológico de descomposición de elementos orgánicos, a través de la lombriz roja de California. La elaboración de desechos de origen animal y vegetal que constituyen su alimento, se realiza en el intestino, cuyas excreciones están recubiertas de un mucus que le da la apariencia de un minúsculo collar de gránulos que concentra enorme poder fertilizante. El “humus de lombriz” es de color negruzco, granulado, homogéneo y con un olor agradable a mantillo de bosque, algunos trabajos recientes muestran que los efectos del vermicompost pueden variar dependiendo de la especie vegetal considerada e incluso de la variedad (Zaller, 2007), así como del material de partida, proceso de producción del vermicompost, tiempo de almacenamiento, y tipo de sustrato al que se vaya a incorporar (Rodda *et al.*, 2006, Roberts *et al.*, 2007).

La vermicomposta se ha incluido en estudios de su efecto en vegetales y plantas ornamentales (Edwards, 2002); en el crecimiento de plantas en invernaderos (Lee *et al.* 2002); plántulas de cedro (*Cedrela odorata*) y primavera (*Tabebuia donell smithii*) (Cuevas *et al.*, 2004); el rendimientos y en las principales plagas en el cultivo *Phaseolus vulgaris* (Vilchis *et al.*, 2004); la calidad y maduración del vermicompostaje sobre la germinación y crecimiento de plantas *Raphanus sativus*, *Tapetes patula*, *Barbarea verna* (Ang López *et al.*, 2002); el desarrollo de chile serrano (Martínez *et al.*, 1999); producción de tomate en invernadero (Rodríguez *et al.*, 2008); el crecimiento de plantas hortícolas y forestales (Sánchez *et al.* 2004); producción de semilla de papa en invernadero (Patrón *et al.*, 2002); frijol (Sánchez *et al.*, 2004); cultivo de maíz (Rezendiz, *et al.*, 2004); crecimiento del lechoso *Carica papaya* L (Acevedo y Pire. 2004); la aclimatación de plantas de caña de azúcar (Díaz *et al.*, 2005); aclimatación de vitroplantas de sábila *Aloe vera* L Burm. f. (Vilchez *et al.*, 2007); su uso en la producción de la morera *Morus alba*

(Elizondo-Salazar, 2007); en plantas medicinales (Sanchez *et al.*, 2005) y su uso en plantas florales (Milanés *et al.*, 2005).

Astudillo, 2011, indica que numerosos microorganismos, principalmente bacterias y hongos, junto con algunos componentes de la mesofauna, como las lombrices, son capaces de mejorar la estructura y estabilidad estructural de los suelos, estos efectos son debidos a que, por ellos mismos o a través de sustancias producidas por ellos, son capaces de ligar las partículas de suelo formando agregados.

El vermicompost es el proceso de compostar utilizando lombrices y microorganismos. Es un proceso eólico que termina en la estabilización de la materia orgánica. Al igual que el compost maduro, el producto final es materia orgánica, pero son las lombrices quienes realizan el proceso con ayuda de los microorganismos (Lazcano *et al.*, 2008).

El vermicompost es el resultado de la biotransformación de materia orgánica a través del tubo digestivo de la lombriz, (Gabriel *et al.*, 2011).

Su elevada capacidad de intercambio catiónico (CIC) se debe a la presencia de grupos carbonilos e hidroxilos fenólicos y alcohólicos, entre otros, en su estructura (Pereira y Zezzi Arruda, 2004).

Mulet *et al.*, 2008, registraron un alto contenido de bacterias, hongos y actinomicetos en el humus de lombriz, los cuales son admisibles para la descomposición de la materia orgánica para aumentar la diversidad biológica y estabilidad del suelo. Por su parte (Delgado *et al.*, 2004) indicaron que al utilizar lodos residuales se mejora el humus obtenido de las transformaciones de por medio de la lombriz *Eisenia fetida*, al aumentar el potasio y fósforo, el nombre de humus de lombriz líquido es incorrecto, porque el humus en si se refiere a una materia orgánica, de consistencia sólida, elaborada a partir de los residuos o deyecciones de micro o macroorganismos, siendo la parte fundamental del suelo, hay distintas formas de obtener este lixiviado a saber:

- Mezclando 1 parte de humus y 5 parte de agua, se deja reposar 48 horas, se agita periódicamente. Luego se filtra. Para utilizarlo se debe volver a diluir en 1 parte de concentrado en 4 partes de agua.

- Se disuelve 1 parte de humus en 10 partes de agua, batiéndola y dejándola reposar unas 48 horas. Luego se filtra y se aplica (3; 5).
- Llamado té de lombricompuesto. Se pone el lombricompuesto en una bolsa de arpillera y luego ésta en agua. Agitar de vez en cuando. Para su uso, el té debe ser de un color ambarino ligero. Si es más oscuro que ese, diluya en agua.
- En un módulo se deposita los desechos orgánicos y las lombrices: a medida que se riega para mantener la humedad hay una pérdida de agua más una cantidad de nutrientes, microorganismos, etc.

El lixiviado obtenido de estiércol de ovinos utilizado como alimento para las lombrices ha demostrado ser una excelente fuente de potasio es de 2,4 gramos por litro y de nitrógeno 61 miligramos por litro (61 ppm) conteniendo además hierro, manganeso, cobre y zinc micro nutrientes esenciales, además los fertilizantes líquidos elaborados con extracto de humus de lombriz de tierra aportan ácidos húmicos y fúlvicos, microorganismos vivos propios para la nitrificación y solubilización de minerales enlatados en el suelo, aplicado al suelo o a la planta actúa como racionalizante de fertilización ya que hace asimilables en todo su espectro a los macro y micro nutrientes, evitando la concentración de sales. Crea además un medio ideal para la proliferación de organismos benéficos, bacterias, hongos, etc. Que impiden el desarrollo de patógenos, reduciendo sensiblemente el riesgo en el desarrollo de enfermedades. Además, estimula la humificación propia del suelo ya que incorpora y descompone los residuos vegetales presentes en el suelo.

#### **1.3.2.2.4 Gallinaza**

La Gallinaza es el estiércol de gallina preparado para ser utilizado en la industria ganadera o en la industria agropecuaria, la Gallinaza tiene como principal componente el estiércol de las gallinas que se crían para la producción de huevo, es importante diferenciarlo de la pollinaza que tiene como principal componente el estiércol de los pollos que se crían para consumo de su carne. La gallinaza pura de jaulas es de excelente calidad, ya que cuando ésta alcanza el tiempo óptimo de

descomposición y al ser incorporada al suelo libera los nutrientes, especialmente el nitrógeno, para mejorar las condiciones de los suelos (Guardado, 2012).

La Gallinaza se utiliza como abono o complemento alimenticio en la crianza de ganado debido a la riqueza química y de nutrientes que contiene. Los nutrientes que se encuentran en la gallinaza se deben a que las gallinas solo asimilan entre el 30% y 40% de los nutrientes con las que se les alimenta, lo que hace que en su estiércol se encuentren el restante 60% a 70% no asimilado, la gallinaza contiene un importante nivel de nitrógeno el cual es imprescindible para que tanto animales y plantas asimilen otros nutrientes y formen proteínas y se absorba la energía en la célula. El carbono también se encuentra en una cantidad considerable el cual es vital para el aprovechamiento del oxígeno y en general los procesos vitales de las células, otros elementos químicos importantes que se encuentran en la gallinaza son el fósforo y el potasio. El fósforo es vital para el metabolismo, y el potasio participa en el equilibrio y absorción del agua y la función osmótica de la célula, el uso de gallinaza tiene un alto potencial ya que además de su contribución a la nutrición de los cultivos con un amplio rango de minerales y su impacto en el incremento de la microflora del suelo, el proceso de compostaje, en su última fase, favorece el crecimiento y colonización de agentes de control biológico de varios fitopatógenos (Rodríguez *et al.*, 2010).

La gallinaza resulta ser una opción atractiva debido a su bajo costo y a los beneficios que presenta por su riqueza en elementos químicos útiles para plantas y animales, cabe resaltar que el estiércol de gallina como tal no se puede considerar gallinaza. Para que sea gallinaza es necesario primero procesar el estiércol (Gallinaza México, 2004).

En el caso de la gallinaza utilizada como composta, es decir, como abono orgánico, es necesario fermentar el excremento de las gallinas para transformar los químicos que contiene, como el fósforo, potasio, el nitrógeno y el carbono, cuando la fermentación está completa, se le puede agregar otros desechos orgánicos como cáscaras, cascarilla de cereales, virutas de madera, paja, etc., lo que servirá para enriquecer la mezcla y mejorar el efecto, la utilización de la gallinaza como abono para cultivos resulta ser una opción muy recomendable

debido al bajo costo que representa, y a lo rico de la mezcla, la gallinaza pertenece a la categoría de los estiércoles, pero presenta características especiales, como las aves defecan por una cloaca, sus deyecciones líquidas y sólidas no se producen por separado, por lo que la recogida de éstas presenta menos dificultades que con otros estiércoles, su contenido de nutrientes es superior al de otros (Estrada, 2011).

En promedio, se requiere de 600 gr a 700gr por metro cuadrado de cultivo para obtener buenos resultados. Aunque en algunos casos, dependiendo de si el suelo presenta algún empobrecimiento, podría llegar a ser necesario utilizar hasta 1kg por metro cuadrado, otra característica importante de las enmiendas orgánicas es su habilidad para estimular el complejo de microorganismos beneficiosos que ayudan a mantener bajo control las potenciales plagas y patógenos (Marco, 2011).

### **1.3.3 Liberación de CO<sub>2</sub>**

El dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) es un elemento indispensable en el ciclo de la vida vegetal. A través del proceso bioquímico de la fotosíntesis, el CO<sub>2</sub> y el agua (en presencia de energía luminosa) son transformados en carbohidratos, que constituyen la base del crecimiento de las plantas. Durante este proceso, la disponibilidad de CO<sub>2</sub> es un factor crítico condicionante del desarrollo. Los estreses ambientales como la salinidad, la sequía, las altas o bajas temperaturas o la disminución de la radiación solar alteran la estructura y metabolismo de las plantas, por lo tanto afectan a su crecimiento y su papel como secuestradores de CO<sub>2</sub> (Martínez Ballesta *et al.*, 2009).

Las plantas verdes utilizan dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y agua, en presencia de luz, para sintetizar compuestos orgánicos mediante la serie de reacciones que conforman la fotosíntesis. Si alguno de estos tres factores se encuentra a niveles menores de los que la planta puede utilizar para un máximo rendimiento, la síntesis de compuestos orgánicos se situará a un determinado nivel, y no se podrá alcanzar ese potencial máximo. Dicho de otro modo, el elemento que se encuentre a un nivel menor actuará como factor limitante de la fotosíntesis y, en consecuencia, del crecimiento vegetal, la absorción de CO<sub>2</sub> por parte de la planta

se realiza a través de los estomas. Como entre las funciones de éstos se encuentran la regulación de la respiración y transpiración del vegetal, la absorción depende de las condiciones de temperatura, iluminación, nivel de absorción de agua, que regulan la apertura y cierre de dichos estomas, así como de la disponibilidad del gas en la atmósfera. La concentración de CO<sub>2</sub> actualmente en la atmósfera libre es de aproximadamente 300 o 350 PPM (partes por millón), aunque los valores difieren según la localización geográfica de las mediciones. Para que el gas se encuentre disponible para las plantas debe encontrarse entre 100 y 2500 PPM.

#### **1.3.4 Tasa de descomposición de los productos orgánicos**

A medida que la materia orgánica del suelo se degrada, actúa como fuente continua de nutrientes para las plantas. La materia orgánica también estabiliza el suelo y evita la erosión eólica e hídrica. El suelo que contiene materia orgánica retiene humedad e incrementa su fertilidad, resultando en un menor uso de fertilizante y de aplicaciones de riego. La materia orgánica suele ser agregada a los suelos en forma de material vegetal compostado o de estiércol de animales que consumen vegetales, como vacas o conejos, cuando los residuos vegetales son incorporados a los suelos varios compuestos orgánicos se descomponen. La descomposición es un proceso biológico donde el colapso físico y la transformación bioquímica de las moléculas de los complejos orgánicos de los materiales muertos se convierten en moléculas simples e inorgánicas (Juma, 1998). Las deyecciones de las lombrices de tierra juegan un papel muy importante en la descomposición porque contienen nutrientes y microorganismos que son diferentes a los contenidos en el material orgánico antes de la ingestión (Brown y Doube, 2004; Aira *et al.*, 2006b; Aira y Dominguez, 2009).

La descomposición de la materia orgánica es útil para los microorganismos por dos razones: como suministro de energía para el crecimiento de los mismos, y como fuente de carbono para la formación del nuevo material celular. El dióxido de carbono, metano, ácidos orgánicos, y alcoholes son productos de desecho liberados en la adquisición de energía. El rasgo esencial para los propios

microorganismos es la captura de energía y carbono para la síntesis celular. Una serie de factores afectan a la mineralización de los materiales orgánicos. La rapidez con la que un detrito dado es oxidado dependerá de la calidad del mismo detrito, de la presencia de los organismos descomponedores idóneos y de las condiciones físicas y químicas del medio circundante, entre los factores físicos y químicos que controlan la velocidad de degradación de la materia orgánica podemos citar a la temperatura, el suministro de oxígeno, humedad, pH y nutrientes inorgánicos. La calidad del recurso detrítico viene determinada por los atributos tanto físicos como químicos del mismo; es decir, las propiedades superficiales, dureza y tamaño de partícula del detrito (atributos físicos) y la composición química del detrito como una fuentes de carbono, energía y nutrientes para los organismos descomponedores así como la presencia o no de metabolitos secundarios con actividades biológicas sobre los descomponedores, los procesos de descomposición y mineralización son llevados a cabo por una comunidad muy dinámica de fauna y microorganismos descomponedores (Huxman *et al.*, 2004; Osler y Sommerkorn, 2007).

En los estudios de descomposición, pueden utilizarse residuos vegetales enteros, constituyentes extraídos, o compuestos orgánicos puros. Como resultado del desarrollo de una flora mixta sobre los productos naturales químicamente complejos, algunos componentes desaparecen rápidamente mientras que otros son menos susceptibles a las enzimas microbianas y persisten, la fracción soluble en agua contiene los componentes vegetales menos resistentes y, por ello, son los primeros en ser metabolizados. Como resultado, en aquellos tejidos en los que el 20-30% del peso seco es soluble en agua, la descomposición procede rápidamente. Por otro lado, la celulosa y hemicelulosa no desaparecen tan rápidamente como las sustancias solubles, pero su persistencia generalmente no es demasiado grande. Las ligninas son altamente resistentes y consecuentemente se hacen relativamente más abundante en la materia orgánica residual (Huxman *et al.*, 2004; Osler y Sommerkorn, 2007).



### 1.3.5 Literatura citada

Abichou, T., Mahieu, K., Yuan, L., Chanton, J., Hater, G. 2009. Efectos de biocovers de compost sobre el flujo de gas y la oxidación del metano en una cobertura del relleno. *Waste Manage.*, 29 (2009), pp 1595-1601.

Acebedo I C y Pire R (2004). Efecto del vermicompost como enmienda de un sustrato para el crecimiento del lechoso (Carica papaya 1). *Interciencia*. 29, 274-279.

Aira, M., Monroy, F., Dominguez, J. 2006b. *Eisenia fetida* (Oligochaeta, Lumbricidae) activates fungal growth, triggering cellulose decomposition during vermicomposting. *Microbial Ecology*. 52:738-746.

Aira, M., Dominguez, J. 2009. Microbial and nutrient stabilization of two animal manures after the transit through the gut of the earthworm *Eisenia fetida*. *Journal of Hazardous Materials* 161:1234-1238.

Andrade, F, Cirilo, A, Uhart S, Otegui M.1996. *Ecofisiología del cultivo de maíz*. Editorial Médica Panamericana, pp: 292.

Ang López M. J., Warman P., Hoyle J. y Asiedu S. K. (2002). Quality maturation of vermicompost affectin germination and growth of selected plants. In 7<sup>th</sup> International Symposium on Eartworm Ecology. (2002, Cardiff UK.). p. 257.

Astudillo Cornejo, RD. 2011. Efectos de la incorporación de materia orgánica al suelo, sobre el comportamiento agronómico del cultivo de maíz (*Zea mays L.*), en la zona de Babahoyo". Tesis. Ing. Agr. (en línea). Universidad de Ecuador. 62 p. Consultado 21 set. 2012. Disponible en <http://www.repositorio.utb.edu.ec:8080/bitstream/123456789/113/2/TESIS.docx>

- BELTRÁN–MORALES, F. A.; GARCÍA–HERNÁNDEZ, J. L.; RUIZ–ESPINOZA, F. H.; FENECH–LARIOS, L.; MURILLO–AMADOR, B.; PALACIOS, A.; TROYO–DIÉGUEZ, E. 2009. Nutritional potential of red dolichus, brown dolichus and cowpea for green manure produced under three tillage systems. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 10: 487–495.
- Brady, N.; Weil, R.R. 1999. *The Nature and Properties of Soils*. 12° edition. New Jersey, US. Prentice Hall. 881 p.
- Brown, G.G., Doube, B.M. 2004. Functional interactions between earthworms, microorganisms, organic matter, and plants. En: Edwards, C.A. (ed.), *Earthworm Ecology*, 2nd edn., pp. 213-224, CRC Press, Boca Raton. USA.
- Claassen V.P., Carey J.L. 2004. Regeneration of nitrogen fertility in disturbed soils using compost. *Compost Sci. & Util.* 12(2): 145-152.
- Cuevas R., Pérez Z.A.P. del C. y Pérez C.R. (2004). Producción de plántulas de cedro (*Cedrela odorata*) y primavera (*Tabebuia Donnell-mythii*) con lombricomposta y ácidos húmicos. In: Congreso internacional de lombricultura y abonos orgánicos: inocuidad alimentaria y un ambiente sano. (2004, Guadalajara, Jalisco, México). P. 90-93.
- Delgado A.M.A. del M., Porcel C.M.A., de Imperial H.R.M., Beltrán R.E.M.A., Beringola B.L., S.J.V. (2004) Efecto de la vermicultura en la descomposición de residuos orgánicos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 20, 83-86.
- Díaz L.P., Medina L.F. y Digonzelli P.A. (2005). Aclimatación de plantas micropropagadas de caña de azúcar utilizando el humus de lombriz. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*. 33, 115-128.

- Edwards C.A. (2002). Greenhouse and laboratory studies on the effects of vermicompost on growth of vegetables and ornamentals. In: 7<sup>th</sup> International symposium on Eartworm Ecology. (2002, Cardiff. U.K.). p. 229.
- Elizondo –Salazar J.A. (2007). Producción y calidad de la biomasa de morera (*Morus alba*) fertilizada con diferentes abonos. *Agronomía Mesoamericana* 18, 255-261.
- Lee S., Arancon L.Q., Edwards C.A. y Atiyed R. (2002). Effects of aqueous extracts and humic acids derived from cattled, fud, and paper waste vermicomposts on greenhouse plant growth. In: 7<sup>th</sup> International Symposium on Eartworm Ecology. (2002, Cardiff. UK.). p. 225.
- Estrada Pareja; M. 2011. Gestión de la gallinaza. (en línea). Colombia. Universidad de Antioquia. Consultado 22 may. 2012. Disponible en <http://www.albeitar.portalveterinaria.com/noticia/10313/.../gestión-gallinaza.htm>
- FAO: Organización de la Naciones Unidas de la Agricultura y la Alimentación (1983-a). Mantengamos viva la tierra: Causas y Remedios de la Erosión del Suelo. Boletín 50.77p.
- Fitzpatrick, E. A. 1996. Introducción a la ciencia de los suelos. Editorial Trillas. México, D. F.
- Fontanetto, HB. 1993. Efecto del método de aplicación del fertilizante fosfórico en maíz a dos niveles de disponibilidad hídrica. Tesis *Magister Scientiae*. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata.
- Gabriel, P., M. Loza-Murguía, F. Mamani y H. Sainz. 2011. Efecto de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) durante el composteo y vermicomposteo

en predios de la Estación Experimental de la Unidad Académica Campesina Carmen Pampa. *J Selva Andina Res. Soc.* 2: 24-39.

García C. 1990. Estudio del Compostaje de residuos orgánicos. Valoración agronómica. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia, España.

Gliessman S. R. 2007. Agroecología: La Ecología de Sistemas Alimentarios Sostenibles. (Segunda ed.) CRC Press, Nueva York, Nueva York (2007).

Gomiero, T; Pimentel, D; Paoletti, MG. 2011. Is there a need for more Sustainable Agriculture? *Critical Reviews in Plants Science.* 30 (1.2). 6-23 p.

Gosling, P., A. Hodge, G. Goodlass, and G. D. Bending. 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming. *Agric. Ecosystems Environ.* 113: 17–35.

Escrito en México, 2004-08-31. Por Gallinaza México. Permalink: [http://www.gallinaza.com/que\\_es\\_la\\_gallinaza.php](http://www.gallinaza.com/que_es_la_gallinaza.php).

Guardado López, E. 2012. Gallinaza y bocashi: ventajas de su aplicación. San Salvador, SV. AVES. 2p

Hernández E., Cuevas A., Robledo E., Rubiños E. 2007. Aportaciones de materia orgánica en suelos agrícolas del municipio Texcoco. En memorias del XVII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. León de Guanajuato, México. pp. 895-897.

Huxman, T. E., K. A. Snyder, D. Tissue, A. J. Leffler, K. Ogle, W. T. Pockman, D. R. Sandquist, D. L. Potts, and S. Schwinning. 2004. Precipitation pulses and carbon fluxes in semiarid and arid ecosystems. *Oecologia* 141: 254-268.

- Iqbal MK, Shafiq, T., Ahmed, K. 2010. Caracterización de los agentes de carga y sus efectos sobre las propiedades físicas del abono. *Bioresour. . Technol*, 101 (2010), pp 1913-1919
- Julca-Otiniano, A., L. Meneses-Florián, R. Blas-Sevillano y S. Bello-Amez. 2006. La materia orgánica, importancia y experiencias de su uso en la agricultura. *IDESIA* 24: 49-61.
- Juma, N.G. 1998. *The pedosphere and its dynamics: a systems approach to soil science. Volume 1.* Quality Color Press Inc. Edmonton, Canada. 315pp.
- Kafkafi, U. and Xu, G.H. 1999. Potassium nutrition for high crop yields. In: *Frontiers in potassium nutrition: new perspectives on the effects of potassium on physiology of plants* (D. M. Oosterhuis, and G. Berkowitz, eds.). 133-142: PPI/PPIC, Georgia, USA.
- Kato K. y Miura N., 2008. Efecto del compost madurado como formador de volumen y el agente de la inoculación en la comunidad microbiana y la madurez del compost de estiércol de ganado. *Bioresour. . Technol*, 99 (2008), pp 3.372 a 3380.
- Labrador, M. J.; Procura J. L.; Reyes P. J. L. 2004. Fertilizantes, enmiendas, activadores biológicos, sustratos y acondicionadores de suelo. En: Labrador M. J. (ed.) *Conocimientos, técnicas y productos para la agricultura y la ganadería ecológica.* Sociedad española de agricultura ecológica. p. 117-180.
- Larney F. J., Hao X. 2007. Una revisión de compostaje como una alternativa de manejo del estiércol engorde de ganado de carne en el sur de Alberta, Canadá. *Bioresour. . Technol*, 98 (2007), pp 3221 a 3227

- Lazcano C., Gómez-Brandón M., Domínguez J. 2008. Comparison of the effectiveness of composting and vermicomposting for the biological stabilization of cattle manure. *Chemosphere* 72:1013-1019
- Lawton, K. and Cook, R.L. 1954. Potassium in plant nutrition. *Adv. Agron.* 6: 253-303. Leigh, R. A. and Wyn-Jones, R. G. 1984. A hypothesis relating critical potassium concentration for growth to the distribution and function of this ion in the plant cell. *New Phytol.* 97, 1-13.
- Maathuis, F. J. M., and Sanders, D. 1994. Mechanism of high affinity potassium uptake in roots of *Arabidopsis thaliana*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 91: 9272-9276.
- Marco Vásquez, DG. 2011. Abonos orgánicos. (en línea). Honduras. Consultado 15 de may. 2012. Disponible en [www.pymerural.org/abonos/](http://www.pymerural.org/abonos/)
- Marschner, H. 1995. «Mineral Nutrition of Higher Plants» 2nd Ed., Academic Press, San Diego, New York.
- Martínez Ballesta, M.C., Lopez-Perez, L. Muries, B, Muñoz-Azcarate, O., Carvajal, M. (2009) Climate change and plant water balance. The role of aquaporins. *Sustainable Agricultural Reviews* (E. Lichtfouse, Ed.) Vol 2, 71-89.
- Martínez M.M.J., Ferrera C.R. y Gonzalez C.M.C. (1999). Efecto de la vermicomposta y la micorriza arbuscular en el desarrollo y tasa fotosintética de chile serrano. *Terra Lationoamericana.* 17, 9-15.
- Milanés F.M., Rodriguez G.H., Ramos G.R. y Rivera A.M.M. (2005). Efecto del compost vegetal y humus de lombriz en la producción sostenible de capítulos florales en *Calendula officinalis* L. y *Matricaria recutita* L. *Rev. Cubana Plant Med.* 10, 1-7.

- Mulet P.Y., Díaz A.M.E. y Vilches L.E.E (2008) Determinación de algunas propiedades físicas- mecánicas, químicas y biológicas del humus de lombriz en condiciones de la vaquería de la finca guayabal, San José de las Lajas, La Habana, Cuba. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 17, 27-30.
- Osler, G. H. R. and M. Sommerkorn. 2007. Toward a complete soil C and N cycle: incorporating the soil fauna. *Ecology* 88: 1611-1621.
- Paliwal R. L., Granados G., Lafitte H. R., Violic A. D. 2000. Tropical de Mejoramiento de Maíz y Producción. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura, Roma, Italia (2000).
- Patron J.C., Paredes L., Rangel J.A. y Robles J.C. (2002). Potato seed production in greewnhouse trough vermicompost, gardening compost and manure composting In: 7<sup>th</sup> International Symposium on Eartworm Ecology. (2002, Cardiff. UK.). p. 262.
- Pereira, M. G. and Zezzi Arruda, M. A. 2004. Preconcentration of Cd (II) and Pb(II) Using Humic Substances and Flow Systems Coupled to Flame Atomic Absorption Spectrometry. *Microchim. Acta*: 215-222.
- Prager, M., Sanclemente, O. E., Sánchez de Prager, M., Gallego, J. M.; y Ángel, D. I. 2012. Abonos verdes: Tecnología para el manejo agroecológico de los cultivos. Murcia España. *Rev. Agroecología* 7:53 - 62.
- Rao, I. M. 2009. Essential plant nutrients and their functions. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia. Working Document No. 36.
- Rezendiz H.F., López A.E., Calderón C.F., Lepiz E.R. y López A.F. (2004). Aplicación de "Fertisuelo" en el cultivo de maíz y su efecto en el rendimiento

de grano y la flora bacteriana del suelo en el Valle de Zapopan, Jalisco. In: I Congreso internacional de lombricultura y abonos orgánicos: inocuidad alimentaria y un ambiente sano. (2004, Guadalajara, Jalisco, México). P. 155-157.

Roberts, P., D. L. Jones & G. Edwards-Jones. 2007. Yield and vitamin C content of tomatoes grown in vermicomposted wastes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 87: 1957-1963.

Rodda, M. R. C., L. P. Canellas, A. R. Façanha, D. B. Zandonadi, J. G. M. Guerra, D. L. de Almeida & G. A. de Santos. 2006. Improving lettuce seedling root growth and ATP hydrolysis with humates from Vermicompost. II- Effect of Vermicompost source. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 30: 657-664.

Rodríguez Amézquita, JE; Velandia Monsalve, J; Viteri Rosero, SE. 2010. Evaluación de Microorganismos Aislados de Gallinaza por su Potencial para el Biocontrol de Fusarium (*F. oxysporum*) en Plántulas de Uchuva (*Physalis peruviana*). (En línea). Consultado 20 set. 2012. Disponible en <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/.../37024>

Rodriguez D.N., Cano R.P., Figuero M.U., Palomo G.A., Favela Ch.E., Álvarez R.V, de P., Márquez H.C. y Moreno R.A. (2008). Producción de tomate en invernadero con humus de lombriz como sustrato. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 31, 265-272.

Salvagiotti, F., G. Ferraris, F. Gutiérrez Boem, P. Prystupa, L. Couretot y D. Dignani. 2006. Fertilización de maíz en norte de Buenos Aires y sur de Santa Fe: In: Efectos del potasio. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Salta – Jujuy 2006. 5pp.



Sánchez G.E., Rodríguez G.H., Carballo G.C. y Milanés F.M. (2005). Influencia de los abonos orgánicos y biofertilizantes en la calidad de las especies medicinales *Calendula officinalis* L. y *Matricaria recutita* L. Rev Cubana Plant Med. 10, 1-6.

Sánchez, P. A. y Logan, T. J. 1992. Myths and science about the chemistry and fertility of soils in the tropics. En: R. Lal y P. A. Sánchez (eds.). Myths and science of soils in the tropics. SSSA Madison, Wisconsin, EE.UU. p. 35 - 46.

Sanchez P.S., López A.E. y López A.F. (2004). Respuesta en rendimiento del grano a la fertilización orgánica en el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). In: I Congreso internacional de lombricultura y abonos orgánicos: inocuidad alimentaria y un ambiente sano. (2004, Guadalajara, Jalisco, México). P. 158-160.

Sancllemente, O. E. 2013. Efecto de *Mucuna pruriens* asociada a una gramínea sobre la actividad simbiótica rizosférica y la movilización de N y P, en un sistema de cultivo maíz (*Zea mays* L.)-soya (*Glycine max* L.). Tesis doctoral. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. 123 p.

Scheutz C., Kjeldsen, P., Bogner, J. E., De Visscher, A., Gebert, J., Hilger, H. A., Huber-Humer, M. Spokas K. Procesos y tecnologías para la mitigación de emisiones de gases de vertedero de oxidación del metano microbianos. Waste Manage. Res., 27 (2009), pp 409-455

Scheutz C, Pedicone, A, Pedersen, G. B., Kjeldsen P. 2011. Evaluación de la respiración en biocovers vertederos de compost destinado para la oxidación de metano. Residuos manejar., 31 (2011), pp 895-902

- Velasco, V., J. B. Figueroa, R. Ferrera, A. Trinidad y J. Gallegos. 2004. CO<sub>2</sub> y dinámica de poblaciones microbianas en composta de estiércol y paja con aireación. *Terra Latinoamericana* 22:307-316.
- Vilchez E., Pupiro L., Nuñez E. y González J. (2004). Efecto del humus de lombriz en el rendimiento y en las principales plagas insectiles en el cultivo de *Phaseolus vulgaris*. In: inocuidad alimentaria y un ambiente sano. (2004, Guadalajara, Jalisco, México). P. 170-172.
- Vilchez J., Ramirez E., Villasmil M. y Albany N. (2007). Aclimatización de vitroplantas de zábila *Aloe vera* L. Burm F.): efectos del sustrato. *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia*. 4, 57-61.
- Wu, Z. and J. M. Powell. 2007. Dairy manure type, application rate and frequency impact plants and soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71: 1306-1313.
- Zaller, J. G. 2007. Vermicompost as a substitute for peat in potting media: Effects on germination, biomass allocation, yields and fruit quality of three tomato varieties. *Scientia Horticulturae*. 112: 191-199.

# Fertilización con vermicomposta en maíz criollo y su tasa de descomposición en el suelo

## Fertilization of criollo corn with vermicompost and its rate of decomposition in the soil

## Fertilização com vermicomposto em milho crioulas e sua taxa de decomposição no solo

Juan Ángel García Sañudo<sup>1</sup>, Manuel Villarreal Romero<sup>2</sup>, Pedro Sánchez Peña<sup>3</sup>, Saúl Parra Terraza<sup>4</sup> & Sergio Hernández Verdugo<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Licenciado en Ingeniería Agronómica, Especialista en Fitotecnia, Magister en Ciencias de la Producción Agrícola en Horticultura, Estudiante de Doctorado en Ciencias Agropecuarias.

<sup>2,4</sup>Ingeniero Agrónomo, Magister en Ciencias en Edafología, Doctor en Ciencias en Edafología.

<sup>3</sup>Licenciado en Ingeniería Agronómica, Master Of Science Agronomy, Doctor en Ciencias.

<sup>5</sup>Ingeniero Agrónomo, Magister en Ciencias en Biología, Doctor en Ecología

<sup>1</sup>Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario No 116, Secretaría de Educación Pública, Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria, Culiacán, Sinaloa, México.

<sup>2,3,4,5</sup>Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Sinaloa, Culiacán, Sinaloa, México

<sup>1</sup>[jangelgs58@mexico.com](mailto:jangelgs58@mexico.com); <sup>2</sup>[manuelvillarreal2@yahoo.com.mx](mailto:manuelvillarreal2@yahoo.com.mx); <sup>3</sup>[penap@hotmail.com](mailto:penap@hotmail.com);

<sup>4</sup>[saul.parra@uas.edu.mx](mailto:saul.parra@uas.edu.mx); <sup>5</sup>[sergioh2002mx@yahoo.com.mx](mailto:sergioh2002mx@yahoo.com.mx)

### Resumen

Las tierras agrícolas en Sinaloa se han cultivado por más de 50 años de manera intensiva, con un uso creciente de fertilizantes químicos y reducida aplicación de abonos orgánicos, lo cual ha desembocado en un problema ambiental que va en aumento paulatinamente; es por esto que el presente trabajo se enfoca en el estudio de la aplicación de abonos orgánicos como la vermicomposta y el supermagro en el cultivo de maíz criollo. Los tratamientos estudiados fueron: T1= Maíz criollo fertilizantes orgánicos y con fertilización mineral; T2= Maíz criollo con fertilizantes orgánicos y sin fertilización mineral; T3= Maíz criollo sin fertilizantes orgánicos y con fertilización mineral; T4= Maíz criollo sin fertilización; T5= Maíz híbrido con fertilización mineral de N, P y K y T6= Maíz híbrido sin fertilización. Se utilizaron 3 t ha<sup>-1</sup> de vermicomposta en presiembra, 250 L

ha<sup>-1</sup> de supermagro y fertilizantes minerales 350 N, 120 P, 0 K; el diseño experimental fue bloques completos al azar, con cuatro repeticiones. Las variables de respuesta fueron: liberación de CO<sub>2</sub> del suelo, tasa de descomposición de vermicomposta en suelo y rendimiento de grano de maíz. La acumulación de biomasa en etapas de desarrollo de maíz fue beneficiada por el estímulo de la concentración de CO<sub>2</sub> al obtener un rendimiento aceptable de grano, con aplicación de vermicomposta como fertilizante orgánico, concluyendo que la aplicación de los abonos orgánicos vermicomposta y supermagro mostró que el rendimiento de maíz criollo de Sinaloa es factible de acuerdo a los resultados obtenidos.

**Palabras clave:** maíz criollo, fertilización orgánicos, descomposición de vermicomposta

## Abstract

The agricultural lands of Sinaloa have been intensively cultivated for over 50 years with increasing use of chemical fertilizers and decreasing use of organic applications. This situation has led to an environmental problem which is gradually getting worse; this is this study chooses to focus on the study of the application of organic additives such as vermicompost and supermagro in the cultivation of criollo corn. The treatments studied were: T1= criollo corn organic fertilizers with mineral fertilization; T2= criollo corn with organic fertilizers and without mineral fertilization; T3= criollo corn without organic fertilizers and with mineral fertilization; T4= criollo corn without fertilization; T5= hybrid corn with mineral fertilization of N, P and K and T6= hybrid corn without fertilization. 3 t.ha<sup>-1</sup> of vermicompost in pre-seeding stage, 250 L.ha<sup>-1</sup> of supermagro and mineral fertilization (350 N, 120 P, 0 K); the experimental design implemented randomized complete blocks, with four repetitions. The response variables were: CO<sub>2</sub> release from soil, vermicompost decomposition rate in soil and corn grain yield. The accumulation of biomass in corn development stages was benefited by the stimulation of the CO<sub>2</sub> concentration after obtaining an acceptable grain yield, with the application of vermicompost as an organic fertilizer, concluding that the application of organic additives of vermicompost and supermagro showed that criollo corn grain yield of Sinaloa is practicable in accordance with the experiment results.

**Key-words:** criollo corn, organic fertilization, decomposition of vermicompost

## Resumo

As terras para agricultura em Sinaloa foram cultivadas por mais de 50 anos de maneira intensiva, com um uso crescente de fertilizantes químicos e reduzida aplicação de adubos orgânicos, o que levou a um problema ambiental que aumenta gradualmente; razão pela qual este trabalho enfoca o estudo na aplicação de fertilizantes orgânicos, como vermicomposto e supermagro, na cultura do milho crioulo. Os tratamentos avaliados foram: T1 = milho crioulo com adubos orgânicos e fertilização mineral, T2 = milho crioulo com adubos orgânicos sem fertilização mineral; T3 = milho crioulo sem adubos orgânicos e fertilização mineral; T4 = milho crioulo sem fertilização, T5 = milho híbrido com fertilização mineral de N, P e K, e; T6 = milho híbrido sem fertilização. Foram utilizados 3 t.ha<sup>-1</sup> de vermicomposto em pré-semeação, 250 L.ha<sup>-1</sup> de supermagro e fertilizantes minerais 350 N, 120 P, 0 K; o desenho experimental foi em blocos completos casualizados com quatro repetições. As variáveis de resposta foram: liberação de CO<sub>2</sub> no solo, taxa de decomposição de vermicomposto no solo e produtividade de grãos de milho. O acúmulo de biomassa em estágios de desenvolvimento do milho foi beneficiado pelo estímulo da concentração de CO<sub>2</sub> ao obter um desempenho aceitável do grão, com aplicação de vermicomposto como adubo orgânico, concluindo-se que a aplicação dos adubos orgânicos, vermicomposto e supermagro, mostrou que o rendimento de milho crioulo de Sinaloa é viável de acordo com os resultados obtidos.

**Palavras-chave:** milho crioulo, adubação orgânica, decomposição de vermicomposto

## Introducción

El uso de abonos orgánicos constituye una práctica de manejo fundamental en la rehabilitación de la capacidad productiva de suelos degradados. La adición de residuos vegetales o estiércoles incrementa la actividad y cantidad de la biomasa

microbiana del suelo, que en los cultivos varía de 100 a 600 mg kg<sup>-1</sup> (Anderson y Domsch, 1989). El compostaje y el lombricompostaje del estiércol, son procesos aeróbicos de transformación de residuos orgánicos, animales y vegetales, que

ocurren constantemente en la naturaleza bajo la acción de lombrices, bacterias y hongos descomponedores de la materia orgánica. El aprovechamiento de estos residuos orgánicos cobra cada día mayor importancia como medio eficiente de reciclaje racional de nutrientes que ayuda al crecimiento de las plantas y devuelven al suelo muchos de los elementos extraídos durante el proceso productivo (Cerrato *et al.*, 2007). Asimismo, mejoran las características físicas y previenen la erosión del suelo, reducen la dependencia de insumos externos de alto costo económico y ambiental, enfocándose en una agricultura sostenible, donde se disminuye y elimina el empleo de agroquímicos a fin de proteger el ambiente y la salud animal y humana (Acevedo y Pire, 2004). En el año del 2008, México ocupó el 4<sup>º</sup> lugar mundial en la producción de maíz, con una superficie sembrada de 7.94 millones de hectáreas y una producción de 24.4 millones de toneladas (Financiera Rural, 2009), esta importancia del cultivo del maíz a nivel mundial y nacional se debe a la adaptabilidad del cultivo, debido a la enorme diversidad genética con que cuenta. Actualmente en México se han reportado 59 razas de maíz criollo (Ron Parra, *et al.* 2006) las cuales presentan diversas características agro-morfológicas que prácticamente le permiten al cultivo de maíz crecer en casi cualquier lugar, en este contexto, algunos maíces criollos y sus parientes silvestres están incluidos en las listas de especies de interés para la conservación (NOM-059-SEMARNAT-2001) y, en consecuencia son prioridad en la estrategia nacional para la conservación de la agrobiodiversidad. Por lo anterior, la finalidad de este trabajo es la de utilizar productos orgánicos para observar la respuesta en la producción de maíz criollo, evaluando la tasa de descomposición de la vermicomposta y liberación de  $\text{CO}_2$  en suelo.

## Materiales y métodos

Esta investigación se realizó en los terrenos del área experimental de la Facultad de Agronomía, localizada en el km 17.5 de la carretera Culiacán-

El dorado, al sureste de Culiacán, Sinaloa, México, en el Valle de Culiacán; las coordenadas geográficas del lugar son 24° 48' 30" de latitud norte y 107° 24' 30" de longitud oeste, la altitud sobre el nivel del mar es de 38 m (CAEVACU, 1985). El clima de acuerdo a la clasificación de Koppen modificado por García (1973), es del tipo  $\text{BS}_1(\text{h}')\text{w}(\text{e})$ , descrito como clima semiárido con lluvias de verano, presencia de lluvias invernales, precipitación media anual de 88mm, temperatura media anual de 24.8°C, presentándose la media máxima de 41°C en el verano y la media mínima de 3°C en el invierno. La humedad atmosférica relativa media anual es de 68%, presentándose la media máxima de 81% en el mes de septiembre y la media mínima de 51% en el mes de abril. El tipo de suelo es vertisol (haplustert), de textura arcillosa (70.52% de arcilla, 18% de limo y 11.48% de arena), pobre en materia orgánica (0.9%) y pH moderadamente alcalino (7.5-7.6), y sin problemas de salinidad, con una conductividad eléctrica de 0.3  $\text{dS m}^{-1}$ .

### Siembra

Se realizó manualmente colocando cinco semillas de maíz por metro lineal a una profundidad de 0.05 m.

### Sistema de riego

Se utilizó un sistema de riego por goteo (fertirriego) con líneas regantes con 0.40 m de distancia entre goteros, con un gasto de agua de 1.6  $\text{Lh}^{-1}$

### Tratamientos

Fueron T1= Maíz criollo con fertilizantes orgánicos y con fertilización mineral, T2= Maíz criollo con fertilizantes orgánicos y sin fertilización mineral, T3= Maíz criollo sin fertilizantes orgánicos y con fertilización mineral, T4= Maíz criollo sin fertilizantes orgánicos y sin fertilización mineral, T5= Maíz híbrido con fertilización mineral\*\* y T6= Maíz híbrido sin aplicación de fertilizante, \*120N-60P-00K \*\*350N-120P-00K.

### Fertilizantes

Se utilizaron fertilizantes minerales Nitrógeno= urea, Fósforo=  $P_2O_5$ , en presiembra  $3\text{ t ha}^{-1}$  de vermicomposta, y en desarrollo del cultivo  $250\text{ Lha}^{-1}$  de supermagro.

### Parámetros evaluados

Fueron, en suelo antes de la siembra fertilidad a 0.15 y 0.30 m de profundidad, nitrógeno total método kjeldahl (Alcántar y Sandoval, 1999), materia orgánica (Walkley-Black), fósforo y potasio (Peech Morgan), liberación de  $CO_2$  del suelo Jenkinson y Powlson, (1976) en donde se extrae la muestra y se tamiza con tamiz de 0.002 m obteniendo 50 g de suelo el cual se coloca en un frasco de litro agregándole 30 ml de agua destilada incubándola una semana, después se agrega en el frasco una caja de Petri con 5 ml de  $N_aOH$  se sella herméticamente y se toma la lectura a las 24 horas siguientes vaciando el contenido de la caja de Petri en un matraz Erlenmeyer adicionándole 2 ml de  $BaCl$  (2 %) con 3 a 4 gotitas de fenolftaleína titulándose en una bureta anotándose la lectura, utilizándose la siguiente fórmula  $(B - P) N \times 22$  en donde B = ml de gasto de HCl del blanco, P = ml de gasto de HCl de muestra y N = normalidad de HCl, realizando esta actividad por 10 días consecutivos; la tasa de descomposición de la vermicomposta en el suelo se determinó de acuerdo con Gerónimo Cruz *et al.* (2002), todo ello utilizando bolsitas de malla plástica de 0.25 x 0.15 m conteniendo la vermicomposta, enterrándolas a una profundidad de 0.15 m y extrayéndolas en los tiempos indicados (15, 30, 50, 70 y 90 días después de enterradas) aplicando la formula siguiente:  $BR (\%) = (X_t / X_0) 100$  en donde BR = Biomasa remanente,  $X_0$  = Peso inicial del material utilizado y  $X_t$  = Peso del material al momento del muestreo, basado en la relación siguiente:  $TD = DFI - DFS/ND$ , también se obtuvo en planta de maíz, producción de grano. Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el paquete JMP graficando con SigmaPlot y el paquete estadístico SAS, Versión 6.03 (SAS Institute, 1988).

### Diseño experimental

Fue el de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones.

### Unidad experimental

Consistió en tres surcos de 5 m de longitud y 0.76 m de separación entre ellos, equivalente a 11.4 m cada uno. Se cosecharon las 10 plantas del surco central a fin de obtener la producción de grano de maíz.

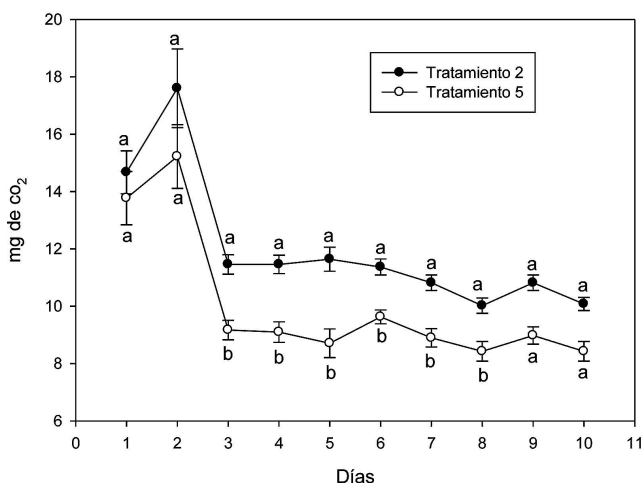
## Resultados y discusión

### Emisión de $CO_2$ en el suelo

La emisión de  $CO_2$  del suelo, excepto en los dos primeros días (48 h) de incubación, fue significativamente mayor ( $P < 0.05$ ) en todas las fechas de muestreo en el tratamiento T2 con fertilización orgánica a base de vermicomposta y supermagro respecto al tratamiento T5 sin fertilización orgánica (Figura 1). En los dos primeros días de incubación se observó una rápida emisión de  $CO_2$  del suelo en ambos tratamientos, es decir,  $14.67 \pm 0.75$  a  $17.6 \pm 1.37$  mg de  $CO_2$  en el T2 y  $13.77 \pm 0.93$  a  $15.22 \pm 1.11$  mg de  $CO_2$  en T5, valores estadísticamente iguales ( $P > 0.05$ ) en el T5. A partir del tercer día de incubación se observó una declinación en la emisión del  $CO_2$  en ambos tratamientos, la cual fue disminuyendo gradualmente hasta el día 10 o fin del estudio; durante los días 3, 4, 5 y 6 de incubación de las muestras los valores de  $CO_2$  en el T2 fluctuaron entre  $11.64 \pm 0.42$  a  $11.37 \pm 0.28$  mg; por su parte, en el T5 los valores fluctuaron entre  $9.63 \pm 0.24$  y  $8.71 \pm 0.50$  mg; los valores de ambos tratamientos fueron estadísticamente diferentes ( $P < 0.002$ ) en este periodo de tiempo. En el tiempo comprendido del día 7 al 10, continuó el declive en la emisión de  $CO_2$ , pero manteniéndose estadísticamente diferente en cada uno de estos días ( $P < 0.0014$ ), tal que en T2 varió de

10.82±0.27 a 10.02±0.27 mg, mientras que en T5 fluctuó entre 8.99±0.30 y 8.43±0.34mg. Este patrón de emisión de CO<sub>2</sub> del suelo concuerda con lo señalado en otros estudios; Omay *et al.*, 1997) influyendo los factores de humedad, temperatura, pH y conductividad principalmente los cuales se llevaron a cabo en suelos de textura arcillosa al igual que el presente trabajo y en condiciones climáticas muy similares.

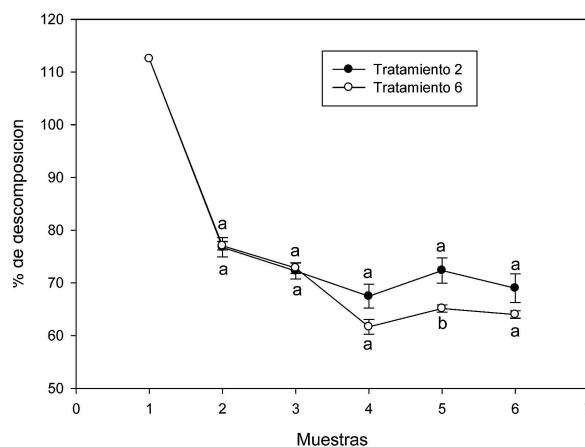
Brookes *et al.* (2008) observaron valores de emisión de CO<sub>2</sub> del suelo tratado con varios substratos orgánicos, incluido extracto de composta, de alrededor de 30 µg C-CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> de suelo; estos mismos autores mencionaron que la diferencia en incremento en emisión de C-CO<sub>2</sub> fue relativamente baja, menos del 10%, al comparar suelo tratado con enmiendas orgánicas y con fertilizante a base de nitrógeno y fósforo minerales. En el presente estudio las diferencias del T2=fertilizantes orgánicos entre el T5= fertilizantes químicos, fueron entre el 6.13% al inicio y del 17.35% al final del estudio.



**Figura 1.** Evolución de CO<sub>2</sub> del suelo, en función del tratamiento de fertilización del suelo. Tratamiento 2 = Con fertilizantes orgánicos y sin fertilización mineral; Tratamiento 5 = Sin fertilizantes orgánicos y fertilización mineral (350N-120-00K)

## Tasa de descomposición de la vermicomposta

La biomasa remanente de la vermicomposta como se observa en la (figura 2), sufrió un cambio muy significativo al inicio del período de incubación en relación al resto del período, debido a los factores de temperatura, humedad y pH principalmente; estos procesos pueden variar en duración de semanas a meses (Aira *et al.* 2005). En el primer y segundo muestreo (15 y 30 días de incubación respectivamente), se observó cómo es un poco más elevada la biomasa remanente en el T6 sin fertilización con respecto al T2 con fertilizantes orgánicos a base de vermicomposta y con supermagro, es decir, 77.04±0.8 a 72.82±1.02 de biomasa remanente en el T6 y 76.75±1.83 a 72.26±1.5 en el T2. A partir de la muestra 3, 4 y 5; 50, 70 y 90 días de incubación respectivamente, se observó cómo el T2 contiene más biomasa remanente en relación al T6, fluctuando los valores entre 67.48±2.26 a 69±2.73 y 61.66±1.4 a 64±0.7 respectivamente; los valores de ambos tratamientos fueron estadísticamente diferentes (P<0.02) en el muestreo 4 (70 días de incubación), Esta variación observada sugiere la existencia de sucesión en la comunidad microbiana en función de su mayor o menor especificidad para la descomposición de diferentes formas de la materia orgánica (Silvana *et al.* 2005).



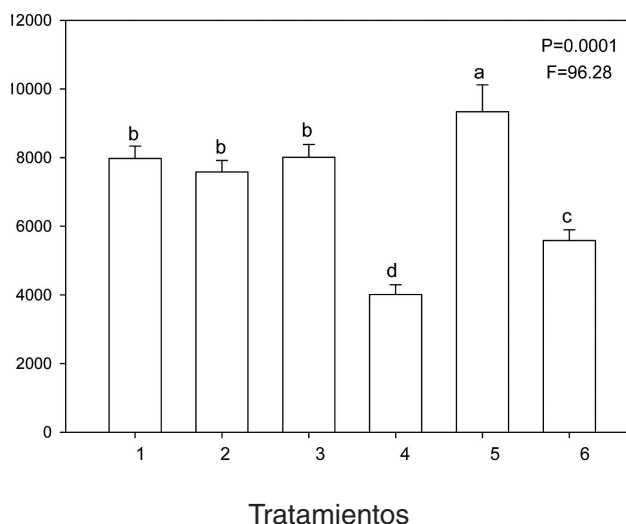
**Figura 2.** Tasa de descomposición de la vermicomposta aplicada al suelo, en función del tratamiento de fertilización. Tratamiento 2 = Con fertilizantes orgánicos biofertilizante y sin fertilización mineral; Tratamiento 6 = Sin fertilización.

## Rendimiento de grano de maíz

Se puede observar en la Figura 3 que los tratamientos T1, T2 con fertilizantes orgánicos y T3 sin fertilizantes orgánicos y fertilización mineral no fueron estadísticamente diferentes entre sí, ya que produjeron de  $7964.63 \pm 357.14$ ,  $7581.63 \pm 336.52$  y  $8007.38 \pm 378.52$  t ha<sup>-1</sup> de grano respectivamente. La fertilización orgánica benefició el desarrollo del maíz y las diferencias detectadas en los tratamientos evaluados se relacionaron con el contenido de elementos nutritivos en la planta y sus comunidades microbianas (Moreno *et al.* 2005). Notándose una diferencia significativa ( $P < 0.0001$ ) en el T5 maíz híbrido y alta dosis de fertilización mineral (350N-120P-00K) con una producción de  $9333.75 \pm 785.32$  tha<sup>-1</sup>. El rendimiento obtenido en el maíz criollo tratado con fertilizantes orgánicos fue superior a la media experimental en la región, que es de 5 a 6 t ha<sup>-1</sup>. Los resultados muestran que con la fertilización orgánica y fertilización mineral reducida en un 65 % (122.5N-42P-00K) de la tradicional que se emplea en el maíz híbrido, es posible obtener rendimientos satisfactorios comparados con los de fertilización mineral elevada (350N-120P-00K). Estos resultados coinciden a lo reportado por Smith y Read (2008) y por (Ochoa *et al.*, 2009) quienes mencionan que los abonos orgánicos, como la composta y vermicomposta, los microorganismos benéficos (biofertilizantes), sustancias húmicas, etc. pueden aportar

una mayor eficiencia en el aprovechamiento de los nutrientes por los cultivos.

Rendimiento (tha<sup>-1</sup>)



**Figura 3.** Rendimiento de grano de maíz th<sup>-1</sup> en función de los tratamientos de fertilización. Tratamiento 1 = Con fertilizantes orgánicos y fertilización mineral (120N-60P-00K); Tratamiento 2 = con fertilizantes orgánicos; Tratamiento 3 = con fertilización mineral (120N-60P-00K); Tratamiento 5 = con fertilización mineral (350N-120-00K) y Tratamientos 4 y 6 sin fertilización. Los tratamientos T1, T2, T3 y T4 corresponden a maíz criollo; los T5 y T6 son maíz híbrido.

## Conclusiones

El patrón de emisión de CO<sub>2</sub> del suelo fue similar al de descomposición de la vermicomposta aplicada al suelo. En los dos períodos iniciales de incubación se observó el valor mayor de liberación de CO<sub>2</sub>, el cual correspondió con la mayor tasa de descomposición de la vermicomposta; los restantes tiempos de incubación en ambos parámetros presentaron una disminución progresiva hasta el final del período de incubación del suelo. El tratamiento T2 de fertilización orgánica presentó mayor liberación de CO<sub>2</sub> que el T5 en todo

el periodo de incubación y la tasa de descomposición de la vermicomposta fue mayor a partir del segundo período de incubación. La tasa de descomposición de la vermicomposta en el suelo observada sugiere que durante el tiempo de su incubación liberó nutrientes que fueron aprovechados para la nutrición de las plantas de maíz criollo, mismos que sirvieron como complemento a la fertilización reducida de N, P y K aplicada, y así producir un rendimiento de grano aceptable respecto al rendimiento del maíz híbrido.



Los resultados de este trabajo arrojan que es factible utilizar vermicomposta y supermagro en conjunto con fertilización reducida en un 65 % (122.5N-42P-00K), para lograr una aceptable producción de grano de maíz criollo nativo de Sinaloa, México.

## Agradecimientos

Se agradece la colaboración del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Universidad Autónoma de Sinaloa, Colegio de Ciencias Agropecuaria, Facultad de Agronomía, Coordinación de Posgrado de la FA, Mario Pérez Ahumada y Manuel López, por su valioso apoyo para la realización del presente trabajo de investigación.

## Literatura citada

1. Acevedo, I. & Pire, R. (2004). Efectos del lombricompost como enmienda de un sustrato para el crecimiento del lechoso (Carica papaya L.). *Interciencia* 29: 274-279.
2. Aira, M., Monroy, F. & Domínguez, J. (2005). Ageing effects on nitrogen dynamics and enzyme activities in casts of Aporrectodea caliginosa (Lumbricidae). *Pedobiología* 49:467-473.
3. Alcántar, G. G. & Sandoval, V. M. (1999). *Manual de análisis químico de tejido vegetal*. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. Chapingo, México. Publicación especial. Núm. 10.
4. Anderson, T. & Domsch, K. (1989). Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. *Soil Biol. Biochem.* 21: 417- 479.
5. Brookes, P.; Cayuela, M.; Contin, M.; De Nobili, M.; Kemmitt, S. & Mondini, C. (2008). The mineralization of fresh and humified soil organic matter by the soil microbial biomass. *Waste Manag.* 28(4): 716-722.
6. Cerrato, M.; Leblanc, H. & Kameko, C. (2007). Potencial de mineralización de nitrógeno de Bokashi, compost y lombricompost producidos en la Universidad Earth. *Tierra Tropical* 3: 183-197.
7. Financiera Rural, *Monografía del Maíz Grano*. Marzo (2009).
8. Gerónimo, A.; Salgado García, S.; Catzin, F. & Ortiz, A. (2002). Descomposición del follaje del nescafé (*Mucuna spp.*) en la época seca. *Interciencia* V 27 No 11:625-630.
9. Jenkinson, D. & Powlson, D. (1976). The effects of bio-cidal treatments on metabolism in soil. V. A method for measuring soil biomass. *Soilbiology and Biochemistry*, v.8, p. 209-213.
10. Moreno, R.; Valdés, P.; & Zarate, L. (2005) Desarrollo de tomate en sustratos de vermicompost/arena bajo condiciones de invernadero. *Agricultura Técnica* 65(1): 26-34.
11. Ochoa, M.; Figueroa, V.; Cano, R.; Preciado, A.; Moreno, R. & Rodríguez, D. (2009). Té de composta como fertilizante orgánico en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*) en invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 15(3):245-250.
12. Omay, A.; Rice, C.; Maddux, L. & Gordon, W. (1997). Changes in soil microbial and chemical properties under long-term crop rotation and fertilization. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:1672-1678.
13. Ron, P.; Sánchez, J.; Jiménez, A.; Carrera, J.; Martín, J.; Morales, M.; De la Cruz, L.; Hurtado, S.; Mena, S. & Rodríguez, J. (2006). *Maíces Nativos del Occidente de México*. I. Colectas 2004. Scientia-CUCBA 8(1): 1-139. ISBN: 970-27-0955-5. Editorial Tecnología y Aplicaciones Gráficas.
14. Silvana, A.; Wagner, B. & Carlos, C. (2005) Effect of sewage sludge on microbial biomass, basal respiration, metabolic quotient and soil enzymatic activity. *Appl Soil Ecol* 30:65-77.
15. Smith, S. & Read, D. (2008) *Mycorrhizal Symbiosis*. Acad. Press. London, UK. 787 p. Statistix. 2005. Statistix para Windows versión 7.0 : Analytical Software.

## **CAPITULO III: RESPUESTA DEL MAÍZ (*zea maíz L.*) A DIFERENTES TIPOS DE FERTILIZACIÓN EN SINALOA.**

### **3.1 RESUMEN**

Para contribuir en la adopción de prácticas amigables de fertilización que disminuyan la contaminación de los suelos agrícolas de Sinaloa, se estudió la respuesta de fertilizantes orgánicos y minerales en el cultivo de maíz en rendimiento de grano, contenido de N, P y K en el follaje y liberación de CO<sub>2</sub> del suelo. Se utilizó vermicomposta y supermagro como fertilizantes orgánicos. Los tratamientos estudiados fueron: T1= maíz nativo con fertilización orgánica y fertilización mineral reducida; T2= maíz nativo con fertilización orgánica y sin fertilización mineral; T3= maíz nativo sin fertilizantes orgánicos y con fertilización mineral; T4= maíz nativo sin fertilización; T5=Maíz híbrido con fertilización mineral y T6=Maíz híbrido sin fertilización. Se usó el diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. La aplicación de vermicomposta y supermagro favoreció el crecimiento, absorción de N, P y K y el rendimiento de grano de maíz nativo, que aunque no superó al tratamiento en donde se aplicó fertilización mineral si se acercó en producción a este y lo que es mejor es que es amigable con el medio ambiente al utilizar estos productos orgánicos y así se evita la contaminación del suelo.

Palabras clave: eyección, nativos, orgánicos, vermicomposta.

### **3.2 ABSTRACT**

The response of organic and mineral fertilizers in growing maize grain yield was studied for N, P and K in the foliage and soil CO<sub>2</sub> release since the adoption of these organic products is necessary to stop pollution soils in Sinaloa. Vermicompost used is an organic product that is obtained from the ejection supermagro worms and through fermentation of different organic products was obtained. The treatments were: T1 = organic fertilizers and reduced mineral fertilization; T2 = organic fertilizers and without mineral fertilization; T3 = no organic fertilization and mineral fertilizers; T4 = without fertilization; T5 = Corn hybrid with mineral fertilization and T6 = unfertilized hybrid maize. They use a design of randomized complete block with four replications. The application of vermicompost and supermagro favored growth, uptake of N, P and K by plants and grain yield of native corn, although not exceeded treatment where mineral fertilizer was applied if approached in producing this and which is better is that is friendly to the environment by using these organic products and thus soil contamination is avoided.

Keywords: ejection, native, organic, vermicompost.

### **3.3 INTRODUCCIÓN**

En el año 2012, México ocupó el cuarto lugar en producción de maíz en el mundo (FAO, 2014). En este año, más del 50% de la superficie que se cultivó en México fue de maíz, dado que se sembraron en todo el territorio 15' 545, 464.39 hectáreas con 217 cultivos, y de maíz se sembraron 7' 372, 218.19 hectáreas, con una producción de 22' 372, 218.19 toneladas. El maíz se considera un recurso genético importante y la tecnología asociada a su cultivo también es reconocida como importante no sólo por su componente cultural, sino su importancia económica en el desarrollo de variedades mejoradas. En este contexto, algunos maíces nativos y sus parientes silvestres están incluidas en las listas de especies de interés para la conservación y, en consecuencia son prioridad en la estrategia nacional para la conservación de la agrobiodiversidad; esta importancia del cultivo del maíz a nivel mundial y nacional se

debe a la enorme adaptabilidad del cultivo, debido a la gran diversidad genética con que cuenta el cultivo; actualmente en México se han reportado 59 razas de maíz nativo (Ron Parra, *et. al.*, 2006), las cuales presentan diversas características agromorfológicas que prácticamente le permite al cultivo de maíz crecer en casi cualquier lado. En Sinaloa se ha generado una disminución en el uso de fertilizantes orgánicos hasta el punto en que la aplicación de fertilizantes de síntesis se ha convertido en un problema ambiental como la lixiviación de productos químicos, de forma similar a lo que ocurre en muchos lugares del mundo (Butler *et al.*, 2007). El uso de abonos orgánicos constituye una práctica de manejo fundamental en la rehabilitación de la capacidad productiva de suelos degradados. La adición de residuos vegetales o estiércoles incrementa la actividad y cantidad de la biomasa microbiana del suelo, tal que en los suelos cultivados varía de 100 a 600 mg kg<sup>-1</sup> (Anderson y Domsch, 1989). El aprovechamiento de estos residuos orgánicos cobra cada día mayor importancia como medio eficiente de reciclaje racional de nutrientes, que ayuda al crecimiento de las plantas y devuelven al suelo muchos de los elementos extraídos durante el proceso productivo (Cerrato *et al.*, 2007). Asimismo, dichos abonos mejoran las características físicas y previenen la erosión del suelo, reducen la dependencia de insumos externos de alto costo económico y ambiental, contribuyendo a una agricultura sostenible, en donde se disminuye y elimina el empleo de agroquímicos, a fin de proteger el ambiente, a la salud animal y la humana (Acevedo y Pire, 2004). Por esto, la finalidad de este trabajo fue conocer la respuesta en la producción de maíz criollo y/o nativo de Sinaloa, México con fertilización orgánica y mineral de síntesis en el Valle de Culiacán, Sinaloa, México y contrastarlo con la fertilización convencional en un híbrido utilizado en la región, así mismo conocer el impacto en contenido de nitrógeno mineral en el suelo y liberación de CO<sub>2</sub> por efecto de la aplicación de vermicomposta.

### **3.4 MATERIALES Y MÉTODOS**

Esta investigación se realizó en los terrenos del área experimental de la Facultad de Agronomía, que se localiza en el km 17.5 de la carretera Culiacán-Eldorado, en el Valle de Culiacán Sinaloa, México; las coordenadas geográficas del lugar son 24° 48'

30" N y 107° 24' 30" O, la altitud sobre el nivel del mar es de 38 m (CAEVACU; 1985). Antes de la siembra del experimento se realizaron análisis químicos del suelo a 0-15 y 15-30 cm de profundidad; nitrógeno total método micro-kjeldahl (Alcántar y Sandoval, 1999), las determinaciones fueron contenido de materia orgánica del suelo (Walkley-Black), fósforo y potasio aprovechables en el suelo (Peech Morgan); antes de la aplicación de la vermicomposta al suelo se determinó su contenido de N-total, P y K, cuyos resultados fueron 1.9, 1.2 y 1.4 % de N, P y K respectivamente; la liberación de CO<sub>2</sub> del suelo se determinó de acuerdo con (Jenkinson y Powlson, 1976). Los tratamientos considerados se presentan en el Cuadro 1.

El diseño experimental fue el de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. La siembra se realizó manualmente colocando 5 semillas de maíz por metro lineal a una profundidad de 5 cm. La unidad experimental consistió en 3 surcos de 5 m de longitud y 76 cm de separación entre ellos, equivalente a 11.4 m<sup>2</sup>. Dos materiales fueron utilizados; una variedad nativa y/o criollo (Cuarenteño) y una variedad híbrida (Pioneer 30P49) utilizados frecuentemente por los productores de maíz.

Cuadro 1. Tratamientos utilizados para evaluar el comportamiento de maíz.

Tratamientos	Descripción
1	Maíz nativo con fertilizantes orgánicos* y con fertilización mineral de síntesis**
2	Maíz nativo con fertilizantes orgánicos*
3	Maíz criollo sin fertilizantes orgánicos y con fertilización mineral de síntesis***
4	Maíz nativo sin fertilización
5	Maíz híbrido con fertilización mineral de síntesis***
6	Maíz híbrido sin fertilización

\*Vermicomposta y supermagro      \*\*120N-42P-00K unidades      \*\*\*350N-120P-00K unidades

El suelo es tipo vertisol (pellustert), de textura arcillosa (70.52% de arcilla, 18% de limo y 11.48% de arena), 0.9 % materia orgánica y pH 7.5-7.6 y una conductividad

eléctrica de  $0.3 \text{ dS m}^{-1}$ ; el sistema de riego fue por goteo (fertirriego) utilizando líneas regantes con  $0.40 \text{ m}$  de distancia entre goteros, con un gasto de agua de  $1.6 \text{ L h}^{-1}$ , se colocaron tensiómetros para monitorear la frecuencia de los riegos; se utilizó una bomba a gasolina para inyectar el fertilizante supermagro en los tratamientos correspondientes; la vermicomposta se aplicó en presiembra en dosis de  $3 \text{ t ha}^{-1}$  y en el desarrollo del cultivo se utilizó el fertilizantes orgánico supermagro, en dosis de  $250 \text{ L ha}^{-1}$ . Los fertilizantes minerales sintéticos utilizados fueron urea 46-00-00 y fosfato mono amónico 12-61-00 en dosis de acuerdo al tratamiento correspondiente aplicados el 50 % en presiembra manualmente y el 50 % restante en el desarrollo del cultivo. El control de plagas se realizó utilizando repelentes a base de extractos de Neem, cebolla y ajo.

En las hojas de las plantas de maíz se determinó su peso seco, contenido de nitrógeno, fósforo y potasio total. El peso seco se cuantificó a los 85 días después de su emergencia para lo cual el material se introdujo en un horno de circulación forzada a  $65 \text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 72 horas aproximadamente. El contenido de nitrógeno total se midió con el método de Kjeldahl (Alcántar y Sandoval, 1999), mientras que el contenido del fósforo por colorimetría mediante el método del vanadato-molibdato con un espectrofotómetro uv/visible, y el contenido de potasio con un flamómetro, marca Intech, modelo 1380. En los tratamientos dos y cinco se determinó la liberación de  $\text{CO}_2$ , nitrógeno total y nitrógeno inorgánico en el suelo, en una muestra de suelo tomada en el lomo del surco. En cada uno de los tratamientos se estimó el rendimiento de grano de maíz en las diez plantas centrales de cada unidad experimental, ajustando los pesos al 14% de humedad del grano. Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el paquete estadístico SAS, Versión 6.03 (SAS Institute, 1988).

### **3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **Liberación de $\text{CO}_2$ en suelo.**

La cantidad de emisión de  $\text{CO}_2$  del suelo excepto en las 48 h de incubación, fue mayor ( $P < 0.05$ ) respecto a las demás fechas de muestreo, en el tratamiento 2 con fertilizantes orgánicos a base de vermicomposta y supermagro respecto al tratamiento 5 con fertilización mineral Cuadro 2, haciéndose la aclaración que ésta

variable (Liberación de CO<sub>2</sub>), se estudió en el T2 con fertilizantes orgánicos y en el T5 con fertilizantes minerales de síntesis al 100 %. En ambos tratamientos se observó una rápida emisión de CO<sub>2</sub> del suelo los dos primeros días de incubación, es decir, 14.67±0.75 a 17.6±1.37 mg de CO<sub>2</sub> en el T2 y 13.77±0.93 a 15.22±1.11 mg de CO<sub>2</sub> en T5, valores estadísticamente iguales (P>0.05). A partir de los días restantes se observó un descenso en los dos tratamientos, la cual fue disminuyendo gradualmente hasta el fin del estudio; los valores de CO<sub>2</sub> en el T2 fluctuaron entre 11.64±0.42 a 11.37±0.28 mg; por su parte, en el T5 los valores fluctuaron entre 9.63±0.24 y 8.71±0.50 mg; durante los siguientes cuatro días de incubación de las muestras (días 3, 4, 5 y 6) siendo los valores de ambos tratamientos estadísticamente diferentes (P<0.002) en este lapso de tiempo.

Cuadro 2. Liberación de CO<sub>2</sub> del suelo, en función del tratamiento de fertilización del suelo. Tratamiento 2 = Con fertilizantes orgánicos y sin fertilización mineral de síntesis; Tratamiento 5 = Sin fertilización orgánica y fertilización mineral de síntesis (350N-120-00K). Los valores con la misma letra no son estadísticamente diferentes Tukey, α=0.05.

Días	Tratamiento 2	Tratamiento 5
	mg C-CO <sub>2</sub> g <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup>	
1	14.67±0.75 <sup>a</sup>	13.77±0.93 <sup>a</sup>
2	17.60±1.37 <sup>a</sup>	15.22±1.11 <sup>a</sup>
3	11.64±0.42 <sup>a</sup>	9.63±0.24 <sup>b</sup>
4	11.46±0.32 <sup>a</sup>	9.10±0.36 <sup>b</sup>
5	11.64±0.42 <sup>a</sup>	8.71±0.50 <sup>b</sup>
6	11.37±0.28 <sup>a</sup>	8.71±0.50 <sup>b</sup>
7	10.82±0.27 <sup>a</sup>	8.99±0.30 <sup>b</sup>
8	10.02±0.27 <sup>a</sup>	8.43±0.34 <sup>b</sup>
9	10.82±0.20 <sup>a</sup>	8.98±0.30 <sup>a</sup>
10	10.08±0.23 <sup>a</sup>	8.43±0.34 <sup>a</sup>

T2 Maíz nativo con fertilizantes orgánicos (*Vermicomposta y supermagro*).

T5 Maíz híbrido con fertilización mineral (350-120-00)

Los valores con la misma letra no son estadísticamente diferentes Tukey, α=0.05.

*Brookes, et al., (2008)* observaron valores de emisión de  $\text{CO}_2$  del suelo tratado con varios substratos orgánicos, incluido extracto de composta, de alrededor de  $30 \mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1}$  de suelo; estos autores mencionaron que la diferencia en incremento en emisión de  $\text{C-CO}_2$  fue baja, menos del 10%, al comparar suelo tratado con enmiendas orgánicas y con fertilizante a base de nitrógeno y fósforo minerales. Las diferencias en este trabajo fueron entre el 6.13 % al inicio y el 17.35 % al final de la investigación.

### **Nitrógeno total en la vermicomposta aplicada al suelo**

El comportamiento del N Total de la vermicomposta aplicada al suelo fue disminuyendo conforme transcurre el tiempo hasta el cuarto periodo, también se observa que en el T2=Con fertilizantes orgánicos y sin fertilización mineral se observó que el contenido de N Total  $1.36\pm 0.08$ ,  $1.24\pm 0.04$ ,  $1.16\pm 0.03$ ,  $0.67\pm 0.05$  y  $0.73\pm 0.06$  %, fueron estadísticamente similares al contenido de N Total al T6= Maíz híbrido sin fertilización  $1.36\pm 0.08$ ,  $1.20\pm 0.04$ ,  $1.08\pm 0.06$ ,  $0.66\pm 0.05$  y  $0.54\pm 0.03$ , como lo muestra la Figura 1; el fertilizante orgánico como la vermicomposta libera más rápidamente el N que los suelos tratados con fertilizantes minerales de síntesis escrito anteriormente por (Litterick, *et al.*, 2004).



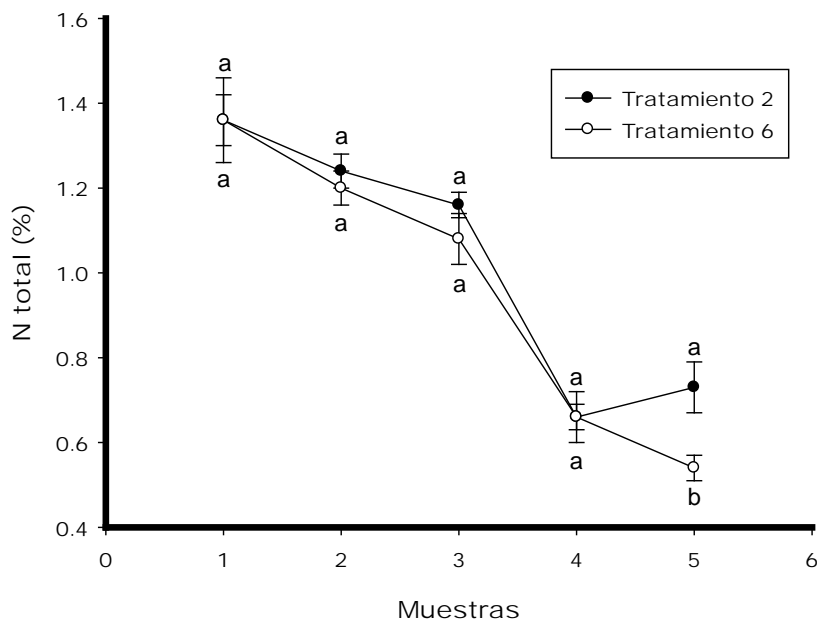


Figura 1. Contenido de nitrógeno total (%) en la vermicomposta aplicada al suelo, en función del tratamiento de fertilización del suelo. Tratamiento 2 = Con fertilizantes orgánicos y sin fertilización mineral de síntesis; Tratamiento 6 = Maíz híbrido sin fertilización. Los valores con la misma letra no son estadísticamente diferentes Tukey,  $\alpha=0.05$ .

### Nitrógeno inorgánico (N-NO<sub>3</sub> ppm) en el suelo

La Figura 2 muestra el comportamiento del N Inorgánico en el suelo, cuyos análisis se realizaron en cuatro muestreos (muestreo 1: 27 de diciembre del 2011, muestreo 2: 3 de enero, muestreo 3: 17 de enero, y muestreo 4: 14 de febrero del 2012); el valor de nitrógeno inorgánico (N-NO<sub>3</sub> ppm) del suelo fue significativamente mayor ( $P<0.05$ ) en ambos tratamientos y todas las fechas de muestreo; el T2 presento mayor contenido de N inorgánico ( $120.25\pm 19.91$  a  $60.06\pm 9.43$  %) en comparación al T5 ( $40.42\pm 2.21$  a  $25.41\pm 4.0$  ppm) en todos los muestreos. las concentraciones de N inorgánico observadas en el T2 se debieron a la mineralización del N orgánico contenido en la vermicomposta (Cabrera *et al.*, 2005), ya que la fertilización disminuye la relación C:N de los residuos y de la MO, favoreciendo su mineralización.

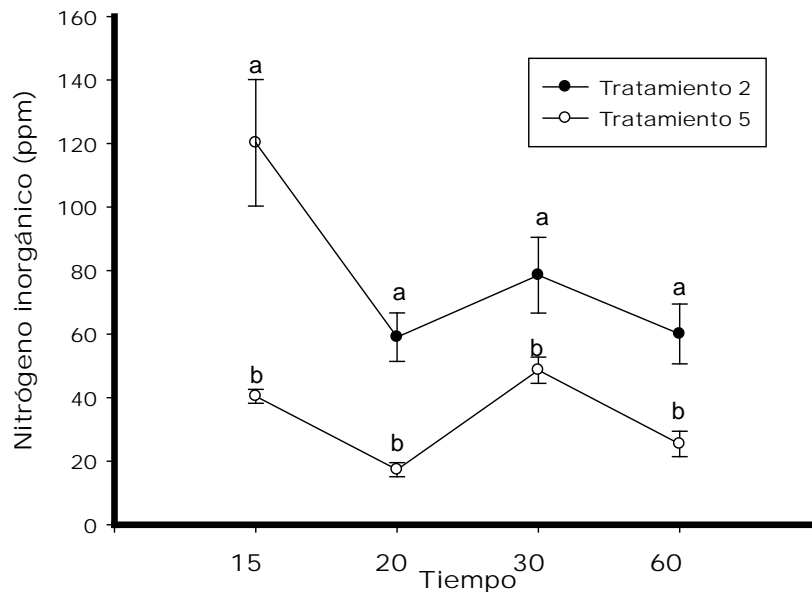


Figura 2. Contenido de nitrógeno inorgánico (N-NO<sub>3</sub> ppm) en suelo, en función del tratamiento de fertilización del suelo. Tratamiento 2 = Con productos orgánicos y sin fertilización mineral de síntesis; Tratamiento 5 = Maíz híbrido con fertilización mineral de síntesis. Los valores con la misma letra no son estadísticamente diferentes Tukey,  $\alpha=0.05$ .

### Cantidad de materia seca producida por las plantas de maíz

La relativamente mayor producción de biomasa seca se observó en los tratamientos con fertilización mineral de síntesis y sin fertilización orgánica T3 y T5, seguido de la mezcla de fertilizantes orgánicos + fertilización química de síntesis reducida T1 y fertilizantes orgánicos T2, los valores más bajos correspondió a los tratamientos sin fertilización T4 y T6, sin embargo no se observó diferencia estadística significativa entre los tratamientos ( $P \leq 0,7891$ ). Los resultados obtenidos mostraron que el tratamiento 5 con fertilización mineral de síntesis rindió el máximo valor de materia seca posiblemente debido a que los fertilizantes químicos sintéticos son sales solubles altamente concentradas y están disponibles en forma inmediata para las plantas, pero de corta acción residual, mientras que los tratamientos con fertilizantes orgánicos se consideran como materiales de lenta liberación de nutrientes que

aportan a las plantas a través del tiempo dependiendo de diversos factores como el tipo de material orgánico, sus características, las condiciones biológicas, edáficas y ambientales (Meléndez, 2003).

Cabe destacar que la mezcla utilizada de fertilizantes orgánicos y fertilizantes químicos de síntesis con dosis reducida de N y P mostraron respuesta en el maíz nativo bastante aceptable Cuadro 3; similares resultados han sido obtenidos en otros trabajos realizados donde se evaluaron mezclas de compost y fertilizantes químicos sintéticos (Matheus, 2001; Briceño y Mora, 2003), en los que se ha reafirmado el efecto complementario y positivo del uso de ambos productos.

Cuadro 3. Valores promedio biomasa seca producida por las plantas de maíz en época de floración en función del tratamiento de fertilización (\*\*\*).

Tratamientos	(g planta <sup>-1</sup> )
1 Maíz nativo con fertilizantes orgánicos* y con fertilización mineral**	97.25 <sup>a</sup>
2 Maíz nativo con fertilizantes orgánicos y sin fertilización mineral	87.75 <sup>a</sup>
3 Maíz nativo sin fertilizantes orgánicos y con fertilización mineral***	102.25 <sup>a</sup>
4 Maíz nativo sin aplicación de fertilizantes	83.25 <sup>a</sup>
5 Maíz híbrido con fertilización mineral***	107.50 <sup>a</sup>
6 Maíz híbrido sin aplicación de fertilizante	84.50 <sup>a</sup>
*Vermicomposta y supermagro	**120-60-00
	***350-120-00

(\*\*\*) Los valores con la misma letra no son estadísticamente diferentes Tukey,  $\alpha=0.05$ .

### Contenido de N en hojas jóvenes de plantas de maíz nativo e híbrido

La aplicación de vermicomposta combinada con fertilización mineral reducida en el cultivo de maíz nativo, aumento la concentración de N en las plantas de maíz, como lo muestra la Figura 3, cuyas medias en relación a la concentración de nitrógeno en las hojas jóvenes de las plantas de maíz, son diferentes estadísticamente entre los tratamientos. El maíz tratado con fertilizantes orgánicos y con fertilización mineral

reducida presentó una concentración de 3.95 % de N, por su parte el maíz híbrido tratado con fertilización mineral presentó 3.57 % de N. El patrón de concentración de N por las plantas de maíz, observado en los seis tratamientos, fue muy similar al de acumulación de materia seca en los mismos tratamientos; se debe destacar que los patrones de acumulación de nutrientes pueden ser variables con los diferentes ambientes, condiciones y tipo de suelo, variedad de cultivo y otras prácticas de manejo como irrigación, fertilización, etc. (Hanway, 1962).

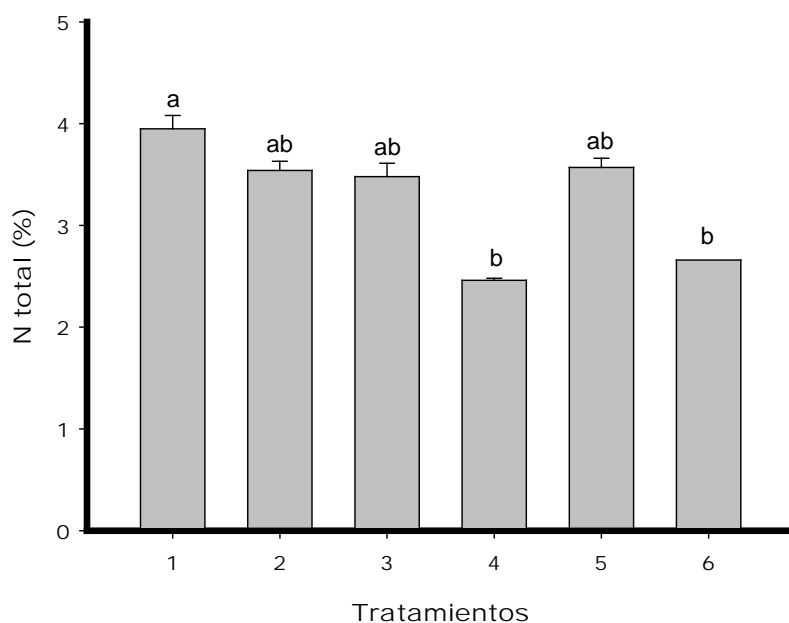


Figura 3. Contenido de nitrógeno por las plantas de maíz en etapa de floración, en función de los tratamientos de fertilización. Los valores con la misma letra no son estadísticamente diferentes Tukey,  $\alpha=0.05$ .

### **Contenido de P en hojas jóvenes en plantas de maíz nativo e híbrido**

En relación a la concentración de fósforo en las hojas de las plantas de maíz, se observó que fue baja y similar en todos los tratamientos, es decir, no hubo diferencias significativas entre ellos ( $P>0.05$ ). Estos resultados coinciden con lo descrito por (Lynch, 2007) la reducida disponibilidad de fósforo (P) en el suelo es uno de los principales factores que limita el crecimiento y rendimiento de los cultivos a nivel mundial, particularmente en los países en donde el acceso al fertilizante es restringido y por lo descrito por (Bayuelo Jiménez *et al.*, 2011) quienes sugieren que las características radicales de maíz son un factor determinante en la absorción de

fósforo y en la expresión de su eficiencia, en etapa de plántula y en posteriores estados del desarrollo.

### Contenido de K en hojas jóvenes en plantas de maíz nativo e híbrido

La concentración del potasio se puede observar en la Figura 4, se puede observar que el Maíz híbrido tratado con fertilización mineral T5 fue el que presentó el mayor contenido de K el  $1.46 \pm 0.01$  %, seguido por el T3= Maíz nativo sin fertilizantes orgánicos y con fertilización mineral el  $1.42 \pm 0.03$  %, el T6= Maíz híbrido sin fertilización o sea el  $1.14 \pm 0.12$  % de K, T2= Maíz nativo con fertilizantes orgánicos el  $1.28 \pm 0.08$  % de K, el T1= Maíz nativo con fertilizantes orgánicos y con fertilización mineral reducida el  $1.13 \pm 0.12$  % de K, y por último el T4= Maíz nativo sin fertilización el  $2.97 \pm 0.1$  % de K,. En el estadio de llenado del grano o del desarrollo de las plantas, la absorción de K disminuye en cultivos como soja, maíz, trigo ó arroz (Kafkafi y Xu, 1999). La mayor parte del K total contenido en la parte aérea de plantas de maíz fue al comienzo de la etapa reproductiva (Jordan *et al.*, 1950; Hanway, 1962; Gething, 1990).

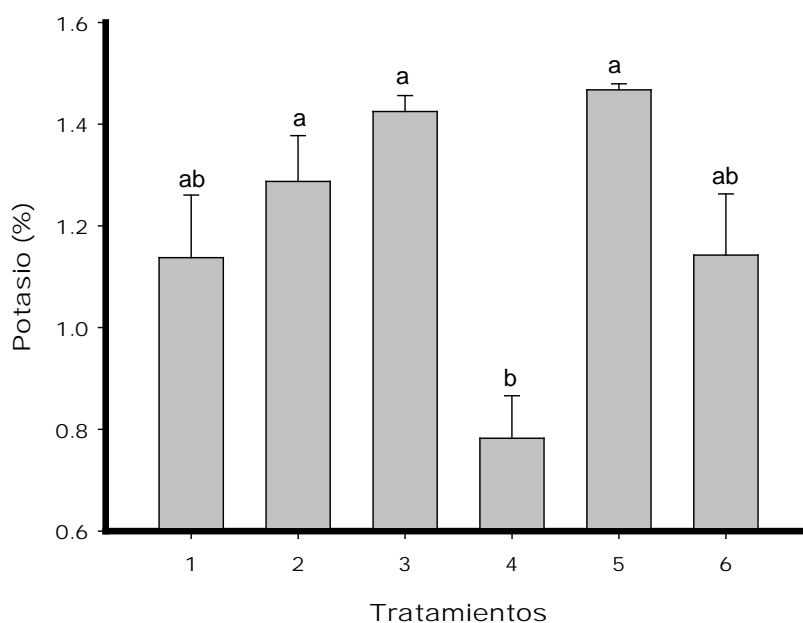


Figura 4. Contenido de potasio por las plantas de maíz en etapa de floración, en función de los tratamientos de fertilización. Los valores con la misma letra no son estadísticamente diferentes Tukey,  $\alpha=0.05$ .

### **Rendimiento de grano de maíz**

Los tratamientos con fertilizantes orgánicos (T1 y T2) y el T3 sin fertilizantes orgánicos y fertilización mineral, produjeron  $7964.63 \pm 357.14$ ,  $7581.63 \pm 336.52$  y  $8007.38 \pm 378.52$  t ha<sup>-1</sup> respectivamente, no fueron diferentes estadísticamente entre sí Figura 6. Notándose una diferencia significativa ( $P < 0.0001$ ) en el T5 de maíz híbrido y fertilización mineral con un rendimiento de grano de  $9333.75 \pm 785.32$  kg ha<sup>-1</sup> en relación a los tratamientos con fertilizantes orgánicos, estos rendimientos de grano son superiores a la media que es de 5 a 6 t ha<sup>-1</sup> en maíces nativos, los resultados muestran que el rendimiento de grano de maíz nativo con la aplicación combinada de fertilizantes orgánicos y fertilización mineral reducida en un 65 % respecto de la tradicional aplicada en el maíz híbrido, se pueden obtener rendimientos de grano satisfactorios. Estos resultados coinciden con lo reportado por Smith y Read, 2008 y por Ochoa *et al.*, 2009, quienes mencionan que el uso de abonos orgánicos, como la vermicomposta fomentan la población de microorganismos benéficos, sustancias húmicas, etc. mismos que pueden aumentar la eficiencia en el aprovechamiento de los nutrientes por las plantas de cultivo. Por otro lado, el comportamiento en rendimiento del maíz nativo muestra la posibilidad de reducir la dependencia tecnológica de semilla híbrida de compañías trasnacionales.

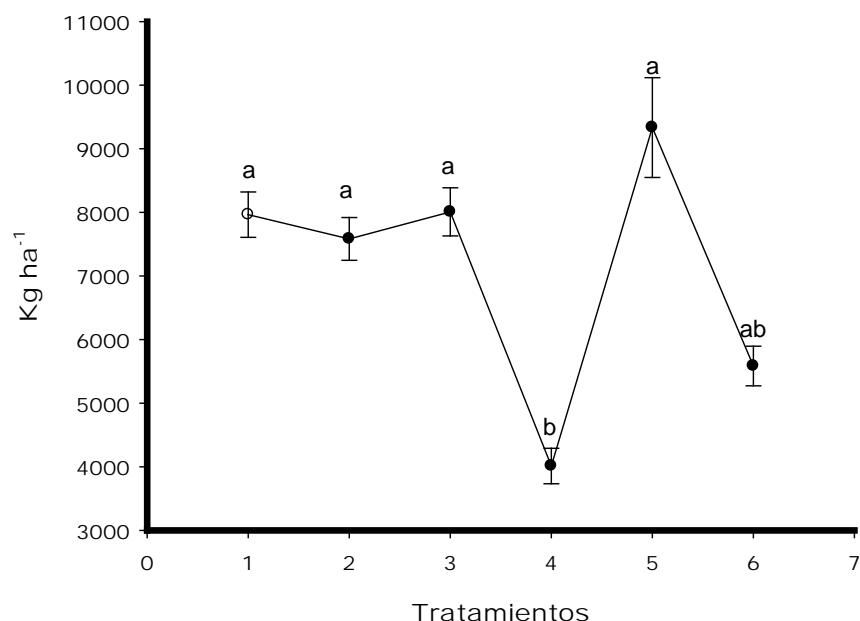


Figura 6. Rendimiento de grano de maíz en función del tratamiento de fertilización. Tratamiento 1 = maíz nativo con fertilizantes orgánicos y fertilización mineral (120N-60P-00K); Tratamiento 2 = maíz nativo con fertilizantes orgánicos; Tratamiento 3 = maíz nativo con fertilización mineral (350N-120P-00K) y Tratamiento 5 = maíz híbrido con fertilización mineral (350N-120-00K) y Tratamientos 4 maíz nativo y tratamiento 6 maíz híbrido sin fertilización. Los valores con la misma letra no son estadísticamente diferentes Tukey,  $\alpha=0.05$ .

### 3.6 CONCLUSIONES

En los dos períodos iniciales de incubación se observó el pico mayor de liberación de CO<sub>2</sub>; los restantes tiempos de incubación presentaron una disminución progresiva hasta el final del período de incubación del suelo. El tratamiento T2 de fertilización orgánica presentó mayor liberación de CO<sub>2</sub> que en el T5 en todo el período de incubación; La vermicomposta en el suelo liberó nutrientes que fueron aprovechados para la nutrición de las plantas de maíz nativo, mismos que sirvieron como complemento a la fertilización reducida de N, P y K aplicada, y así producir un rendimiento de grano aceptable respecto al rendimiento del maíz híbrido; Los resultados de este trabajo arrojan que es factible utilizar vermicomposta y

supermagro los cuales favorecen la absorción de N, P y K, en conjunto con fertilización reducida en un 65 % (120N-42P-00K), para lograr aceptable producción de grano de maíz nativo de Sinaloa, México, y lo que es mejor se cuidó el medio ambiente al utilizar los productos orgánicos para no contaminar el suelo.

## **AGRADECIMIENTOS**

Se agradece la colaboración del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Universidad Autónoma de Sinaloa, Colegio de Ciencias Agropecuaria, Facultad de Agronomía, Coordinación de Posgrado de la FA, Mario Alfonso Pérez Ahumada y Carmel Manuel López Borquez, por su valioso apoyo para la realización del presente trabajo de investigación.



### 3.7 LITERATURA CITADA

- Acevedo, I. C. y R. Pire. 2004. Efectos del lombricompost como enmienda de un sustrato para el crecimiento del lechoso (*Carica papaya* L.). *Interciencia* 29: 274-279.
- Alcántar, G. G. y Sandoval, V. M. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. Chapingo, México. Publicación especial. Núm. 10.
- Anderson, T. H. and K. H. Domsch. 1989. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. *Soil Biol. Biochem.* 21: 417- 479.
- Bayuelo-Jiménez J S, V A Pérez-Decelis, M L Magdaleno-Armas, M Gallardo-Valdéz, I Ochoa, J P Lynch (2011) Genetic variation for root traits of maize (*Zea mays* L.) from Purhepecha Plateau, under contrasting phosphorus availability. *Field Crops Res.* 121:350-362.
- Briceño, B. Mora, J. 2003. Acción residual de uso de Biofertilizante La Pastora, en maíz (*Zea mays* L.) como planta indicadora. Trabajo de grado en Tecnología Superior Agrícola. Departamento de Ciencias Agrarias. Núcleo "Rafael Rangel". Universidad de los Andes. Trujillo. Venezuela. 68 P.
- Brookes, P. C., Cayuela, M. L., Contin, M., De Nobili, M., Kemmitt, S. J. and Mondini, C. 2008. The mineralization of fresh and humified soil organic matter by the soil microbial biomass. *Waste Manag.* **28**(4): 716–722.
- Butler, D. M., N. M. Ranells, D. H. Franklin, M. H. Poore, and J. T. Green. 2007. Ground cover impacts on nitrogen export from manured riparian pasture. *J. Environ. Qual.* 36: 155-162.
- Cabrera, M. L., D. E. Kissel, and M. F. Vigil. 2005. Nitrogen mineralization from organic residues: research opportunities. *J. Environ. Qual.* 34: 75-79.
- CAEVACU-CIAPAN. 1985. Guía para la asistencia técnica del Valle de Culiacán. INIFAP. Culiacán, Sinaloa, México. 227p.

- Cerrato, M. E., H. A. Leblanc y C. Kameko. 2007. Potencial de mineralización de nitrógeno de Bokashi, compost y lombricompost producidos en la Universidad Earth. *Tierra Tropical* 3: 183-197.
- FAO (2014) FAO STAT. Available at: <http://faostat.fao.org> (accessed February 2014).
- Gething, P.A. 1990. Potassium and water relationships. *In: Potash facts*. IPI, Bern.
- Hanway, J.J. 1962. Corn growth and composition in relation to soil fertility: 11. Uptake of N, P, and K and their distribution in different plant parts during the growing season. *Agron. J.* 54: 217-222.
- Jenkilson D.S. y D.S. Powlson. 1976. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. V. A method for measuring soil biomass. *Soilbiology and Biochemistry*, v.8, p. 209-213.
- Jordan, H.V.; Laird, K.D. and Ferguson, D.D. 1950. Growth rates and nutrient uptake by corn in a fertilizer-spacing experiment. *Agron. J.* 42: 361-268.
- Kafkafi, U. and Xu, G.H. 1999. Potassium nutrition for high crop yields. *In: Frontiers in potassium nutrition: new perspectives on the effects of potassium on physiology of plants* (D. M. Oosterhuis, and G. Berkowitz, eds.). 133-142: PPI/PPIC, Georgia, USA.
- Lynch J P (2007) Roots of the second Green Revolution. *Aust. J. Bot.* 55:493-512.
- Litterick, A. M., Harrier, L., Wallace, P., Watson, C.A., Wood, M. (2004). The role of uncomposted materials, compost, manures, and compost extracts in reducing pest and disease incidence and severity in sustainable temperate agricultural and horticultural crop production: A review. *Crit. Rev. Plant Sci.* 23: 453-479.
- Matheus, J. 2001. Evaluación Agronómica del uso de un biofertilizante en el cultivo del maíz (*Zea mays* L). Trabajo de grado presentado a la Coordinación del Área de Postgrado del Vicerrectorado de Producción Agrícola. Universidad Nacional Experimental de Los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora. Guanare, Portuguesa, Venezuela. 101 p.
- Meléndez, G. 2003. Residuos orgánicos y materia orgánica del suelo. *In: Gloria Meléndez y Gabriela Soto (eds.) Taller de abonos orgánicos*. Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica. San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica. pp 6 - 31.
- Ochoa M. E., Figueroa V. U., Cano R. P., Preciado A. R., Moreno R. A. y Rodríguez D. N. 2009. *Té de composta como fertilizante orgánico en la producción de*

*tomate (Lycopersicon esculentum Mill.) en invernadero. Revista Chapingo Serie Horticultura. 15(3):245-250.*

Omay, A.B., C.W. Rice, L.D. Maddux, and W.B. Gordon. 1997. Changes in soil microbial and chemical properties under long-term crop rotation and fertilization. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:1672–1678.

Ron P J, Sánchez J, Jiménez A, Carrera J, Martín J, Morales M, De la Cruz L., Hurtado S, Mena S, Rodríguez J (2006). *Maíces Nativos del Occidente de México*. I. Colectas 2004.

SAS Institute. 1998. SAS user's guide: statistics. Versión 6.12. SAS Institute. Cary, NC, USA. Scientia-CUCBA 8(1): 1-139. ISBN: 970-27-0955-5. Editorial Tecnología y Aplicaciones Gráficas.

Smith S E, D J Read (2008) *Mycorrhizal Symbiosis*. Acad. Press. London, UK. 787 p. Statistix. 2005. Statistix para Windows versión 7.0: Analytical Software.

## **CAPITULO IV: FERTILIZACIÓN ORGÁNICA Y MINERAL EN MAICES DE SINALOA.**

### **4.1 INTRODUCCIÓN**

Actualmente, la agricultura utiliza el 11% de la superficie terrestre para la producción de cultivos y la tasa de crecimiento en los últimos 50 años de superficie cultivada ha sido del 12%. La producción agrícola ha crecido entre 2.5 y 3 veces durante el mismo período. Este crecimiento se debe gracias a un aumento significativo en el rendimiento de los cultivos. Sin embargo, los logros mundiales de producción en algunas regiones han causado una degradación de la tierra, los recursos hídricos y el deterioro de los servicios ecosistémicos (Solaw, 2011). Según la fuente de suministro de nutrimentos se distinguen dos alternativas para la fertilización de los cultivos: la química o sintética y la orgánica. La primera de ellas consiste en la aplicación de abonos producidos industrialmente que reúnen condiciones técnicas de calidad como proveedores de nutrimentos a los cultivos; son sales solubles, altamente concentradas, de fácil y rápida liberación, pero generalmente de corta acción residual (Bertsch, 1998; Soto, 2003). Es la práctica usual y recomendada como la forma más eficiente de suplir minerales a las plantas, siendo su principal ventaja la capacidad de proporcionar mayor cantidad de nutrimentos en menor volumen de material fertilizante, lo que facilita su manejo en el transporte y distribución en el campo. Además, al tener un balance homogéneo de componentes químicos, este tipo de fertilización permite establecer con mayor precisión la dosificación requerida (Meléndez y Molina, 2003). La fertilización orgánica: por el contrario; se fundamenta en el aprovechamiento de la biomasa de las plantas, residuos vegetales post-cosecha, excrementos animales, lodos residuales, desechos industriales, agroindustriales y urbanos. Son desechos sólidos, líquidos y semilíquidos que procesados y aplicados al suelo mejoran sus condiciones físicas, químicas y biológicas (Soto, 2003). Con esta práctica de fertilización se reciclan componentes nutricionales de estos desechos y se mejora la calidad física y biológica del suelo. El abono orgánico ofrece la ventaja de restablecer el equilibrio biológico, físico, químico y ecológico del suelo, incrementa la cantidad y diversidad de la flora microbiana

benéfica, permite la reproducción de lombrices de tierra al tiempo que libera los elementos químicos que las plantas necesitan. Se les considera como productos fertilizantes de lenta liberación cuya acción se prolonga en el tiempo (acción residual) contribuyendo de esta manera a mejorar la calidad del medio ambiente y favorecer la producción sostenible de alimentos (Acuña, 2003; Soto, 2003). Existe una amplia cantidad de referencias bibliográficas que señalan el efecto positivo del uso de diversos productos orgánicos en las condiciones del suelo y la productividad de los agroecosistemas (Bertsch, 1998; Soto, 2003; Meléndez y Molina, 2003). A pesar de ello, es referido claramente por diversos investigadores el efecto prolongado de los abonos orgánicos y su acción residual en el mediano y largo plazo sobre las características del suelo que definen su fertilidad (Meléndez, 2003). En el año 2012, México ocupó el cuarto lugar en producción de maíz en el mundo (FAO, 2015). En este año, más de la tercera parte de la superficie que se cultivó en México fue de maíz, dado que se sembraron en todo el territorio 22' 113, 662.80 hectáreas con 328 cultivos, y de maíz para grano se sembraron 7' 487, 399.02 hectáreas, con una producción de 22' 663, 953.35 toneladas (SIAP, 2015). El maíz se considera un recurso genético importante y la tecnología asociada a su cultivo también es reconocida como importante no sólo por su componente cultural, sino su importancia económica en el desarrollo de variedades mejoradas. Los maíces mexicanos se han reconocido y se ha destacado su diversidad e importancia en los aspectos socioeconómicos y culinarios (Esteva y Marielle, 2003; González, 2006; Muñoz, 2003), esto en diversos foros y obras culturales, técnicas y científicas. También es reconocido que los maíces mexicanos han jugado un papel muy importante en nuestro país ya que se siembran variedades nativas de maíz (*Zea mays* L.) en regiones, áreas y nichos ecológicos donde las variedades mejoradas reconocidas y destacadas no expresan su potencial de rendimiento (Muñoz, 2003) o no cumplen con los niveles de calidad requeridos por los productores en la preparación de alimentos para humanos y animales domésticos (Ron *et al.*, 2006). La diversidad total de maíces nativos de México podría representarse por 59 razas (Ron *et al.*, 2006). En este contexto, algunos maíces nativos y sus parientes silvestres están incluidas en las listas de especies de interés para la conservación y, en

consecuencia son prioridad en la estrategia nacional para la conservación de la agrobiodiversidad; esta importancia del cultivo del maíz a nivel mundial y nacional se debe a la enorme adaptabilidad del cultivo, debido a la gran diversidad genética con que cuenta el cultivo. Los abonos orgánicos, los microorganismos benéficos (biofertilizantes), sustancias húmicas, etc. pueden aportar una mayor eficiencia en el aprovechamiento de los nutrientes por los cultivos (Ochoa *et al.*, 2009). Además contribuyen a mantener el balance hormonal necesario para que las reacciones bioquímicas vegetales se realicen con más eficiencia, con ello se espera, expresar el potencial genético y agronómico productivo de un cultivo. Por lo tanto, este tipo de productos solos o en combinación con la fertilización de síntesis, ayudarían a disminuir la cantidad de fertilizantes que se aplican al cultivo; aparte de reducir los costos de producción (Planes *et al.*, 2004). La mejor alternativa para ser utilizado como abono orgánico en la producción es la lombricomposta de ganado vacuno, que además, es un material abundante en el medio rural, para su mejor aprovechamiento es necesario someterlo a un proceso de lombricomposteo. La utilización de este material orgánico, más la aplicación de fertilizante de síntesis también tiene resultados significativos (Osorio *et al.*, 2010). La finalidad de este trabajo fue conocer la respuesta en la producción de maíz criollo y/o nativo, así como un híbrido de Sinaloa, México con fertilización orgánica y mineral de síntesis en el Valle de Culiacán, Sinaloa, México, así mismo conocer la tasa de descomposición de la composta, vermicomposta y gallinaza y la liberación de CO<sub>2</sub> por efecto de la aplicación de éstos productos orgánicos.

## 4.2 MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se realizó en un maíz nativo y en un híbrido. El maíz nativo es un material que tiene dos ciclos de selección familiar bajo condiciones de temporal y se encuentra disponible en el banco de germoplasma de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa; por el contrario, el maíz híbrido que se utilizó es una variedad comercial que se siembra bajo condiciones de riego en el estado de Sinaloa. Once tratamientos fueron evaluados (Cuadro 1).

Cuadro 1. Tratamientos utilizados para evaluar el comportamiento de maíz.

Tratamientos	Descripción
1	Composta 100 %
2	Vermicomposta 100 %
3	Gallinaza 100 %
4	50% composta-50% vermicomposta
5	50% vermicomposta-50% gallinaza
6	50% composta-50% gallinaza
7	50% composta-50% químico
8	50% vermicomposta-50% químico
9	50% gallinaza- 50% químico
10	Fertilización mineral de síntesis*
11	Sin fertilización

\*350N unidades

#### **4.1 Localización del experimento**

Esta investigación se realizó en el ciclo agrícola 2013-2014, en los terrenos del área experimental de la Facultad de Agronomía, que se localiza en el km 17.5 de la carretera Culiacán-Eldorado, en el Valle de Culiacán Sinaloa, México; las coordenadas geográficas del lugar son 24° 48' 30" N y 107° 24' 30" O, la altitud sobre el nivel del mar es de 38 m (CAEVACU; 1985). El suelo es tipo vertisol (pellustert), de textura arcillosa (70.52% de arcilla, 18% de limo y 11.48% de arena), 0.9 % materia orgánica y pH 7.5-7.6 y una conductividad eléctrica de 0.3 dS m<sup>-1</sup>, Antes de la siembra del experimento se realizaron análisis químicos del suelo a 0-15 y 15-30 cm de profundidad; nitrógeno total método Kjeldahl (Alcántar y Sandoval, 1999), las determinaciones fueron contenido de materia orgánica del suelo (Walkley-Black), fósforo y potasio aprovechables en el suelo (Peech Morgan); antes de la aplicación de la composta, vermicomposta y gallinaza al suelo se determinó su contenido de N-total, P y K.

#### **4.2 Diseño experimental**

El diseño experimental fue el de bloques completos al azar con tres repeticiones, La unidad experimental consistió en 3 surcos de 5 m de longitud y 76 cm de separación entre ellos, equivalente a 11.4 m<sup>2</sup>.

#### **4.3 Desarrollo del experimento**

##### **4.3.1 Preparación del terreno**

Para la preparación del terreno se realizó un subsuelo, dos rastreos cruzados y una marca.

##### **4.3.2 Siembra**

La siembra se realizó manualmente colocando 5 semillas de maíz por metro lineal a una profundidad de 5 cm.



### **4.3.3 Fertilización**

Se aplicaron 300 unidades de nitrógeno por hectárea, para esto el fertilizante comercial utilizado fue Urea, y los productos orgánicos fueron composta, vermicomposta y gallinaza.

### **4.3.4 Riego**

Se realizaron los riegos necesarios para que naciera la semilla y mantener el desarrollo del cultivo, el sistema de riego fue por goteo (fertirriego) utilizando líneas regantes con 0.40 m de distancia entre goteros, con un gasto de agua de  $1.6 \text{ L h}^{-1}$ , y se colocaron tensiómetros para monitorear la frecuencia de los riegos

### **4.3.5 Control de malezas**

Para controlar las malezas se aplicaron herbicidas de casas comerciales reconocidas y con labores culturales.

### **4.3.6 Control de plagas y enfermedades**

Se aplicaron productos especializados para el control de plagas y enfermedades de marcas comerciales reconocidas.

### **4.3.7 Cosecha**

Se realizó de manera manual, se tomó cada mazorca de cada planta y se enumeró individualmente, esto con el fin de poder tomar los datos de las mazorcas posteriormente.

## **4.4 Variables evaluadas**

### **4.4.1 Nitrógeno total**

El contenido de nitrógeno total se midió con el método de Kjeldahl (Alcántar y Sandoval, 1999).

#### **4.4.2 Fósforo**

El contenido del fósforo por colorimetría mediante el método del vanadato-molibdato con un espectrofotómetro uv/visible (AOAC, 1998).

#### **4.4.3 Potasio**

El contenido de potasio con un flamómetro, marca Intech, modelo 1380.

#### **4.4.4 Liberación de CO<sub>2</sub>**

La liberación de CO<sub>2</sub> del suelo se realizó utilizando la metodología de Jenkinson y Powlson, (1976) que implica extraer la muestra y tamizarla con tamiz de 2 mm obteniendo 50 g de suelo el cual se coloca en un frasco de litro agregándole 30 ml de agua destilada incubándola una semana, después se agrega en el frasco una caja de Petri con 5 ml de NaOH se sella herméticamente y se toma la lectura a las 24 horas siguientes vaciando el contenido de la caja de Petri en un matraz Erlenmeyer adicionándole 2 ml de BaCl (2 %) con 3 a 4 gotas de fenolftaleína titulándose en una bureta anotándose la lectura, para calcularse con la siguiente fórmula  $(B - P) N \times 22$  en donde B = ml de gasto de HCl del blanco, P = ml de gasto de HCl de muestra y N = normalidad de HCl, realizando esta actividad por 10 días consecutivos.

#### **4.4.5 Tasa de descomposición**

La tasa de descomposición de los productos orgánicos en el suelo se determinó de acuerdo con Gerónimo Cruz *et al.*, 2002, en los tratamientos en donde se les adiciono el 100% de los productos orgánicos (T1, T2 y T3) todo ello utilizando bolsitas de malla plástica de 25 x 15 cm conteniendo los productos, enterrándolas a una profundidad de 15 cm y extrayéndolas en los tiempos indicados (15, 30, 50, 70 y 90 días después de enterradas) aplicando la formula siguiente:  $BR (\%) = (X_t / X_0) 100$  en donde BR = Biomasa remanente, X<sub>0</sub> = Peso inicial del material utilizado y X<sub>t</sub> = Peso del material al momento del muestreo, basado en la relación siguiente: TD= DFI – DFS/ND.

#### **4.4.6 Eficiencia agronómica relativa**

La eficiencia agronómica relativa se obtuvo mediante la siguiente fórmula:  $EAR = (\text{rend. fert. orgánico} - \text{rend. testigo}) / (\text{rend. fert. químico} - \text{rend. testigo}) \times 100$  Matheus *et al.*, (2007).

**4.4.7 Rendimiento de grano ajustado (RG).** El rendimiento del grano se obtiene restándole el peso del olote al peso de la mazorca y posteriormente se ajusta. El peso de grano de cada planta es ajustado al 14% de humedad. Para esto se aplicó el criterio utilizado en las recibas comerciales de maíz del Valle de Culiacán, deduciendo 1.16 kilogramos de peso por cada tonelada de peso de maíz, por cada décima de grado pasada por encima del 14.0 % de humedad, y en aquellos casos en el que la humedad estuvo por debajo del 14.0 % se procedió de manera inversa; es decir, se le sumo el incremento de peso correspondiente. Este parámetro se expresa en gramos.

#### **4.5 Análisis estadísticos**

Con la finalidad de determinar la existencia o no de diferencias entre tratamientos, en cada una de las variables de planta y mazorca estudiadas, se realizó un análisis de varianza y las medias de cada variable fueron comparadas por el método de Tukey con un  $\alpha = 0.05$ . Todos los análisis se realizaron utilizando el paquete estadístico JPM y SIGMAPLOD 10.0 para generar las gráficas presentadas en resultados y discusión.

### 4.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los tratamientos orgánicos (composta, vermicomposta y gallinaza) se analizaron antes de ser aplicados obteniendo los siguientes resultados:

- 1.- Composta 1.0 % de N, 1.5 de P y 1.3 de K.
- 2.- Vermicomposta 1.05 % de N, 1.5 de P y 1.5 de K.
- 3.- Gallinaza 2.20 % de N, 1.8 de P y 1.6 de K.

También el suelo se analizó antes de iniciar el experimento, obteniendo los siguientes resultados: 0.58 % de N, 282.2 kg ha<sup>-1</sup> de P, 1610 kg ha<sup>-1</sup> de K, 0.93 % de MO, 11.48 % de arena, 70.52 % de arcilla y 18.00 % de limo.

Una vez finalizado el experimento se realizaron muestreos de suelo en las parcelas donde se adicionaron los tratamientos y los contenidos de N, P y K fueron analizados arrojando los resultados que se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Contenido de N, P y K (suelo), en los tratamientos utilizados para evaluar el comportamiento de maíz.

Tratamiento	N %	P kg ha <sup>-1</sup>	K
1	1.34	504	742
2	1.52	637	1260
3	1.20	819	980
4	1.20	392	742
5	1.84	504	1232
6	2.14	637	1568
7	2.76	392	1232
8	0.96	392	1232
9	1.84	504	588
10	1.84	226	1232
11	0.28	182	742

### 4.3.1 Maíz nativo

#### 4.3.1.1 Tasa de descomposición de los productos orgánicos aplicados al 100%.

La biomasa remanente de los productos orgánicos aplicados en el maíz nativo, como se observa en la Figura 1, no existió diferencia significativa entre los tratamientos a excepción de los 15 días de incubación, sufriendo un cambio muy significativo en los primeros dos muestreos en relación a los demás; estos procesos pueden variar en duración de semanas a meses (Aira *et al.*, 2005). En los cuatro muestreos a excepción del quinto se observa cómo es más elevada la biomasa remanente en el tratamiento 3 con fertilización con gallinaza con respecto a los otros dos el T1 con fertilización con composta y el T2 con fertilización a base de vermicomposta, es decir,  $1.7 \pm 0.25$  a  $0.43 \pm 0.03$  % de biomasa remanente en el T3 y  $0.54 \pm 0.5$  a  $0.55 \pm 0.05$  % en el T1 y de  $1.09 \pm 0.3$  a  $0.48 \pm 0.04$  en T2. A partir de los muestreos 2, 3, 4 y 5; (30, 50, 70 y 90 días de incubación respectivamente), se observó cómo se mantiene la biomasa remanente en los tres tratamientos; los valores de los tratamientos fueron estadísticamente diferentes ( $P < 0.02$ ) en el muestreo uno (15 días de incubación) esta variación observada sugiere la existencia de sucesión en la comunidad microbiana en función de su mayor o menor especificidad para la descomposición de diferentes formas de la materia orgánica (Silvana *et al.*, 2005).

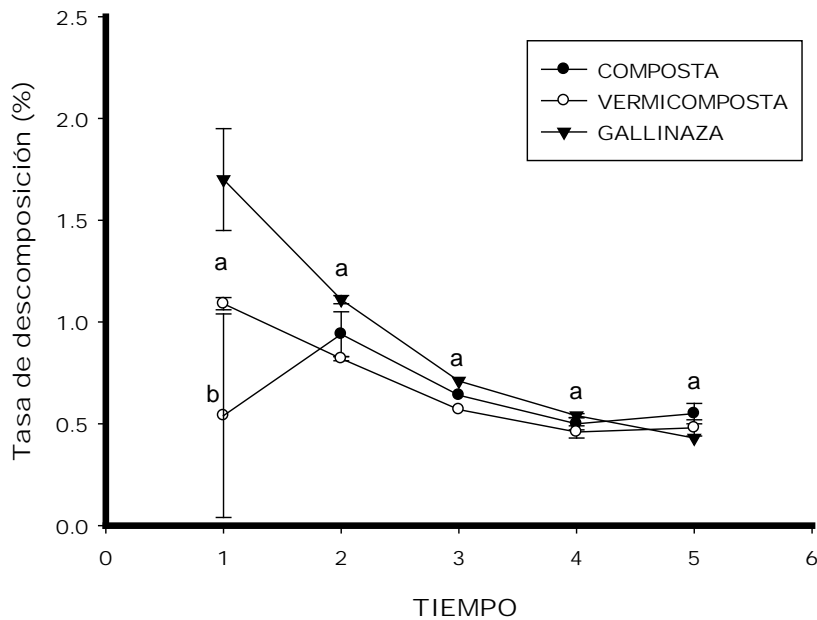


Figura 1. Tasa de descomposición de los productos orgánicos aplicados al suelo, en función del tratamiento de fertilización. Tratamiento 1 = Con composta; Tratamiento 2 = con vermicomposta y Tratamiento 3= con gallinaza. Los valores con la misma letra no son estadísticamente diferentes según la prueba de Tukey.

#### 4.3.1.2 Liberación de CO<sub>2</sub> en el suelo

La liberación de CO<sub>2</sub> en el suelo de acuerdo a los tratamientos en donde se fertilizo el maíz con productos orgánicos (composta, vermicomposta y gallinaza), se comportó de la siguiente manera como se puede observar en la Figura 2 observamos como en el caso de los tratamientos con el 100% de productos orgánicos fluctuó entre el 16.00±3.60 y el 62.00±0.70 mg de CO<sub>2</sub>, liberando el primer día 62.00±0.70, 59.00±1.90 y 59.00±1.30 para concluir con 14.00±3.60, 22.00±8.80 y 44.00±4.50 en el día final del análisis respectivamente los tratamientos 1, 2 y 3, durante los diez días que duro el análisis liberaron 295 mg la composta, 305 mg la vermicomposta y 355 mg la gallinaza, siendo esta última la que libero más CO<sub>2</sub> en todo el tiempo, coincidiendo estos resultados con los encontrados por (Contreras *et al.*, 2006) quienes incubaron diferentes materiales y obtuvieron que la gallinaza y el estiércol de

caprino muestran una mejor respuesta en lo que a la activación de los microorganismos del suelo se refiere, así mismo vemos como en los días 2, 4, 5, 6 y 7 la gallinaza supero a los otros dos productos, con relación a los productos orgánicos mezclados en una relación de 50 y 50 %, se observa cómo se liberó menos CO<sub>2</sub> en relación a los anteriores tratamientos mencionados fluctuando entre el 13.0±2.60 y el 60.00±0.70 mg de CO<sub>2</sub>, liberando un total de 251 mg el T4, 329 mg el T5 y 244 mg el T6 liberando más CO<sub>2</sub> la mezcla de vermicomposta-gallinaza, resultados que concuerdan con Acosta *et al.*, (2006) que encontraron que para la evolución de CO<sub>2</sub> de compostas elaboradas de estiércol de chivo, indican un decaimiento en los valores obtenidos diariamente; en relación a las mezclas de 50% de productos orgánicos con 50% químicos la liberación fue aún más baja entre el 10.0±0.70 y el 40.0±1.30 mg de CO<sub>2</sub>, muy similar a los tratamientos con el 100% químico y el sin fertilizar que liberaron entre el 9.0±1.20 y el 40.0±1.30 respectivamente en la duración del análisis de la liberación de CO<sub>2</sub>.

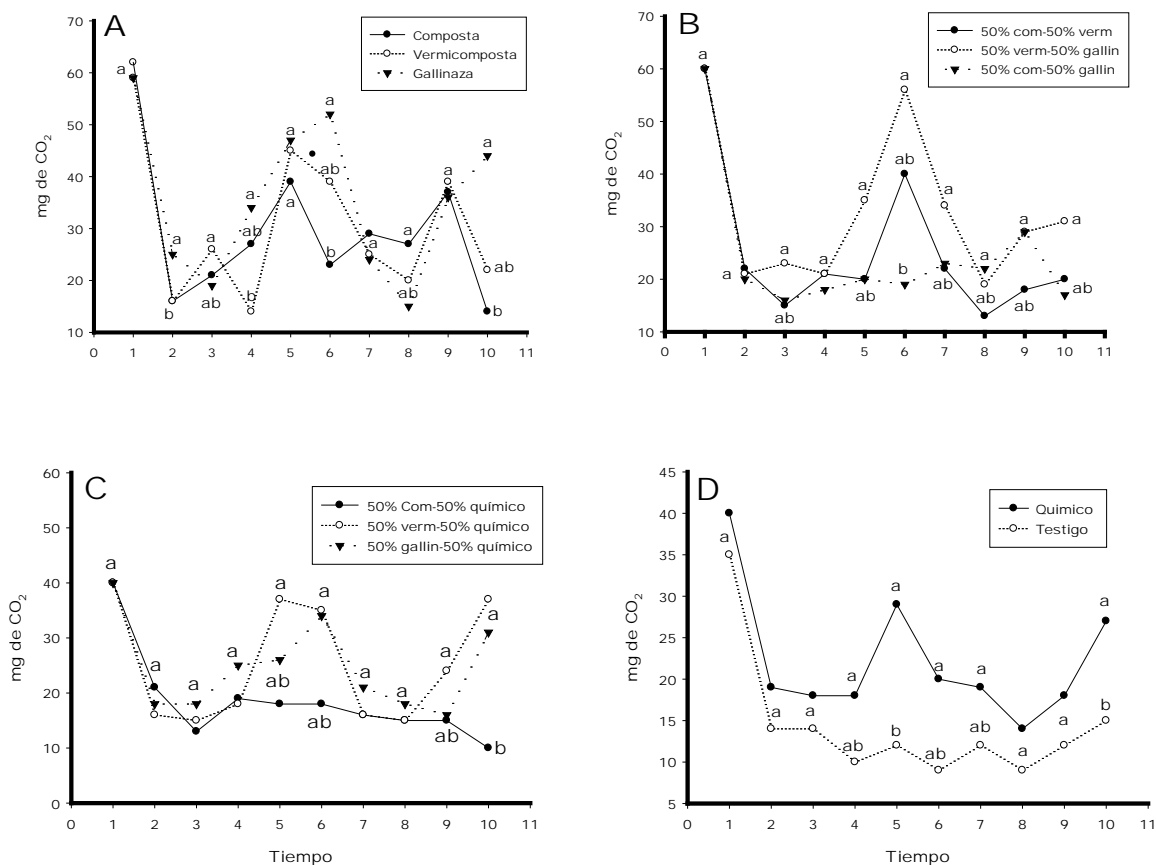


Figura 2 Liberación de CO<sub>2</sub> del suelo, en función de los tratamientos de fertilización del suelo. (A) Tratamientos 1,2 y 3 = Con productos orgánicos; (B) Tratamientos 4, 5 y 6 = 50 % y 50 % con productos orgánicos; (C) Tratamientos 7, 8 y 9 = 50 % productos orgánicos y 50 % con químicos; (D) Tratamiento 10 = fertilización mineral (350N-120-00K) y el Tratamiento 11 = testigo. Los valores con la misma letra no son estadísticamente diferentes según la prueba de Tukey.

#### 4.3.1.3 Eficiencia agronómica relativa (EAR)

La eficiencia agronómica relativa (EAR) se obtuvo a partir de la relación:  $EAR = \frac{\text{rendimiento con fertilización orgánico} - \text{rendimiento del testigo}}{\text{rendimiento con fertilización química} - \text{rendimiento del testigo}} \times 100$ . como se puede observar en el Cuadro 3 la aplicación de gallinaza en los tratamientos fueron en donde se obtuvo la mejor EAR, 271.50, 228.40, 217.00 Y 253.03 %, en los tratamientos 3, 5, 6 y 9 respectivamente seguido por el tratamiento 8 en donde se aplicó 50% vermicomposta-50% químico, después el tratamiento 7 en donde se aplicó 50%



composta-50% químico, quedando al final los tratamientos 1 y 2 en donde se aplicó el 100% de composta y vermicomposta respectivamente y el tratamiento 4 en donde se aplicó 50% composta-50% vermicomposta, la EAR de los tratamientos con los abonos orgánicos, solos o mezclados con químico superaron a los demás tratamientos, no así al tratamiento en donde se adiciono el 100% gallinaza, lo que indica claramente el efecto residual de los abonos orgánicos bajo las condiciones en que se realizó este trabajo de investigación, de los tres abonos orgánicos evaluados la vermicomposta no mostró acción residual como los demás; similar comportamiento tuvo en trabajos anteriores (Aranguibel y Guzmán, 2002) quienes también evaluaron este material y señalan que el producto empleado no reúne las condiciones ideales que refieren algunos autores en cuanto a su calidad y composición (Ferruzzi, 1994), los resultados obtenidos mostraron que el mayor efecto del tratamiento con fertilización orgánica (gallinaza) alcanzó el máximo nivel debido a que los productos químicos de síntesis son sales solubles altamente concentradas, disponibles en forma inmediata para las plantas, pero de corta acción residual y los productos orgánicos se consideran como materiales de lenta liberación que aportan sus nutrimentos a través del tiempo dependiendo de diversos factores como el tipo de material orgánico, sus características, las condiciones biológicas, edáficas y ambientales (Meléndez, 2003; Vera-Núñez *et al.*, 2012). Cabe destacar que las mezclas utilizadas en este ensayo dieron respuestas bastante aceptables en relación a la acción residual; similares resultados han sido obtenidos en otros trabajos realizados donde se han evaluado mezclas de compostas y fertilizantes químicos (Matheus, 2001; Briceño y Mora, 2003), en los que se ha reafirmado el efecto complementario y positivo del uso de ambos productos.

Cuadro 3. Eficiencia agronómica relativa (EAR) de los tratamientos orgánicos evaluados en maíz nativo

Tratamientos	Descripción	EAR (%)
1	100% composta	46.96
2	100% vermicomposta	99.29
3	100% gallinaza	271.50
4	50% composta-50% vermicomposta	77.81
5	50% vermicomposta-50% gallinaza	228.40
6	50% composta-50% gallinaza	217.00
7	50% composta-50% químico	148.97
8	50% vermocomposta-50% químico	187.26
9	50% gallinaza-50% químico	253.03

#### 4.3.1.4 Contenido de nitrógeno

El contenido de nitrógeno en el maíz nativo no evidenció diferencias estadísticas significativas, ya que en todos los tratamientos se comportó de igual manera, esto mismo encontraron Flores *et al.*, 2014, quienes en sus resultados mostraron que no hubo un efecto evidente del manejo sobre la concentración de nitrógeno en ninguna de sus formas, ya que las diferencias en concentraciones entre uno y otro manejo no fueron lo suficientemente amplias, no obstante el tratamiento que mejor concentración de nitrógeno presentó fue el 4 y 5 en donde se adicionó 50 % de composta-50 % vermicomposta y 50 % de vermicomposta-50 % gallinaza respectivamente, con un contenido de nitrógeno de  $2.61 \pm 0.34$  % el tratamiento 4 y de  $2.61 \pm 0.26$  % el tratamiento 5, seguido por el tratamiento 7 con  $2.56 \pm 0.63$  % y el 10 con  $2.51 \pm 0.60$  %, declinando los demás en relación de contenido de este elemento, se debe destacar que los patrones de acumulación de nutrientes pueden ser

variables con los diferentes ambientes, condiciones y tipo de suelo, variedad de cultivo y otras prácticas de manejo como irrigación, fertilización, etc. (Hanway, 1962).

#### **4.3.1.5 Contenido de fósforo en plantas de maíz**

En relación a la concentración de fósforo en las plantas de maíz, se observó que fue muy baja y similar en todos los tratamientos, es decir, no hubo diferencias significativas entre ellos ( $P > 0.05$ ). Estos resultados coinciden con lo descrito por (Lynch, 2007). La reducida disponibilidad de fósforo (P) en el suelo es uno de los principales factores que limita el crecimiento y rendimiento de los cultivos a nivel mundial, particularmente en los países en donde el acceso al fertilizante es restringido y por lo descrito por (Bayuelo-Jiménez *et al.*, 2011) quienes sugieren que las características radicales de maíz son un factor determinante en la absorción de fósforo y en la expresión de su eficiencia, en etapa de plántula y en posteriores estados del desarrollo.

#### **4.3.1.6 Contenido de potasio en plantas de maíz**

La concentración del potasio se puede observar como sigue: el tratamiento que más contenido de potasio presentó fue el 7 con  $1.66 \pm 0.09$  % en donde se aplicó 50% de composta-50 % químico, seguido por el tratamiento 8 en donde se le adicionó 50% vermicomposta-50 % de químico con  $1.64 \pm 0.13$  % y el tratamiento 5 en donde se aplicó 50% vermicomposta-50% gallinaza con  $1.62 \pm 0.11$  %, declinando los demás tratamientos. En el estadio de llenado del grano o del desarrollo de las plantas, la absorción de K disminuye en cultivos como soja, maíz, trigo ó arroz (Kafkafi y Xu, 1999). La mayor parte del K total contenido en la parte aérea de plantas de maíz fue al comienzo de la etapa reproductiva (Jordan *et al.*, 1950; Hanway, 1962; Gething, 1990).

#### 4.3.1.7 Rendimiento de grano de maíz

La Figura 3 nos muestra el comportamiento del rendimiento de grano de maíz nativo en el ciclo vegetativo de este cultivo, sobresaliendo en rendimiento el tratamiento donde se adiciono el producto orgánico gallinaza con una producción de  $8544.15 \pm 314.4 \text{ k ha}^{-1}$ , seguido por el tratamiento compuesto por 50% gallinaza-50% químico con  $8354.26 \pm 385.4 \text{ k ha}^{-1}$  acercándoseles en rendimiento el tratamiento 5 en donde se utilizó 50% vermicomposta-50% gallinaza con un rendimiento de  $8101.42 \pm 779 \text{ k ha}^{-1}$ , así mismo vemos como continua el descenso en producción de los demás tratamientos analizados, mostrando que el producto orgánico gallinaza fue el que influyo más para producir mejor en esta investigación, existiendo una diferencia significativa entre el tratamiento 3 y los demás, pero no entre los tratamientos 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10, excepto el testigo, debiéndose a lo descrito por (Cruz-Flores *et al.*, 2005) que encontraron que la disminución de la actividad de la fosfatasa puede relacionarse con el desarrollo fisiológico de la planta y el aumento del suministro de P de las fuentes orgánicas e inorgánicas y se ha mostrado que la aplicación de materia orgánica incrementa la actividad de fosfatasa alcalina debido a una estimulación de la actividad microbiana (Purakayastha *et al.*, 2006), y por una mayor diversidad de bacterias (Sakurai *et al.*, 2008) también en otro trabajo se encontró que indistintamente del tipo de abono la fertilización mejoró el rendimiento de grano del maíz, posiblemente debido a una estimulación de la mineralización de los abonos por la mayor disponibilidad de N y P para la biomasa microbiana, según lo observado con una mezcla de urea y composta en un suelo con bajo contenido de N inorgánico (Kyung-Hwa *et al.*, 2004).

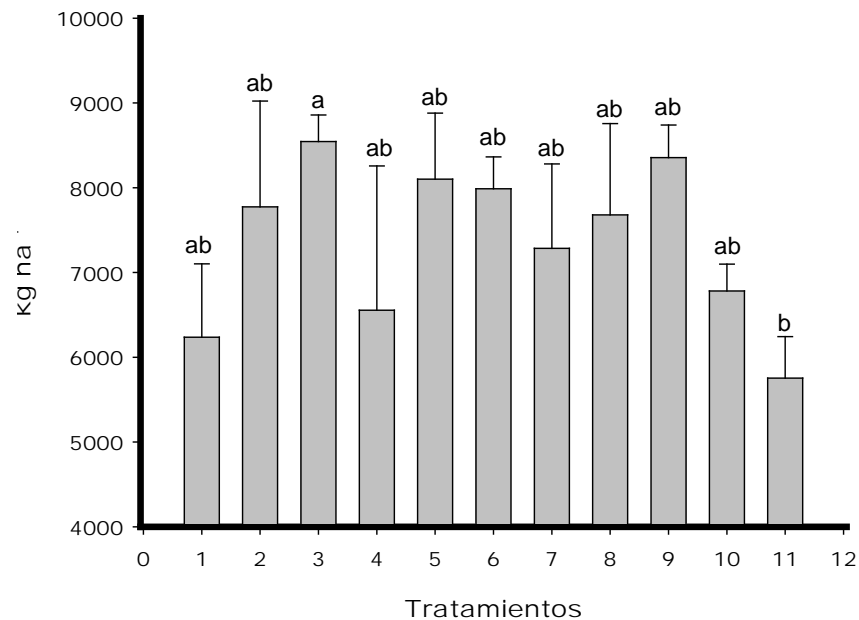


Figura 3. Rendimiento de grano de maíz en función del tratamiento de fertilización. Tratamiento 1 = mn con composta; Tratamiento 2 = mn con vermicomposta; Tratamiento 3 = mn con gallinaza; Tratamiento 4 mn con 50% composta-50% vermicomposta; Tratamiento 5 mn con 50% vermicomposta-50% gallinaza; Tratamiento 6 mn con 50% composta-50% gallinaza; Tratamiento 7 mn con 50% composta-50% químico; Tratamiento 8 mn con 50% vermicomposta-50% químico; Tratamiento 9 mn con 50% composta-50% químico; Tratamiento 10 mn con fertilización mineral (350N) y Tratamientos 11 mn sin fertilización. Los valores con la misma letra no son estadísticamente diferentes Tukey,  $\alpha=0.05$ . mn= Maíz nativo

#### 4.3.2 Maíz híbrido

Una vez implantado el proyecto y habiéndose desarrollado al cien por ciento, se tomaron muestras del suelo en donde se adicionaron los tratamientos para analizar el contenido de N, P y K, arrojando los siguientes resultados:

Cuadro 4. Contenido de N, P y K (suelo), en los tratamientos utilizados para evaluar el comportamiento de maíz híbrido.

Tratamiento	N %	P	K
		kg ha <sup>-1</sup>	
1	1.40	504	1600
2	0.80	900	1500
3	2.02	392	2370
4	2.40	1100	1050
5	1.60	504	1204
6	1.40	504	2062
7	1.00	282	1085
8	1.20	226	2370
9	2.40	282	1610
10	1.80	157	1400
11	0.28	140	610

#### 4.3.2.1 Tasa de descomposición de los productos orgánicos aplicados al 100%.

En los productos orgánicos aplicados en los tratamientos en maíz híbrido la biomasa remanente, se comportó de similar manera que en el maíz nativo, como se observa en la Figura 4, no existió diferencia significativa entre los tratamientos a excepción de los 30 días de incubación, sufriendo un cambio muy significativo en los primeros dos muestreos en relación a los demás; estos procesos pueden variar en duración de semanas a meses (Aira *et al.*, 2005). y Salgado, 1999 los suelos Vertisoles presentan a capacidad de campo (CC) una humedad de 32% y un punto de marchitez permanente (PMP) de 20%, estas características pueden reducir la tasa de descomposición y liberación de N. del tercer al quinto muestreo. Se observa como el tratamiento tres en donde se le aplico gallinaza supera a los otros dos en relación de la biomasa remanente excepto en el cuarto muestreo donde fue superado por el tratamiento dos en donde se aplicó vermicomposta, se observa como la biomasa

remanente va en decremento hasta llegar al quinto muestreo en igualdad de condiciones en los tres diferentes tratamientos, cuyos valores fueron para el T1=  $1.05 \pm 0.27$ ,  $0.48 \pm 0.5$ ,  $0.37 \pm 0.1$ ,  $0.37 \pm 0.03$  y  $0.43 \pm 0.11$ ; T2=  $0.96 \pm 0.06$ ,  $0.94 \pm 0.05$ ,  $0.56 \pm 0.1$ ,  $0.6 \pm 0.12$  y  $0.47 \pm 0.1$ ; T3=  $1.72 \pm 0.33$ ,  $1.1 \pm 0.06$ ,  $0.68 \pm 0.03$ ,  $0.57 \pm 0.03$  y  $0.48 \pm 0.01$  en los cinco muestreos (15, 30, 50, 70 y 90 días). El producto orgánico que menos biomasa remanente presento fue en el tratamiento uno en donde se le adiciono composta como nutrición, debido a la materia orgánica de 2.1 y el pH de 7.67 lo cual es considerado como bajos como lo han demostrado IGAC y Cenicaña, 2005) así como (Roca *et al.*, 2008) que dicen que en general, los valores obtenidos de M.O., pH y C.I.C. favorecen la capacidad del suelo de almacenar nutrientes y son buenos indicadores de la salud y fertilidad de los suelos.

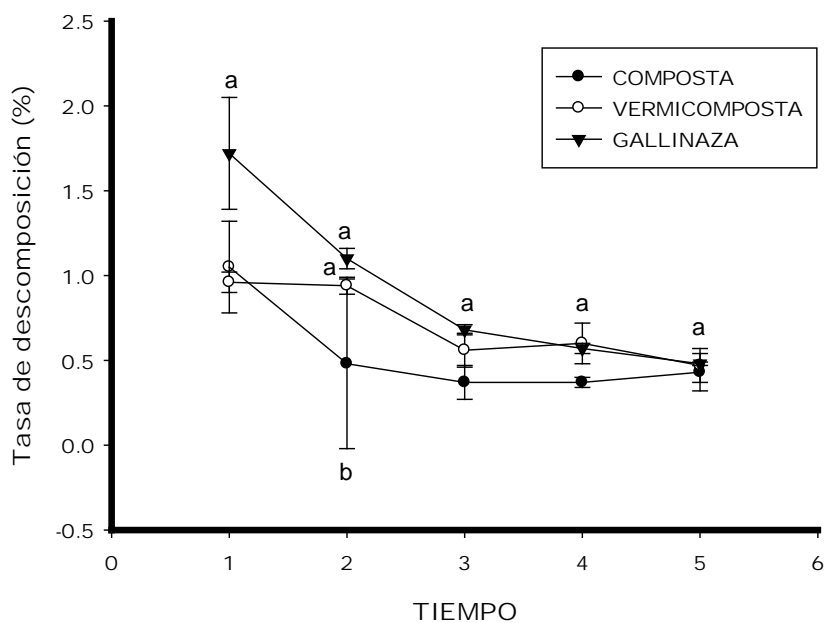


Figura 4. Tasa de descomposición de los productos orgánicos aplicados al suelo, en función del tratamiento de fertilización. Tratamiento 1 = Con composta; Tratamiento 2 = con vermicomposta y Tratamiento 3= con gallinaza. Los valores con la misma letra no son estadísticamente diferentes según la prueba de Tukey.

#### 4.3.2.2 Liberación de CO<sub>2</sub> en el suelo

La liberación de CO<sub>2</sub> en el suelo de acuerdo a los tratamientos en donde se fertilizo el maíz híbrido con productos orgánicos (composta, vermicomposta y gallinaza), se comportó de la siguiente manera como se puede observar en la Figura 5: Vemos como en el caso de los tratamientos con el 100% de productos orgánicos fluctuó entre el 15.00±1.50 y el 82.10±58.20 mg de CO<sub>2</sub>, liberando el primer día 40.30±17.00, 28.60±4.40 y 58.30±18.70 para concluir con 20.90±6.10, 13.20±1.20 y 35.20±17.60 en el día final del análisis respectivamente los tratamientos 1, 2 y 3, durante los diez días que duro el análisis liberaron 329.4 mg la composta, 241.4 mg la vermicomposta y 323.1 mg la gallinaza, siendo la composta la que libero más CO<sub>2</sub> en todo el tiempo, coincidiendo con los resultados encontrados por (Contreras *et al.*, 2006) quienes incubaron diferentes materiales y obtuvieron que la gallinaza y el estiércol de caprino muestran una mejor respuesta en lo que a la activación de los microorganismos del suelo se refiere, así mismo vemos como en los días 2, 5, 6, 7 y 10 la gallinaza supero a los otros dos productos; en relación de los productos orgánicos mezclados en una relación de 50 y 50 %, liberando más CO<sub>2</sub> la mezcla de composta-gallinaza, (Acosta *et al.*, 2006), encontraron que para la liberación de CO<sub>2</sub> de compostas elaboradas de estiércol de chivo, indican un decaimiento en los valores obtenidos diariamente; en relación a las mezclas de 50% de productos orgánicos con 50% químicos la liberación fue entre el 11.30±2.50 y el 39.20±14.30 mg de CO<sub>2</sub>, muy similar a los tratamientos con el 100% químico y el sin fertilizar que liberaron entre el 9.90±1.90 y el 39.60±13.70 respectivamente en la duración del análisis de la liberación de CO<sub>2</sub>.



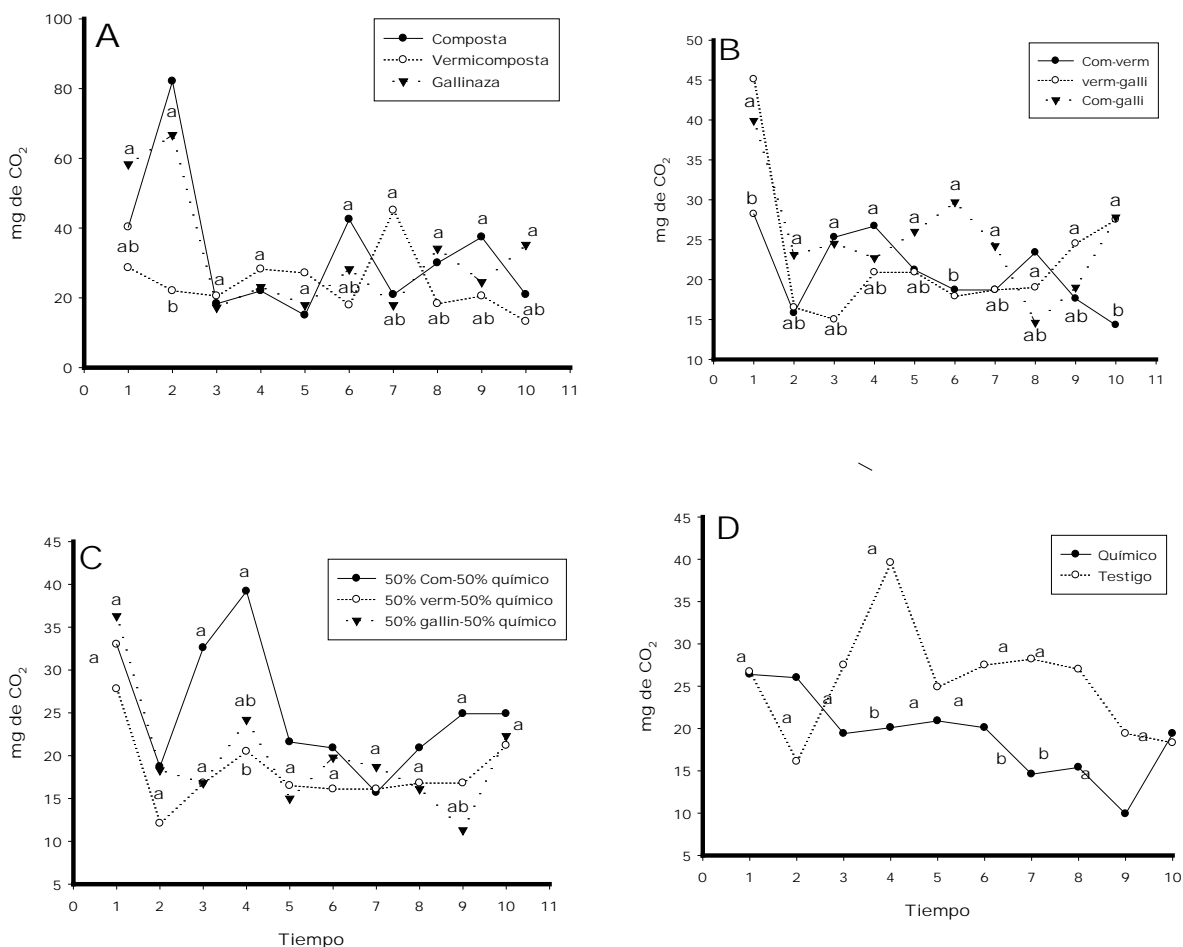


Figura 5 Liberación de CO<sub>2</sub> del suelo, en función de los tratamientos de fertilización del suelo. (A) Tratamientos 1,2 y 3 = Con productos orgánicos 100 %; (B) Tratamientos 4, 5 y 6 = 50 % y 50 % con productos orgánicos; (C) Tratamientos 7, 8 y 9 = 50 % productos orgánicos y 50 % con químicos; (D) Tratamiento 10 = fertilización mineral (350N-120-00K) y el Tratamiento 11 = testigo. Los valores con la misma letra no son estadísticamente diferentes según la prueba de Tukey.

#### 4.3.2.3 Eficiencia agronómica relativa (EAR)

La eficiencia agronómica relativa (EAR) en maíz híbrido se obtuvo a partir de la relación:  $EAR = \frac{\text{rendimiento con fertilización orgánico} - \text{rendimiento del testigo}}{\text{rendimiento con fertilización química} - \text{rendimiento del testigo}} \times 100$ . Como se puede observar en el Cuadro 5 la aplicación de gallinaza en los tratamientos fueron en donde se obtuvo la mejor EAR, 151.99, 124.66 y 108.05 %, en los tratamientos 3, 5,

y 9 respectivamente seguido por el tratamiento 8 en donde se aplicó 50% vermicomposta-50% químico, después el tratamiento 7 en donde se aplicó 50% composta-50% químico, seguido por el tratamiento 6 en donde se aplicó 50% composta-50% gallinaza y el tratamiento 4 en donde se aplicó 50% composta-50% vermicomposta, quedando al final los tratamientos 1, y 2 en donde se aplicó el 100% de composta y vermicomposta respectivamente, la E.A.R. de los tratamientos con los abonos orgánicos, solos o mezclados con químico superaron a los demás tratamientos, no así al tratamiento en donde se adiciono el 100% gallinaza, lo que indica claramente el efecto residual de los abonos orgánicos bajo las condiciones en que se realizó este trabajo de investigación, de los tres abonos orgánicos evaluados la vermicomposta no mostró acción residual como los demás; similar comportamiento tuvo en trabajos anteriores (Aranguibel y Guzmán, 2002) quienes también evaluaron este material y señalan que el producto empleado no reúne las condiciones ideales que refieren algunos autores en cuanto a su calidad y composición (Ferruzzi, 1994), los resultados obtenidos mostraron que el mayor efecto del tratamiento con fertilización orgánica (gallinaza) alcanzó el máximo nivel debido a que los productos químicos de síntesis son sales solubles altamente concentradas, disponibles en forma inmediata para las plantas, pero de corta acción residual y los productos orgánicos se consideran como materiales de lenta liberación que aportan sus nutrimentos a través del tiempo dependiendo de diversos factores como el tipo de material orgánico, sus características, las condiciones biológicas, edáficas y ambientales (Meléndez, 2003), (Vera-Núñez *et al.*, 2012). Cabe destacar que las mezclas utilizadas en este ensayo dieron respuestas bastante aceptables en relación a la acción residual; similares resultados han sido obtenidos en otros trabajos realizados donde se han evaluado mezclas de compostas y fertilizantes químicos (Matheus, 2001, Briceño y Mora, 2003), en los que se ha reafirmado el efecto complementario y positivo del uso de ambos productos.

Cuadro 5. Eficiencia agronómica relativa (EAR) de los tratamientos orgánicos evaluados en maíz híbrido

Tratamientos	Descripción	EAR (%)
1	100% composta	44.21
2	100% vermicomposta	28.38
3	100% gallinaza	151.99
4	50% composta-50% vermicomposta	50.23
5	50% vermicomposta-50% gallinaza	124.66
6	50% composta-50% gallinaza	72.77
7	50% composta-50% químico	61.24
8	50% vermocomposta-50% químico	83.45
9	50% gallinaza-50% químico	108.05

#### 4.3.2.4 Contenido de nitrógeno

El contenido de nitrógeno en el maíz híbrido se comportó de igual manera que en el maíz nativo no evidenciando diferencias estadísticas significativas, aunque en más baja concentración ya que en todos los tratamientos se comportó de igual manera, esto mismo encontraron (Flores *et al.*, 2014) quienes en sus resultados mostraron que no hubo un efecto evidente del manejo sobre la concentración de nitrógeno en ninguna de sus formas, ya que las diferencias en concentraciones entre uno y otro manejo no fueron lo suficientemente amplias, no obstante en relación numérica el tratamiento que mejor concentración de nitrógeno presento fu el 3 seguido por el 6 y así sucesivamente los demás, las lecturas de contenido de nitrógeno oxilaron entre el  $0.37 \pm 0.02$  y el  $0.81 \pm 0.13$  %, se debe destacar que los patrones de acumulación de nutrientes pueden ser variables con los diferentes ambientes, condiciones y tipo de

suelo, variedad de cultivo y otras prácticas de manejo como irrigación, fertilización, etc. (Hanway, 1962).

#### **4.3.2.5 Contenido de fósforo en plantas de maíz**

En relación a la concentración de fósforo en las plantas de maíz, se observó que fue muy baja y similar en todos los tratamientos de  $0.22 \pm 0.01$  en el tratamiento 7 en donde se suministró 50 % de composta-50 % de químicos a  $0.40 \pm 0.03$  en el tratamiento 5 en donde se aplicó 50 % vermicomposta-50% gallinaza, Figura 5, es decir, no hubo diferencias significativas entre ellos ( $P > 0.05$ ). Estos resultados coinciden con lo descrito por (Lynch, 2007) la reducida disponibilidad de fósforo (P) en el suelo es uno de los principales factores que limita el crecimiento y rendimiento de los cultivos a nivel mundial, particularmente en los países en donde el acceso al fertilizante es restringido y por lo descrito por (Bayuelo-Jiménez *et al.*, 2011) quienes sugieren que las características radicales de maíz son un factor determinante en la absorción de fósforo y en la expresión de su eficiencia, en etapa de plántula y en posteriores estados del desarrollo.

#### **4.3.2.6 Contenido de potasio en plantas de maíz**

La concentración del potasio se puede observar como sigue: el tratamiento que más contenido de potasio presento fue el 1 con  $1.86 \pm 0.16$  % en donde se aplicó 100% de composta, seguido por el tratamiento 4 en donde se le adiciono 50% composta-50 % vermicomposta con  $1.79 \pm 0.12$  % y el tratamiento 9 en donde se aplicó 50% gallinaza-50% químico con  $1.71 \pm 0.06$  %, declinando los demás tratamientos, En el estadio de llenado del grano o del desarrollo de las plantas, la absorción de K disminuye en cultivos como soja, maíz, trigo ó arroz (Kafkafi y Xu, 1999). La mayor parte del K total contenido en la parte aérea de plantas de maíz fue al comienzo de la etapa reproductiva (Jordan *et al.*, 1950; Hanway, 1962; Gething, 1990).

## Rendimiento de grano de maíz

La Figura 6 nos muestra el comportamiento del rendimiento de grano de maíz híbrido en el ciclo vegetativo de este cultivo, sobresaliendo en rendimiento el tratamiento donde se adiciono el producto orgánico gallinaza (100%) con una producción de  $253.99 \pm 18.05$  g/10 plantas, seguido por el tratamiento 5 en donde se utilizó 50% vermicomposta-50% gallinaza con un rendimiento de  $226.76 \pm 18.05$  g/10 plantas, acercándoseles en rendimiento el tratamiento compuesto por 50% gallinaza-50% químico con  $210.21 \pm 18.05$ g/10 plantas así mismo vemos como continua el descenso en producción de los demás tratamientos analizados, mostrando que el producto orgánico gallinaza fue el que influyo más para producir mejor en esta investigación, existiendo una diferencia significativa entre el tratamiento 3 y los demás, esto mismo describen (Cruz-Flores *et al.*, 2005) que encontraron que la disminución de la actividad de la fosfatasa puede relacionarse con el desarrollo fisiológico de la planta y el aumento del suministro de P de las fuentes orgánicas e inorgánicas y se ha mostrado que la aplicación de materia orgánica incrementa la actividad de fosfatasa alcalina debido a una estimulación de la actividad microbiana (Purakayastha *et al.*, 2006), y por una mayor diversidad de bacterias (Sakurai *et al.*, 2008) también en otro trabajo se encontró que indistintamente del tipo de abono la fertilización mejoró el rendimiento de grano del maíz, posiblemente debido a una estimulación de la mineralización de los abonos por la mayor disponibilidad de N y P para la biomasa microbiana, según lo observado con una mezcla de urea y composta en un suelo con bajo contenido de N inorgánico (Kyung-Hwa *et al.*, 2004).

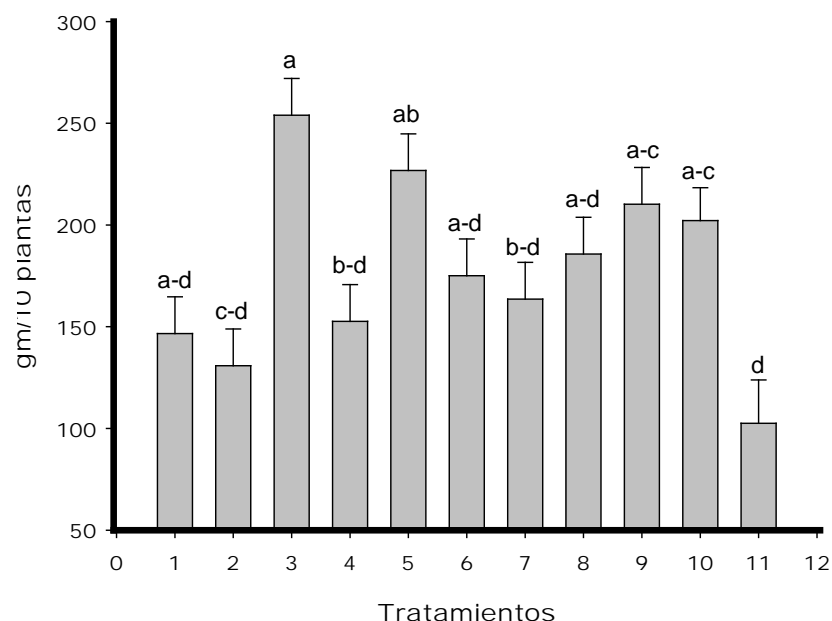


Figura 6. Rendimiento de grano de maíz en función del tratamiento de fertilización. Tratamiento 1 = mh con composta; Tratamiento 2 = mh con vermicomposta; Tratamiento 3 = mh con gallinaza; Tratamiento 4 mh con 50% composta-50% vermicomposta; Tratamiento 5 mh con 50% vermicomposta-50% gallinaza; Tratamiento 6 mh con 50% composta-50% gallinaza; Tratamiento 7 mh con 50% composta-50% químico; Tratamiento 8 mh con 50% vermicomposta-50% químico; Tratamiento 9 mh con 50% composta-50% químico; Tratamiento 10 mh con fertilización mineral (350N) y Tratamientos 11 mh sin fertilización. Los valores con la misma letra no son estadísticamente diferentes Tukey,  $\alpha=0.05$ . mh= Maíz híbrido

## CAPITULO V: DISCUSIÓN GENERAL

### 5.1 Discusión general

El maíz es considerado uno de los cultivos más representativos e importantes en México ya que es consumido en diferentes derivados (INTA, 1999). Algunas variedades de maíz criollo y sus parientes silvestres se encuentran incluidas en la lista de especies de interés para la conservación (NOM-059-SEMARNAT-2001) y, en consecuencia son prioridad en la estrategia nacional de la conservación de la agrobiodiversidad, junto con otras especies. En México, el maíz forma parte de nuestra alimentación diaria, es el cultivo de mayor presencia en el país, constituye un insumo para la ganadería y para la obtención de numerosos productos industriales, por lo que, desde el punto de vista alimentario, económico, político y social, es el cultivo agrícola más importante (Polanco y Flores, 2008, SIAP, 1996-2012). En la actualidad, en lo que se refiere a la teoría del origen del maíz (*Zea mays* L.), existen varias hipótesis, por demás rebuscadas y complicadas. A este respecto, es importante hacer notar que un profesor de la Escuela Nacional de Agricultura, Pandurang, 1930, publicó el Boletín de Investigación Núm. 1; Nuevas variedades de maíz, de la Estación Experimental Agrícola, en el que describe al teozintle y, por su cruzamiento con el maíz, llega a obtener la planta llamada por él Teomaíz. Después de varias generaciones filiales, el profesor Pandurang llegó a “fijar una nueva variedad de maíz que da muchas mazorquitas”, y que...“podemos deducir (por este hecho) que este híbrido entre teozintle y maíz, la *Euchlaena mexicana* (es) la planta madre del maíz actual”. En el año 2012, México ocupó el cuarto lugar en producción de maíz en el mundo (FAO, 2014). La importancia del cultivo del maíz a nivel mundial y nacional se debe a la enorme adaptabilidad del cultivo, y a su enorme diversidad genética con que cuenta, actualmente en México se han reportado 59 razas de maíz criollo (Ron Parra, *et. al.*, 2006) las cuales presentan diversas características agromorfológicas que prácticamente le permite al cultivo de maíz crecer en casi cualquier lado. En México en el año de 2012 se sembraron 7' 372, 218.19 hectáreas de maíz, con una producción de 22' 372, 218.19 toneladas (SIAP, 2014). Existen evidencias que la aplicación de abonos orgánicos, son una alternativa de fertilización viable para

alcanzar niveles de calidad óptimos y sin contaminar el ambiente. Una alternativa para disminuir los costos y la dependencia de fertilizantes sintéticos, es la utilización de algunos materiales orgánicos como la vermicomposta (Pant *et al.*, 2009; Preciado *et al.*, 2011), el cual puede ser aplicado en sistemas de riego presurizado (Shrestha *et al.*, 2012).

Los resultados obtenidos en los capítulos II y III, se observó que el patrón de emisión de CO<sub>2</sub> del suelo fue similar al de descomposición de la vermicomposta aplicada al suelo, el cual correspondió con la mayor tasa de descomposición de la vermicomposta, el tratamiento T2 de fertilización orgánica presentó mayor liberación de CO<sub>2</sub> que en el T5 en todo el periodo de incubación y la tasa de descomposición de la vermicomposta fue mayor a partir del segundo periodo de incubación. La tasa de descomposición de la vermicomposta en el suelo observada sugiere que durante el tiempo de su incubación liberó nutrientes que fueron aprovechados para la nutrición de las plantas de maíz criollo, mismos que sirvieron como complemento a la fertilización reducida de N, P y K aplicada, y así producir un rendimiento de grano aceptable respecto al rendimiento del maíz híbrido.

Los resultados de este trabajo arrojan que es factible utilizar vermicomposta y supermagro en conjunto con fertilización reducida en un 65 % (122.5N-42P-00K), para lograr aceptable producción de grano de maíz criollo nativo de Sinaloa, México, y lo que es mejor se cuidó el medio ambiente al utilizar los productos orgánicos para no contaminar el suelo.

Respecto a los resultados del IV, al adicionar composta, vermicomposta y gallinaza a los tratamientos y de acuerdo a lo observado en el proyecto de investigación, el mejor producto orgánico para obtener buen rendimiento de grano de maíz nativo o híbrido es la gallinaza seguida por la vermicomposta mezclada con gallinaza, así como, la gallinaza mezclada con los fertilizantes minerales de síntesis, ya que en estos tratamientos en donde se adicionaron estos productos, el rendimiento de grano de maíz nativo fueron mejor e igual y en el híbrido fue mayor que lo obtenido en el tratamiento en donde se adicionaron los fertilizantes químicos inorgánicos, esto mismo describen (Cruz-Flores *et al.*, 2005) que encontraron que la disminución de la actividad de la fosfatasa puede relacionarse con el desarrollo fisiológico de la planta



y el aumento del suministro de P de las fuentes orgánicas e inorgánicas y se ha mostrado que la aplicación de materia orgánica incrementa la actividad de fosfatasa alcalina debido a una estimulación de la actividad microbiana (Purakayastha *et al.*, 2006), y por una mayor diversidad de bacterias (Sakurai *et al.*, 2008), así también al utilizar estos productos se mejoró la eficiencia agronómica relativa (EAR), una muy buena liberación de CO<sub>2</sub> y buen contenido de nitrógeno, fósforo y potasio los cuales se comportaron de igual manera tanto en maíz nativo como en el híbrido al no presentar diferencia estadística significativa entre los tratamientos. En relación a las variables LPD= Longitud de pedúnculo, HIL= Hileras de mazorca, LOM= Longitud de mazorca, DIM= Diámetro de mazorca, PO= Peso de olote, V100G= Volumen de 100 granos, P100G= Peso de 100 granos y RG= Rendimiento de grano, se comportaron de forma diferente en cada tratamiento coincidiendo estos resultados con los encontrados por Leyva, 2009 y Sánchez-Peña *et al.*, 2008.

Como sugerencia, se hace necesario la continuidad de estas investigaciones en relación al estudio de producción con productos orgánicos, para depender menos de los productos minerales de síntesis, produciendo productos libres de contaminantes y protegiendo el medio ambiente que es lo que heredaremos a nuestras futuras generaciones.

## LITERATURA CITADA

- Acosta, Y., J. Cayama, E. Gómez, N. Reyes, D. Rojas y H. García. 2006. Respiración microbiana y prueba de fitotoxicidad en el proceso de compostaje de una mezcla de residuos orgánicos. *Multiciencias* 6: 220-227.
- Aira, M., Monroy, F. & Dominguez, J. (2005). Ageing effects on nitrogen dynamics and enzyme activities in casts of *Aporrectodea caliginosa* (Lumbricidae). *Pedobiologia* 49:467-473.
- Aranguibel, M. y Guzmán, I. 2002. Efecto residual del vermicompost en plantas de maíz (*Zea mays* L.) a nivel de macetas. Trabajo de grado en Tecnología Superior Agrícola. Departamento de Ciencias. Agrarias. Núcleo "Rafael Rangel". Universidad de los Andes. Trujillo. Venezuela. 52 p.
- Bayuelo-Jiménez J S, V A Pérez-Decelis, M L Magdaleno-Armas, M Gallardo-Valdéz, I Ochoa, J P Lynch (2011) Genetic variation for root traits of maize (*Zea mays* L.) from Purhepecha Plateau, under contrasting phosphorus availability. *Field Crops Res.* 121:350-362.
- Briceño, B. Mora, J. 2003. Acción residual de uso de Biofertilizante La Pastora, en maíz (*Zea mays* L.) como planta indicadora. Trabajo de grado en Tecnología Superior Agrícola. Departamento de Ciencias Agrarias. Núcleo "Rafael Rangel". Universidad de los Andes. Trujillo. Venezuela. 68 P.
- Contreras, F., J. Paolini y C. Rivero. 2006. Efecto de la adición de enmiendas orgánicas sobre la cinética de la mineralización del carbono en suelos del municipio Rivas Dávila, estado Mérida, Venezuela. *Rev. Fac. Agron. (Maracay)* 31: 37-52.
- Cruz-Flores, G., D. Flores-Román, G. Alcantar-González, y A. Trinidad-Santos. 2005. Fosfatasa ácida, nitrato reductasa, glutamina sintetasa y eficiencia de uso de fósforo y nitrógeno en cereales. *Terra Latinoamericana* 23: 457-468.
- FAO. 2015. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Estadísticas de maíz. Disponible [En Línea] en: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>. Consultado en Marzo de 2015.
- Ferruzzi, C. 1994. Manual de Lombricultura. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 138 p.
- Flores, M.J.P., B. Corral D., P. Osuna A., J. Torres P., J. Valero G. y A.I. Flores A. 2014. *Division III, Aprovechamiento del Recurso Suelo*. Pp.1-223, **In** Memoria

del XXXIX Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, 19 al 24 Octubre de 2014. Ciudad Juárez, Chihuahua. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Ciudad Juárez, Chihuahua, México.

Gething, P.A. 1990. Potassium and water relationships. *In*: Potash facts. IPI, Bern.

Hanway, J.J. 1962. Corn growth and composition in relation to soil fertility: 11. Uptake of N, P, and K and their distribution in different plant parts during the growing season. *Agron. J.* 54: 217-222.

IGAC y Cenicaña, 2005. Estudio detallado de suelos y capacidad de uso de las tierras sembradas con caña de azúcar en el Valle Geográfico del Río Cauca. Bogotá, D. C. Colombia.

Instituto Nicaragunse de Tecnología Agropecuaria. INTA 1999. Informe técnico anual 1999 - 2000. Programa Granos Básicos CNIA – INTA.

Jordan, H.V.; Laird, K.D. and Ferguson, D.D. 1950. Growth rates and nutrient uptake by corn in a fertilizer-spacing experiment. *Agron. J.* 42: 361-268.

Kafkafi, U. and Xu, G.H. 1999. Potassium nutrition for high crop yields. *In*: Frontiers in potassium nutrition: new perspectives on the effects of potassium on physiology of plants (D. M. Oosterhuis, and G. Berkowitz, eds.). 133-142: PPI/PPIC, Georgia, USA.

Kyung-Hwa, H., C. Woo-Jung, H. Gwang-Hyun, Y. Seok-In, Y. Sun-Ho, and R. Hee-Myong. 2004. Urea-nitrogen transformation and compost-nitrogen mineralization in three different soils as affected by the interaction between both nitrogen inputs. *Biol. Fertility Soils* 39:193–199.

Leyva, O. J. F. 2009. Variación de maíces criollos de San Ignacio en el estado de Sinaloa. Tesis Licenciatura. Sinaloa, México: Universidad Autónoma de Sinaloa. 46 p.

Lynch J P (2007) Roots of the second Green Revolution. *Aust. J. Bot.* 55:493-512.

Matheus, J. 2001. Evaluación Agronómica del uso de un biofertilizante en el cultivo del maíz (*Zea mays* L). Trabajo de grado presentado a la Coordinación del Área de Postgrado del Vicerrectorado de Producción Agrícola. Universidad Nacional Experimental de Los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora. Guanare, Portuguesa, Venezuela. 101 p.

- Meléndez, G. 2003. Residuos orgánicos y materia orgánica del suelo. In: Gloria Meléndez y Gabriela Soto (eds.) Taller de abonos orgánicos. Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica. San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica. pp 6 - 31.
- Pandurang, K. 1930. Nuevas variedades de maíz. Bol. Inv. Núm. 1. Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo, Méx. 10 p.
- Pant, A. P., T. J. K. Radovich, N. V. Hue, S. T. Talcott, and K. A. Krenek. 2009. Vermicompost extracts influence growth, mineral nutrients, phytonutrients and antioxidant activity in pakchoi (*Brassica rapa* cv. Bonsai, Chinensis group) grown under vermicompost and chemical fertilizer. J. Sci. Food Agric. 89: 2383-2392.
- Polanco-Jaime, Alejandro y Trinidad Flores Méndez (2008), *Bases para una política de I&D e innovación de la cadena de valor del maíz*, Foro Consultivo y Científico, a.c., México.
- Preciado R., P., M. Fortis H., J. L. García H., E. Rueda P., J. R. Esparza R., A. Lara H., M. A. Segura C. y J. Orozco V. 2011. Evaluación de soluciones nutritivas orgánicas en la producción de tomate en invernadero. Interciencia 36: 689-693.
- Purakayastha, T. J., S. Bhadraray, P. K. Chhonkar, and V. Verma. 2006. Microbial biomass phosphorus and alkaline phosphomonoesterase activity in the rhizosphere of different wheat cultivars as influenced by inorganic phosphorus and farmyard manure. Biol. Fertility Soils 43: 153-161.
- Roca, A.; Paz, A.; y Vidal, E. 2008. Análisis de las propiedades físicas y químicas del suelo tras la adición de compost procedente de RSU. Actas del VIII Congreso SEAE. Murcia. 266 p.
- Salgado GS, Palma LDJ, Cisneros DJ (1999) *Manual de procedimientos para el muestreo del suelos, plantas y aguas e interpretación en cultivos tropicales*. Instituto para el Desarrollo de Sistemas de Producción del Trópico Húmedo de Tabasco, Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Villahermosa, Tabasco. 76 pp.
- Sánchez-Peña, P., López-Valenzuela, J. A., Lugo-Melchor, R., Leyva, O. J. F., Hernández-Verdugo, S., Cauich-Pech, S. O., González-Galindo. R. Villarreal-Romero, M., Parra-Terraza, S., Corrales-Madrid, J. L., Sánchez-Peña, J., Quintero-Arce, J. R., Garzón-Tiznado, J. A., Palacios-Velarde, O., Armenta-Soto, J. L. 2008. Variación fenotípica de maíces nativos del estado de Sinaloa,

- México. Memorias del XI congreso, Internacional en Agrícolas, Mexicali B. C. México. 638-642.
- Sakurai, M., J. Wasaki, Y. Tomizawa, T. Shinano, and M. Osaki. 2008. Analysis of bacterial communities on alkaline phosphatase genes in soil supplied with organic matter. *Soil Sci. Plant Nutr.* 54: 62–71.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera) – SAGARPA. 2015. Situación actual y perspectiva del maíz en México 1996-2012. Disponible [En Línea] en: <http://www.siap.gob.mx>. Consultado en Marzo de 2015.
- Shrestha, K., K. Walsh, and D. Midmore. 2012. Microbially enhanced compost extract: Does it increase solubilisation of minerals and mineralisation of organic matter and thus improve plant nutrition. *J. Biorem. Biodegrad.* 3: 2155-6199.
- Silvana, A.; Wagner, B. & Carlos, C. (2005) Effect of sewage sludge on microbial biomass, basal respiration, metabolic quotient and soil enzymatic activity. *Appl Soil Ecol* 30:65–77.
- Ron P J, Sánchez J, Jiménez A, Carrera J, Martín J, Morales M, De la Cruz L., Hurtado S, Mena S, Rodríguez J (2006). *Maíces Nativos del Occidente de México*. I. Colectas 2004.
- Vera-Nuñez, J. A., Grageda-Cabrera, O. A., Ávila-Miranda, M. E. Castellanos-Ramos, J. Z., Escalante-García, J.I., Gorokovsky, A., Peña-Cabriales, J. J. 2012. Fertilizantes de solubilidad controlada en el cultivo de trigo en el Bajío: Balance de N. *Terra Latinoamericana*, 30(2): 121-127.





# CAPITULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL Y REVISIÓN DE LITERATURA

## 1.1 INTRODUCCIÓN GENERAL

El maíz (*Zea mays L.*), es el cultivo alimenticio representativo en México, debido a que su grano es rico en proteína y carbohidratos. La tortilla de maíz suministra el 59 % de la ingesta en energía y el 39 % de la ingesta en proteína, además es consumido en diferentes derivados (INTA, 1999).

El maíz (*Zea mays*) es un cultivo alimentario de importancia crítica en América Latina y gran parte de África y Asia (Smale *et al.*, 2001). Junto con frijoles (*Phaseolus vulgaris*), que proporciona el sustento de millones de personas, sobre todo en las zonas rurales, y está íntimamente ligada a las tradiciones sociales y culturales (Kelemen *et al.*, 2009 y Staller, 2010).

Las tierras agrícolas de la región en Sinaloa se han trabajado por más de 50 años de manera intensiva, pero en los últimos 30 los productores redujeron notablemente la aplicación de abonos orgánicos a causa del inicio de una agricultura intensiva (López *et al.*, 2001), generando una disminución en el uso de fertilizantes orgánicos hasta un punto en el que la aplicación de los inorgánicos se convirtió en un problema ambiental en muchos lugares del mundo (Butler *et al.*, 2007).

Por otro lado el cambio hacia nuevas técnicas de cultivo, la utilización masiva y sistemática de abonos minerales, el empleo de herbicidas selectivos, la quema de rastrojos y la eliminación de residuos de las cosechas entre otros factores, han incidido negativamente en el mantenimiento del contenido de materia orgánica del suelo ocasionando erosión en los suelos (Fuentes, 2006).

El uso de abonos orgánicos constituye una práctica de manejo fundamental en la rehabilitación de la capacidad productiva de suelos degradados. La adición de residuos vegetales o estiércoles incrementa la actividad y cantidad de la biomasa microbiana del suelo, que en los cultivados varía de 100 a 600 mg kg<sup>-1</sup> (Anderson y Domsch, 1989).

Los abonos orgánicos tienden a aumentar el potencial de inóculo micorrízico del suelo, la colonización y la absorción de nutrimentos (Gosling *et al.*, 2006); también



aportan materia orgánica, nutrimentos y microorganismos, lo cual favorece la fertilidad del suelo y la nutrición de las plantas (Eghball *et al.*, 2004).

El compostaje y el lombricompostaje del estiércol, son procesos aeróbicos de transformación de residuos orgánicos, animales y vegetales, que ocurren constantemente en la naturaleza bajo la acción de lombrices, bacterias y hongos descomponedores de la materia orgánica. El aprovechamiento de estos residuos orgánicos cobra cada día mayor importancia como medio eficiente de reciclaje racional de nutrientes, que ayuda al crecimiento de las plantas y devuelven al suelo muchos de los elementos extraídos durante el proceso productivo (Cerrato *et al.*, 2007). Asimismo, mejoran las características físicas y previenen la erosión del suelo, reducen la dependencia de insumos externos de alto costo económico y ambiental, enfocado a una agricultura sostenible, en donde se disminuye y elimina el empleo de agroquímicos a fin de proteger el ambiente, y la salud animal y humana (Acevedo y Pire, 2004). El compostaje produce un material valioso con alto contenido de humus, que puede utilizarse como mejorador de suelos y fertilizante, la composta (INE, 2007).

La literatura reporta los beneficios de la fertilización orgánica como superior a la fertilización inorgánica al lograr mayor contenido de nutrientes en la planta, ejemplos de tales estudios muestran que en repollo, lechuga, espinaca y zanahoria fertilizados con composta obtuvieron niveles significativamente altos de ácido ascórbico,  $\beta$ -caroteno y niveles bajos de nitratos (Lester, 2006).

Desde el punto de vista agrícola, con el compostaje se obtiene un material maduro, estable e higienizado, con un alto contenido en materia orgánica y componentes húmicos denominado composta, el cual puede ser utilizado sin riesgo en agricultura por ser inocuo y no contener sustancias fitotóxicas, favoreciendo el crecimiento y el desarrollo de las plantas, aumentan la fertilidad y mejoran las propiedades físico-químicas de los suelos, pues la materia orgánica estabilizada y rica en nutrientes disponibles aumentan la microbiota de éstos, aumentan la retención de agua, la capacidad de intercambio catiónico, mejoran el pH, la textura y porosidad; convirtiéndose por tanto en un material con valor agronómico que puede ser utilizado para enmiendas orgánicas, aplicable para los

distintos tipos de suelo y en cultivos tanto hortícolas, de jardinería, agrícola como en invernadero (Mora, 2006).

En la actualidad se hace énfasis en la necesidad de establecer prácticas que permitan mantener el nivel de productividad de los suelos, incrementar la producción agrícola y preservar los ecosistemas en el tiempo (Matheus, 2007).

La aplicación de materia orgánica también aumenta la actividad de las fosfatasa al estimular la biomasa microbiana y la secreción de las raíces (Deng y Tabatabai, 1997; Purakayastha *et al.*, 2006). La fosfatasa ácida es influenciada por la fisiología de la planta y el suministro de P inorgánico: su actividad disminuye con la edad y aumenta cuando hay deficiencia de P (Cruz Flores *et al.*, 2005). Por el contrario, la actividad de ureasa muestra una respuesta variable a la aplicación de abonos orgánicos y hay una mayor actividad ureasa en suelos con composta que sin ella (Banik *et al.*, 2006, Antonious, 2003).

El maíz se considera un recurso genético importante y la tecnología asociada a su cultivo también es reconocida como importante no sólo por su componente cultural, sino su importancia económica en el desarrollo de variedades mejoradas. En este contexto, algunas variedades de maíz criollo y sus parientes silvestres están incluidas en las listas de especies de interés para la conservación (NOM-059-SEMARNAT-2001) y, en consecuencia son prioridad en la estrategia nacional de la conservación de la agrobiodiversidad, junto con otras especies.

La ecología y la diversidad genética del maíz, la diversidad y la dinámica de las poblaciones de maíz, y el mantenimiento de razas criollas de maíz han sido bien estudiados, sobre todo entre los agricultores de subsistencia en México, el centro de maíz de origen (Bellon, 1991, Bellon y Brush, 1994, Bellon *et al.*, 2003a, Bellon y Berthaud, 2004, Birol *et al.*, 2009, Brush *et al.*, 2003, Brush y Perales, 2007 y Kelemen *et al.*, 2009). En particular, la diversidad de las poblaciones de maíz ha sido objeto de una intensa investigación, debido a la preocupación de que la adopción generalizada de variedades mejoradas está causando la pérdida de la diversidad del maíz presente en las variedades locales (van Heerwaarden *et al.*, 2009).

Las tasas de descomposición y liberación de los nutrientes están determinadas por la calidad de la materia orgánica. La calidad del material vegetal es definida por los constituyentes orgánicos y los contenidos de nutrientes. La calidad del carbono de un material orgánico depende de las proporciones del carbón soluble, la celulosa (hemicelulosa) y la lignina; en este caso la calidad se refiere a la energía disponible para los organismos descomponedores (Sánchez *et al.*, 2008). Durante las etapas iniciales de la descomposición de los materiales orgánicos recientemente incorporados hay un rápido aumento en el número de organismos heterótrofos, acompañado por la emisión de grandes cantidades de CO<sub>2</sub>, incremento la actividad microbiológica global que puede ser considerada como el reflejo del nivel energético de un medio dado (Havlin *et al.*, 1999).

El proceso de descomposición de los residuos orgánicos depende del ambiente químico generado por el residuo y de su interacción con los microorganismos del suelo. Los factores del suelo que controlan el proceso son: humedad, temperatura, pH, aireación y disponibilidad de nutrientes (Schjonning *et al.*, 1999). Los más determinantes son el contenido de humedad, los eventos de secado y rehumedecimiento (Kruse *et al.*, 2004) y la temperatura del suelo (Rodrigo *et al.*, 1997; Kätterer, 1998). Entre los factores del residuo encontramos: composición química, relación carbono/nitrógeno (C:N), contenido de lignina (Whitmore, 1996) y tamaño de las partícula del residuo, así como la forma de contacto con el suelo y la microflora natural (Parr y Papendick, 1978). Los factores que producen el mayor efecto sobre el crecimiento y actividad microbiana tendrán el mayor potencial para alterar la tasa de descomposición (Creus *et al.*, 1998). Parte del C producto de la descomposición del rastrojo es liberado como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y otra parte es asimilada por la biomasa microbiana involucrada en el proceso de descomposición (Alexander, 1997; Gilmour *et al.*, 2003).

Si la cantidad de N presente en la descomposición de residuos orgánicos es mayor que la requerida por los microorganismos, existirá una mineralización neta con liberación de N inorgánico. Si la cantidad de N en el residuo es igual a la cantidad requerida, no habrá mineralización neta. Si, por el contrario, la cantidad de N presente en el residuo es menor que el requerido por la biomasa microbiana,

será inmovilizado N inorgánico adicional, el que se obtendrá a partir del suelo para completar el proceso de descomposición (Cabrera, 2007).

Hay tres pilares básicos, desde el punto de vista agrícola, sobre los que se fundamenta la posible recuperación del equilibrio entre el CO<sub>2</sub> captado de la atmósfera y el desprendido desde el suelo: 1) aumento de la biomasa y de la producción de los cultivos por la introducción de nuevas variedades y rotaciones de los mismos, por un incremento de la eficiencia de los fertilizantes y por una ampliación de la superficie de regadío, 2) el incremento de la materia orgánica del suelo y una menor tasa de mineralización, por tanto una menor liberación de CO<sub>2</sub> y el 3) ahorro de combustibles fósiles en la agricultura, disminuyendo las labores agrícolas y utilizando maquinaria de menor potencia, todos estos esfuerzos combinados pueden reducir las concentraciones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, aliviar el calentamiento global del planeta (Reicosky, 2005), y disminuir la preocupación de la sociedad en este tema, que fue lo que dio lugar, como resultado inmediato, a la firma del protocolo de (Kyoto en 1997).

Los ecosistemas vegetales tienen la capacidad de asimilar el carbono mediante la fotosíntesis e incorporarlo a su estructura por lo cual son importantes reservas de carbono (Benjamín Ordóñez y Masera, 2001). La fijación de CO<sub>2</sub> atmosférico por los ecosistemas vegetales es un componente muy importante en el balance global del carbono en el planeta. Esta retención de CO<sub>2</sub> se puede evaluar midiendo el intercambio neto de CO<sub>2</sub> entre el sistema suelo-vegetal y la atmósfera, y se define como el flujo neto por fotosíntesis y respiración de CO<sub>2</sub> entre la superficie vegetal y la atmósfera, sin considerar el CO<sub>2</sub> almacenado o liberado en la capa de aire bajo las mediciones de CO<sub>2</sub> (Martens *et al.*, 2004).

La evolución del CO<sub>2</sub> es un parámetro ligado al manejo de materiales orgánicos el cual representa una medición integral de la respiración del suelo, conocida como respiración edáfica basal (respiración de las raíces, fauna del suelo y la mineralización del carbono a partir de diferentes “pools” del carbono de suelo y desechos), es decir, representa la estimación de la actividad microbiana (García y Rivero, 2008).

La respiración metabólica de la comunidad de organismos asociados al detritus orgánico es el proceso que libera el carbono hacia la atmósfera en forma de CO<sub>2</sub>. De esta manera, la respiración heterotrófica contribuye a la descomposición, junto a otros procesos como la humificación y la fragmentación del detritus (Carmona *et al.*, 2006).

Es necesario desarrollar nuevas prácticas de manejo del suelo, como la siembra directa, para almacenar más CO<sub>2</sub> en el suelo, y optimizar la fotosíntesis de las plantas para aumentar las producciones de los cultivos. (Reicosky, 2007)

En el año 2012, México ocupó el cuarto lugar en producción de maíz en el mundo (FAO, 2014). En este año, más del 50% de la superficie que se cultivó en México fue de maíz, dado que se sembraron en todo el territorio 15' 545, 464.39 hectáreas con 217 cultivos, y de maíz se sembraron 7' 372, 218.19 hectáreas, con una producción de 22' 372, 218.19 toneladas (SIAP, 2014). Esta importancia del cultivo del maíz a nivel mundial y nacional se debe a la enorme adaptabilidad del cultivo, debido a la enorme diversidad genética con que cuenta el cultivo, actualmente en México se han reportado 59 razas de maíz criollo (Ron Parra, *et. al.*, 2006) las cuales presentan diversas características agro-morfológicas que prácticamente le permite al cultivo de maíz crecer en casi cualquier lado. La finalidad de este trabajo fue la de Conocer la respuesta a la fertilización orgánica y mineral en el cultivo de maíz nativo e híbrido de Sinaloa, determinando su efecto en rendimiento de grano, crecimiento y nutrición nitrogenada, fosfórica y potásica, conocer la tasa de descomposición de la composta, vermicomposta y gallinaza, así como la liberación de CO<sub>2</sub> del suelo (con productos orgánicos) en el sitio experimental.

### 1.1.1 LITERATURA CITADA

- Acevedo, I. C. y R. Pire. 2004. Efectos del lombricompost como enmienda de un sustrato para el crecimiento del lechoso (*Carica papaya* L.). *Interciencia* 29: 274-279.
- Anderson, T. H. and K. H. Domsch. 1989. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. *Soil Biol. Biochem.* 21: 417- 479.
- Alexander M. 1977. *Introduction to soil microbiology*. 2<sup>o</sup> Edition. John Wiley & Sons. New York. N.Y. Bartholomew W. 1965. *Mineralization*.
- Antonious, G. F. 2003. Impact of soil management and two botanical insecticides on urease and invertase activity. *J. Environ. Sci. Health* 38: 479–488.
- Banik, P., P. K. Ghosal, T. K. Sasmal, S. Bhattacharya, B. K. Sarkar, and D. K. Bagchi. 2006. Effect of organic and inorganic nutrients for soil quality conservation and yield of rainfed low land rice in sub–tropical plateau region. *J. Agron. Crop Sci.* 192: 331–343.
- Bellon M.R. 1991. La etnoecología de gestión variedad de maíz: un estudio de caso de México. *Hum. Ecol*, 19 (1991), pp 389-418.
- Bellon M.R., Brush S.B. 1994. Guardianes de maíz en Chiapas, México. *Econ. Bot.*, 48 (1994), pp 196-209.
- Bellon, MR, Adato, M., Becerril, J., Mindek, D., 2003a. El impacto de la mejora de Germoplasma de Maíz en la mitigación de la pobreza: el caso del material derivado de Tuxpeño en México. Instituto Internacional de Investigaciones sobre Políticas Alimentarias, Washington, DC.

- Bellon M.R. y Berthaud J. 2004. El maíz transgénico y la evolución de la diversidad de variedades autóctonas en México. La importancia del comportamiento de los agricultores. *Plant Physiol.*, 134 (2004), pp 883-888.
- Benjamín–Ordóñez, J. A., y O. Maser. 2001. Captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosque* 7(1):3–12.
- Birol E., Villalba E.R., Smale M. 2009. Preferencias de los agricultores para la *milpa* y la diversidad del maíz transgénico en México: un enfoque de clases latentes. *Environ. Prog. Econ*, 14 (2009), pp 521-540.
- Brush S.B., Tadesse D., Van Dusen E. 2003. La diversidad de cultivos en la agricultura campesina e industrializada: México y California. *Sociedad y Recursos Naturales*, 16 (2003), pp 123-141.
- Brush S.B., Perales H.R. 2007. Un paisaje de maíz: el origen étnico y la agrobiodiversidad en Chiapas, México. *Agric. ECOSYST. Ambiente*, 121 (2007), pp 211-221.
- Butler, D. M., N. M. Ranells, D. H. Franklin, M. H. Poore, and J. T. Green. 2007. Ground cover impacts on nitrogen export from manured riparian pasture. *J. Environ. Qual.* 36: 155-162.
- Cabrera M. 2007. Mineralización y nitrificación: procesos claves en el ciclo del nitrógeno. Simposio Fertilidad 2007 IPNI Cono sur/Fertilizar A C. [www.inpofos.org](http://www.inpofos.org).
- Carmona, M., M. Aguilera, C. Pérez e I. Serey. 2006. Actividad Respiratoria en el horizonte orgánico de suelos de ecosistemas forestales del centro y sur de Chile. *Gayana Bot.* 63: 1-12.

- Cerrato, M. E., H. A. Leblanc y C. Kameko. 2007. Potencial de mineralización de nitrógeno de Bokashi, compost y lombricompost producidos en la Universidad Earth. *Tierra Tropical* 3: 183-197.
- Creus C., G. Studdert, H. Echeverría y S. Sanchez. 1998. Descomposición de residuos de cosecha de maíz y dinámica del nitrógeno en el suelo. *Revista Ciencia del Suelo* 16:51-57.
- Cruz Flores, G., D. Flores–Román, G. Alcantar–González, y A. Trinidad–Santos. 2005. Fosfatasa ácida, nitrato reductasa, glutamina sintetasa y eficiencia de uso de fósforo y nitrógeno en cereales. *Terra Latinoamericana* 23: 457–468.
- Deng, S. P., and M. A. Tabatabai. 1997. Effect of tillage and residue management on enzyme activities in soils: III. Phosphatases and arylsulfatase. *Biol. Fertility Soils* 24:141–146.
- Eghball, B., D. Ginting, and J. E. Gilley. 2004. Residual effects of manure and compost applications on corn production and soil properties. *Agron. J.* 96:442–447.
- FAO (2014) FAO STAT. Available at: <http://faostat.fao.org> (accessed February 2014).
- Fuentes Colmeiro Ramón. 2006. *Agrosistemas sostenibles y ecológicos La reconversión agropecuaria*. Universidad de Santiago de Compostela, pág. 250.
- García, A. y C. Rivero. 2008. Evaluación del carbono microbiano y la respiración basal en respuesta a la aplicación de lodo papelerero en los suelos de la Cuenca del Lago de Valencia, Venezuela. *Rev. Fac. Agron. (Maracay)* 34: 215-229.



- Gilmour J.T., C.G. Cogger, L.W. Jacobs, G.K. Evanylo y D.M. Sullivan. 2003. Decomposition and plant-available nitrogen in biosolids: laboratory studies, field studies, and computer simulation. *J. Environ. Qual.* 32:1498-1507.
- Gosling, P., A. Hodge, G. Goodlass, and G. D. Bending. 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming. *Agric. Ecosystems Environ.* 113: 17–35.
- Havlin, J. L., J. D. Beaton, S. L. Tisdale, and W. L. Nelson. 1999. Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management. Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ, USA.
- INEGI;url:[http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/Agro/ca2007/Resultados\\_Agricola/default.as.2007](http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/Agro/ca2007/Resultados_Agricola/default.as.2007)INE;url:<http://www.tlaxcala.gob.mx/municipios/alzayanca/geo.html>.2007.
- INTA 1999. Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria. Informe técnico anual 1999 - 2000. Programa Granos Básicos CNIA – INTA.
- Kätterer T., M. Reichstein, O. Andren y A. Lomander. 1998. Temperature dependence of organic matter decomposition: a critical review using literature data analyzed with different models. *Biol. Fertil. Soils* 27:258-262.
- Keleman A., Hellin J., Bellon M. R. 2009. Prácticas de diversidad del maíz, la política de desarrollo rural y de los agricultores: lecciones de Chiapas, México. *Geogr. J.*, 175 (2009), pp 52-70.
- Kruse J., D. Kissel y M. Cabrera. 2004. Effects of drying and rewetting on C and N mineralization in soils and incorporated residues. *Nutr Cycl. Agroecosystems.* 69:247-256.

Kyoto, 1997. Protocolo de Kyoto. United Nations Frame Work Convention on Climate Change.

López M., J. D., A. Díaz E., E. Martínez R. y R. D. Valdez C. 2001. Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento de maíz. Terra 19: 293-299.

Martens, C., T. J. Shay, H. P. Mendlovitz, D. M. Matross, S. S. Saleska, S. C. Wofsy, W. S. Woodward, M. C. Menton, J. M. S. De Moura, P. M. Crill, O. L. De Moraes, and R. L. Lima. 2004. Radon fluxes in tropical forest ecosystem of brazilian Amazonia: night-time CO<sub>2</sub> net ecosystem exchange derived from random and eddy covariance methods. Global Change Biol. 10: 618–629.

Matheus, L.Jesús, Montilla, José Fermín y Fernández, Oswaldo. *Eficiencia Agronomica Relativa de tres abonos orgánicos (vermicompost, compost, y gallinaza) en plantas de maíz (Zea mays L)*. Agricultura Andina / Volúmen 13 Julio - Diciembre 2007, Laboratorio de Investigación de Suelos. Departamento de Ciencias Agrarias. NURR-ULANURR-ULA.

NOM-059-SEMARNAT-2001. Norma Oficial Mexicana. Protección Ambiental – Especies nativas de México de flora y fauna silvestres – Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio – Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación. 6 de Marzo del 2002. México, D.F.

Parr J. y R. Papendick. 1978. Factors affecting the descomposition of crop residues by microorganisms. Crop residues management systems. Am. Soc. Agron. Special Publication N° 31. Am. Soc. Agron., Crop Sci. Soc. Am., Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin, USA. P.101-129.

Purakayastha, T. J., S. Bhadraray, P. K. Chhonkar, and V. Verma. 2006. Microbial biomass phosphorus and alkaline phosphomonoesterase activity in the rhizosphere of different wheat cultivars as influenced by inorganic phosphorus and farmyard manure. *Biol. Fertility Soils* 43: 153–161.

Reicosky, D.C. 2005. Impact of the Kyoto Protocol Ratification on global transactions of carbon. Congreso Internacional sobre Agricultura de Conservación. Córdoba (España). 188-198.

Reicosky, D.C. 2007. <http://pvnsteep.wsu.edu/directseed/conf98/soil2.htm>.

Rodrigo A., S. Recous, C. Neel y B. May. 1997. Modelling temperature and moisture effects on C\_N transformation in soils: Comparison of nine models. *Ecol Model* 102: 325-339.

Ron P J, Sánchez J, Jiménez A, Carrera J, Martín J, Morales M, De la Cruz L., Hurtado S, Mena S, Rodríguez J (2006). *Maíces Nativos del Occidente de México*. I. Colectas 2004.

Sánchez, S., G. Crespo, M. Hernández y Y. García. 2008. Factores bióticos y abióticos que influyen en la descomposición de la hojarasca en pastizales. *Pastos Forrajes* 31: 99-108.

Schjonning P., J. Thomsen, P. Moberg, H. de Jorge, K. Kreisensen y B. Christensen. 1999. Turnover of organic matter in differently textured soils: I Physical characteristics of structurally disturbed and intact soils. *Geoderma* 89: 177-198.

Smale M., Bellon M. R., Gómez J. A. A. 2001. La diversidad del maíz, los atributos de la variedad, y los agricultores "opciones en el sureste de Guanajuato", México. *Econ. Prog. Cult. Cambiar*, 50 (1) (2001), pp 201-225.

Staller J. E. 2010. Mazorcas de maíz y Culturas: Historia de *Zea mays* L. Springer, Heidelberg, Alemania (2010)

Whitmore A. 1996. Modeling the release and loss of nitrogen after vegetable crops. Netherland Journal Agric. Science. 44:73-86.

## 1.2 REVISIÓN DE LITERATURA

### 1.2.1 Conocimiento taxonómico del maíz.

El género *Zea* pertenece a la familia Poaceae que comprende más de 600 géneros Cuadro 1. Los dos géneros del Nuevo Mundo más emparentados con el maíz son *Tripsacum* y *Zea* (Galinat, 1977; Rzedowski, 2001).

Cuadro 1. Clasificación del género *Zea*

Género	Especie	Subespecie	Raza	Distribución
		<i>Z. mays</i> subsp. Mays		Cultivada mundialmente, en México la mayor diversidad de razas de maíces
		<i>Z. mays</i> Subs. mexicana (Schrader) Iltis	Nobogame Mesa Central	México (Chihuahua) México ( Norte de Michoacán y sur de Guanajuato)
			Durango	México (Durango)
			Chalco	México (casi exclusivamente Chalco y Texcoco, Estado de México)
		<i>Z. mays</i> Subs. parviglumis Iltis & Doebley	Balsas	México (Guerrero, Michoacán, Morelos, Oaxaca, Jalisco y Estado de México)
<i>Zea</i> (anuales)	<i>Zea mays</i> L.	<i>Z. mays</i> Subs. huehuetenange nsis Doebley	Huehuetenango	Guatemala (Huehuetenango)

Fuente: Wilkes, 1967; Iltis y Doebley, 1980; Doebley y Iltis, 1980; Sánchez *et al.*, 1998; OCDE, 2003.

El género *Tripsacum* relacionado con *Zea*, es nativo del Nuevo Mundo con 20 especies distribuidas desde la región noreste de Estados Unidos de Norteamérica, hasta Paraguay, su número cromosómico básico es  $x = 18$  y puede ser diploide, triploide y aún con mayores niveles de ploidía dentro del género. Existen híbridos naturales entre maíz y *Tripsacum*, una de las especies *T. andersonii* es considerada un híbrido estéril de éstas. Son plantas perennes, herbáceas y robustas de uno y hasta cuatro metros de alto. Las características morfológicas que separan al *Tripsacum* del maíz y del teocintle son: 1) Cada una de las ramas de las inflorescencias poseen en su parte basal las flores femeninas y en la terminal las masculinas (Weatherwax, 1955b; de Wet *et al.* 1971, 1981; Mangelsdorf, 1974); y 2) la forma y consistencia del fruto (Doebley, 1983b).

La clasificación del género *Zea* ha cambiado con el tiempo. En un inicio los primeros ordenamientos emplearon aspectos morfológicos resultantes de la selección humana durante el proceso de domesticación (Harshberger, 1896; Mangelsdorf *et al.* 1964; Wilkes, 1967). Este ordenamiento permitió la diferenciación de dos secciones: la sección *Euchlaena* que incluía todos los teocintles en este grupo; y por la otra parte la sección *Zea*, y que sólo incluía al maíz. Posteriormente Doebley e Iltis, 1980, elaboraron una clasificación para *Zea* con base en estructuras morfológicas neutras, aunque un elemento clave fue la descripción de las glumas de las espiguillas en las dos especies, considerada como una estructura en la que el humano no interviene en su modificación. El resultado fue una nueva división que produjo dos secciones: *Luxuriantes* y *Zea* (Doebley e Iltis, 1980; Doebley, 2003).

*Zea mays* agrupa cuatro subespecies:

*Zea mays* L. ssp. *huehuetenangensis* (Iltis & Doebley) Doebley; distribuida en la zona de San Antonio Huista, Buxup, Lupina y Tzisbaj en altitudes de 900-1650 m en Guatemala.

*Zea mays* L. ssp. *mexicana* (Schrader) Iltis, comprende las Razas Chalco del Valle de México, Mesa Central en el Bajío y Nobogame en la región sur de Chihuahua (Wilkes, 1967). Este último es el más precoz de las tres razas mencionadas.

*Zea mays* L. ssp. *parviglumis* Iltis & Doebley o raza Balsas según (Wilkes, 1967), la cual se distribuye desde la Sierra Madre del Sur, Cuenca del Balsas y Oaxaca hasta Nayarit.

*Zea mays* L. ssp. *mays*, el maíz cultivado propiamente, la cual se distribuye en casi todo el territorio nacional.

El maíz es una planta de porte robusto y de hábito anual; el tallo es simple, erecto, de elevada longitud alcanzando alturas de uno a cinco m, con pocos macollos o ramificaciones, su aspecto recuerda al de una caña de azúcar por la presencia de nudos y entrenudos y su médula esponjosa. Las hojas nacen en los nudos de manera alterna a lo largo del tallo; se encuentran abrazadas al tallo mediante la vaina que envuelve el entrenudo y cubre la yema floral, de tamaño y ancho variable. Las raíces primarias son fibrosas presentando además raíces adventicias, que nacen en los primeros nudos por encima de la superficie del suelo, ambas tienen la misión de mantener a la planta erecta (Jugenheimer, 1988). Es una planta monoica de flores unisexuales, que presenta flores masculinas y femeninas bien diferenciadas en la misma planta: la inflorescencia masculina es terminal, se conoce como panícula (o espiga) consta de un eje central o raquis y ramas laterales; a lo largo del eje central se distribuyen los pares de espiguillas de forma polística y en las ramas con arreglo dístico y cada espiguilla está protegida por dos brácteas o glumas, que a su vez contienen en forma apareada las flores estaminadas; en cada florecilla componente de la panícula hay tres estambres donde se desarrollan los granos de polen. La coloración de la panícula está en función de la tonalidad de las glumas y anteras, que pueden ser de coloración verde, amarilla, rojiza o morada. Las inflorescencias femeninas (mazorcas) se localizan en las yemas axilares de las hojas, son espigas de forma cilíndrica que consisten de un raquis central u olote donde se insertan las espiguillas por pares, cada espiguilla con dos flores pistiladas una fértil y otra abortiva, estas flores se arreglan en hileras paralelas, las flores pistiladas tienen un ovario único con un pedicelo unido al raquis, un estilo muy largo con propiedades estigmáticas donde germina el polen, la inflorescencia femenina (mazorca) puede formar alrededor de 400 a 1000 granos arreglados en promedio de ocho a 24 hileras por mazorca; todo

esto encerrado en numerosas brácteas o vainas de las hojas (totomoxtle), los estilos largos saliendo de la punta del raquis como una masa de hilo sedoso se conocen como pelo de elote; el jilote es el elote tierno. Por las características mencionadas, el maíz es una planta de polinización abierta (anemófila) propensa al cruzamiento, la gran mayoría de los granos de polen viajan de 100 a 1000 m (Reyes, 1990; Jugenheimer, 1988), en la mazorca cada grano o semilla es un fruto independiente llamado cariósipide que está insertado en el raquis cilíndrico u olote; la cantidad de grano producido por mazorca está limitada por el número de granos por hilera y de hileras por mazorca. Como cualquier otro cereal, las estructuras que constituyen el grano del maíz (pericarpio, endospermo y embrión) le confieren propiedades físicas y químicas (color, textura, tamaño, etc.) que han sido importantes en la selección del grano como alimento.

### **1.2.2 Origen del maíz**

El debate sobre el origen del maíz todavía continúa y comprender ese problema no es solo de interés meramente académico. Es importante para promover programas agresivos de mejoramiento y para la transferencia de caracteres deseables de especies silvestres afines y cultivares locales en la evolución y el continuo mejoramiento del maíz. Hay varios artículos que revisan y discuten el origen del maíz, el teocintle es considerado el ancestro directo del maíz actual, y según las últimas evidencias arqueológicas, el origen del maíz data de 8,700 años antes de nuestra era, en la región de Iguala en el estado de Guerrero, en la localidad de Tlaxmalac (Ranere *et al.*, 2009, Piperno *et al.*, 2009).

La hipótesis de que el maíz fue domesticado de un maíz silvestre es parte de la teoría tripartita (Mangelsdorf y Reeves, 1939). La teoría del “anfidiplóide” propuesta por Anderson (1945) postula que un maíz primitivo se originó en el sureste de Asia mediante la hibridación y duplicación genómica de dos especies cada una con cinco pares de cromosomas, tales como *Coix* y *Sorghum*. Andres, 1950, después de que descubrió en Argentina una forma débil de un maíz tunicado llamado “semivestidos”, sugirió que este tipo de maíz fue el ancestro del



maíz moderno. Finalmente Singleton, 1951, sugirió que el mutante denominado “corn grass” puede mostrar algunos de los caracteres primitivos de tipo ancestral. Goodman, 1965, después de haber revisado ampliamente las teorías en curso sobre el origen del maíz, concluyó que “hasta que se conozca más acerca de las relaciones de la genética y morfología entre las Maydeae americanas y orientales, y las Andropogoneae, escribir una historia de la evolución del maíz y/o sus parientes continuará siendo semejante a un intento por completar un rompecabezas con las tres cuartas partes de sus piezas ausentes”. Parece que desde cuando se escribió esta conclusión, muchas piezas del rompecabezas han sido encontradas, aunque no significa que el panorama final ha sido completado. Sin embargo, después de dos décadas Goodman, 1988, hace una nueva revisión de la literatura sobre la historia y evolución del maíz y aún encuentra que a pesar de muchos estudios hechos y propuestas de teorías hasta entonces, todavía no existe consenso acerca de cómo y dónde ocurrió el origen y evolución temprana del maíz. El único avance real que ha ocurrido en ese lapso de tiempo ha sido el llegar a un gran consenso de que el teocintle y, en especial el teocintle anual mexicano, es el ancestro del maíz cultivado.

*Zea mays*, comúnmente llamado maíz, choclo, millo o elote, es una planta gramínea anual originaria de América introducida en Europa en el siglo XVI. Actualmente, es el cereal con mayor volumen de producción en el mundo, superando al trigo y al arroz (FAO, 2006).

El centro de origen para *Zea mays* subsp. *mays* comprende la región de Mesoamérica, localizada entre el centro y sur de México hasta América Central. El origen del maíz no ha sido sencillo de rastrear. La mazorca es única entre los cereales y de ahí que la dilucidación de su origen haya sido un gran desafío científico. Existen varias teorías que explican el posible origen del maíz; la teoría del teocintle como ancestro del maíz, teoría tripartita, teoría *Tripsacum-diploperennis*, teoría de la transmutación sexual catastrófica, teoría multicéntrica del origen del maíz y la teoría unicéntrica del origen del maíz; sin embargo, solamente tres de ellas han sido las más debatidas por los diferentes

investigadores seguidores sobre el origen de este cereal, y hoy en día es la más aceptada la teoría del teocintle como ancestro del maíz (Kato, 2009).

Dos importantes descubrimientos han ayudado a reformular el entendimiento de la domesticación y la dispersión temprana del maíz. El primero es la acumulación de evidencia genética que el maíz ha surgido de un teocinte anual (*Zea mays ssp. parviglumis*), que se encuentra actualmente en la región del Río Balsas al oeste de México (Matsuoka *et al.*, 2002). El segundo, los resultados que se han generado por espectrometría de masas por acelerador (AMS), en la dotación de Carbono-14 de muy pequeños fragmentos de maíz, determinando una confiable cronología para la comparecencia inicial y eventual de la dispersión del maíz (Staller *et al.*, 2006).

Recientemente se ha puesto atención en estudios biológicos y arqueológicos que han estado aportando nuevos lineamientos para poder concluir cuando, por qué y cómo el maíz se distribuyó de su centro de origen a nuevas regiones mucho más allá de su zona de domesticación inicial, la teoría del origen del maíz más aceptada data de los experimentos de cruza hechas por el Profesor Pandurang en México aproximadamente en 1930 al cruzar “Teozintle” (*Zea Mays spp mexicana*) con maíz y producir una mazorca muy parecida al actual maíz (Márquez, 2008). Aunque se tienen evidencias arqueológicas de registros de maíz en todo el Continente Americano, se considera a México como el centro de diversidad de la especie pues las evidencias arqueológicas más antiguas las ubican en México antes de la llegada de los europeos (Kato y col., 2009).

El centro geográfico de origen y dispersión se ubica en el Municipio de Coxcatlán en el valle de Tehucán, Estado de Puebla, en la denominada Mesa Central de México a 2.500 m sobre el nivel del mar; en este lugar el antropólogo norteamericano Richard Stockton MacNeish encontró restos arqueológicos de plantas de maíz que, se estima, datan del 7.000 a. C. Teniendo en cuenta que ahí estuvo el centro de la civilización Azteca es lógico concluir que el maíz constituyó para los primitivos habitantes una fuente importante de alimentación. Aun, se pueden observar en las galerías de las pirámides (que todavía se conservan) pinturas, grabados y esculturas que representan al maíz. Las grandes

civilizaciones mesoamericanas no habrían surgido sin la agricultura, y sin un sistema de medición del tiempo que organizaba sus actividades cotidianas y rituales de los pueblos mesoamericanos. El calendario determinaba los momentos en que se cultivaba, se comerciaba o se hacía la guerra y también decía el destino de los seres humanos, aunque se ha dicho y escrito mucho acerca del origen del maíz, todavía hay discrepancias respecto a los detalles de su origen. Generalmente se considera que el maíz fue una de las primeras plantas cultivadas por los agricultores hace entre 7 000 y 10 000 años. La evidencia más antigua del maíz como alimento humano proviene de algunos lugares arqueológicos en México donde algunas pequeñas mazorcas de maíz estimadas en más de 5 000 años de antigüedad fueron encontradas en cuevas de los habitantes primitivos (Wilkes, 1979, 1985). Las varias teorías relacionadas con el centro de origen del maíz se pueden resumir en la siguiente forma:

#### **1.2.2.1 Origen Asiático**

El maíz se habría originado en Asia, en la región del Himalaya, producto de un cruzamiento entre *Coix* spp. y algunas *Andropogóneas*, probablemente especies de *Sorghum*, ambos parentales con cinco pares de cromosomas (Anderson, 1945). Esta teoría no ha tenido un gran apoyo y se reconoce es uno de los cultivos alimenticios que se originaron en el Nuevo Mundo. Sin embargo, la teoría de que el maíz es un anfidiplóide está ganando terreno a partir de estudios citológicos y con marcadores moleculares.

#### **1.2.2.2 Origen andino**

El maíz se habría originado en los altos Andes de Bolivia, Ecuador y Perú (Mangelsdorf y Reeves, 1959). La principal justificación para esta hipótesis fue la presencia de maíz reventón en América del Sur y la amplia diversidad genética presente en los maíces andinos, especialmente en las zonas altas de Perú. Una seria objeción a esta hipótesis es que no se conoce ningún pariente salvaje del maíz, incluyendo teosinte, en esa región (Wilkes, 1989). En los últimos años, Mangelsdorf descartó la hipótesis del origen andino.

### **1.2.2.3 Origen mexicano**

Muchos investigadores creen que el maíz se habría originado en México donde el maíz y el teosinte han coexistido desde la antigüedad y donde ambas especies presentan una diversidad muy amplia (Wheatherwax, 1955; Iltis, 1983; Galinat, 1988; Wilkes, 1989). El hallazgo de polen fósil y de mazorcas de maíz en cuevas en zonas arqueológicas apoya seriamente la posición de que el maíz se había originado en México.

### **1.2.2.4 Origen del maíz tunicado**

Mangelsdorf defendió la hipótesis de que el maíz se originó de una forma silvestre de maíz tunicado en las tierras bajas de América del Sur: propuso que el teosinte era un híbrido natural de *Zea* y *Tripsacum* (Mangelsdorf, 1947, 1952, 1974; Mangelsdorf y Reeves, 1939, 1959). Aunque finalmente Mangelsdorf descartó esta hipótesis, la misma generó y estimuló gran cantidad de investigación. En los últimos tiempos la hipótesis de participación de las tres especies, maíz tunicado, teosinte y *Tripsacum* fue rechazada al no estar apoyada por datos citotaxonómicos y citogenéticos del maíz y del teosinte.

### **1.2.2.5 Origen del maíz silvestre**

El maíz se originó de una antigua forma salvaje de maíz nativo, ahora extinta, en las alturas de México o Guatemala (Weatherwax, 1954, 1955; Mangelsdorf 1974). Randolph, 1959, sugirió que los ancestros del maíz cultivado eran alguna forma de maíz silvestre. El maíz primitivo, el teosinte y *Tripsacum* divergían entre ellos muchos miles de años antes de que el maíz silvestre evolucionara como para llegar a ser una planta cultivada. Como nunca se han encontrado el maíz silvestre o formas silvestres de plantas de maíz, esta teoría no recibe gran consideración.

### **1.2.2.6 Origen del teosinte**

El maíz deriva del teosinte a través de mutaciones y por selección natural (Longley, 1941) o fue obtenido por los primeros agricultores fitomejoradores (Beadley, 1939, 1978, 1980). Es generalmente aceptado el hecho de que el

teosinte es el antecesor silvestre y/o allegado al maíz y que ha participado directamente en el origen del maíz cultivado. La hipótesis de Beadley de que el maíz es una forma domesticada de teosinte ha encontrado considerable apoyo (Iltis, 1983; Mangelsdorf, 1986; Galinat, 1988, 1995; Goodman, 1988; Doebley, 1990).

Los granos de teosinte están encastrados en frutos de envolturas rígidas. Los componentes de esas envolturas rígidas también están presentes en el maíz, pero su desarrollo está alterado de modo tal que los granos no están encastrados como en el teosinte, sino que están expuestos en la mazorca. Doebley y Stec, 1991, 1993, Doebley *et al.*, 1990 y Dorweiler *et al.*, 1993, han identificado, descrito y mapeado genéticamente un *locus* de características cuantitativas (QTL), el *tga 1* (arquitectura de gluma teosinte 1) el cual controla esta diferencia fundamental entre maíz y teosinte. Cuando este QTL de maíz, el *tga 1*, fue transferido al teosinte, su grano no fue retenido fuertemente dentro de la cúpula y quedó parcialmente expuesto. En el experimento contrario, cuando el QTL de teosinte fue transferido al maíz, la gluma se endureció y desarrolló características similares a las del teosinte. Este descubrimiento del *tga 1* explica uno de los posibles pasos de la transformación del teosinte en maíz. Esto también ilustra el hecho de que la evolución de una nueva adaptación puede ser gobernada por un *locus* simple y que esa evolución puede ocurrir en relativamente pocas etapas amplias (Orr y Coyne, 1992). Iltis y Doebley, 1980, sugirieron que el maíz y el teosinte son dos subespecies de *Zea mays*. Esta opinión, sin embargo, no es muy aceptada por los fitomejoradores del maíz aunque cuenta con el apoyo de los botánicos.

Algunos experimentados estudiosos del maíz no están de acuerdo con la teoría de la evolución del teosinte a maíz y creen que el maíz se originó de antiguas formas de maíz silvestre (Mangelsdorf, 1986; Wilkes, 1985, 1989). Wilkes, 1979 y Wilkes y Goodman, 1995, han resumido en forma de diagrama varios modelos probables para el origen del maíz. Estos son: i) evolución vertical del maíz moderno a partir de maíz silvestre; ii) progresión de teosinte a maíz; iii) separación del maíz y el teosinte, originados ambos en un ancestro común, habiéndose separado durante el proceso evolutivo; y, iv) hibridación, habiéndose originado el maíz como un híbrido entre teosinte y una gramínea desconocida. Los últimos informes indican

que la naturaleza anfidiplóide o tetraplóide del cariotipo del maíz agrega un elemento más al enigma del origen del maíz.

Ya sea que el maíz se haya originado del teosinte o que el teosinte y el maíz se originaron separadamente, hay un hecho indiscutido y es que el germoplasma del teosinte ha introgregado extensivamente en el del maíz durante su evolución y domesticación en México. A partir de las evidencias disponibles es posible concluir que el origen del maíz involucró la mutación de varios *loci* importantes en las formas antiguas de teosinte y de ahí esos genes se trasladaron a estructuras genéticas favorables bajo el efecto de numerosos *loci* menores (Galinat, 1988; Doebley, 1994), la notable transformación de una gramínea maleza a planta altamente productiva con una mazorca llena de granos comestibles y en tan corto tiempo, ya sea por selección natural o con la participación de agricultores-fitomejoradores, es sin embargo difícil de comprender.

### **1.2.3 Domesticación del maíz**

Uno de los momentos más importantes en la vida de las antiguas comunidades mayas fue, sin duda alguna, la domesticación del grano del maíz. Haber logrado dar el enorme salto de ser una planta silvestre hasta convertirse en base de la alimentación de los mayas de ayer y de hoy requirió, con toda seguridad, un gran número de años y siglos. ¿A dónde se remonta el origen del maíz? ¿Qué pruebas existen de su domesticación y uso intensivo? El presente apartado intenta dar respuesta a éstas y otras interrogantes, quizá sea de todos conocida la idea de que el hombre y la mujeres que vivieron originalmente las tierras de lo que hoy llamamos América provengan de África. En su paso incansable, las personas han caminado a lo largo de los siglos; de ese modo fueron surcando las praderas y el borde de los ríos, empinándose por las altas cordilleras y rodeándolas; de ese modo, caminando y caminando, llegaron a lo que hoy se conoce como el Estrecho de Bering, que para ese entonces, debido a los cambios climáticos, se encontraba unido por bloques de hielo a través de los cuales los hombres y mujeres de aquel entonces se introdujeron a nuestro territorio americano. Sin detenerse más que lo necesario, las personas vivían de la caza y la recolección de frutos y raíces para

alimentarse, cazaban animales salvajes y pescaban en ríos y lagunas. Los arqueólogos han encontrado evidencias de huesos humanos que demuestran que ya estaban viviendo hace 30 mil años al norte de América, 25 mil en lo que hoy es México, 20 mil en el Perú, 15 mil en Chile y 10 mil en Patagonia. Sin embargo, se tienen datos de un cambio de vida en las comunidades originarias de estas tierras desde aproximadamente ocho mil años antes de Cristo, en este lento y paulatino cambio, descubrieron una planta que ahora conocemos y apreciamos: el maíz. Era una planta que sólo crecía en estado silvestre y su fruto no era más grande que el dedo pequeño de la mano. El origen de esta planta se remonta al Valle de Tehuacán, Puebla: el descubrimiento en el año de 1961, de una pequeña mazorca de maíz, que, después de estudiarla, se ha fechado siete mil años antes de Cristo, aproximadamente. Algunos grupos indígenas la dominan “madre del maíz”. “Fue encontrada en una capa de tierra que cubría el piso de una cueva que la gente utilizaba como refugio. Los habitantes de esa caverna deben haber comido aquellos primeros elotitos junto con otras hierbas y plantas, algunas frutas, caracoles de río y carne de pescado y animal silvestre, en tierras mayas, el descubrimiento más temprano de restos de maíz comestible se hizo en la orilla del lago de Petenxil, en Guatemala. Por eso sabemos que nuestros antepasados lo cultivaban seguramente a partir de 3,000 años antes de Cristo” (DE VOS J., 2001). Pero, ¿cuál es el origen de esta planta? ¿Cómo llegó hasta esta tierra? Las únicas respuestas se remontan a los mitos cosmogónicos o de la creación entre los mayas. Ellos recrean y explican lo que no tiene explicación, o aquello que no se sabe cómo explicarlo; en los mitos indígenas y, por consiguiente, entre los mitos mayas, se entremezclan diversos personajes. Dioses y animales, ya sea cuadrúpedos o aves, se unen para sacar adelante la empresa de la creación del cosmos y de todo cuanto existe sobre la faz de la tierra, por debajo de ella y lo que hay en ella. Tal es el caso del maíz, este cereal que logró, de alguna manera, la formación de grandes reinos de la antigüedad, en el área maya existen varias fuentes que nos informan sobre el origen del maíz (Thompson J. Eric, 1970). Aunque cada región conserva sus mitos cosmogónicos en los que hay similitud; los mayas yucatecos también conservan el suyo que está registrado en los libros

del Chilam Balam de Chumayel. Dice que “el espíritu o divinidad del maíz quedó solo dentro de la gracia, término ritual adoptado por los mayas para llamar al maíz, cuando no había ni cielo ni tierra. Después fue pulverizado al final del katún porque no podía haber nacido en el primer katún. Tenía los largos bucles, es de suponer, como apunta R. Roys, que se tratara de los cabellos o barbas de elote, que suelen verse en las mejillas del dios maíz, Su divinidad le llegó al irse. Estaba oculta dentro de la piedra. En un oscuro pasaje se menciona que el guacamayo hacía algo detrás del actún, la columna de piedra. La piedra bajo la cual estaba el maíz se llama *chac ye tun*, 'gran piedra de punta', *ocontún* 'pilar de piedra', *zuhuy tun* 'piedra virgen, no contaminada'. En el juego de palabras, al maíz se le llama 'tun', que significa no sólo piedra en general, sino específicamente jade, a su vez símbolo de precioso” (Thompson J. Eric, 1970), Thompson describe un relato similar recogido entre los mayas mopanes de Belice, en el que cuentan que el maíz estaba oculto bajo una enorme roca o gran peña, y sólo las hormigas podían llegar a ellas y alimentarse del grano, por una pequeña grieta de la piedra. La zorra comió de los granos que no podían cargar las hormigas, y siguió a las hormigas hasta encontrar el lugar exacto donde se encontraba dicha semilla, pero no pudo entrar por ser muy pequeña la grieta. De vuelta con los otros animales, la zorra se echó una flatulencia y sus vientos olían tan bien, que sus compañeros quisieron saber qué había comido. Le siguieron y conocieron su secreto; les pidieron a las hormiguitas sacar más granos, pero éstas sólo podían sacar para su sustento. Pidieron ayuda a la hormiga roja y a la rata, pero tampoco pudieron. Finalmente le comunicaron al hombre el secreto de aquel maravilloso alimento, el hombre pidió ayuda a los dioses, éstos a los pájaros carpinteros para ubicar la parte más blanda de la roca y después de 12 intentos los dioses envían a un último rayo que pulveriza la piedra y libera el grano. Al principio los granos eran blancos, pero el rayo abrasó algunos granos que se volvieron rojos, ahumó a otros que se volvieron amarillos y carbonizó a otros que se volvieron negros. Los hombres más jóvenes se llevaron el maíz. Entre los mayas quichés existe un relato muy hermoso: “Los dioses hicieron de barro a los primeros mayas-quichés. Poco duraron, eran blandos, sin fuerza; se desmoronaron antes de caminar.



Luego probaron con la madera. Los muñecos de palo hablaron y anduvieron, pero eran secos; no tenían sangre ni sustancia, memoria ni rumbo. No sabían hablar con los dioses o no encontraban nada que decirles. Entonces los dioses hicieron de maíz a las madres y a los padres. Con maíz amarillo y maíz blanco amasaron su carne. Las mujeres y los hombres de maíz veían como los dioses, su mirada se extendía sobre el mundo entero. Los dioses echaron un vaho y les dejaron los ojos nublados para siempre, porque no querían que las personas vieran más allá del horizonte” (Gaelano Eduardo, 2002).

Así lo cuenta el libro sagrado del Popol Vuh. Existen otros muchos relatos mayas sobre el origen del grano (Florescano, Enrique, 1999), la mayor parte de ellos menciona a las hormigas y la piedra debajo de la cual se halla dicho grano. Los antiguos mayas no sólo quisieron explicarse el origen y la domesticación de esta planta, sino el origen mismo del cosmos y de todo cuanto existe; más aún, buscaron explicar su propio origen, la eterna e inquietante pregunta: ¿quiénes somos y de dónde venimos? Para esto último, los mayas y todos los pueblos mesoamericanos encontraron en el maíz su origen y su esencia. “La identificación del origen del maíz con el origen del cosmos, el nacimiento de los seres humanos y el comienzo de la vida civilizada expresan la importancia que estos pueblos le atribuyeron a la domesticación de esta planta” (Florescano, Enrique, 1999).

#### **1.2.4 Diversidad del maíz**

El cultivo del maíz en México se hace actualmente en un amplio rango de altitud y variación climática, desde el nivel del mar hasta los 3,400 msnm. Se siembra en zonas tórridas con escasa precipitación, en regiones templadas, en las faldas de las altas montañas, en ambientes muy cálidos y húmedos, en escaso suelo, en pronunciadas laderas o en amplios valles fértiles, en diferentes épocas del año y bajo múltiples sistemas de manejo y desarrollo tecnológico (CONABIO, 2011, Hernández X., 1985b). A esta gran diversidad de ambientes, los agricultores, indígenas o mestizos, mediante su conocimiento y habilidad, han logrado adaptar y mantener una extensa diversidad de maíces nativos (Muñoz 2003, Márquez, 2007).

El maíz como cultivo es un sistema dinámico y continuo. Su polinización es libre y hay movimiento o flujo de semilla por los agricultores año con año al mantener, intercambiar y experimentar con semilla propia o de otros vecinos de la misma localidad o de regiones distantes. A diferencia de las plantas silvestres, esto dificulta la distinción de unidades discretas para clasificar su diversidad. Una aproximación a su estudio y entendimiento ha sido seleccionar en este continuo las principales unidades (tipos o formas) que le caracterizan y a las que se han denominado razas, el término raza se ha utilizado en el maíz y en las plantas cultivadas para agrupar individuos o poblaciones que comparten características en común, de orden morfológico, ecológico, genético y de historia de cultivo, que permiten diferenciarlas como grupo (Anderson y Cutler, 1942, Harlan y de Wet, 1971, Hernández y Alanís, 1970). Las razas se agrupan a su vez en grupos o complejos raciales, los cuales se asocian a una distribución geográfica y climática más o menos definida y a una historia evolutiva común (Goodman y McK. Bird, 1977, McK. Bird y Goodman, 1977, Ruíz *et al.* 2008, Sánchez, 1989, Sánchez *et al.*, 2000). El concepto y la categoría de raza es de gran utilidad como sistema de referencia rápido para comprender la variación de maíz, para organizar el material en las colecciones de bancos de germoplasma y para su uso en el mejoramiento (McClintock, 1981, Wellhausen, 1988), así como para describir la diversidad a nivel de paisaje (Perales y Golicher, 2011). Sin embargo, cada raza puede comprender numerosas variantes diferenciadas en formas de mazorca, color y textura de grano, adaptaciones y diversidad genética.

Las razas se nombran a partir de distintas características fenotípicas (Cónico, por la forma de la mazorca), tipo de grano (Reventador, por la capacidad del grano para explotar y producir palomitas), por el lugar o región donde inicialmente fueron colectadas o son relevantes (Tuxpeño de Tuxpam, Veracruz; Chalqueño, típico del Valle de Chalco) o por el nombre con que son conocidas por los grupos indígenas o mestizos que las cultivan (Zapalote Chico en el Istmo de Oaxaca o Apachito en la Sierra Tarahumara) (McClintock 1981, Wellhausen *et al.*, 1951).

En América Latina se han descrito cerca de 220 razas de maíz (Goodman y McK. Bird, 1977), de las cuales 64 (29%) se han identificado, y descrito en su mayoría,

para México (Anderson, 1946, Wellhausen *et al.*, 1951, Hernández y Alanís, 1970, Ortega, 1986, Sánchez, 1989, Sánchez *et al.*, 2000).

En México encontramos una gran diversidad de maíces que se han venido ampliando, gracias a la variación de condiciones ambientales y la multiplicidad de culturas asociadas a su cultivo. Sin embargo, el noroeste de México, particularmente el estado de Sinaloa existen muy pocos trabajos de este tipo (Castro *et al.*, 2006, Chávez-Ontiveros, *et al.*, 2007).

De las 64 razas que se reportan para México, 59 se pueden considerar nativas y 5 que fueron descritas inicialmente en otras regiones (Cubano Amarillo, del Caribe, y cuatro razas de Guatemala Nal Tel de Altura, Serrano, Negro de Chimaltenango y Quicheño), pero que también se han colectado o reportado en el país, las razas de maíz de México se han agrupado, con base en caracteres morfológicos, de adaptación y genéticos (isoenzimas) en siete grupos o complejos raciales (Goodman y Mck Bird, 1977, Ruíz *et al.*, 2008, Sánchez *et al.*, 2000).

Palacios *et al.*, 2008, reportaron que de 152 colectas de maíz que realizaron en 15 de los 18 municipios del estado de Sinaloa, estas pertenecen principalmente a nueve razas, las cuales son: Tabloncillo, Tuxpeño, Elotero de Sinaloa, Tabloncillo Perla, Blando de Sonora, Reventador, Vandeño, Onaveño y Jala (Figura 39). Lo anterior, indica que en Sinaloa, persisten maíces nativos de la mayoría de las razas reportadas en los antecedentes de investigación, pero en algunas razas la frecuencia es demasiado baja como es el caso de las razas Reventador, Onaveño y Vandeño, y en otras, están prácticamente desaparecidas, como es el caso de las razas Chapalote, Dulcillo y Bofo (Palacios *et al.*, 2008).

Se puede confirmar que en el estado de Sinaloa existen también la raza Chapalote y Dulcillo del Noroeste; colectadas y conservadas (*in situ* y *ex situ*) en investigaciones realizadas en la Universidad Autónoma de Sinaloa, aunque no se encuentren en el último reporte de la diversidad racial de maíz en Sinaloa (Palacios *et al.*, 2008).

### **1.2.5 Maíz criollo**

El término “Maíz criollo” es un término campesino que comúnmente se utiliza para denotar que es un material nativo de la comunidad, región, estado o país y que se diferencia de un material extranjero, un maíz híbrido o una variedad mejorada. Está conformado por una población heterogénea de plantas, las cuales son diferenciadas por los agricultores por su color, textura, forma de grano, forma de la mazorca, ciclo del cultivo, y uso. Asimismo, son materiales que han sido formados por los agricultores y durante muchos años, mediante una selección empírica, y lo conservan y lo mejoran año con año en un complejo sistema de intercambio de semillas y genes (Aragón *et al.*, 2005).

El término “criollo” surgió desde la conquista de América por los españoles, este se utilizó para nombrar a los hijos de españoles que nacían en América (Wikipedia, 2012). Lo anterior ha llevado a grandes confusiones y discusiones sobre el hecho de que a los maíces no se les debe nombrar como criollos, sino que se debe utilizar el término “nativo”, ya que este se aplica mejor porque hace referencia a pertenencia al lugar donde se encuentre, nosotros no vamos a entrar en detalle sobre este aspecto ya que sería dedicarle tiempo que no requiere y que se puede utilizar en cosas más importantes, además los campesinos que cultivan estos maíces los van a seguir llamando criollos porque es el término que conocen es lo que les enseñaron sus antepasados y no van a cambiar de idea nada más porque les digamos que no es correcto, por lo tanto nosotros manejaremos el término como nativo y/o criollo.

En México, no obstante la gran inversión y los muchos años de influencia del mejoramiento formal e introducción masiva de variedades mejoradas de maíz, los agricultores de pequeña escala siguen cultivando las variedades de maíz criollo que les permiten atender la demanda de los mercados especializados, donde su producción adquiere mayor valor y mejor precio, México es el centro del origen y diversidad del maíz. Es reconocido que los productores conservan la diversidad del cultivo por razones sociales, económicas, culturales y cuando las variedades locales muestran un comportamiento agronómico superior al de las mejoradas (Bellon, 2004).

A pesar de los varios decenios de mejoramiento formal y promoción de las variedades resultantes, gran parte de los productores mexicanos sigue sembrando las variedades locales de maíz. Si bien la ineficiencia de las cadenas de semilla explica en parte la no adopción del maíz mejorado, también es cierto que los productores toman la decisión deliberada de seguir sembrando los materiales criollos, hay evidencias del porqué de esta persistencia, que en parte se debe a que existen mercados especializados de maíz que exigen características que solo los maíces criollos poseen (Keleman y Hellin, 2009). Los defensores de la conservación de la agrobiodiversidad han resaltado los posibles vínculos entre las variedades criollas de los agricultores, los mercados agrícolas y las mejores condiciones de vida.

Sin embargo, acceder a estos mercados tiene un costo para los productores porque, como sucede en todos los lugares, la participación en sí implica costos de transacción. Estos incluyen la búsqueda de información, las negociaciones, la puesta en vigor y el monitoreo de los acuerdos. Además, dichos costos se generan cuando los bienes se movilizan a lo largo de la cadena de valor, al ser producidos, procesados y distribuidos. Para realizar la investigación descrita en este documento, se efectuó un trabajo de campo cualitativo, complementado con una revisión bibliográfica y el análisis de datos secundarios (Keleman y otros, 2013).

El centro de origen para *Zea mays* subsp. *mays* comprende la región de Mesoamérica, localizada entre el centro y sur de México hasta América Central. Existen muchos esfuerzos por parte de arqueólogos, botánicos, lingüistas, antropólogos, entre otros, por descifrar su origen, evolución y dispersión. Los restos arqueobotánicos de maíz que se han descubierto en cuevas del Valle de Tehuacán, se calcula que tienen una antigüedad de entre 4500 a 7000 años. Asimismo, se han encontrado en la cueva de Guilá Naquitz en los valles centrales de Oaxaca restos con una antigüedad de 6200 años aproximadamente (Benz, 2001; Piperno & Flannery, 2001). Por otra parte en el Noroeste de México, norte de Sinaloa y suroeste de Estados Unidos, los restos arqueológicos denotan una

antigüedad aproximada de 4500 años (Carpenter *et al.*, 2005; Carpenter *com pers.*, 2006)

Aunque el período exacto de domesticación y los ancestros de los cuales surgió el maíz no son concluyentes. Se cree que hacia el año 3000 a.c. la domesticación de las plantas en el centro-sur de México era total y que la introducción del maíz al noroeste de México y el suroeste de E.U. puede atribuirse a la dispersión de grupos hablantes yuto-azteca que ocurrió durante los primeros siglos inmediatamente después del periodo Altitermal (Holoceno Medio), aproximadamente 1500 años después de su domesticación inicial (Carpenter *et al.*, 2005; Carpenter *com. pers.*, 2006).

Hellin y Bellon, 2007, comentan que las prácticas tradicionales de manejo de las semillas de maíz incluyen el uso de las que proceden de la última cosecha o que se obtienen de familiares o amigos. Por ello, resulta importante conocer el papel que juega el agricultor en la selección, manejo y almacenamiento de la semilla a través de variables como: rendimiento, facilidad de manejo y sabor. A su vez, es una característica común entre los agricultores tener más de una variedad local de un mismo sistema de cultivo, lo cual no es exclusivo del maíz. Esta es una manera de lidiar con el estrés y los altos riesgos que implica la producción agrícola en ambientes marginales.

Entre las características físicas que determinan el uso de semillas criollas se puede señalar a que este tipo de especies poseen mejores capacidades de adaptación tanto a sequías, suelos pobres y condiciones climáticas extremas incluso son más resistentes a plagas (Perales *et al.*, 2003). Otro aspecto que favorece la diversidad del maíz es la existencia de platillos tradicionales como pozole, tamales y pinoles que en cada región del país usan diferente tipo de maíz que determinan la selección de una variedad de maíz según sus condiciones de sabor y vista.

Otros autores, (Soleri *et al.*, 2006, Perales *et al.*, 2005) encuentran que las variedades criollas de maíz requieren menos agroquímicos a diferencia de las semillas mejoradas e híbridas ya que gran parte de su rentabilidad se explica por el uso de los mismos. Los productores de maíz que usan variedades criollas son

más intensivos en mano de obra y menos intensivos en agroquímicos y maquinaria situación que prevalece en productores con características indígenas, después de largos años de uso de semilla híbrida, muchas de las variedades de maíces criollos y “nativos” han desaparecido. Sin embargo, una cantidad importante de pequeños productores en distintas zonas del país han logrado conservarlas hasta el día de hoy.

En particular, la diversidad de las poblaciones de maíz ha sido objeto de una intensa investigación, debido a la preocupación de que la adopción generalizada de variedades mejoradas está causando la pérdida de la diversidad del maíz presente en las variedades locales (van Heerwaarden *et al.*, 2009).

También existe evidencia de que incluso los agricultores que han adoptado variedades mejoradas siguen manteniendo las variedades locales debido a su resistencia superior en ambientes marginales (Kelemen *et al.*, 2009 , los requisitos de aportes menores de nitrógeno) (Kelemen *et al.*, 2009 y Bellon y Hellín, 2011), comparativamente bajo costo de la semilla (Almekinders *et al.*, 1994) una mejor resistencia a la pudrición (Almekinders *et al.*, 1994 y Bellon *et al.*, 2006), y las características culinarias superiores (Bellon y Hellín, 2011 y Isakson, 2011) en comparación con la mejora variedades. El mantenimiento de la diversidad del maíz en la granja (*in situ*) es, pues, de interés tanto a nivel local para uso de los agricultores y en el mundo-como reservorio de diversidad genética para un posible uso futuro (Ceroni *et al.*, 2007, Isakson, 2011 y Newton *et al.*, 2010), las variedades criollas de que se dispone son: Cuarenteño, Cuarentón, Diente de Caballo, Catete blanco y amarillo, Borra de Vino (también llamado Corazón de Indio), Copetín rojo chico y Arco Iris o Guaraní.

El maíz mexicano evolucionó a partir de una planta silvestre, la importancia del estudio de los registros arqueológicos son la mejor fuente para reconstruir su filogenia. Sin embargo, la historia del maíz mexicano sigue siendo un misterio. (Benz B. F., 1997), se han documentado alrededor de 35 razas, las cuales tienen diferentes características de acuerdo a su tamaño de la planta, la mazorca y el tipo de grano. Esta gran variedad ha facilitado que los usos culinarios se adecuen a las características de los mismos.

### **1.2.6 Híbridos**

Como alternativa a la escasa calidad y baja producción del maíz, en los últimos años y en diversos países se ha trabajado con los llamados “maíces de calidad proteínica” (o QPM, del inglés *quality protein maize*). Estos trabajos, encabezados por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), se han conducido desde 1996 en México, en colaboración con el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP). En este tiempo se han generado, evaluado e incrementado semillas de híbridos y variedades de maíz con alta calidad de proteína, el grano de los maíces de calidad proteínica tiene 100 por ciento más lisina y triptofano que el de los maíces comunes; de acuerdo con Bressani, 1994, la calidad de la proteína de los maíces de calidad proteínica es similar a la de la leche. El aprovechamiento de los maíces de calidad proteínica en la alimentación humana es de 90 por ciento, mientras que con los maíces comunes sólo se aprovecha el 39 por ciento (Sierra y colaboradores, 2001), estos maíces de calidad proteínica también pueden utilizarse en la alimentación animal, en aves y cerdos, donde se ha encontrado que se necesita menor cantidad de alimento para incrementar un kilogramo de peso, si se lograra aumentar el consumo de los maíces de calidad proteínica en la población, especialmente la rural, se podría mejorar el nivel nutricional en México, de manera especial en niños, madres, lactantes y ancianos. Lo anterior requiere del convencimiento de autoridades a distintos niveles de decisión, así como de la coordinación de instituciones municipales, estatales y federales.



### 1.2.7 Literatura citada

Anderson, E. 1945. What is *Zea mays*? A report of progress. *Chron. Bot.*, 9: 88-92.

Anderson, E. 1946. Maize in Mexico. A preliminary survey. *Annals of Missouri Botanical Garden* 33: 147-247.

Anderson, E. y H. C. Cutler. 1942. Races of *Zea mays* I. Their recognition and classification. *Annals of Missouri Botanical Garden* 29:69-88.

Aira, M., Monroy, F., Dominguez, J. 2006a. Changes in microbial biomass and microbial activity of pig slurry after the transit through the gut of the earthworm *Eudrilus eugeniae*. *Biology and Fertility of Soils* 42:371-376.

Almekinders CJM, Louwaars NP, DeBruijn GH. Sistemas de semillas locales y su importancia para el suministro de semillas mejoradas en los países en desarrollo. *Euphytica*, 78 (1994), pp 207-216.

Aragón, C. F., Taba S., Hernández C. J. M., Figueroa C. J. D., Serrato A. V. 2005. Actualización de la información sobre los maíces criollos de Oaxaca. Proyecto CONABIO CS-002. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Disponible [En Línea] en:  
<http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/InfCS002.pdf>

Beadle, G.W. 1939. Teosinte and the origin of maize. *J. Hered.*, 30: 245-247.

Beadle, G.W. 1978. Teosinte and the origin of maize. In D.B. Walden, ed. *Maize breeding and genetics*, p. 113-128. New York, NY, USA, J. Wiley & Sons.

Beadle, G.W. 1980. The ancestry of corn. *Sci. Am.*, 242: 112-119.

- Bellon, M. R. 2004. Conceptualizing interventions to support on-farm genetic resource conservation. *World Development* 32(1): 159-172.
- Bellon M. R., Adato M, Becerril J, Mindek D. 2006. Perciben los beneficios de los agricultores pobres de los diferentes tipos de germoplasma de maíz: el caso de criollización en las tierras bajas de México tropical. *Dev. Mundial.*, 34 (2006), pp 113-129.
- Bellon M. R. y Hellin J. 2011. La plantación de híbridos, manteniendo las variedades locales: modernización de la agricultura y la tradición entre los productores de maíz a pequeña escala en Chiapas, México. *Dev. Mundial.*, 39 (2011), pp 1434-1443.
- Benz, B. F. 1997. Diversidad y distribución prehispánica del maíz mexicano. *Arqueología mexicana* 5(25):17-23.
- Benz, B. F. 2001. Archaeological evidence of teosinte domestication from Guilá Naquitz. *PNAS* 98 (4): 2104-2106
- Bressani, R. (1994), "Opaque 2 corn in human nutrition and utilization", en *Quality protein maize: 1964-1994. Proc. Of the international symposium on quality protein maize*, Embrapa/cnpms, Sete Lagoas MG Brasil, diciembre 1-3, págs. 41-63.
- Carpenter J., Sánchez G. & E. Villalpando 2005. The Late Archaic/Early Agricultural Period in Sonora, Mexico. *New Perspective on the Late Archaic Across the Borderlands*. University of Texas Press, Austin. pp. 3-40
- Carpenter S. J. 2006. Reflexiones sobre el maíz prehispánico en Sinaloa y Sonora. Comunicación personal.
- Castro, VI., Sánchez-Peña, P., Garzón-Tiznado, J. A., Velarde, F. S., Hernández-Verdugo, S., Inzunza-Castro, J. F., Sánchez, P. J. 2006. Caracterización

fenotípica e identificación de transgenes en poblaciones de maíces (*Zea mays* L.) criollos del estado de Sinaloa. Memorias del Congreso Mexicano de la Sociedad Científica Mexicana de Ecología, 26-29 de noviembre, Morelia, Michoacán, México.

Ceroni M., Liu S., Costanza R. 2007. Papeles ecológicos y económicos de la biodiversidad en los agroecosistemas. DI Jarvis, C. Padoch, HD Cooper (Eds.), Manejo de la Biodiversidad en Sistemas Agrícolas, Columbia University Press, Nueva York, NY (2007), pp 338-361.

Chávez-Ontiveros, J., Méndez-Marroquín, K. P., Pineda-Hidalgo, K. V., López-Orozco, L., Sánchez-Peña, P., Garzón-Tiznado, J. A., López-Valenzuela, J. A. 2007. Análisis de diversidad genética de maíces nativos del estado de Sinaloa. Resúmenes de VII congreso del noroeste, segundo nacional en ciencias alimentarias y biotecnología. Hermosillo, Son. Mex.

CONABIO. 2011. Base de datos del proyecto global "Recopilación, generación, actualización y análisis de información acerca de la diversidad genética de maíces y sus parientes silvestres en México". Octubre de 2010. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D. F. <http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/proyectoMaices.html>

DE VOS J., "Nuestra raíz", Editorial Clío. México 2001

de Wet, J.M.J., and J.R. Harlan, and C.A. Grant. 1971. Origin and evolution of teosinte [*Zea Mexicana* (Schrad.) Kuntze]. *Euphytica* 20:255-265.

de Wet, J.M.J., D.H. Timothy, K.W. Hilu, and G.B. Fletcher. 1981. Systematics of South American *Tripsacum* (Gramineae). *Amer. J. Bot.* 68(2):269-276.

Doebley, J. 1983b. The taxonomy and evolution of *Tripsacum* and teosinte, the closest relatives of maize. *In*: D.T. Gordon, J.K. Knokke and L.R. Nault (eds). Proc. Intl. Maize Virus Disease. Colloquium and Workshop. The Ohio State. pp 15-28

Doebley, J. 1990. Molecular evidence and the evolution of maize. *Econ. Bot.*, 44: 6-27.

Doebley, J. 1994. Genetics and the morphological evolution of maize. *In* M. Freeling & V. Walbot, eds. *The maize handbook*, p. 66-77. New York, NY, USA, Springer-Verlag.

Doebley, J. y Iltis H. H. 1980. Taxonomy of *Zea* (Gramineae). I. A subgeneric classification with key to taxa. *Amer. J. Bot.* 67(6): 982-993.

Doebley, J. & Stec, A. 1991. Genetic analysis of the morphological differences between maize and teosinte. *Genetics*, 129: 285-295.

Doebley, J. & Stec, A. 1993. Inheritance of the morphological differences between maize and teosinte: comparison of results for two F2 populations. *Genetics*, 134: 559-570.

Doebley, J.F. 2003. The Taxonomy of *Zea*. <http://teosinte.wisc.edu/taxonomy.html>

Dorweiler, J., Stec, A., Kermicle, J. & Doebley, J. 1993. Teosinte glume architecture 1: a genetic locus controlling a key step in maize evolution. *Science*, 262: 233-235.

FAO: producción mundial del maíz en 2006

Florescano, Enrique, "Memoria Indígena", Editorial Taurus. México 1999

Gaelano Eduardo, "Memorias de Fuego" I. Siglo XXI. México 2002

Galinat, W.C. 1977. The origin of corn. *In*: Sprague, G. F. (ed.). *Corn and Corn Improvement*. Agronomy 18. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin. pp 1 – 47.

Galinat, W.C. 1988. The origin of corn. *In* G.F. Sprague & J.W. Dudley, eds. *Corn and corn improvement*, p. 1-31. Madison, WI, USA, American Society of Agronomy.

Galinat, W.C. 1995. El origen del maíz: el grano de la humanidad - The origin of maize: grain of humanity. *Econ. Bot.*, 49: 3-12.

Goodman, M.M. 1965. The history and origin of maize. North Carolina Agric. Expt. Sta. Tech. Bull. 170.

Goodman, M. M. y R. McK. Bird. 1977. The races of maize IV: Tentative grouping of 219 Latin American races. *Economic Botany* 31:204-221.

Goodman, M.M. 1988. The history and evolution of maize. *CRC Crit. Rev. Plant Sci.*, 7: 197-220.

Harlan, J. R. y J. M. J. de Wet. 1971. Toward a rational classification of cultivated plants. *Taxon* 20(4):509-517.

Hellin, J. y M. Bellon (2007). "Manejo de semillas y diversidad del maíz". LEISA, 23-2, Septiembre.

Hernández X., E. 1985a. Maize and man in the Greater Southwest. *Economic Botany* 39(4):416-430.

- Hernández X., E. y G. Alanís F. 1970. Estudio morfológico de cinco razas de maíz de la Sierra Madre Occidental de México: Implicaciones filogenéticas y fitogeográficas. *Agrociencia* 5 (1): 3–30.
- Ittis, H.H. 1983. From teosinte to maize: the catastrophic sexual transmutation. *Science*, 222: 886-894.
- Ittis, H.H & Doebley, J. 1980. Taxonomy of *Zea* (Gramineae). II. Subspecific categories in the *Zea mays* complex and a generic synopsis. *Am. J. Bot.*, 67: 994-1004.
- Isakson S. R. 2011. Aprovechamiento del mercado y la conservación de la biodiversidad de los cultivos: un análisis de los medios de vida de campesinos y la diversidad del maíz en las tierras altas de Guatemala. *Dev. Mundial.*, 39 (2011), pp 1444-1459.
- Jugenheimer, R.W. 1988. Maíz, variedades mejoradas, métodos de cultivo y producción de semillas. Limusa. México. 841p.
- Kato, T.A., C. Mapes, L.M. Mera, J.A. Serratos, y R.A. Bye. 2009. Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 116 pp. México, D.F.
- Keleman, A. y J. Hellin. 2009. Specialty maize varieties in Mexico: A case study in market-driven agrobiodiversity conservation. *Journal of Latin American Geography* 8: 147-174.

- Keleman, A., J. Hellin y D. Flores. 2013. Diverse Varieties and Diverse Markets: Scale-related “profitability cross-over” in the Central Mexican Highlands. *Human Ecology* DOI: 10.1007/s10745-013-9566-z.
- Longley, A.E. 1941. Chromosome morphology in maize and its relatives. *Bot. Rev.*, 7: 263-289.
- Mangelsdorf, P.C. 1947. The origin and evolution of maize. In M. Demerec, ed. *Advances in genetics*. I, p. 161-207. New York, NY, USA, Academic Press.
- Mangelsdorf, P.C. 1952. Hybridization in the evolution of maize. In J.W. Gowen, ed. *Heterosis*, p. 175-198. Ames, IA, Iowa State College Press.
- Mangelsdorf, P.C. 1974. *Corn, its origin, evolution and improvement*. Cambridge, MA, USA, Belknap Press, Harvard University Press.
- Mangelsdorf, P.C. 1986. The origin of corn. *Sci. Am.*, 255(2): 72-78.
- Mangelsdorf, P.C. & Reeves, R.G. 1939. The origin of Indian corn and its relatives. *Texas Agric. Exp. Sta. Bull.* 574, p. 1-315.
- Mangelsdorf, P.C. & Reeves, R.G. 1959. The origin of corn. III. Modern races, the product of teosinte introgression. *Bot. Mus. Leafl. Harv. Univ.*, 18: 389-411.
- Mangelsdorf, P.C. and W.C. Galinat. 1964. The tunicate *locus* in maize dissected and reconstituted. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 51(2):147-150.
- Márquez Sánchez, Fidel. 2008. De las Variedades Criollas de Maíz (*Zea mays*) a los Híbridos Transgénicos. I: Recolección de Germoplasma y Variedades Mejoradas. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo* 5(2):151-166

Matsuoka Y, Vigouroux Y. Goodman M, Sanchez J, Buckler E and Doebley J. (2002). *A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping*. Proceedings of the National Academy of Sciences 99: 6080-6084. Orr H and Coyne J (1992). *The genetics of adaptation – a reassessment*. AmNat., 140: 725.

McClintock, B., Kato-Y, T.A. & Blumenshein, A. 1981. *Chromosome constitution of races of maize*. Chapingo, México, Colegio de Postgraduados.

McK. Bird, R. y M. M. Goodman. 1977. The races of maize V: Grouping maize races on the basis of ear morphology. *Economic Botany* 31:471-481.

Morris, M. L. y M. A. López Pereira. 2000. Impactos del mejoramiento de maíz en América Latina, 1966-1997. CIMMYT. México, D.F. 45 p.

Muñoz O., A. 2003. Centli-maíz. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco. México. 210 p.

Newton A. C., Akar T., Baresel J. P., Bebeli P. J., Bettencourt E., Bladenopoulos K. W., Czembor J. H., Fasoula D. A., Katsiotis A., Koutis K., Koutsika-Sotiriou M., Kovacs G., Larsson H., Pinheiro de Carvalho M. A. A., Rubiales D., Russell J., Dos Santos T. M. M., Vaz Patto M. C. Variedades locales de cereales para la agricultura sostenible. Una revisión. *Agronomía para el Desarrollo Sostenible*, 30 (2) (2010), pp 237-269.

Orr, H.A. & Coyne, J.A. 1992. The genetics of adaptation - a reassessment. *Am. Nat.*, 140: 725.

Ortega P., R. 1986. Variedades y razas mexicanas de maíz y su evaluación en cruzamientos con líneas de clima templado como material de partida para



mejoramiento. Traducción al español de la tesis de doctorado abreviada. Instituto de Plantas N. I. Vavilov. Leningrado, URSS. 22 p.

Palacios, V. O., Ortega C. A., Guerrero H. M., Hernández C. J. M. y Peinado F. L. A. 2008. Proyecto FZ002. Conocimiento de la diversidad y distribución actual del maíz nativo y sus parientes silvestres en México. Componente 1: Diversidad y distribución actual de los maíces nativos en Sinaloa. CONABIO-Inifap.

Perales RH, Brush SB, Qualset CO (2003) Landraces of maize in Central Mexico: an altitudinal transect. *Econ Bot* 57:7–20

Perales, Hugo R, Bruce F. Benz, y Stephen B. Brush 2005. Maize diversity and ethnolinguistic diversity in Chiapas, Mexico.

Perales R., H. y D. Golicher. 2011. Modelos de distribución para las razas de maíz en México y propuesta de centros de diversidad. Informe técnico preparado para la CONABIO. ECOSUR. Chiapas. México. 108 p. Manuscrito.

Piperno D, Ranere A, Holst I, Iriarte J, and Dickau R (2009). *Starch grain and phytolith evidence for early ninth millennium B.P. maize from the Central Balsas River Valley, Mexico*. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 106(13): 5019–5024.

Piperno D and Flanery K (2001) *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 98, 2101-2103

Ranere A, Piperno D, Holst I, Dickau I, and Iriarte J (2009). *The cultural and chronological context of early Holocene maize and squash domestication in the Central Balsas River Valley, Mexico*. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 106(13): 5014–5018.

- Randolph, L.F. 1959. The origin of maize. *Indian J. Genet. Plant Breed*, 19: 1-12.
- Reyes C., P. 1990. El maíz y su cultivo. AGT-EDITOR S.A. México, D.F.
- Rzedowski, G. C. de J. Rzedowski y J. Rzedowski. 2001. Flora Fanerogámica del Valle de México. 2a. Ed. Instituto de Ecología, A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro, Michoacán. 14066 pp.
- Sánchez, G. J. J., Kato Y. T. A., Aguilar S. M., Hernández C. J. M., López R. A. et al. 1998. Distribución y caracterización del teocintle. Libro técnico núm. 2, cipac-inifap, Guadalajara.
- Sanchez G., J. J. 1989. Relationships among the Mexican Races o maize. Ph. D. Thesis. North Caroline State University, Department of Crop Science. Raleigh, N. C. 187 p.
- Sánchez J, J., M. M. Goodman y C. W. Stuber. 2000. Isozymatic and morphological diversity in the Races of maize of México. *Economic Botany*. 54(1): 43–59.
- Sierra M., M. A. Palafox C., O. Cano R., F. A. Rodríguez M., A. Espinosa C., A. Turrent F., N. Gómez M., H. Córdova O., N. Vergara A., R. Aveldaño S., J. A. Sandoval R., S. Barrón F., J. Romero M., F. Caballero H., M. González C., E. Betanzos M. (2001), *Descripción varietal de H-519 C, H-553 C y V-537 C, maíces con alta calidad de proteína para el trópico húmedo de México*, Veracruz, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, CIRGOC, Campo Experimental Cotaxtla, folleto técnico núm. 30, 21 págs.
- Singleton, W.R. 1951. Inheritance of corn grass, amacromutation in maize, and its possible significance as an ancestral type. *Amer. Nat.* 85:81-86.

Soleri, D., D. Cleveland y F. Aragón Cuevas (2006). —Transgenic Crops and Crop Varietal Diversity: The Case of Maize in Mexico. *BioScience*, June, Vol. 56, No. 6. (pp. 503-513).

Staller J, Tykot R, Benz B. (2006) *Histories of Maize*. Multidisciplinary Approaches to Prehistory, Linguistics, Biogeography, Domestication, and Evolution of Maize. Academic Press.

Thompson J. Eric, "Historia y Religión de los Mayas". Siglo XXI. México 1970

van Heerwaarden J., Hellin J., Visser R.F., van Eeuwijk F.A. 2009. Estimación de la erosión genética del maíz en la pequeña agricultura modernizada. *Theoretical and Applied Genetics*, 119 (5) (2009), pp 875-888.

Weatherwax, P. 1954. *Indian corn in old America*. New York, NY, USA, MacMillian Publishing.

Weatherwax, P. 1955. History and origin of corn. I. Early history of corn and theories as to its origin. In G.F. Sprague, ed. *Corn and corn improvement*, 1st ed., p. 1-16. New York, NY, USA, Academic Press.

Weatherwax, P. 1955b. Structure and Development of Reproductive Organs. In: Sprague, G. F. (ed.). *Corn and Corn Improvement*. Academic Press, New York. pp. 89-121.

Wellhausen, E. J., L. M. Roberts, E. Hernández X. en colaboración de P. C. Mangelsdorf. 1951. Razas de maíz en México. Su origen, características y distribución. Oficina de Estudios Especiales-Secretaría de Agricultura y Ganadería. Folleto técnico Núm. 55. México D. F.

Wilkes, H. G. 1967. Teosinte: the closest relative of maize. Bussey Inst., Harvard Univ., Cambridge.

Wilkes, H.G. 1979. Mexico and Central America as a centre for the origin of agriculture and the evolution of maize. *Crop Improv* 6(1): 1-18.

Wilkes, H.G. 1985. Teosinte: the closest relative of maize revisited. *Maydica*, XXX: 209-223.

Wilkes, H.G. 1989. Maize: domestication, racial evolution and spread. *In* D.R. Harris & G.C. Hillman, eds. *Forage and farming*, p. 440-454. London, Unwin Hyman.

Wilkes, H.G. & Goodman, M.M. 1995. Mystery and missing links: the origin of maize. *In* S. Taba, ed. *Maize genetic resources*, p. 1-6. Mexico, DF, CIMMYT.

Wikipedia. 2012. Criollo. Disponible [En Línea] en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Criollo>.

## **1.3 El suelo, fertilizantes, liberación de CO<sub>2</sub> y tasa de descomposición de los productos orgánicos**

### **1.3.1 El suelo**

El suelo cubre la mayor parte de la superficie terrestre con una capa delgada cuyo espesor varía de pocos centímetros a varios metros de profundidad. Están compuestos de partículas rocosas y minerales de tamaño diverso, mezcladas con agua, aire y organismos vivos de origen vegetal, animal, microbiano y de sus restos. Según el concepto del tiempo que tiene el hombre, la formación de los suelos es sumamente lenta. En lugares en que el clima es húmedo y cálido, son menester miles de años para formar unos cuantos centímetros de suelo. En los climas fríos y secos, hace falta más tiempo aún e incluso es posible que no se formen suelos en absoluto. Si bien el suelo es un recurso renovable, su lenta formación lo hace casi irremplazable (FAO, 1983-a), los suelos son una mezcla dinámica, siempre cambiante a medida de que las aguas llegan y se retiran y que los reinos vegetal y animal, y los microorganismos viven y mueren. Las partículas del suelo son desplazadas por el viento, el agua, el hielo y la gravedad, a veces lentamente y otras con rapidez. Pero aun cuando el suelo cambie, las capas de suelo permanecen prácticamente constantes durante la vida de un ser humano, a menos que el hombre las desplace o levante o are, todos los suelos tienen vida y los buenos la tienen abundante. Los organismos vegetales, animales y microbianos contribuyen a la fertilidad del suelo. Las raíces de las plantas se unen en el suelo y lo van rompiendo, al paso que las plantas en descomposición se convierten en humus. Los animales excavadores de madrigueras mezclan los suelos, y sus excrementos aportan nutrientes que mejoran la estructura del suelo. A parte de los habitantes más evidentes del suelo, tales como roedores, insectos, ácaros, babosas y caracoles, arañas y lombrices de tierra, hay innumerables residentes microscópicos, algunos de los cuales son provechosos para el hombre y los cultivos y otros nocivos. Los microorganismos participan en las transformaciones enzimáticas básicas que propician el crecimiento a las plantas superiores, incluidos nuestros cultivos alimentarios.

En el suelo se producen reacciones químicas a raíz del intercambio de iones positivos o cationes. En los suelos arcillosos se producen más intercambios que en los demás tipos de suelos. Esas reacciones químicas también son esenciales para el desarrollo vegetal y son buen indicio de la fertilidad del suelo.

El maíz se adapta muy bien a todo tipo de suelo principalmente con pH entre 6 a 7 son a los que mejor se adaptan. También requieren suelos profundos, ricos en materia orgánica, con buena circulación del drenaje para no producir encharques que originen asfixia radicular.

El maíz, como todo cultivo requiere de suelos con profundidad adecuada y buena fertilidad natural para desarrollarse y producir de acuerdo a su potencial genético.

La preparación del suelo depende del sistema de producción utilizado por el productor. Esta actividad también se ve influenciada por otros factores como precipitación, tipo de suelo y condición económica del productor. Hay que recordar que para el productor el recurso más valioso es el suelo, por lo tanto, debe conservarlo. Una adecuada preparación del suelo, ayuda a controlar malezas, enriquecer el suelo incorporando rastrojos. Da permeabilidad, controla algunas plagas y permite una buena germinación de la semilla.

Hernández, *et. al.*, 2007, realizaron a cabo un experimento de invernadero con aportaciones de materia orgánica en suelos agrícolas del municipio de Texcoco, México, con el fin de mejorar las propiedades de suelos degradados por erosión hídrica y eólica, evaluaron variables de nitrógeno orgánico, materia orgánica, fósforo, potasio y diversidad microbiana. Sus resultados mostraron incremento de la materia orgánica con los tratamientos de estiércol de 80 y 100 toneladas por hectárea de estiércol.

### **1.3.2. Fertilizantes**

Los suelos donde se cultiva el maíz, no tienen la capacidad para proporcionar los nutrientes necesarios para el crecimiento eficiente de las plantas o no otorgarían el rendimiento adecuado, para ello se debe recurrir al empleo de fertilización. El maíz tiene gran capacidad de absorción de nutrientes y requiere de una alta fertilización, la demanda por nitrógeno es alta, además de otros como el fósforo

para obtener buena producción, es importante realizar un abonado ajustándose a las necesidades presentadas por la planta de una forma controlada e inteligente, si queremos conocer la fertilidad natural del suelo se requiere que el productor tome una muestra de suelo de su terreno y la remita a un laboratorio para su respectivo análisis físico-químico, las principales fuentes de contaminación ambiental por nitrógeno, provienen de los fertilizantes nitrogenados (Gomiero *et al.*, 2011).

### **1.3.2.1 Fertilización química de síntesis (Nitrógeno, fósforo y potasio)**

#### **1.3.2.1.1 Nitrógeno.**

La cantidad de nitrógeno a aplicar depende de las necesidades de producción que se deseen alcanzar así como el nivel de la fertilidad del suelo.

Un déficit de N en el suelo puede afectar a la calidad y rendimiento de la cosecha del cultivo. Los síntomas de deficiencia de este elemento se ven más reflejados en aquellos órganos fotosintéticos, las hojas, que aparecen con coloraciones amarillentas sobre los ápices y se van extendiendo a lo largo de todo el nervio. Las mazorcas aparecen sin granos en las puntas, el nitrógeno (N) es tal vez el nutriente más importante y limitante en el agroecosistema, dada su participación en múltiples reacciones bioquímicas implicadas fisiológicamente en el crecimiento, desarrollo y producción de cultivos (Rao, 2009). Sin embargo, en la actualidad el aporte de N al suelo vía fertilización de síntesis química industrial, es poco viable desde el punto de vista económico y ambiental, lo que implica la búsqueda de nuevas alternativas para la fijación, aporte y ciclaje en el agroecosistema (Sánchez y Logan, 1992; Prager *et al.*, 2012; Sanclemente, 2013), el nitrógeno es uno de los nutrientes esenciales que más limitan el rendimiento del maíz. Este macronutriente participa en la síntesis de proteínas y por ello es vital para toda la actividad metabólica de la planta. Su deficiencia provoca reducciones severas en el crecimiento del cultivo, básicamente por una menor tasa de crecimiento y expansión foliar que reducen la captación de la radiación fotosintéticamente activa. Las deficiencias de nitrógeno se evidencian por clorosis (amarillamiento) de las hojas más viejas.

### **1.3.2.1.2 Fósforo**

Sus dosis de aplicación dependen principalmente del tipo de suelo presente. El fósforo da vigor a las raíces. Su déficit afecta a la fecundación y el grano no se desarrolla bien, la fertilización fosfatada es algo más exacto que para el caso del nitrógeno y un buen análisis de suelo determinara la presencia de este elemento en el sistema suelo así se podrá determinar la cantidad de fósforo a aplicar al cultivo. En general los suelos que presentan problemas con la disponibilidad de fósforo son aquellos que no reúnen la condición para el cultivo del maíz por lo cual es aconsejable fertilizar con fósforo según análisis del laboratorio, los efectos de la disponibilidad de P sobre la longitud del ciclo del cultivo y el rendimiento pueden ser variados. Limitaciones en la disponibilidad de P reducen la acumulación de materia seca de los cultivos y la tasa de crecimiento del cultivo alrededor del momento de floración, implicando una disminución del número de granos y del rendimiento (Andrade *et al.*, 1996; Fontanetto, 1993).

Los suplementos de fósforo en forma de fertilizantes son los más utilizados para garantizar plantas de maíz sanas y grandes rendimientos. El maíz utiliza fósforo todo el año para la producción de tallos, hojas y mazorcas. Si un suelo es deficiente en fósforo, el rendimiento y el crecimiento de las plantas pueden ser notablemente más limitados o algunos nutrientes vegetales pueden ser desviados de la producción de orejas a la producción de hojas y tallos. Cuando se utiliza correctamente, un fertilizante de fósforo puede aumentar notablemente el rendimiento de maíz, pero puede tener algunas consecuencias no deseadas también, son diversos los factores que intervienen sobre la disponibilidad del fósforo en el suelo, tales como el nivel de fertilidad del suelo, capacidad de fijación de P del suelo, métodos de labranza, equipo y fechas de siembra, especie cultivada antes del maíz, compactación del suelo, temperatura, humedad del suelo, etc. por todas las limitantes se recomienda siempre contar con un buen historial del suelo (Andrade *et al.*, 1996; Fontanetto, 1993).



### **1.3.2.1.3 Potasio**

El potasio (K) es un macro nutriente esencial requerido en grandes cantidades para el normal crecimiento y desarrollo de los cultivos. Algunas de las principales funciones de las plantas donde el K está comprometido son: la osmoregulación, la síntesis de los almidones, la activación de enzimas, la síntesis de proteínas, el movimiento estomático y el balance de cargas iónicas (Maathuis y Sanders, 1994; Marschner, 1995).

La mayoría de los cultivos anuales de grano requieren K en los primeros estadios del crecimiento y la máxima absorción se verifica durante la etapa vegetativa (Lawton y Cook, 1954; Kafkafi y Xu, 1999).

El potasio se encuentra en tres formas en el sistema suelo: potasio soluble este se encuentra disponible para el sistema radicular del cultivo, el no disponible absorbido por las partículas del suelo o potasio de intercambio, y finalmente el potasio no intercambiable que es el que está fuertemente retenido por el suelo, luego se debe tener muy claro las condiciones que posee el suelo, ante una elevada demanda por parte del cultivo, es posible que el suelo no logre abastecerlo en ausencia de fertilización, aun conteniendo una dotación suficiente de K, Salvagiotti *et al.*, 2006.

Otros elementos. Calcio y magnesio. Son nutrimentos que pueden presentarse en forma deficiente o en exceso en la planta.

### **1.3.2.2 Productos orgánicos**

Las técnicas de fertilización orgánicas certificadas son; compostas, estiércol compostado, vermicomposta, abonos verdes, leguminosas, extractos de algas marinas, bacterias fijadoras de nitrógeno entre otros (Labrador *et al.*, 2004).

Los abonos orgánicos tienden a aumentar el potencial de inóculo micorrízico del suelo, la colonización y la absorción de nutrimentos (Gosling *et al.*, 2006).

Los residuos vegetales se deben de quedar en el campo después de la cosecha, para que construye la materia orgánica, devuelva los nutrientes al suelo y ayuda a proteger contra la erosión del suelo (Gliessman, 2007 y Paliwal *et al.*, 2000).

#### **1.3.2.2.1 Estiércol**

Wu y Powell 2007 mencionan que el 50% del estiércol es biodegradado en el primer año, lo cual garantiza el contenido de MO en el suelo en predios donde se ha aplicado estiércol por años consecutivos. (Julca *et al.*, 2006) señalan que el estiércol es una excelente fuente de MO y recomienda su uso para mejorar suelos muy pobres, también reportan concentraciones de MO en el estiércol de alrededor de 5%. (Fitzpatrick, 1996) señala que la mayoría de los suelos contienen 1.6% de MO pero en suelos muy áridos, el porcentaje puede bajar a menos de 1%.

#### **1.3.2.2.2 Composta**

La composta se forma por la descomposición de productos orgánicos y esta sirve para abonar la tierra. Es un proceso en el que no interviene la mano del hombre, el reciclaje es 100% natural, el compostaje es una tecnología prometedora para el tratamiento del estiércol. Durante el compostaje, los materiales orgánicos se degradan aeróbicamente por microorganismos, por lo tanto reduciendo significativamente el volumen y la masa de estos residuos orgánicos. Mientras tanto, el libre de patógenos, no tóxico y rica en nutrientes de compost final se puede producir en determinadas condiciones con suficiente tiempo de compostaje (Scheutz *et al.*, 2011).

El compostaje es un método biológico que transforma desechos orgánicos de distintos materiales con la participación de microorganismos, en un producto relativamente estable y rico en sustancias similares al humus del suelo, cuyo uso se ha incrementado en los últimos años como alternativa efectiva para mejorar la productividad y la calidad de los suelos (Claassen y Carey, 2004). Se trata de un proceso bio-oxidativo bajo condiciones controladas de humedad, temperatura y oxígeno (García, 1990).

Es el proceso de la descomposición de los desperdicios orgánicos en el cual, la materia vegetal y animal se transforman en abono, material orgánico, es todo aquel material que se pudre, como la hojarasca, desperdicios de comida, estiércol, plumas, yerba o pasto, etc., el compostaje no se puede considerar una nueva tecnología, pero entre las estrategias de gestión de residuos que está ganando

interés como una opción adecuada para los abonos con los beneficios económicos y ambientales, ya que este proceso elimina o reduce el riesgo de propagación de agentes patógenos, parásitos y semillas de malas hierbas asociadas con directa aplicación de estiércol y conduce a un producto estabilizado final que se puede utilizar para mejorar y mantener la calidad del suelo y la fertilidad (Larney y Hao, 2007).

El composteo se define como un proceso biooxidativo de los residuos orgánicos en condiciones controladas de temperatura, humedad y aireación, en la cual participan grupos microbianos, dependiendo de la etapa del proceso (Brady y Weil, 1999; citado por Velasco, 2004), un ejemplo claro de composta lo realiza la misma naturaleza. Si observas bien, las hojas que caen de los árboles, flores, y frutas, un tiempo después de que están en el suelo comienzan a descomponerse hasta que se vuelven tierra nuevamente.

El compost maduro es un agente de carga económica para optimizar el proceso de compostaje. Mezcla de compost maduro con las materias primas puede mejorar los huecos entre las partículas de composición pila, lo que aumenta la permeabilidad del aire (Iqbal *et al.*, 2010). Debido a la característica de aumento de volumen, compost maduro podría crear un entorno adecuado para el crecimiento microbiano en la pila de compostaje (Scheutz *et al.*, 2009). Por lo tanto, el compost maduro también se conoce como ser un agente inoculante en muchos estudios (Kato y Miura, 2008 y Abichou *et al.*, 2009).

Una composta es la mezcla de materiales orgánicos, de tal manera que fomenten su degradación y descomposición. El producto final se usa para fertilizar y enriquecer la tierra de los cultivos, dentro de un suelo sano, la materia orgánica y el humus son esencialmente importantes, si queremos conservar nuestras tierras para asegurar nuestra sobrevivencia. Añadir composta y reciclando así nutrientes y minerales son las mejores llaves para combatir enfermedades de los cultivos. Se necesita urgentemente humus en todo el mundo para revitalizar y estabilizar los suelos empobrecidos, el principal uso de la composta es mantener o incrementar el contenido de MO del suelo y el aporte de nutrimentos. Lo anterior permite lograr el objetivo de incrementar el rendimiento de las cosechas, con beneficios que se

manifiestan de forma más clara a mediano y largo plazo (Beltrán Morales *et al.*, 2009).

#### **1.3.2.2.3 Vermicomposta**

Recibe este nombre el producto obtenido mediante el procedimiento biológico de descomposición de elementos orgánicos, a través de la lombriz roja de California. La elaboración de desechos de origen animal y vegetal que constituyen su alimento, se realiza en el intestino, cuyas excreciones están recubiertas de un mucus que le da la apariencia de un minúsculo collar de gránulos que concentra enorme poder fertilizante. El “humus de lombriz” es de color negruzco, granulado, homogéneo y con un olor agradable a mantillo de bosque, algunos trabajos recientes muestran que los efectos del vermicompost pueden variar dependiendo de la especie vegetal considerada e incluso de la variedad (Zaller, 2007), así como del material de partida, proceso de producción del vermicompost, tiempo de almacenamiento, y tipo de sustrato al que se vaya a incorporar (Rodda *et al.*, 2006, Roberts *et al.*, 2007).

La vermicomposta se ha incluido en estudios de su efecto en vegetales y plantas ornamentales (Edwards, 2002); en el crecimiento de plantas en invernaderos (Lee *et al.* 2002); plántulas de cedro (*Cedrela odorata*) y primavera (*Tabebuia donell smithii*) (Cuevas *et al.*, 2004); el rendimientos y en las principales plagas en el cultivo *Phaseolus vulgaris* (Vilchis *et al.*, 2004); la calidad y maduración del vermicompostaje sobre la germinación y crecimiento de plantas *Raphanus sativus*, *Tapetes patula*, *Barbarea verna* (Ang López *et al.*, 2002); el desarrollo de chile serrano (Martínez *et al.*, 1999); producción de tomate en invernadero (Rodríguez *et al.*, 2008); el crecimiento de plantas hortícolas y forestales (Sánchez *et al.* 2004); producción de semilla de papa en invernadero (Patrón *et al.*, 2002); frijol (Sánchez *et al.*, 2004); cultivo de maíz (Rezendiz, *et al.*, 2004); crecimiento del lechoso *Carica papaya* L (Acevedo y Pire. 2004); la aclimatación de plantas de caña de azúcar (Díaz *et al.*, 2005); aclimatación de vitroplantas de sábila *Aloe vera* L Burm. f. (Vilchez *et al.*, 2007); su uso en la producción de la morera *Morus alba*

(Elizondo-Salazar, 2007); en plantas medicinales (Sanchez *et al.*, 2005) y su uso en plantas florales (Milanés *et al.*, 2005).

Astudillo, 2011, indica que numerosos microorganismos, principalmente bacterias y hongos, junto con algunos componentes de la mesofauna, como las lombrices, son capaces de mejorar la estructura y estabilidad estructural de los suelos, estos efectos son debidos a que, por ellos mismos o a través de sustancias producidas por ellos, son capaces de ligar las partículas de suelo formando agregados.

El vermicompost es el proceso de compostar utilizando lombrices y microorganismos. Es un proceso eólico que termina en la estabilización de la materia orgánica. Al igual que el compost maduro, el producto final es materia orgánica, pero son las lombrices quienes realizan el proceso con ayuda de los microorganismos (Lazcano *et al.*, 2008).

El vermicompost es el resultado de la biotransformación de materia orgánica a través del tubo digestivo de la lombriz, (Gabriel *et al.*, 2011).

Su elevada capacidad de intercambio catiónico (CIC) se debe a la presencia de grupos carbonilos e hidroxilos fenólicos y alcohólicos, entre otros, en su estructura (Pereira y Zezzi Arruda, 2004).

Mulet *et al.*, 2008, registraron un alto contenido de bacterias, hongos y actinomicetos en el humus de lombriz, los cuales son admisibles para la descomposición de la materia orgánica para aumentar la diversidad biológica y estabilidad del suelo. Por su parte (Delgado *et al.*, 2004) indicaron que al utilizar lodos residuales se mejora el humus obtenido de las transformaciones de por medio de la lombriz *Eisenia fetida*, al aumentar el potasio y fósforo, el nombre de humus de lombriz líquido es incorrecto, porque el humus en si se refiere a una materia orgánica, de consistencia sólida, elaborada a partir de los residuos o deyecciones de micro o macroorganismos, siendo la parte fundamental del suelo, hay distintas formas de obtener este lixiviado a saber:

- Mezclando 1 parte de humus y 5 parte de agua, se deja reposar 48 horas, se agita periódicamente. Luego se filtra. Para utilizarlo se debe volver a diluir en 1 parte de concentrado en 4 partes de agua.

- Se disuelve 1 parte de humus en 10 partes de agua, batiéndola y dejándola reposar unas 48 horas. Luego se filtra y se aplica (3; 5).
- Llamado té de lombricompuesto. Se pone el lombricompuesto en una bolsa de arpillera y luego ésta en agua. Agitar de vez en cuando. Para su uso, el té debe ser de un color ambarino ligero. Si es más oscuro que ese, diluya en agua.
- En un módulo se deposita los desechos orgánicos y las lombrices: a medida que se riega para mantener la humedad hay una pérdida de agua más una cantidad de nutrientes, microorganismos, etc.

El lixiviado obtenido de estiércol de ovinos utilizado como alimento para las lombrices ha demostrado ser una excelente fuente de potasio es de 2,4 gramos por litro y de nitrógeno 61 miligramos por litro (61 ppm) conteniendo además hierro, manganeso, cobre y zinc micro nutrientes esenciales, además los fertilizantes líquidos elaborados con extracto de humus de lombriz de tierra aportan ácidos húmicos y fúlvicos, microorganismos vivos propios para la nitrificación y solubilización de minerales enlatados en el suelo, aplicado al suelo o a la planta actúa como racionalizante de fertilización ya que hace asimilables en todo su espectro a los macro y micro nutrientes, evitando la concentración de sales. Crea además un medio ideal para la proliferación de organismos benéficos, bacterias, hongos, etc. Que impiden el desarrollo de patógenos, reduciendo sensiblemente el riesgo en el desarrollo de enfermedades. Además, estimula la humificación propia del suelo ya que incorpora y descompone los residuos vegetales presentes en el suelo.

#### **1.3.2.2.4 Gallinaza**

La Gallinaza es el estiércol de gallina preparado para ser utilizado en la industria ganadera o en la industria agropecuaria, la Gallinaza tiene como principal componente el estiércol de las gallinas que se crían para la producción de huevo, es importante diferenciarlo de la pollinaza que tiene como principal componente el estiércol de los pollos que se crían para consumo de su carne. La gallinaza pura de jaulas es de excelente calidad, ya que cuando ésta alcanza el tiempo óptimo de

descomposición y al ser incorporada al suelo libera los nutrientes, especialmente el nitrógeno, para mejorar las condiciones de los suelos (Guardado, 2012).

La Gallinaza se utiliza como abono o complemento alimenticio en la crianza de ganado debido a la riqueza química y de nutrientes que contiene. Los nutrientes que se encuentran en la gallinaza se deben a que las gallinas solo asimilan entre el 30% y 40% de los nutrientes con las que se les alimenta, lo que hace que en su estiércol se encuentren el restante 60% a 70% no asimilado, la gallinaza contiene un importante nivel de nitrógeno el cual es imprescindible para que tanto animales y plantas asimilen otros nutrientes y formen proteínas y se absorba la energía en la célula. El carbono también se encuentra en una cantidad considerable el cual es vital para el aprovechamiento del oxígeno y en general los procesos vitales de las células, otros elementos químicos importantes que se encuentran en la gallinaza son el fósforo y el potasio. El fósforo es vital para el metabolismo, y el potasio participa en el equilibrio y absorción del agua y la función osmótica de la célula, el uso de gallinaza tiene un alto potencial ya que además de su contribución a la nutrición de los cultivos con un amplio rango de minerales y su impacto en el incremento de la microflora del suelo, el proceso de compostaje, en su última fase, favorece el crecimiento y colonización de agentes de control biológico de varios fitopatógenos (Rodríguez *et al.*, 2010).

La gallinaza resulta ser una opción atractiva debido a su bajo costo y a los beneficios que presenta por su riqueza en elementos químicos útiles para plantas y animales, cabe resaltar que el estiércol de gallina como tal no se puede considerar gallinaza. Para que sea gallinaza es necesario primero procesar el estiércol (Gallinaza México, 2004).

En el caso de la gallinaza utilizada como composta, es decir, como abono orgánico, es necesario fermentar el excremento de las gallinas para transformar los químicos que contiene, como el fósforo, potasio, el nitrógeno y el carbono, cuando la fermentación está completa, se le puede agregar otros desechos orgánicos como cáscaras, cascarilla de cereales, virutas de madera, paja, etc., lo que servirá para enriquecer la mezcla y mejorar el efecto, la utilización de la gallinaza como abono para cultivos resulta ser una opción muy recomendable

debido al bajo costo que representa, y a lo rico de la mezcla, la gallinaza pertenece a la categoría de los estiércoles, pero presenta características especiales, como las aves defecan por una cloaca, sus deyecciones líquidas y sólidas no se producen por separado, por lo que la recogida de éstas presenta menos dificultades que con otros estiércoles, su contenido de nutrientes es superior al de otros (Estrada, 2011).

En promedio, se requiere de 600 gr a 700gr por metro cuadrado de cultivo para obtener buenos resultados. Aunque en algunos casos, dependiendo de si el suelo presenta algún empobrecimiento, podría llegar a ser necesario utilizar hasta 1kg por metro cuadrado, otra característica importante de las enmiendas orgánicas es su habilidad para estimular el complejo de microorganismos beneficiosos que ayudan a mantener bajo control las potenciales plagas y patógenos (Marco, 2011).

### **1.3.3 Liberación de CO<sub>2</sub>**

El dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) es un elemento indispensable en el ciclo de la vida vegetal. A través del proceso bioquímico de la fotosíntesis, el CO<sub>2</sub> y el agua (en presencia de energía luminosa) son transformados en carbohidratos, que constituyen la base del crecimiento de las plantas. Durante este proceso, la disponibilidad de CO<sub>2</sub> es un factor crítico condicionante del desarrollo. Los estreses ambientales como la salinidad, la sequía, las altas o bajas temperaturas o la disminución de la radiación solar alteran la estructura y metabolismo de las plantas, por lo tanto afectan a su crecimiento y su papel como secuestradores de CO<sub>2</sub> (Martínez Ballesta *et al.*, 2009).

Las plantas verdes utilizan dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y agua, en presencia de luz, para sintetizar compuestos orgánicos mediante la serie de reacciones que conforman la fotosíntesis. Si alguno de estos tres factores se encuentra a niveles menores de los que la planta puede utilizar para un máximo rendimiento, la síntesis de compuestos orgánicos se situará a un determinado nivel, y no se podrá alcanzar ese potencial máximo. Dicho de otro modo, el elemento que se encuentre a un nivel menor actuará como factor limitante de la fotosíntesis y, en consecuencia, del crecimiento vegetal, la absorción de CO<sub>2</sub> por parte de la planta



se realiza a través de los estomas. Como entre las funciones de éstos se encuentran la regulación de la respiración y transpiración del vegetal, la absorción depende de las condiciones de temperatura, iluminación, nivel de absorción de agua, que regulan la apertura y cierre de dichos estomas, así como de la disponibilidad del gas en la atmósfera. La concentración de CO<sub>2</sub> actualmente en la atmósfera libre es de aproximadamente 300 o 350 PPM (partes por millón), aunque los valores difieren según la localización geográfica de las mediciones. Para que el gas se encuentre disponible para las plantas debe encontrarse entre 100 y 2500 PPM.

#### **1.3.4 Tasa de descomposición de los productos orgánicos**

A medida que la materia orgánica del suelo se degrada, actúa como fuente continua de nutrientes para las plantas. La materia orgánica también estabiliza el suelo y evita la erosión eólica e hídrica. El suelo que contiene materia orgánica retiene humedad e incrementa su fertilidad, resultando en un menor uso de fertilizante y de aplicaciones de riego. La materia orgánica suele ser agregada a los suelos en forma de material vegetal compostado o de estiércol de animales que consumen vegetales, como vacas o conejos, cuando los residuos vegetales son incorporados a los suelos varios compuestos orgánicos se descomponen. La descomposición es un proceso biológico donde el colapso físico y la transformación bioquímica de las moléculas de los complejos orgánicos de los materiales muertos se convierten en moléculas simples e inorgánicas (Juma, 1998). Las deyecciones de las lombrices de tierra juegan un papel muy importante en la descomposición porque contienen nutrientes y microorganismos que son diferentes a los contenidos en el material orgánico antes de la ingestión (Brown y Doube, 2004; Aira *et al.*, 2006b; Aira y Dominguez, 2009).

La descomposición de la materia orgánica es útil para los microorganismos por dos razones: como suministro de energía para el crecimiento de los mismos, y como fuente de carbono para la formación del nuevo material celular. El dióxido de carbono, metano, ácidos orgánicos, y alcoholes son productos de desecho liberados en la adquisición de energía. El rasgo esencial para los propios

microorganismos es la captura de energía y carbono para la síntesis celular. Una serie de factores afectan a la mineralización de los materiales orgánicos. La rapidez con la que un detrito dado es oxidado dependerá de la calidad del mismo detrito, de la presencia de los organismos descomponedores idóneos y de las condiciones físicas y químicas del medio circundante, entre los factores físicos y químicos que controlan la velocidad de degradación de la materia orgánica podemos citar a la temperatura, el suministro de oxígeno, humedad, pH y nutrientes inorgánicos. La calidad del recurso detrítico viene determinada por los atributos tanto físicos como químicos del mismo; es decir, las propiedades superficiales, dureza y tamaño de partícula del detrito (atributos físicos) y la composición química del detrito como una fuentes de carbono, energía y nutrientes para los organismos descomponedores así como la presencia o no de metabolitos secundarios con actividades biológicas sobre los descomponedores, los procesos de descomposición y mineralización son llevados a cabo por una comunidad muy dinámica de fauna y microorganismos descomponedores (Huxman *et al.*, 2004; Osler y Sommerkorn, 2007).

En los estudios de descomposición, pueden utilizarse residuos vegetales enteros, constituyentes extraídos, o compuestos orgánicos puros. Como resultado del desarrollo de una flora mixta sobre los productos naturales químicamente complejos, algunos componentes desaparecen rápidamente mientras que otros son menos susceptibles a las enzimas microbianas y persisten, la fracción soluble en agua contiene los componentes vegetales menos resistentes y, por ello, son los primeros en ser metabolizados. Como resultado, en aquellos tejidos en los que el 20-30% del peso seco es soluble en agua, la descomposición procede rápidamente. Por otro lado, la celulosa y hemicelulosa no desaparecen tan rápidamente como las sustancias solubles, pero su persistencia generalmente no es demasiado grande. Las ligninas son altamente resistentes y consecuentemente se hacen relativamente más abundante en la materia orgánica residual (Huxman *et al.*, 2004; Osler y Sommerkorn, 2007).

### 1.3.5 Literatura citada

Abichou, T., Mahieu, K., Yuan, L., Chanton, J., Hater, G. 2009. Efectos de biocovers de compost sobre el flujo de gas y la oxidación del metano en una cobertura del relleno. *Waste Manage.*, 29 (2009), pp 1595-1601.

Acebedo I C y Pire R (2004). Efecto del vermicompost como enmienda de un sustrato para el crecimiento del lechoso (Carica papaya 1). *Interciencia*. 29, 274-279.

Aira, M., Monroy, F., Dominguez, J. 2006b. *Eisenia fetida* (Oligochaeta, Lumbricidae) activates fungal growth, triggering cellulose decomposition during vermicomposting. *Microbial Ecology*. 52:738-746.

Aira, M., Dominguez, J. 2009. Microbial and nutrient stabilization of two animal manures after the transit through the gut of the earthworm *Eisenia fetida*. *Journal of Hazardous Materials* 161:1234-1238.

Andrade, F, Cirilo, A, Uhart S, Otegui M.1996. *Ecofisiología del cultivo de maíz*. Editorial Médica Panamericana, pp: 292.

Ang López M. J., Warman P., Hoyle J. y Asiedu S. K. (2002). Quality maturation of vermicompost affectin germination and growth of selected plants. In 7<sup>th</sup> International Symposium on Eartworm Ecology. (2002, Cardiff UK.). p. 257.

Astudillo Cornejo, RD. 2011. Efectos de la incorporación de materia orgánica al suelo, sobre el comportamiento agronómico del cultivo de maíz (*Zea mays L.*), en la zona de Babahoyo". Tesis. Ing. Agr. (en línea). Universidad de Ecuador. 62 p. Consultado 21 set. 2012. Disponible en <http://www.repositorio.utb.edu.ec:8080/bitstream/123456789/113/2/TESIS.docx>

- BELTRÁN–MORALES, F. A.; GARCÍA–HERNÁNDEZ, J. L.; RUIZ–ESPINOZA, F. H.; FENECH–LARIOS, L.; MURILLO–AMADOR, B.; PALACIOS, A.; TROYO–DIÉGUEZ, E. 2009. Nutritional potential of red dolichus, brown dolichus and cowpea for green manure produced under three tillage systems. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 10: 487–495.
- Brady, N.; Weil, R.R. 1999. *The Nature and Properties of Soils*. 12° edition. New Jersey, US. Prentice Hall. 881 p.
- Brown, G.G., Doube, B.M. 2004. Functional interactions between earthworms, microorganisms, organic matter, and plants. En: Edwards, C.A. (ed.), *Earthworm Ecology*, 2nd edn., pp. 213-224, CRC Press, Boca Raton. USA.
- Claassen V.P., Carey J.L. 2004. Regeneration of nitrogen fertility in disturbed soils using compost. *Compost Sci. & Util.* 12(2): 145-152.
- Cuevas R., Pérez Z.A.P. del C. y Pérez C.R. (2004). Producción de plántulas de cedro (*Cedrela odorata*) y primavera (*Tabebuia Donnell-mythii*) con lombricomposta y ácidos húmicos. In: Congreso internacional de lombricultura y abonos orgánicos: inocuidad alimentaria y un ambiente sano. (2004, Guadalajara, Jalisco, México). P. 90-93.
- Delgado A.M.A. del M., Porcel C.M.A., de Imperial H.R.M., Beltrán R.E.M.A., Beringola B.L., S.J.V. (2004) Efecto de la vermicultura en la descomposición de residuos orgánicos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 20, 83-86.
- Díaz L.P., Medina L.F. y Digonzelli P.A. (2005). Aclimatación de plantas micropropagadas de caña de azúcar utilizando el humus de lombriz. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*. 33, 115-128.

- Edwards C.A. (2002). Greenhouse and laboratory studies on the effects of vermicompost on growth of vegetables and ornamentals. In: 7<sup>th</sup> International symposium on Eartworm Ecology. (2002, Cardiff. U.K.). p. 229.
- Elizondo –Salazar J.A. (2007). Producción y calidad de la biomasa de morera (*Morus alba*) fertilizada con diferentes abonos. *Agronomía Mesoamericana* 18, 255-261.
- Lee S., Arancon L.Q., Edwards C.A. y Atiyed R. (2002). Effects of aqueous extracts and humic acids derived from cattled, fud, and paper waste vermicomposts on greenhouse plant growth. In: 7<sup>th</sup> International Symposium on Eartworm Ecology. (2002, Cardiff. UK.). p. 225.
- Estrada Pareja; M. 2011. Gestión de la gallinaza. (en línea). Colombia. Universidad de Antioquia. Consultado 22 may. 2012. Disponible en <http://www.albeitar.portalveterinaria.com/noticia/10313/.../gestión-gallinaza.htm>
- FAO: Organización de la Naciones Unidas de la Agricultura y la Alimentación (1983-a). Mantengamos viva la tierra: Causas y Remedios de la Erosión del Suelo. Boletín 50.77p.
- Fitzpatrick, E. A. 1996. Introducción a la ciencia de los suelos. Editorial Trillas. México, D. F.
- Fontanetto, HB. 1993. Efecto del método de aplicación del fertilizante fosfórico en maíz a dos niveles de disponibilidad hídrica. Tesis *Magister Scientiae*. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata.
- Gabriel, P., M. Loza-Murguía, F. Mamani y H. Sainz. 2011. Efecto de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) durante el composteo y vermicomposteo

en predios de la Estación Experimental de la Unidad Académica Campesina Carmen Pampa. *J Selva Andina Res. Soc.* 2: 24-39.

García C. 1990. Estudio del Compostaje de residuos orgánicos. Valoración agronómica. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia, España.

Gliessman S. R. 2007. Agroecología: La Ecología de Sistemas Alimentarios Sostenibles. (Segunda ed.) CRC Press, Nueva York, Nueva York (2007).

Gomiero, T; Pimentel, D; Paoletti, MG. 2011. Is there a need for more Sustainable Agriculture? *Critical Reviews in Plants Science.* 30 (1.2). 6-23 p.

Gosling, P., A. Hodge, G. Goodlass, and G. D. Bending. 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming. *Agric. Ecosystems Environ.* 113: 17–35.

Escrito en México, 2004-08-31. Por Gallinaza México. Permalink: [http://www.gallinaza.com/que\\_es\\_la\\_gallinaza.php](http://www.gallinaza.com/que_es_la_gallinaza.php).

Guardado López, E. 2012. Gallinaza y bocashi: ventajas de su aplicación. San Salvador, SV. AVES. 2p

Hernández E., Cuevas A., Robledo E., Rubiños E. 2007. Aportaciones de materia orgánica en suelos agrícolas del municipio Texcoco. En memorias del XVII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. León de Guanajuato, México. pp. 895-897.

Huxman, T. E., K. A. Snyder, D. Tissue, A. J. Leffler, K. Ogle, W. T. Pockman, D. R. Sandquist, D. L. Potts, and S. Schwinning. 2004. Precipitation pulses and carbon fluxes in semiarid and arid ecosystems. *Oecologia* 141: 254-268.

- Iqbal MK, Shafiq, T., Ahmed, K. 2010. Caracterización de los agentes de carga y sus efectos sobre las propiedades físicas del abono. *Bioresour. . Technol*, 101 (2010), pp 1913-1919
- Julca-Otiniano, A., L. Meneses-Florián, R. Blas-Sevillano y S. Bello-Amez. 2006. La materia orgánica, importancia y experiencias de su uso en la agricultura. *IDESIA* 24: 49-61.
- Juma, N.G. 1998. *The pedosphere and its dynamics: a systems approach to soil science. Volume 1.* Quality Color Press Inc. Edmonton, Canada. 315pp.
- Kafkafi, U. and Xu, G.H. 1999. Potassium nutrition for high crop yields. In: *Frontiers in potassium nutrition: new perspectives on the effects of potassium on physiology of plants* (D. M. Oosterhuis, and G. Berkowitz, eds.). 133-142: PPI/PPIC, Georgia, USA.
- Kato K. y Miura N., 2008. Efecto del compost madurado como formador de volumen y el agente de la inoculación en la comunidad microbiana y la madurez del compost de estiércol de ganado. *Bioresour. . Technol*, 99 (2008), pp 3.372 a 3380.
- Labrador, M. J.; Procura J. L.; Reyes P. J. L. 2004. Fertilizantes, enmiendas, activadores biológicos, sustratos y acondicionadores de suelo. En: Labrador M. J. (ed.) *Conocimientos, técnicas y productos para la agricultura y la ganadería ecológica.* Sociedad española de agricultura ecológica. p. 117-180.
- Larney F. J., Hao X. 2007. Una revisión de compostaje como una alternativa de manejo del estiércol engorde de ganado de carne en el sur de Alberta, Canadá. *Bioresour. . Technol*, 98 (2007), pp 3221 a 3227

- Lazcano C., Gómez-Brandón M., Domínguez J. 2008. Comparison of the effectiveness of composting and vermicomposting for the biological stabilization of cattle manure. *Chemosphere* 72:1013-1019
- Lawton, K. and Cook, R.L. 1954. Potassium in plant nutrition. *Adv. Agron.* 6: 253-303. Leigh, R. A. and Wyn-Jones, R. G. 1984. A hypothesis relating critical potassium concentration for growth to the distribution and function of this ion in the plant cell. *New Phytol.* 97, 1-13.
- Maathuis, F. J. M., and Sanders, D. 1994. Mechanism of high affinity potassium uptake in roots of *Arabidopsis thaliana*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 91: 9272-9276.
- Marco Vásquez, DG. 2011. Abonos orgánicos. (en línea). Honduras. Consultado 15 de may. 2012. Disponible en [www.pymerural.org/abonos/](http://www.pymerural.org/abonos/)
- Marschner, H. 1995. «Mineral Nutrition of Higher Plants» 2nd Ed., Academic Press, San Diego, New York.
- Martínez Ballesta, M.C., Lopez-Perez, L. Muries, B, Muñoz-Azcarate, O., Carvajal, M. (2009) Climate change and plant water balance. The role of aquaporins. *Sustainable Agricultural Reviews* (E. Lichtfouse, Ed.) Vol 2, 71-89.
- Martínez M.M.J., Ferrera C.R. y Gonzalez C.M.C. (1999). Efecto de la vermicomposta y la micorriza arbuscular en el desarrollo y tasa fotosintética de chile serrano. *Terra Lationoamericana.* 17, 9-15.
- Milanés F.M., Rodriguez G.H., Ramos G.R. y Rivera A.M.M. (2005). Efecto del compost vegetal y humus de lombriz en la producción sostenible de capítulos florales en *Calendula officinalis* L. y *Matricaria recutita* L. *Rev. Cubana Plant Med.* 10, 1-7.



- Mulet P.Y., Díaz A.M.E. y Vilches L.E.E (2008) Determinación de algunas propiedades físicas- mecánicas, químicas y biológicas del humus de lombriz en condiciones de la vaquería de la finca guayabal, San José de las Lajas, La Habana, Cuba. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. 17, 27-30.
- Osler, G. H. R. and M. Sommerkorn. 2007. Toward a complete soil C and N cycle: incorporating the soil fauna. Ecology 88: 1611-1621.
- Paliwal R. L., Granados G., Lafitte H. R., Violic A. D. 2000. Tropical de Mejoramiento de Maíz y Producción. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura, Roma, Italia (2000).
- Patron J.C., Paredes L., Rangel J.A. y Robles J.C. (2002). Potato seed production in greewnhouse trough vermicompost, gardening compost and manure composting In: 7<sup>th</sup> International Symposium on Eartworm Ecology. (2002, Cardiff. UK.). p. 262.
- Pereira, M. G. and Zezzi Arruda, M. A. 2004. Preconcentration of Cd (II) and Pb(II) Using Humic Substances and Flow Systems Coupled to Flame Atomic Absorption Spectrometry. Microchim. Acta: 215-222.
- Prager, M., Sanclemente, O. E., Sánchez de Prager, M., Gallego, J. M.; y Ángel, D. I. 2012. Abonos verdes: Tecnología para el manejo agroecológico de los cultivos. Murcia España. Rev. Agroecología 7:53 - 62.
- Rao, I. M. 2009. Essential plant nutrients and their functions. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia. Working Document No. 36.
- Rezendiz H.F., López A.E., Calderón C.F., Lepiz E.R. y López A.F. (2004). Aplicación de "Fertisuelo" en el cultivo de maíz y su efecto en el rendimiento

de grano y la flora bacteriana del suelo en el Valle de Zapopan, Jalisco. In: I Congreso internacional de lombricultura y abonos orgánicos: inocuidad alimentaria y un ambiente sano. (2004, Guadalajara, Jalisco, México). P. 155-157.

Roberts, P., D. L. Jones & G. Edwards-Jones. 2007. Yield and vitamin C content of tomatoes grown in vermicomposted wastes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 87: 1957-1963.

Rodda, M. R. C., L. P. Canellas, A. R. Façanha, D. B. Zandonadi, J. G. M. Guerra, D. L. de Almeida & G. A. de Santos. 2006. Improving lettuce seedling root growth and ATP hydrolysis with humates from Vermicompost. II- Effect of Vermicompost source. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 30: 657-664.

Rodríguez Amézquita, JE; Velandia Monsalve, J; Viteri Rosero, SE. 2010. Evaluación de Microorganismos Aislados de Gallinaza por su Potencial para el Biocontrol de Fusarium (*F. oxysporum*) en Plántulas de Uchuva (*Physalis peruviana*). (En línea). Consultado 20 set. 2012. Disponible en <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/.../37024>

Rodriguez D.N., Cano R.P., Figuero M.U., Palomo G.A., Favela Ch.E., Álvarez R.V, de P., Márquez H.C. y Moreno R.A. (2008). Producción de tomate en invernadero con humus de lombriz como sustrato. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 31, 265-272.

Salvagiotti, F., G. Ferraris, F. Gutiérrez Boem, P. Prystupa, L. Couretot y D. Dignani. 2006. Fertilización de maíz en norte de Buenos Aires y sur de Santa Fe: In: Efectos del potasio. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Salta – Jujuy 2006. 5pp.

- Sánchez G.E., Rodríguez G.H., Carballo G.C. y Milanés F.M. (2005). Influencia de los abonos orgánicos y biofertilizantes en la calidad de las especies medicinales *Calendula officinalis* L. y *Matricaria recutita* L. Rev Cubana Plant Med. 10, 1-6.
- Sánchez, P. A. y Logan, T. J. 1992. Myths and science about the chemistry and fertility of soils in the tropics. En: R. Lal y P. A. Sánchez (eds.). Myths and science of soils in the tropics. SSSA Madison, Wisconsin, EE.UU. p. 35 - 46.
- Sanchez P.S., López A.E. y López A.F. (2004). Respuesta en rendimiento del grano a la fertilización orgánica en el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). In: I Congreso internacional de lombricultura y abonos orgánicos: inocuidad alimentaria y un ambiente sano. (2004, Guadalajara, Jalisco, México). P. 158-160.
- Sanclemente, O. E. 2013. Efecto de *Mucuna pruriens* asociada a una gramínea sobre la actividad simbiótica rizosférica y la movilización de N y P, en un sistema de cultivo maíz (*Zea mays* L.)-soya (*Glycine max* L.). Tesis doctoral. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. 123 p.
- Scheutz C., Kjeldsen, P., Bogner, J. E., De Visscher, A., Gebert, J., Hilger, H. A., Huber-Humer, M. Spokas K. Procesos y tecnologías para la mitigación de emisiones de gases de vertedero de oxidación del metano microbianos. Waste Manage. Res., 27 (2009), pp 409-455
- Scheutz C, Pedicone, A, Pedersen, G. B., Kjeldsen P. 2011. Evaluación de la respiración en biocovers vertederos de compost destinado para la oxidación de metano. Residuos manejar., 31 (2011), pp 895-902

- Velasco, V., J. B. Figueroa, R. Ferrera, A. Trinidad y J. Gallegos. 2004. CO<sub>2</sub> y dinámica de poblaciones microbianas en composta de estiércol y paja con aireación. *Terra Latinoamericana* 22:307-316.
- Vilchez E., Pupiro L., Nuñez E. y González J. (2004). Efecto del humus de lombriz en el rendimiento y en las principales plagas insectiles en el cultivo de *Phaseolus vulgaris*. In: inocuidad alimentaria y un ambiente sano. (2004, Guadalajara, Jalisco, México). P. 170-172.
- Vilchez J., Ramirez E., Villasmil M. y Albany N. (2007). Aclimatización de vitroplantas de zábila *Aloe vera* L. Burm F.): efectos del sustrato. *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia*. 4, 57-61.
- Wu, Z. and J. M. Powell. 2007. Dairy manure type, application rate and frequency impact plants and soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71: 1306-1313.
- Zaller, J. G. 2007. Vermicompost as a substitute for peat in potting media: Effects on germination, biomass allocation, yields and fruit quality of three tomato varieties. *Scientia Horticulturae*. 112: 191-199.

## **CAPITULO III: RESPUESTA DEL MAÍZ (*zea maíz L.*) A DIFERENTES TIPOS DE FERTILIZACIÓN EN SINALOA.**

### **3.1 RESUMEN**

Para contribuir en la adopción de prácticas amigables de fertilización que disminuyan la contaminación de los suelos agrícolas de Sinaloa, se estudió la respuesta de fertilizantes orgánicos y minerales en el cultivo de maíz en rendimiento de grano, contenido de N, P y K en el follaje y liberación de CO<sub>2</sub> del suelo. Se utilizó vermicomposta y supermagro como fertilizantes orgánicos. Los tratamientos estudiados fueron: T1= maíz nativo con fertilización orgánica y fertilización mineral reducida; T2= maíz nativo con fertilización orgánica y sin fertilización mineral; T3= maíz nativo sin fertilizantes orgánicos y con fertilización mineral; T4= maíz nativo sin fertilización; T5=Maíz híbrido con fertilización mineral y T6=Maíz híbrido sin fertilización. Se usó el diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. La aplicación de vermicomposta y supermagro favoreció el crecimiento, absorción de N, P y K y el rendimiento de grano de maíz nativo, que aunque no superó al tratamiento en donde se aplicó fertilización mineral si se acercó en producción a este y lo que es mejor es que es amigable con el medio ambiente al utilizar estos productos orgánicos y así se evita la contaminación del suelo.

Palabras clave: eyección, nativos, orgánicos, vermicomposta.

### **3.2 ABSTRACT**

The response of organic and mineral fertilizers in growing maize grain yield was studied for N, P and K in the foliage and soil CO<sub>2</sub> release since the adoption of these organic products is necessary to stop pollution soils in Sinaloa. Vermicompost used is an organic product that is obtained from the ejection supermagro worms and through fermentation of different organic products was obtained. The treatments were: T1 = organic fertilizers and reduced mineral fertilization; T2 = organic fertilizers and without mineral fertilization; T3 = no organic fertilization and mineral fertilizers; T4 = without fertilization; T5 = Corn hybrid with mineral fertilization and T6 = unfertilized hybrid maize. They use a design of randomized complete block with four replications. The application of vermicompost and supermagro favored growth, uptake of N, P and K by plants and grain yield of native corn, although not exceeded treatment where mineral fertilizer was applied if approached in producing this and which is better is that is friendly to the environment by using these organic products and thus soil contamination is avoided.

Keywords: ejection, native, organic, vermicompost.

### **3.3 INTRODUCCIÓN**

En el año 2012, México ocupó el cuarto lugar en producción de maíz en el mundo (FAO, 2014). En este año, más del 50% de la superficie que se cultivó en México fue de maíz, dado que se sembraron en todo el territorio 15' 545, 464.39 hectáreas con 217 cultivos, y de maíz se sembraron 7' 372, 218.19 hectáreas, con una producción de 22' 372, 218.19 toneladas. El maíz se considera un recurso genético importante y la tecnología asociada a su cultivo también es reconocida como importante no sólo por su componente cultural, sino su importancia económica en el desarrollo de variedades mejoradas. En este contexto, algunos maíces nativos y sus parientes silvestres están incluidas en las listas de especies de interés para la conservación y, en consecuencia son prioridad en la estrategia nacional para la conservación de la agrobiodiversidad; esta importancia del cultivo del maíz a nivel mundial y nacional se

debe a la enorme adaptabilidad del cultivo, debido a la gran diversidad genética con que cuenta el cultivo; actualmente en México se han reportado 59 razas de maíz nativo (Ron Parra, *et. al.*, 2006), las cuales presentan diversas características agromorfológicas que prácticamente le permite al cultivo de maíz crecer en casi cualquier lado. En Sinaloa se ha generado una disminución en el uso de fertilizantes orgánicos hasta el punto en que la aplicación de fertilizantes de síntesis se ha convertido en un problema ambiental como la lixiviación de productos químicos, de forma similar a lo que ocurre en muchos lugares del mundo (Butler *et al.*, 2007). El uso de abonos orgánicos constituye una práctica de manejo fundamental en la rehabilitación de la capacidad productiva de suelos degradados. La adición de residuos vegetales o estiércoles incrementa la actividad y cantidad de la biomasa microbiana del suelo, tal que en los suelos cultivados varía de 100 a 600 mg kg<sup>-1</sup> (Anderson y Domsch, 1989). El aprovechamiento de estos residuos orgánicos cobra cada día mayor importancia como medio eficiente de reciclaje racional de nutrientes, que ayuda al crecimiento de las plantas y devuelven al suelo muchos de los elementos extraídos durante el proceso productivo (Cerrato *et al.*, 2007). Asimismo, dichos abonos mejoran las características físicas y previenen la erosión del suelo, reducen la dependencia de insumos externos de alto costo económico y ambiental, contribuyendo a una agricultura sostenible, en donde se disminuye y elimina el empleo de agroquímicos, a fin de proteger el ambiente, a la salud animal y la humana (Acevedo y Pire, 2004). Por esto, la finalidad de este trabajo fue conocer la respuesta en la producción de maíz criollo y/o nativo de Sinaloa, México con fertilización orgánica y mineral de síntesis en el Valle de Culiacán, Sinaloa, México y contrastarlo con la fertilización convencional en un híbrido utilizado en la región, así mismo conocer el impacto en contenido de nitrógeno mineral en el suelo y liberación de CO<sub>2</sub> por efecto de la aplicación de vermicomposta.

### **3.4 MATERIALES Y MÉTODOS**

Esta investigación se realizó en los terrenos del área experimental de la Facultad de Agronomía, que se localiza en el km 17.5 de la carretera Culiacán-Eldorado, en el Valle de Culiacán Sinaloa, México; las coordenadas geográficas del lugar son 24° 48'

30" N y 107° 24' 30" O, la altitud sobre el nivel del mar es de 38 m (CAEVACU; 1985). Antes de la siembra del experimento se realizaron análisis químicos del suelo a 0-15 y 15-30 cm de profundidad; nitrógeno total método micro-kjeldahl (Alcántar y Sandoval, 1999), las determinaciones fueron contenido de materia orgánica del suelo (Walkley-Black), fósforo y potasio aprovechables en el suelo (Peech Morgan); antes de la aplicación de la vermicomposta al suelo se determinó su contenido de N-total, P y K, cuyos resultados fueron 1.9, 1.2 y 1.4 % de N, P y K respectivamente; la liberación de CO<sub>2</sub> del suelo se determinó de acuerdo con (Jenkinson y Powlson, 1976). Los tratamientos considerados se presentan en el Cuadro 1.

El diseño experimental fue el de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. La siembra se realizó manualmente colocando 5 semillas de maíz por metro lineal a una profundidad de 5 cm. La unidad experimental consistió en 3 surcos de 5 m de longitud y 76 cm de separación entre ellos, equivalente a 11.4 m<sup>2</sup>. Dos materiales fueron utilizados; una variedad nativa y/o criollo (Cuarenteño) y una variedad híbrida (Pioneer 30P49) utilizados frecuentemente por los productores de maíz.

Cuadro 1. Tratamientos utilizados para evaluar el comportamiento de maíz.

Tratamientos	Descripción
1	Maíz nativo con fertilizantes orgánicos* y con fertilización mineral de síntesis**
2	Maíz nativo con fertilizantes orgánicos*
3	Maíz criollo sin fertilizantes orgánicos y con fertilización mineral de síntesis***
4	Maíz nativo sin fertilización
5	Maíz híbrido con fertilización mineral de síntesis***
6	Maíz híbrido sin fertilización

\*Vermicomposta y supermagro      \*\*120N-42P-00K unidades      \*\*\*350N-120P-00K unidades

El suelo es tipo vertisol (pellustert), de textura arcillosa (70.52% de arcilla, 18% de limo y 11.48% de arena), 0.9 % materia orgánica y pH 7.5-7.6 y una conductividad



eléctrica de  $0.3 \text{ dS m}^{-1}$ ; el sistema de riego fue por goteo (fertirriego) utilizando líneas regantes con  $0.40 \text{ m}$  de distancia entre goteros, con un gasto de agua de  $1.6 \text{ L h}^{-1}$ , se colocaron tensiómetros para monitorear la frecuencia de los riegos; se utilizó una bomba a gasolina para inyectar el fertilizante supermagro en los tratamientos correspondientes; la vermicomposta se aplicó en presiembra en dosis de  $3 \text{ t ha}^{-1}$  y en el desarrollo del cultivo se utilizó el fertilizante orgánico supermagro, en dosis de  $250 \text{ L ha}^{-1}$ . Los fertilizantes minerales sintéticos utilizados fueron urea 46-00-00 y fosfato mono amónico 12-61-00 en dosis de acuerdo al tratamiento correspondiente aplicados el 50 % en presiembra manualmente y el 50 % restante en el desarrollo del cultivo. El control de plagas se realizó utilizando repelentes a base de extractos de Neem, cebolla y ajo.

En las hojas de las plantas de maíz se determinó su peso seco, contenido de nitrógeno, fósforo y potasio total. El peso seco se cuantificó a los 85 días después de su emergencia para lo cual el material se introdujo en un horno de circulación forzada a  $65 \text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 72 horas aproximadamente. El contenido de nitrógeno total se midió con el método de Kjeldahl (Alcántar y Sandoval, 1999), mientras que el contenido del fósforo por colorimetría mediante el método del vanadato-molibdato con un espectrofotómetro uv/visible, y el contenido de potasio con un flamómetro, marca Intech, modelo 1380. En los tratamientos dos y cinco se determinó la liberación de  $\text{CO}_2$ , nitrógeno total y nitrógeno inorgánico en el suelo, en una muestra de suelo tomada en el lomo del surco. En cada uno de los tratamientos se estimó el rendimiento de grano de maíz en las diez plantas centrales de cada unidad experimental, ajustando los pesos al 14% de humedad del grano. Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el paquete estadístico SAS, Versión 6.03 (SAS Institute, 1988).

### **3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **Liberación de $\text{CO}_2$ en suelo.**

La cantidad de emisión de  $\text{CO}_2$  del suelo excepto en las 48 h de incubación, fue mayor ( $P < 0.05$ ) respecto a las demás fechas de muestreo, en el tratamiento 2 con fertilizantes orgánicos a base de vermicomposta y supermagro respecto al tratamiento 5 con fertilización mineral Cuadro 2, haciéndose la aclaración que ésta

variable (Liberación de CO<sub>2</sub>), se estudió en el T2 con fertilizantes orgánicos y en el T5 con fertilizantes minerales de síntesis al 100 %. En ambos tratamientos se observó una rápida emisión de CO<sub>2</sub> del suelo los dos primeros días de incubación, es decir, 14.67±0.75 a 17.6±1.37 mg de CO<sub>2</sub> en el T2 y 13.77±0.93 a 15.22±1.11 mg de CO<sub>2</sub> en T5, valores estadísticamente iguales (P>0.05). A partir de los días restantes se observó un descenso en los dos tratamientos, la cual fue disminuyendo gradualmente hasta el fin del estudio; los valores de CO<sub>2</sub> en el T2 fluctuaron entre 11.64±0.42 a 11.37±0.28 mg; por su parte, en el T5 los valores fluctuaron entre 9.63±0.24 y 8.71±0.50 mg; durante los siguientes cuatro días de incubación de las muestras (días 3, 4, 5 y 6) siendo los valores de ambos tratamientos estadísticamente diferentes (P<0.002) en este lapso de tiempo.

Cuadro 2. Liberación de CO<sub>2</sub> del suelo, en función del tratamiento de fertilización del suelo. Tratamiento 2 = Con fertilizantes orgánicos y sin fertilización mineral de síntesis; Tratamiento 5 = Sin fertilización orgánica y fertilización mineral de síntesis (350N-120-00K). Los valores con la misma letra no son estadísticamente diferentes Tukey, α=0.05.

Días	Tratamiento 2	Tratamiento 5
	mg C-CO <sub>2</sub> g <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup>	
1	14.67±0.75 <sup>a</sup>	13.77±0.93 <sup>a</sup>
2	17.60±1.37 <sup>a</sup>	15.22±1.11 <sup>a</sup>
3	11.64±0.42 <sup>a</sup>	9.63±0.24 <sup>b</sup>
4	11.46±0.32 <sup>a</sup>	9.10±0.36 <sup>b</sup>
5	11.64±0.42 <sup>a</sup>	8.71±0.50 <sup>b</sup>
6	11.37±0.28 <sup>a</sup>	8.71±0.50 <sup>b</sup>
7	10.82±0.27 <sup>a</sup>	8.99±0.30 <sup>b</sup>
8	10.02±0.27 <sup>a</sup>	8.43±0.34 <sup>b</sup>
9	10.82±0.20 <sup>a</sup>	8.98±0.30 <sup>a</sup>
10	10.08±0.23 <sup>a</sup>	8.43±0.34 <sup>a</sup>

T2 Maíz nativo con fertilizantes orgánicos (*Vermicomposta* y *supermagro*).

T5 Maíz híbrido con fertilización mineral (350-120-00)

Los valores con la misma letra no son estadísticamente diferentes Tukey, α=0.05.

*Brookes, et al., (2008)* observaron valores de emisión de CO<sub>2</sub> del suelo tratado con varios substratos orgánicos, incluido extracto de composta, de alrededor de 30 µg C-CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> de suelo; estos autores mencionaron que la diferencia en incremento en emisión de C-CO<sub>2</sub> fue baja, menos del 10%, al comparar suelo tratado con enmiendas orgánicas y con fertilizante a base de nitrógeno y fósforo minerales. Las diferencias en este trabajo fueron entre el 6.13 % al inicio y el 17.35 % al final de la investigación.

### **Nitrógeno total en la vermicomposta aplicada al suelo**

El comportamiento del N Total de la vermicomposta aplicada al suelo fue disminuyendo conforme transcurre el tiempo hasta el cuarto periodo, también se observa que en el T2=Con fertilizantes orgánicos y sin fertilización mineral se observó que el contenido de N Total 1.36±0.08, 1.24±0.04, 1.16±0.03, 0.67±0.05 y 0.73±0.06 %, fueron estadísticamente similares al contenido de N Total al T6= Maíz híbrido sin fertilización 1.36±0.08, 1.20±0.04, 1.08±0.06, 0.66±0.05 y 0.54±0.03, como lo muestra la Figura 1; el fertilizante orgánico como la vermicomposta libera más rápidamente el N que los suelos tratados con fertilizantes minerales de síntesis escrito anteriormente por (Litterick, *et al.*, 2004).

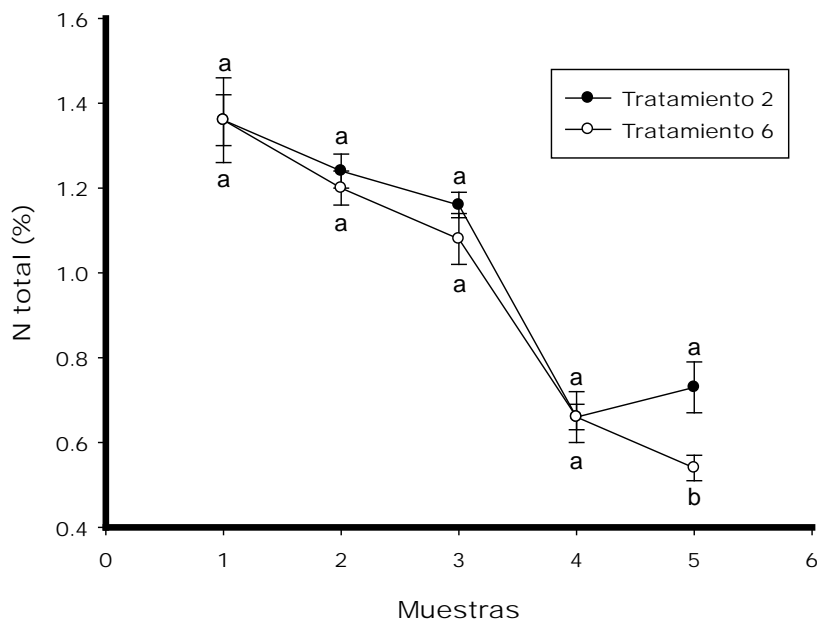


Figura 1. Contenido de nitrógeno total (%) en la vermicomposta aplicada al suelo, en función del tratamiento de fertilización del suelo. Tratamiento 2 = Con fertilizantes orgánicos y sin fertilización mineral de síntesis; Tratamiento 6 = Maíz híbrido sin fertilización. Los valores con la misma letra no son estadísticamente diferentes Tukey,  $\alpha=0.05$ .

### Nitrógeno inorgánico (N-NO<sub>3</sub> ppm) en el suelo

La Figura 2 muestra el comportamiento del N Inorgánico en el suelo, cuyos análisis se realizaron en cuatro muestreos (muestreo 1: 27 de diciembre del 2011, muestreo 2: 3 de enero, muestreo 3: 17 de enero, y muestreo 4: 14 de febrero del 2012); el valor de nitrógeno inorgánico (N-NO<sub>3</sub> ppm) del suelo fue significativamente mayor ( $P<0.05$ ) en ambos tratamientos y todas las fechas de muestreo; el T2 presento mayor contenido de N inorgánico ( $120.25\pm 19.91$  a  $60.06\pm 9.43$  %) en comparación al T5 ( $40.42\pm 2.21$  a  $25.41\pm 4.0$  ppm) en todos los muestreos. las concentraciones de N inorgánico observadas en el T2 se debieron a la mineralización del N orgánico contenido en la vermicomposta (Cabrera *et al.*, 2005), ya que la fertilización disminuye la relación C:N de los residuos y de la MO, favoreciendo su mineralización.

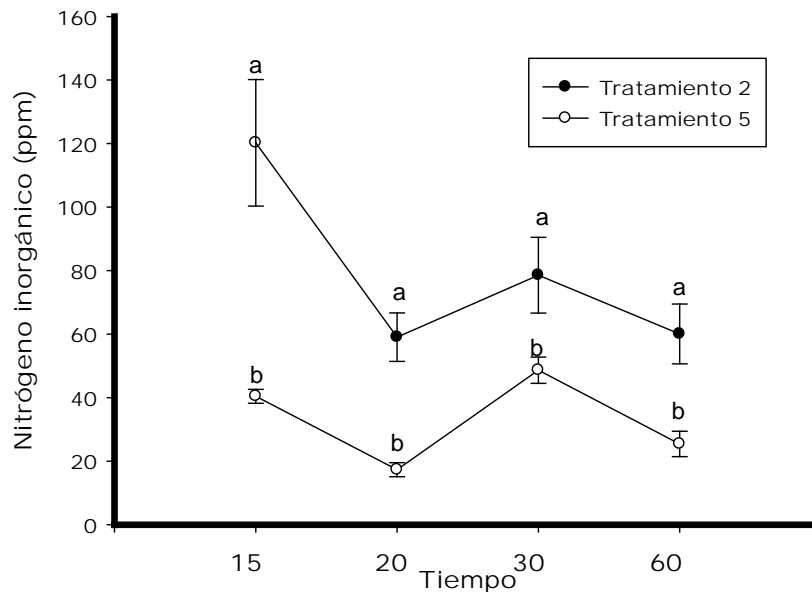


Figura 2. Contenido de nitrógeno inorgánico (N-NO<sub>3</sub> ppm) en suelo, en función del tratamiento de fertilización del suelo. Tratamiento 2 = Con productos orgánicos y sin fertilización mineral de síntesis; Tratamiento 5 = Maíz híbrido con fertilización mineral de síntesis. Los valores con la misma letra no son estadísticamente diferentes Tukey,  $\alpha=0.05$ .

### Cantidad de materia seca producida por las plantas de maíz

La relativamente mayor producción de biomasa seca se observó en los tratamientos con fertilización mineral de síntesis y sin fertilización orgánica T3 y T5, seguido de la mezcla de fertilizantes orgánicos + fertilización química de síntesis reducida T1 y fertilizantes orgánicos T2, los valores más bajos correspondió a los tratamientos sin fertilización T4 y T6, sin embargo no se observó diferencia estadística significativa entre los tratamientos ( $P \leq 0,7891$ ). Los resultados obtenidos mostraron que el tratamiento 5 con fertilización mineral de síntesis rindió el máximo valor de materia seca posiblemente debido a que los fertilizantes químicos sintéticos son sales solubles altamente concentradas y están disponibles en forma inmediata para las plantas, pero de corta acción residual, mientras que los tratamientos con fertilizantes orgánicos se consideran como materiales de lenta liberación de nutrientes que

aportan a las plantas a través del tiempo dependiendo de diversos factores como el tipo de material orgánico, sus características, las condiciones biológicas, edáficas y ambientales (Meléndez, 2003).

Cabe destacar que la mezcla utilizada de fertilizantes orgánicos y fertilizantes químicos de síntesis con dosis reducida de N y P mostraron respuesta en el maíz nativo bastante aceptable Cuadro 3; similares resultados han sido obtenidos en otros trabajos realizados donde se evaluaron mezclas de compost y fertilizantes químicos sintéticos (Matheus, 2001; Briceño y Mora, 2003), en los que se ha reafirmado el efecto complementario y positivo del uso de ambos productos.

Cuadro 3. Valores promedio biomasa seca producida por las plantas de maíz en época de floración en función del tratamiento de fertilización (\*\*\*).

Tratamientos	(g planta <sup>-1</sup> )
1 Maíz nativo con fertilizantes orgánicos* y con fertilización mineral**	97.25 <sup>a</sup>
2 Maíz nativo con fertilizantes orgánicos y sin fertilización mineral	87.75 <sup>a</sup>
3 Maíz nativo sin fertilizantes orgánicos y con fertilización mineral***	102.25 <sup>a</sup>
4 Maíz nativo sin aplicación de fertilizantes	83.25 <sup>a</sup>
5 Maíz híbrido con fertilización mineral***	107.50 <sup>a</sup>
6 Maíz híbrido sin aplicación de fertilizante	84.50 <sup>a</sup>
*Vermicomposta y supermagro	**120-60-00
	***350-120-00

(\*\*\*) Los valores con la misma letra no son estadísticamente diferentes Tukey,  $\alpha=0.05$ .

### Contenido de N en hojas jóvenes de plantas de maíz nativo e híbrido

La aplicación de vermicomposta combinada con fertilización mineral reducida en el cultivo de maíz nativo, aumento la concentración de N en las plantas de maíz, como lo muestra la Figura 3, cuyas medias en relación a la concentración de nitrógeno en las hojas jóvenes de las plantas de maíz, son diferentes estadísticamente entre los tratamientos. El maíz tratado con fertilizantes orgánicos y con fertilización mineral

reducida presentó una concentración de 3.95 % de N, por su parte el maíz híbrido tratado con fertilización mineral presentó 3.57 % de N. El patrón de concentración de N por las plantas de maíz, observado en los seis tratamientos, fue muy similar al de acumulación de materia seca en los mismos tratamientos; se debe destacar que los patrones de acumulación de nutrientes pueden ser variables con los diferentes ambientes, condiciones y tipo de suelo, variedad de cultivo y otras prácticas de manejo como irrigación, fertilización, etc. (Hanway, 1962).

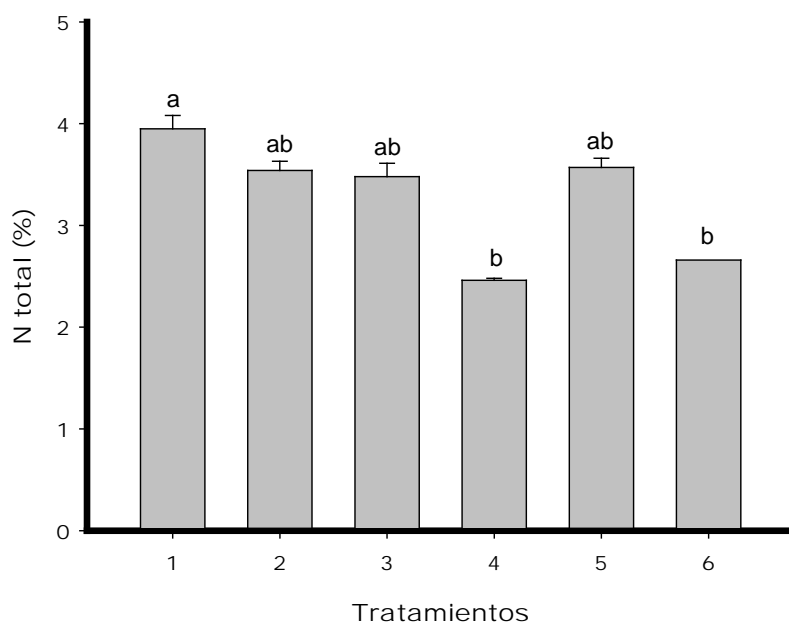


Figura 3. Contenido de nitrógeno por las plantas de maíz en etapa de floración, en función de los tratamientos de fertilización. Los valores con la misma letra no son estadísticamente diferentes Tukey,  $\alpha=0.05$ .

### **Contenido de P en hojas jóvenes en plantas de maíz nativo e híbrido**

En relación a la concentración de fósforo en las hojas de las plantas de maíz, se observó que fue baja y similar en todos los tratamientos, es decir, no hubo diferencias significativas entre ellos ( $P>0.05$ ). Estos resultados coinciden con lo descrito por (Lynch, 2007) la reducida disponibilidad de fósforo (P) en el suelo es uno de los principales factores que limita el crecimiento y rendimiento de los cultivos a nivel mundial, particularmente en los países en donde el acceso al fertilizante es restringido y por lo descrito por (Bayuelo Jiménez *et al.*, 2011) quienes sugieren que las características radicales de maíz son un factor determinante en la absorción de

fósforo y en la expresión de su eficiencia, en etapa de plántula y en posteriores estados del desarrollo.

### Contenido de K en hojas jóvenes en plantas de maíz nativo e híbrido

La concentración del potasio se puede observar en la Figura 4, se puede observar que el Maíz híbrido tratado con fertilización mineral T5 fue el que presentó el mayor contenido de K el  $1.46 \pm 0.01$  %, seguido por el T3= Maíz nativo sin fertilizantes orgánicos y con fertilización mineral el  $1.42 \pm 0.03$  %, el T6= Maíz híbrido sin fertilización o sea el  $1.14 \pm 0.12$  % de K, T2= Maíz nativo con fertilizantes orgánicos el  $1.28 \pm 0.08$  % de K, el T1= Maíz nativo con fertilizantes orgánicos y con fertilización mineral reducida el  $1.13 \pm 0.12$  % de K, y por último el T4= Maíz nativo sin fertilización el  $2.97 \pm 0.1$  % de K,. En el estadio de llenado del grano o del desarrollo de las plantas, la absorción de K disminuye en cultivos como soja, maíz, trigo ó arroz (Kafkafi y Xu, 1999). La mayor parte del K total contenido en la parte aérea de plantas de maíz fue al comienzo de la etapa reproductiva (Jordan *et al.*, 1950; Hanway, 1962; Gething, 1990).

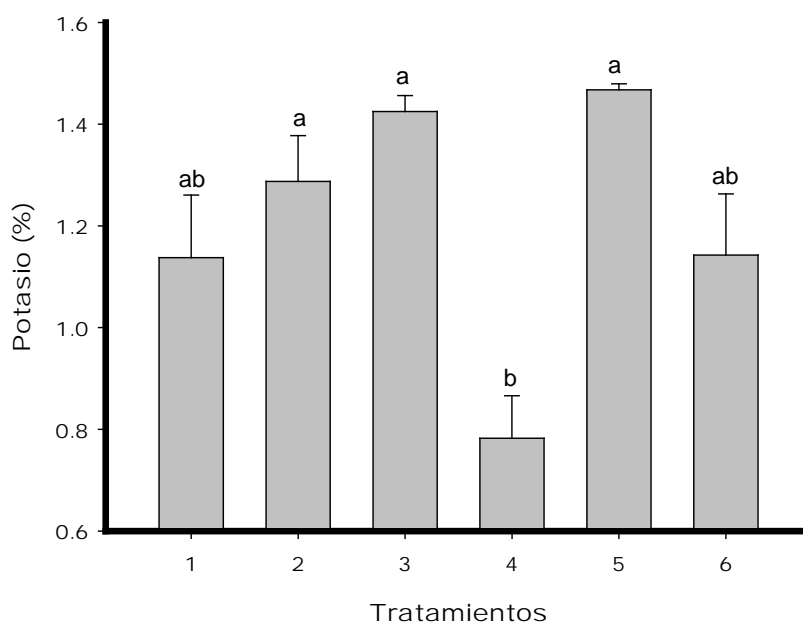


Figura 4. Contenido de potasio por las plantas de maíz en etapa de floración, en función de los tratamientos de fertilización. Los valores con la misma letra no son estadísticamente diferentes Tukey,  $\alpha=0.05$ .



### **Rendimiento de grano de maíz**

Los tratamientos con fertilizantes orgánicos (T1 y T2) y el T3 sin fertilizantes orgánicos y fertilización mineral, produjeron  $7964.63 \pm 357.14$ ,  $7581.63 \pm 336.52$  y  $8007.38 \pm 378.52$  t ha<sup>-1</sup> respectivamente, no fueron diferentes estadísticamente entre sí Figura 6. Notándose una diferencia significativa ( $P < 0.0001$ ) en el T5 de maíz híbrido y fertilización mineral con un rendimiento de grano de  $9333.75 \pm 785.32$  kg ha<sup>-1</sup> en relación a los tratamientos con fertilizantes orgánicos, estos rendimientos de grano son superiores a la media que es de 5 a 6 t ha<sup>-1</sup> en maíces nativos, los resultados muestran que el rendimiento de grano de maíz nativo con la aplicación combinada de fertilizantes orgánicos y fertilización mineral reducida en un 65 % respecto de la tradicional aplicada en el maíz híbrido, se pueden obtener rendimientos de grano satisfactorios. Estos resultados coinciden con lo reportado por Smith y Read, 2008 y por Ochoa *et al.*, 2009, quienes mencionan que el uso de abonos orgánicos, como la vermicomposta fomentan la población de microorganismos benéficos, sustancias húmicas, etc. mismos que pueden aumentar la eficiencia en el aprovechamiento de los nutrientes por las plantas de cultivo. Por otro lado, el comportamiento en rendimiento del maíz nativo muestra la posibilidad de reducir la dependencia tecnológica de semilla híbrida de compañías trasnacionales.

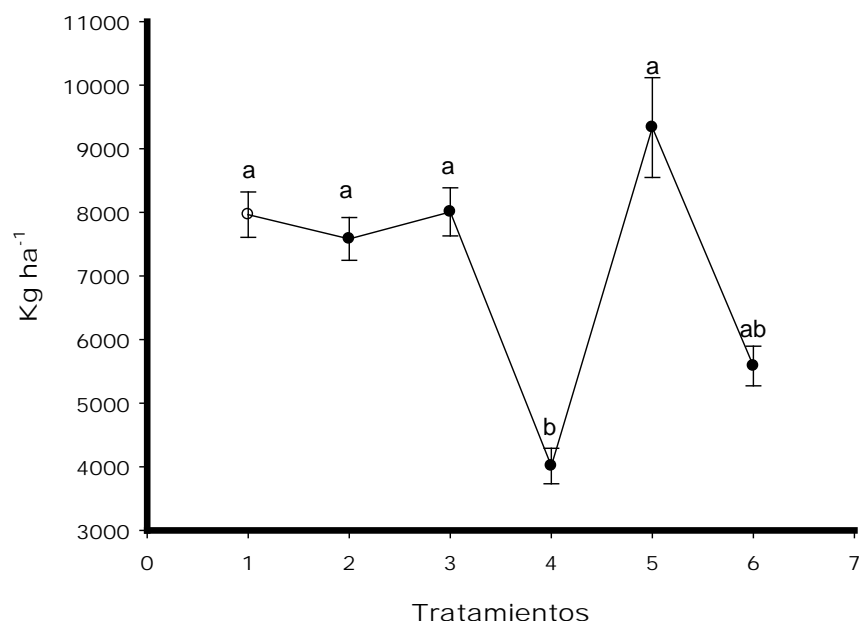


Figura 6. Rendimiento de grano de maíz en función del tratamiento de fertilización. Tratamiento 1 = maíz nativo con fertilizantes orgánicos y fertilización mineral (120N-60P-00K); Tratamiento 2 = maíz nativo con fertilizantes orgánicos; Tratamiento 3 = maíz nativo con fertilización mineral (350N-120P-00K) y Tratamiento 5 = maíz híbrido con fertilización mineral (350N-120-00K) y Tratamientos 4 maíz nativo y tratamiento 6 maíz híbrido sin fertilización. Los valores con la misma letra no son estadísticamente diferentes Tukey,  $\alpha=0.05$ .

### 3.6 CONCLUSIONES

En los dos períodos iniciales de incubación se observó el pico mayor de liberación de CO<sub>2</sub>; los restantes tiempos de incubación presentaron una disminución progresiva hasta el final del período de incubación del suelo. El tratamiento T2 de fertilización orgánica presentó mayor liberación de CO<sub>2</sub> que en el T5 en todo el período de incubación; La vermicomposta en el suelo liberó nutrientes que fueron aprovechados para la nutrición de las plantas de maíz nativo, mismos que sirvieron como complemento a la fertilización reducida de N, P y K aplicada, y así producir un rendimiento de grano aceptable respecto al rendimiento del maíz híbrido; Los resultados de este trabajo arrojan que es factible utilizar vermicomposta y

supermagro los cuales favorecen la absorción de N, P y K, en conjunto con fertilización reducida en un 65 % (120N-42P-00K), para lograr aceptable producción de grano de maíz nativo de Sinaloa, México, y lo que es mejor se cuidó el medio ambiente al utilizar los productos orgánicos para no contaminar el suelo.

## **AGRADECIMIENTOS**

Se agradece la colaboración del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Universidad Autónoma de Sinaloa, Colegio de Ciencias Agropecuaria, Facultad de Agronomía, Coordinación de Posgrado de la FA, Mario Alfonso Pérez Ahumada y Carmel Manuel López Borquez, por su valioso apoyo para la realización del presente trabajo de investigación.

### 3.7 LITERATURA CITADA

- Acevedo, I. C. y R. Pire. 2004. Efectos del lombricompost como enmienda de un sustrato para el crecimiento del lechoso (*Carica papaya* L.). *Interciencia* 29: 274-279.
- Alcántar, G. G. y Sandoval, V. M. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. Chapingo, México. Publicación especial. Núm. 10.
- Anderson, T. H. and K. H. Domsch. 1989. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. *Soil Biol. Biochem.* 21: 417- 479.
- Bayuelo-Jiménez J S, V A Pérez-Decelis, M L Magdaleno-Armas, M Gallardo-Valdéz, I Ochoa, J P Lynch (2011) Genetic variation for root traits of maize (*Zea mays* L.) from Purhepecha Plateau, under contrasting phosphorus availability. *Field Crops Res.* 121:350-362.
- Briceño, B. Mora, J. 2003. Acción residual de uso de Biofertilizante La Pastora, en maíz (*Zea mays* L.) como planta indicadora. Trabajo de grado en Tecnología Superior Agrícola. Departamento de Ciencias Agrarias. Núcleo "Rafael Rangel". Universidad de los Andes. Trujillo. Venezuela. 68 P.
- Brookes, P. C., Cayuela, M. L., Contin, M., De Nobili, M., Kemmitt, S. J. and Mondini, C. 2008. The mineralization of fresh and humified soil organic matter by the soil microbial biomass. *Waste Manag.* **28**(4): 716–722.
- Butler, D. M., N. M. Ranells, D. H. Franklin, M. H. Poore, and J. T. Green. 2007. Ground cover impacts on nitrogen export from manured riparian pasture. *J. Environ. Qual.* 36: 155-162.
- Cabrera, M. L., D. E. Kissel, and M. F. Vigil. 2005. Nitrogen mineralization from organic residues: research opportunities. *J. Environ. Qual.* 34: 75-79.
- CAEVACU-CIAPAN. 1985. Guía para la asistencia técnica del Valle de Culiacán. INIFAP. Culiacán, Sinaloa, México. 227p.

- Cerrato, M. E., H. A. Leblanc y C. Kameko. 2007. Potencial de mineralización de nitrógeno de Bokashi, compost y lombricompost producidos en la Universidad Earth. *Tierra Tropical* 3: 183-197.
- FAO (2014) FAO STAT. Available at: <http://faostat.fao.org> (accessed February 2014).
- Gething, P.A. 1990. Potassium and water relationships. *In: Potash facts*. IPI, Bern.
- Hanway, J.J. 1962. Corn growth and composition in relation to soil fertility: 11. Uptake of N, P, and K and their distribution in different plant parts during the growing season. *Agron. J.* 54: 217-222.
- Jenkilson D.S. y D.S. Powlson. 1976. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. V. A method for measuring soil biomass. *Soilbiology and Biochemistry*, v.8, p. 209-213.
- Jordan, H.V.; Laird, K.D. and Ferguson, D.D. 1950. Growth rates and nutrient uptake by corn in a fertilizer-spacing experiment. *Agron. J.* 42: 361-268.
- Kafkafi, U. and Xu, G.H. 1999. Potassium nutrition for high crop yields. *In: Frontiers in potassium nutrition: new perspectives on the effects of potassium on physiology of plants* (D. M. Oosterhuis, and G. Berkowitz, eds.). 133-142: PPI/PPIC, Georgia, USA.
- Lynch J P (2007) Roots of the second Green Revolution. *Aust. J. Bot.* 55:493-512.
- Litterick, A. M., Harrier, L., Wallace, P., Watson, C.A., Wood, M. (2004). The role of uncomposted materials, compost, manures, and compost extracts in reducing pest and disease incidence and severity in sustainable temperate agricultural and horticultural crop production: A review. *Crit. Rev. Plant Sci.* 23: 453-479.
- Matheus, J. 2001. Evaluación Agronómica del uso de un biofertilizante en el cultivo del maíz (*Zea mays* L). Trabajo de grado presentado a la Coordinación del Área de Postgrado del Vicerrectorado de Producción Agrícola. Universidad Nacional Experimental de Los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora. Guanare, Portuguesa, Venezuela. 101 p.
- Meléndez, G. 2003. Residuos orgánicos y materia orgánica del suelo. *In: Gloria Meléndez y Gabriela Soto (eds.) Taller de abonos orgánicos*. Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica. San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica. pp 6 - 31.
- Ochoa M. E., Figueroa V. U., Cano R. P., Preciado A. R., Moreno R. A. y Rodríguez D. N. 2009. *Té de composta como fertilizante orgánico en la producción de*

*tomate (Lycopersicon esculentum Mill.) en invernadero. Revista Chapingo Serie Horticultura. 15(3):245-250.*

Omay, A.B., C.W. Rice, L.D. Maddux, and W.B. Gordon. 1997. Changes in soil microbial and chemical properties under long-term crop rotation and fertilization. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:1672–1678.

Ron P J, Sánchez J, Jiménez A, Carrera J, Martín J, Morales M, De la Cruz L., Hurtado S, Mena S, Rodríguez J (2006). *Maíces Nativos del Occidente de México*. I. Colectas 2004.

SAS Institute. 1998. SAS user's guide: statistics. Versión 6.12. SAS Institute. Cary, NC, USA. *Scientia-CUCBA* 8(1): 1-139. ISBN: 970-27-0955-5. Editorial Tecnología y Aplicaciones Gráficas.

Smith S E, D J Read (2008) *Mycorrhizal Symbiosis*. Acad. Press. London, UK. 787 p. Statistix. 2005. Statistix para Windows versión 7.0: Analytical Software.

## **CAPITULO IV: FERTILIZACIÓN ORGÁNICA Y MINERAL EN MAICES DE SINALOA.**

### **4.1 INTRODUCCIÓN**

Actualmente, la agricultura utiliza el 11% de la superficie terrestre para la producción de cultivos y la tasa de crecimiento en los últimos 50 años de superficie cultivada ha sido del 12%. La producción agrícola ha crecido entre 2.5 y 3 veces durante el mismo período. Este crecimiento se debe gracias a un aumento significativo en el rendimiento de los cultivos. Sin embargo, los logros mundiales de producción en algunas regiones han causado una degradación de la tierra, los recursos hídricos y el deterioro de los servicios ecosistémicos (Solaw, 2011). Según la fuente de suministro de nutrientes se distinguen dos alternativas para la fertilización de los cultivos: la química o sintética y la orgánica. La primera de ellas consiste en la aplicación de abonos producidos industrialmente que reúnen condiciones técnicas de calidad como proveedores de nutrientes a los cultivos; son sales solubles, altamente concentradas, de fácil y rápida liberación, pero generalmente de corta acción residual (Bertsch, 1998; Soto, 2003). Es la práctica usual y recomendada como la forma más eficiente de suplir minerales a las plantas, siendo su principal ventaja la capacidad de proporcionar mayor cantidad de nutrientes en menor volumen de material fertilizante, lo que facilita su manejo en el transporte y distribución en el campo. Además, al tener un balance homogéneo de componentes químicos, este tipo de fertilización permite establecer con mayor precisión la dosificación requerida (Meléndez y Molina, 2003). La fertilización orgánica: por el contrario; se fundamenta en el aprovechamiento de la biomasa de las plantas, residuos vegetales post-cosecha, excrementos animales, lodos residuales, desechos industriales, agroindustriales y urbanos. Son desechos sólidos, líquidos y semilíquidos que procesados y aplicados al suelo mejoran sus condiciones físicas, químicas y biológicas (Soto, 2003). Con esta práctica de fertilización se reciclan componentes nutricionales de estos desechos y se mejora la calidad física y biológica del suelo. El abono orgánico ofrece la ventaja de restablecer el equilibrio biológico, físico, químico y ecológico del suelo, incrementa la cantidad y diversidad de la flora microbiana

benéfica, permite la reproducción de lombrices de tierra al tiempo que libera los elementos químicos que las plantas necesitan. Se les considera como productos fertilizantes de lenta liberación cuya acción se prolonga en el tiempo (acción residual) contribuyendo de esta manera a mejorar la calidad del medio ambiente y favorecer la producción sostenible de alimentos (Acuña, 2003; Soto, 2003). Existe una amplia cantidad de referencias bibliográficas que señalan el efecto positivo del uso de diversos productos orgánicos en las condiciones del suelo y la productividad de los agroecosistemas (Bertsch, 1998; Soto, 2003; Meléndez y Molina, 2003). A pesar de ello, es referido claramente por diversos investigadores el efecto prolongado de los abonos orgánicos y su acción residual en el mediano y largo plazo sobre las características del suelo que definen su fertilidad (Meléndez, 2003). En el año 2012, México ocupó el cuarto lugar en producción de maíz en el mundo (FAO, 2015). En este año, más de la tercera parte de la superficie que se cultivó en México fue de maíz, dado que se sembraron en todo el territorio 22' 113, 662.80 hectáreas con 328 cultivos, y de maíz para grano se sembraron 7' 487, 399.02 hectáreas, con una producción de 22' 663, 953.35 toneladas (SIAP, 2015). El maíz se considera un recurso genético importante y la tecnología asociada a su cultivo también es reconocida como importante no sólo por su componente cultural, sino su importancia económica en el desarrollo de variedades mejoradas. Los maíces mexicanos se han reconocido y se ha destacado su diversidad e importancia en los aspectos socioeconómicos y culinarios (Esteva y Marielle, 2003; González, 2006; Muñoz, 2003), esto en diversos foros y obras culturales, técnicas y científicas. También es reconocido que los maíces mexicanos han jugado un papel muy importante en nuestro país ya que se siembran variedades nativas de maíz (*Zea mays* L.) en regiones, áreas y nichos ecológicos donde las variedades mejoradas reconocidas y destacadas no expresan su potencial de rendimiento (Muñoz, 2003) o no cumplen con los niveles de calidad requeridos por los productores en la preparación de alimentos para humanos y animales domésticos (Ron *et al.*, 2006). La diversidad total de maíces nativos de México podría representarse por 59 razas (Ron *et al.*, 2006). En este contexto, algunos maíces nativos y sus parientes silvestres están incluidas en las listas de especies de interés para la conservación y, en



consecuencia son prioridad en la estrategia nacional para la conservación de la agrobiodiversidad; esta importancia del cultivo del maíz a nivel mundial y nacional se debe a la enorme adaptabilidad del cultivo, debido a la gran diversidad genética con que cuenta el cultivo. Los abonos orgánicos, los microorganismos benéficos (biofertilizantes), sustancias húmicas, etc. pueden aportar una mayor eficiencia en el aprovechamiento de los nutrientes por los cultivos (Ochoa *et al.*, 2009). Además contribuyen a mantener el balance hormonal necesario para que las reacciones bioquímicas vegetales se realicen con más eficiencia, con ello se espera, expresar el potencial genético y agronómico productivo de un cultivo. Por lo tanto, este tipo de productos solos o en combinación con la fertilización de síntesis, ayudarían a disminuir la cantidad de fertilizantes que se aplican al cultivo; aparte de reducir los costos de producción (Planes *et al.*, 2004). La mejor alternativa para ser utilizado como abono orgánico en la producción es la lombricomposta de ganado vacuno, que además, es un material abundante en el medio rural, para su mejor aprovechamiento es necesario someterlo a un proceso de lombricomposteo. La utilización de este material orgánico, más la aplicación de fertilizante de síntesis también tiene resultados significativos (Osorio *et al.*, 2010). La finalidad de este trabajo fue conocer la respuesta en la producción de maíz criollo y/o nativo, así como un híbrido de Sinaloa, México con fertilización orgánica y mineral de síntesis en el Valle de Culiacán, Sinaloa, México, así mismo conocer la tasa de descomposición de la composta, vermicomposta y gallinaza y la liberación de CO<sub>2</sub> por efecto de la aplicación de éstos productos orgánicos.

## 4.2 MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se realizó en un maíz nativo y en un híbrido. El maíz nativo es un material que tiene dos ciclos de selección familiar bajo condiciones de temporal y se encuentra disponible en el banco de germoplasma de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa; por el contrario, el maíz híbrido que se utilizó es una variedad comercial que se siembra bajo condiciones de riego en el estado de Sinaloa. Once tratamientos fueron evaluados (Cuadro 1).

Cuadro 1. Tratamientos utilizados para evaluar el comportamiento de maíz.

Tratamientos	Descripción
1	Composta 100 %
2	Vermicomposta 100 %
3	Gallinaza 100 %
4	50% composta-50% vermicomposta
5	50% vermicomposta-50% gallinaza
6	50% composta-50% gallinaza
7	50% composta-50% químico
8	50% vermicomposta-50% químico
9	50% gallinaza- 50% químico
10	Fertilización mineral de síntesis*
11	Sin fertilización

\*350N unidades

#### **4.1 Localización del experimento**

Esta investigación se realizó en el ciclo agrícola 2013-2014, en los terrenos del área experimental de la Facultad de Agronomía, que se localiza en el km 17.5 de la carretera Culiacán-Eldorado, en el Valle de Culiacán Sinaloa, México; las coordenadas geográficas del lugar son 24° 48' 30" N y 107° 24' 30" O, la altitud sobre el nivel del mar es de 38 m (CAEVACU; 1985). El suelo es tipo vertisol (pellustert), de textura arcillosa (70.52% de arcilla, 18% de limo y 11.48% de arena), 0.9 % materia orgánica y pH 7.5-7.6 y una conductividad eléctrica de 0.3 dS m<sup>-1</sup>, Antes de la siembra del experimento se realizaron análisis químicos del suelo a 0-15 y 15-30 cm de profundidad; nitrógeno total método Kjeldahl (Alcántar y Sandoval, 1999), las determinaciones fueron contenido de materia orgánica del suelo (Walkley-Black), fósforo y potasio aprovechables en el suelo (Peech Morgan); antes de la aplicación de la composta, vermicomposta y gallinaza al suelo se determinó su contenido de N-total, P y K.

#### **4.2 Diseño experimental**

El diseño experimental fue el de bloques completos al azar con tres repeticiones, La unidad experimental consistió en 3 surcos de 5 m de longitud y 76 cm de separación entre ellos, equivalente a 11.4 m<sup>2</sup>.

#### **4.3 Desarrollo del experimento**

##### **4.3.1 Preparación del terreno**

Para la preparación del terreno se realizó un subsuelo, dos rastreos cruzados y una marca.

##### **4.3.2 Siembra**

La siembra se realizó manualmente colocando 5 semillas de maíz por metro lineal a una profundidad de 5 cm.

### **4.3.3 Fertilización**

Se aplicaron 300 unidades de nitrógeno por hectárea, para esto el fertilizante comercial utilizado fue Urea, y los productos orgánicos fueron composta, vermicomposta y gallinaza.

### **4.3.4 Riego**

Se realizaron los riegos necesarios para que naciera la semilla y mantener el desarrollo del cultivo, el sistema de riego fue por goteo (fertirriego) utilizando líneas regantes con 0.40 m de distancia entre goteros, con un gasto de agua de  $1.6 \text{ L h}^{-1}$ , y se colocaron tensiómetros para monitorear la frecuencia de los riegos

### **4.3.5 Control de malezas**

Para controlar las malezas se aplicaron herbicidas de casas comerciales reconocidas y con labores culturales.

### **4.3.6 Control de plagas y enfermedades**

Se aplicaron productos especializados para el control de plagas y enfermedades de marcas comerciales reconocidas.

### **4.3.7 Cosecha**

Se realizó de manera manual, se tomó cada mazorca de cada planta y se enumeró individualmente, esto con el fin de poder tomar los datos de las mazorcas posteriormente.

## **4.4 Variables evaluadas**

### **4.4.1 Nitrógeno total**

El contenido de nitrógeno total se midió con el método de Kjeldahl (Alcántar y Sandoval, 1999).

#### **4.4.2 Fósforo**

El contenido del fósforo por colorimetría mediante el método del vanadato-molibdato con un espectrofotómetro uv/visible (AOAC, 1998).

#### **4.4.3 Potasio**

El contenido de potasio con un flamómetro, marca Intech, modelo 1380.

#### **4.4.4 Liberación de CO<sub>2</sub>**

La liberación de CO<sub>2</sub> del suelo se realizó utilizando la metodología de Jenkinson y Powlson, (1976) que implica extraer la muestra y tamizarla con tamiz de 2 mm obteniendo 50 g de suelo el cual se coloca en un frasco de litro agregándole 30 ml de agua destilada incubándola una semana, después se agrega en el frasco una caja de Petri con 5 ml de NaOH se sella herméticamente y se toma la lectura a las 24 horas siguientes vaciando el contenido de la caja de Petri en un matraz Erlenmeyer adicionándole 2 ml de BaCl (2 %) con 3 a 4 gotas de fenolftaleína titulándose en una bureta anotándose la lectura, para calcularse con la siguiente fórmula  $(B - P) N \times 22$  en donde B = ml de gasto de HCl del blanco, P = ml de gasto de HCl de muestra y N = normalidad de HCl, realizando esta actividad por 10 días consecutivos.

#### **4.4.5 Tasa de descomposición**

La tasa de descomposición de los productos orgánicos en el suelo se determinó de acuerdo con Gerónimo Cruz *et al.*, 2002, en los tratamientos en donde se les adiciono el 100% de los productos orgánicos (T1, T2 y T3) todo ello utilizando bolsitas de malla plástica de 25 x 15 cm conteniendo los productos, enterrándolas a una profundidad de 15 cm y extrayéndolas en los tiempos indicados (15, 30, 50, 70 y 90 días después de enterradas) aplicando la formula siguiente:  $BR (\%) = (X_t / X_0) 100$  en donde BR = Biomasa remanente, X<sub>0</sub> = Peso inicial del material utilizado y X<sub>t</sub> = Peso del material al momento del muestreo, basado en la relación siguiente: TD= DFI – DFS/ND.

#### **4.4.6 Eficiencia agronómica relativa**

La eficiencia agronómica relativa se obtuvo mediante la siguiente fórmula:  $EAR = (\text{rend. fert. orgánico} - \text{rend. testigo}) / (\text{rend. fert. químico} - \text{rend. testigo}) \times 100$  Matheus *et al.*, (2007).

**4.4.7 Rendimiento de grano ajustado (RG).** El rendimiento del grano se obtiene restándole el peso del olote al peso de la mazorca y posteriormente se ajusta. El peso de grano de cada planta es ajustado al 14% de humedad. Para esto se aplicó el criterio utilizado en las recibas comerciales de maíz del Valle de Culiacán, deduciendo 1.16 kilogramos de peso por cada tonelada de peso de maíz, por cada décima de grado pasada por encima del 14.0 % de humedad, y en aquellos casos en el que la humedad estuvo por debajo del 14.0 % se procedió de manera inversa; es decir, se le sumo el incremento de peso correspondiente. Este parámetro se expresa en gramos.

#### **4.5 Análisis estadísticos**

Con la finalidad de determinar la existencia o no de diferencias entre tratamientos, en cada una de las variables de planta y mazorca estudiadas, se realizó un análisis de varianza y las medias de cada variable fueron comparadas por el método de Tukey con un  $\alpha = 0.05$ . Todos los análisis se realizaron utilizando el paquete estadístico JPM y SIGMAPLOD 10.0 para generar las gráficas presentadas en resultados y discusión.

### 4.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los tratamientos orgánicos (composta, vermicomposta y gallinaza) se analizaron antes de ser aplicados obteniendo los siguientes resultados:

- 1.- Composta 1.0 % de N, 1.5 de P y 1.3 de K.
- 2.- Vermicomposta 1.05 % de N, 1.5 de P y 1.5 de K.
- 3.- Gallinaza 2.20 % de N, 1.8 de P y 1.6 de K.

También el suelo se analizó antes de iniciar el experimento, obteniendo los siguientes resultados: 0.58 % de N, 282.2 kg ha<sup>-1</sup> de P, 1610 kg ha<sup>-1</sup> de K, 0.93 % de MO, 11.48 % de arena, 70.52 % de arcilla y 18.00 % de limo.

Una vez finalizado el experimento se realizaron muestreos de suelo en las parcelas donde se adicionaron los tratamientos y los contenidos de N, P y K fueron analizados arrojando los resultados que se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Contenido de N, P y K (suelo), en los tratamientos utilizados para evaluar el comportamiento de maíz.

Tratamiento	N %	P kg ha <sup>-1</sup>	K
1	1.34	504	742
2	1.52	637	1260
3	1.20	819	980
4	1.20	392	742
5	1.84	504	1232
6	2.14	637	1568
7	2.76	392	1232
8	0.96	392	1232
9	1.84	504	588
10	1.84	226	1232
11	0.28	182	742

### 4.3.1 Maíz nativo

#### 4.3.1.1 Tasa de descomposición de los productos orgánicos aplicados al 100%.

La biomasa remanente de los productos orgánicos aplicados en el maíz nativo, como se observa en la Figura 1, no existió diferencia significativa entre los tratamientos a excepción de los 15 días de incubación, sufriendo un cambio muy significativo en los primeros dos muestreos en relación a los demás; estos procesos pueden variar en duración de semanas a meses (Aira *et al.*, 2005). En los cuatro muestreos a excepción del quinto se observa cómo es más elevada la biomasa remanente en el tratamiento 3 con fertilización con gallinaza con respecto a los otros dos el T1 con fertilización con composta y el T2 con fertilización a base de vermicomposta, es decir,  $1.7 \pm 0.25$  a  $0.43 \pm 0.03$  % de biomasa remanente en el T3 y  $0.54 \pm 0.5$  a  $0.55 \pm 0.05$  % en el T1 y de  $1.09 \pm 0.3$  a  $0.48 \pm 0.04$  en T2. A partir de los muestreos 2, 3, 4 y 5; (30, 50, 70 y 90 días de incubación respectivamente), se observó cómo se mantiene la biomasa remanente en los tres tratamientos; los valores de los tratamientos fueron estadísticamente diferentes ( $P < 0.02$ ) en el muestreo uno (15 días de incubación) esta variación observada sugiere la existencia de sucesión en la comunidad microbiana en función de su mayor o menor especificidad para la descomposición de diferentes formas de la materia orgánica (Silvana *et al.*, 2005).



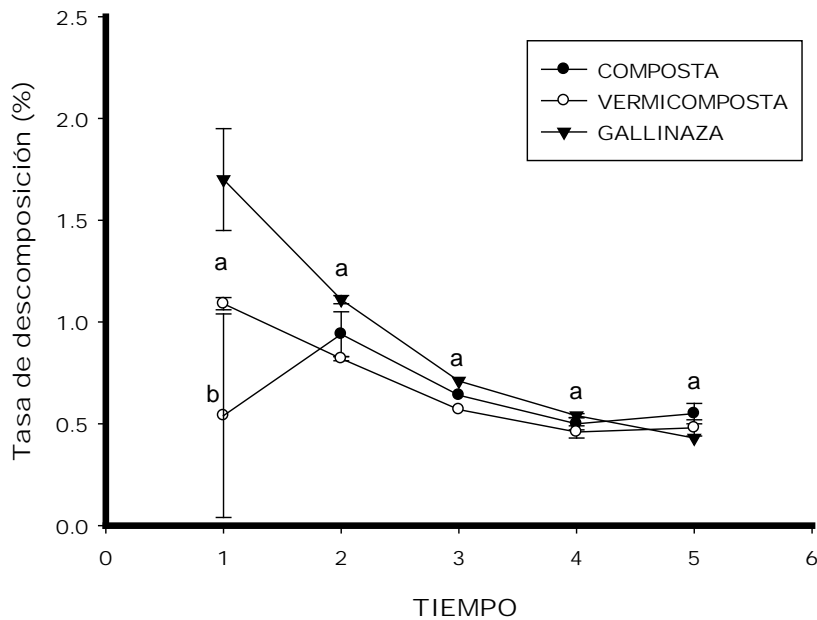


Figura 1. Tasa de descomposición de los productos orgánicos aplicados al suelo, en función del tratamiento de fertilización. Tratamiento 1 = Con composta; Tratamiento 2 = con vermicomposta y Tratamiento 3= con gallinaza. Los valores con la misma letra no son estadísticamente diferentes según la prueba de Tukey.

#### 4.3.1.2 Liberación de CO<sub>2</sub> en el suelo

La liberación de CO<sub>2</sub> en el suelo de acuerdo a los tratamientos en donde se fertilizo el maíz con productos orgánicos (composta, vermicomposta y gallinaza), se comportó de la siguiente manera como se puede observar en la Figura 2 observamos como en el caso de los tratamientos con el 100% de productos orgánicos fluctuó entre el 16.00±3.60 y el 62.00±0.70 mg de CO<sub>2</sub>, liberando el primer día 62.00±0.70, 59.00±1.90 y 59.00±1.30 para concluir con 14.00±3.60, 22.00±8.80 y 44.00±4.50 en el día final del análisis respectivamente los tratamientos 1, 2 y 3, durante los diez días que duro el análisis liberaron 295 mg la composta, 305 mg la vermicomposta y 355 mg la gallinaza, siendo esta última la que libero más CO<sub>2</sub> en todo el tiempo, coincidiendo estos resultados con los encontrados por (Contreras *et al.*, 2006) quienes incubaron diferentes materiales y obtuvieron que la gallinaza y el estiércol de

caprino muestran una mejor respuesta en lo que a la activación de los microorganismos del suelo se refiere, así mismo vemos como en los días 2, 4, 5, 6 y 7 la gallinaza supero a los otros dos productos, con relación a los productos orgánicos mezclados en una relación de 50 y 50 %, se observa cómo se liberó menos CO<sub>2</sub> en relación a los anteriores tratamientos mencionados fluctuando entre el 13.0±2.60 y el 60.00±0.70 mg de CO<sub>2</sub>, liberando un total de 251 mg el T4, 329 mg el T5 y 244 mg el T6 liberando más CO<sub>2</sub> la mezcla de vermicomposta-gallinaza, resultados que concuerdan con Acosta *et al.*, (2006) que encontraron que para la evolución de CO<sub>2</sub> de compostas elaboradas de estiércol de chivo, indican un decaimiento en los valores obtenidos diariamente; en relación a las mezclas de 50% de productos orgánicos con 50% químicos la liberación fue aún más baja entre el 10.0±0.70 y el 40.0±1.30 mg de CO<sub>2</sub>, muy similar a los tratamientos con el 100% químico y el sin fertilizar que liberaron entre el 9.0±1.20 y el 40.0±1.30 respectivamente en la duración del análisis de la liberación de CO<sub>2</sub>.

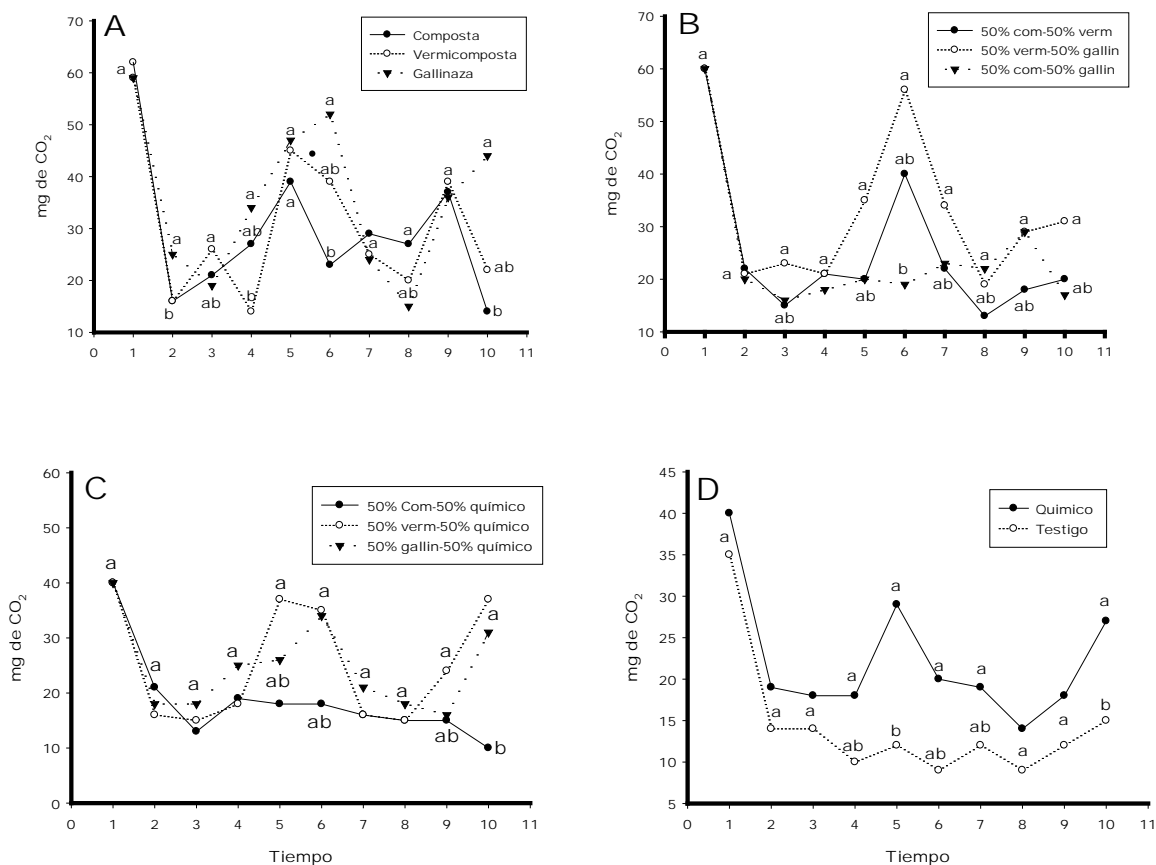


Figura 2 Liberación de CO<sub>2</sub> del suelo, en función de los tratamientos de fertilización del suelo. (A) Tratamientos 1,2 y 3 = Con productos orgánicos; (B) Tratamientos 4, 5 y 6 = 50 % y 50 % con productos orgánicos; (C) Tratamientos 7, 8 y 9 = 50 % productos orgánicos y 50 % con químicos; (D) Tratamiento 10 = fertilización mineral (350N-120-00K) y el Tratamiento 11 = testigo. Los valores con la misma letra no son estadísticamente diferentes según la prueba de Tukey.

#### 4.3.1.3 Eficiencia agronómica relativa (EAR)

La eficiencia agronómica relativa (EAR) se obtuvo a partir de la relación:  $EAR = \frac{\text{rendimiento con fertilización orgánico} - \text{rendimiento del testigo}}{\text{rendimiento con fertilización química} - \text{rendimiento del testigo}} \times 100$ . como se puede observar en el Cuadro 3 la aplicación de gallinaza en los tratamientos fueron en donde se obtuvo la mejor EAR, 271.50, 228.40, 217.00 Y 253.03 %, en los tratamientos 3, 5, 6 y 9 respectivamente seguido por el tratamiento 8 en donde se aplicó 50% vermicomposta-50% químico, después el tratamiento 7 en donde se aplicó 50%

composta-50% químico, quedando al final los tratamientos 1 y 2 en donde se aplicó el 100% de composta y vermicomposta respectivamente y el tratamiento 4 en donde se aplicó 50% composta-50% vermicomposta, la EAR de los tratamientos con los abonos orgánicos, solos o mezclados con químico superaron a los demás tratamientos, no así al tratamiento en donde se adiciono el 100% gallinaza, lo que indica claramente el efecto residual de los abonos orgánicos bajo las condiciones en que se realizó este trabajo de investigación, de los tres abonos orgánicos evaluados la vermicomposta no mostró acción residual como los demás; similar comportamiento tuvo en trabajos anteriores (Aranguibel y Guzmán, 2002) quienes también evaluaron este material y señalan que el producto empleado no reúne las condiciones ideales que refieren algunos autores en cuanto a su calidad y composición (Ferruzzi, 1994), los resultados obtenidos mostraron que el mayor efecto del tratamiento con fertilización orgánica (gallinaza) alcanzó el máximo nivel debido a que los productos químicos de síntesis son sales solubles altamente concentradas, disponibles en forma inmediata para las plantas, pero de corta acción residual y los productos orgánicos se consideran como materiales de lenta liberación que aportan sus nutrimentos a través del tiempo dependiendo de diversos factores como el tipo de material orgánico, sus características, las condiciones biológicas, edáficas y ambientales (Meléndez, 2003; Vera-Núñez *et al.*, 2012). Cabe destacar que las mezclas utilizadas en este ensayo dieron respuestas bastante aceptables en relación a la acción residual; similares resultados han sido obtenidos en otros trabajos realizados donde se han evaluado mezclas de compostas y fertilizantes químicos (Matheus, 2001; Briceño y Mora, 2003), en los que se ha reafirmado el efecto complementario y positivo del uso de ambos productos.

Cuadro 3. Eficiencia agronómica relativa (EAR) de los tratamientos orgánicos evaluados en maíz nativo

Tratamientos	Descripción	EAR (%)
1	100% composta	46.96
2	100% vermicomposta	99.29
3	100% gallinaza	271.50
4	50% composta-50% vermicomposta	77.81
5	50% vermicomposta-50% gallinaza	228.40
6	50% composta-50% gallinaza	217.00
7	50% composta-50% químico	148.97
8	50% vermocomposta-50% químico	187.26
9	50% gallinaza-50% químico	253.03

#### 4.3.1.4 Contenido de nitrógeno

El contenido de nitrógeno en el maíz nativo no evidenció diferencias estadísticas significativas, ya que en todos los tratamientos se comportó de igual manera, esto mismo encontraron Flores *et al.*, 2014, quienes en sus resultados mostraron que no hubo un efecto evidente del manejo sobre la concentración de nitrógeno en ninguna de sus formas, ya que las diferencias en concentraciones entre uno y otro manejo no fueron lo suficientemente amplias, no obstante el tratamiento que mejor concentración de nitrógeno presentó fue el 4 y 5 en donde se adicionó 50 % de composta-50 % vermicomposta y 50 % de vermicomposta-50 % gallinaza respectivamente, con un contenido de nitrógeno de  $2.61 \pm 0.34$  % el tratamiento 4 y de  $2.61 \pm 0.26$  % el tratamiento 5, seguido por el tratamiento 7 con  $2.56 \pm 0.63$  % y el 10 con  $2.51 \pm 0.60$  %, declinando los demás en relación de contenido de este elemento, se debe destacar que los patrones de acumulación de nutrientes pueden ser

variables con los diferentes ambientes, condiciones y tipo de suelo, variedad de cultivo y otras prácticas de manejo como irrigación, fertilización, etc. (Hanway, 1962).

#### **4.3.1.5 Contenido de fósforo en plantas de maíz**

En relación a la concentración de fósforo en las plantas de maíz, se observó que fue muy baja y similar en todos los tratamientos, es decir, no hubo diferencias significativas entre ellos ( $P > 0.05$ ). Estos resultados coinciden con lo descrito por (Lynch, 2007). La reducida disponibilidad de fósforo (P) en el suelo es uno de los principales factores que limita el crecimiento y rendimiento de los cultivos a nivel mundial, particularmente en los países en donde el acceso al fertilizante es restringido y por lo descrito por (Bayuelo-Jiménez *et al.*, 2011) quienes sugieren que las características radicales de maíz son un factor determinante en la absorción de fósforo y en la expresión de su eficiencia, en etapa de plántula y en posteriores estados del desarrollo.

#### **4.3.1.6 Contenido de potasio en plantas de maíz**

La concentración del potasio se puede observar como sigue: el tratamiento que más contenido de potasio presentó fue el 7 con  $1.66 \pm 0.09$  % en donde se aplicó 50% de composta-50 % químico, seguido por el tratamiento 8 en donde se le adiciono 50% vermicomposta-50 % de químico con  $1.64 \pm 0.13$  % y el tratamiento 5 en donde se aplicó 50% vermicomposta-50% gallinaza con  $1.62 \pm 0.11$  %, declinando los demás tratamientos. En el estadio de llenado del grano o del desarrollo de las plantas, la absorción de K disminuye en cultivos como soja, maíz, trigo ó arroz (Kafkafi y Xu, 1999). La mayor parte del K total contenido en la parte aérea de plantas de maíz fue al comienzo de la etapa reproductiva (Jordan *et al.*, 1950; Hanway, 1962; Gething, 1990).

#### 4.3.1.7 Rendimiento de grano de maíz

La Figura 3 nos muestra el comportamiento del rendimiento de grano de maíz nativo en el ciclo vegetativo de este cultivo, sobresaliendo en rendimiento el tratamiento donde se adiciono el producto orgánico gallinaza con una producción de  $8544.15 \pm 314.4 \text{ k ha}^{-1}$ , seguido por el tratamiento compuesto por 50% gallinaza-50% químico con  $8354.26 \pm 385.4 \text{ k ha}^{-1}$  acercándoseles en rendimiento el tratamiento 5 en donde se utilizó 50% vermicomposta-50% gallinaza con un rendimiento de  $8101.42 \pm 779 \text{ k ha}^{-1}$ , así mismo vemos como continua el descenso en producción de los demás tratamientos analizados, mostrando que el producto orgánico gallinaza fue el que influyo más para producir mejor en esta investigación, existiendo una diferencia significativa entre el tratamiento 3 y los demás, pero no entre los tratamientos 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10, excepto el testigo, debiéndose a lo descrito por (Cruz-Flores *et al.*, 2005) que encontraron que la disminución de la actividad de la fosfatasa puede relacionarse con el desarrollo fisiológico de la planta y el aumento del suministro de P de las fuentes orgánicas e inorgánicas y se ha mostrado que la aplicación de materia orgánica incrementa la actividad de fosfatasa alcalina debido a una estimulación de la actividad microbiana (Purakayastha *et al.*, 2006), y por una mayor diversidad de bacterias (Sakurai *et al.*, 2008) también en otro trabajo se encontró que indistintamente del tipo de abono la fertilización mejoró el rendimiento de grano del maíz, posiblemente debido a una estimulación de la mineralización de los abonos por la mayor disponibilidad de N y P para la biomasa microbiana, según lo observado con una mezcla de urea y composta en un suelo con bajo contenido de N inorgánico (Kyung-Hwa *et al.*, 2004).

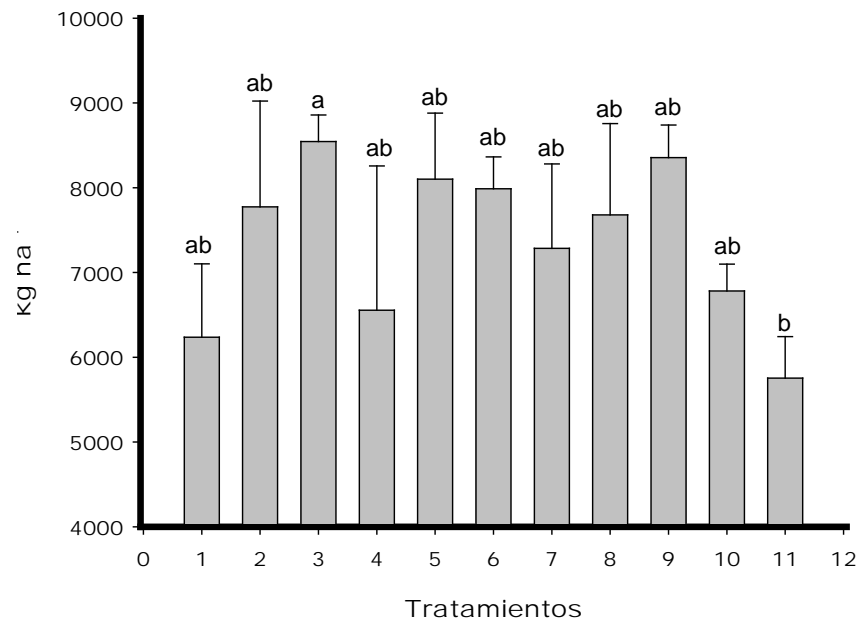


Figura 3. Rendimiento de grano de maíz en función del tratamiento de fertilización. Tratamiento 1 = mn con composta; Tratamiento 2 = mn con vermicomposta; Tratamiento 3 = mn con gallinaza; Tratamiento 4 mn con 50% composta-50% vermicomposta; Tratamiento 5 mn con 50% vermicomposta-50% gallinaza; Tratamiento 6 mn con 50% composta-50% gallinaza; Tratamiento 7 mn con 50% composta-50% químico; Tratamiento 8 mn con 50% vermicomposta-50% químico; Tratamiento 9 mn con 50% composta-50% químico; Tratamiento 10 mn con fertilización mineral (350N) y Tratamientos 11 mn sin fertilización. Los valores con la misma letra no son estadísticamente diferentes Tukey,  $\alpha=0.05$ . mn= Maíz nativo

#### 4.3.2 Maíz híbrido

Una vez implantado el proyecto y habiéndose desarrollado al cien por ciento, se tomaron muestras del suelo en donde se adicionaron los tratamientos para analizar el contenido de N, P y K, arrojando los siguientes resultados:



Cuadro 4. Contenido de N, P y K (suelo), en los tratamientos utilizados para evaluar el comportamiento de maíz híbrido.

Tratamiento	N %	P	K
		kg ha <sup>-1</sup>	
1	1.40	504	1600
2	0.80	900	1500
3	2.02	392	2370
4	2.40	1100	1050
5	1.60	504	1204
6	1.40	504	2062
7	1.00	282	1085
8	1.20	226	2370
9	2.40	282	1610
10	1.80	157	1400
11	0.28	140	610

#### 4.3.2.1 Tasa de descomposición de los productos orgánicos aplicados al 100%.

En los productos orgánicos aplicados en los tratamientos en maíz híbrido la biomasa remanente, se comportó de similar manera que en el maíz nativo, como se observa en la Figura 4, no existió diferencia significativa entre los tratamientos a excepción de los 30 días de incubación, sufriendo un cambio muy significativo en los primeros dos muestreos en relación a los demás; estos procesos pueden variar en duración de semanas a meses (Aira *et al.*, 2005). y Salgado, 1999 los suelos Vertisoles presentan a capacidad de campo (CC) una humedad de 32% y un punto de marchitez permanente (PMP) de 20%, estas características pueden reducir la tasa de descomposición y liberación de N. del tercer al quinto muestreo. Se observa como el tratamiento tres en donde se le aplico gallinaza supera a los otros dos en relación de la biomasa remanente excepto en el cuarto muestreo donde fue superado por el tratamiento dos en donde se aplicó vermicomposta, se observa como la biomasa

remanente va en decremento hasta llegar al quinto muestreo en igualdad de condiciones en los tres diferentes tratamientos, cuyos valores fueron para el T1=  $1.05\pm 0.27$ ,  $0.48\pm 0.5$ ,  $0.37\pm 0.1$ ,  $0.37\pm 0.03$  y  $0.43\pm 0.11$ ; T2=  $0.96\pm 0.06$ ,  $0.94\pm 0.05$ ,  $0.56\pm 0.1$ ,  $0.6\pm 0.12$  y  $0.47\pm 0.1$ ; T3=  $1.72\pm 0.33$ ,  $1.1\pm 0.06$ ,  $0.68\pm 0.03$ ,  $0.57\pm 0.03$  y  $0.48\pm 0.01$  en los cinco muestreos (15, 30, 50, 70 y 90 días). El producto orgánico que menos biomasa remanente presento fue en el tratamiento uno en donde se le adiciono composta como nutrición, debido a la materia orgánica de 2.1 y el pH de 7.67 lo cual es considerado como bajos como lo han demostrado IGAC y Cenicaña, 2005) así como (Roca *et al.*, 2008) que dicen que en general, los valores obtenidos de M.O., pH y C.I.C. favorecen la capacidad del suelo de almacenar nutrientes y son buenos indicadores de la salud y fertilidad de los suelos.

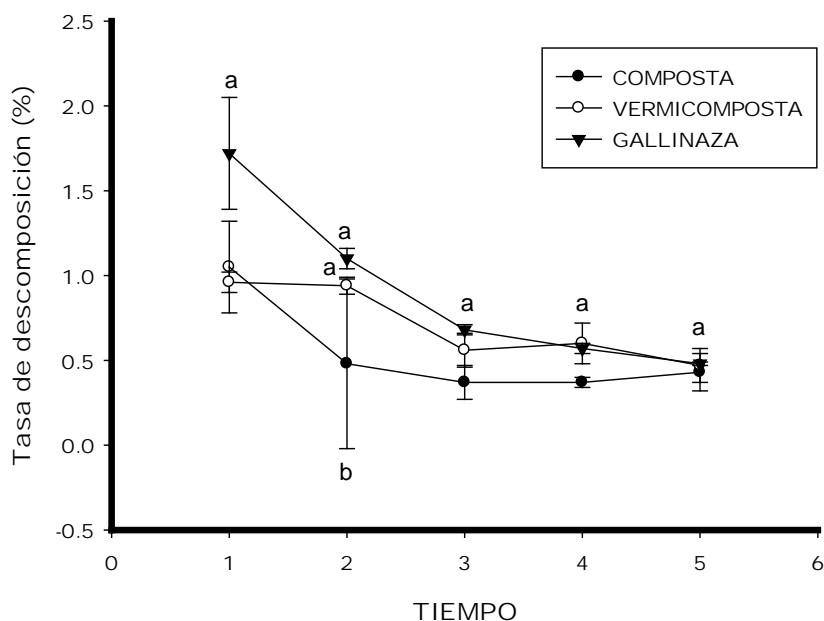


Figura 4. Tasa de descomposición de los productos orgánicos aplicados al suelo, en función del tratamiento de fertilización. Tratamiento 1 = Con composta; Tratamiento 2 = con vermicomposta y Tratamiento 3= con gallinaza. Los valores con la misma letra no son estadísticamente diferentes según la prueba de Tukey.

#### 4.3.2.2 Liberación de CO<sub>2</sub> en el suelo

La liberación de CO<sub>2</sub> en el suelo de acuerdo a los tratamientos en donde se fertilizo el maíz híbrido con productos orgánicos (composta, vermicomposta y gallinaza), se comportó de la siguiente manera como se puede observar en la Figura 5: Vemos como en el caso de los tratamientos con el 100% de productos orgánicos fluctuó entre el 15.00±1.50 y el 82.10±58.20 mg de CO<sub>2</sub>, liberando el primer día 40.30±17.00, 28.60±4.40 y 58.30±18.70 para concluir con 20.90±6.10, 13.20±1.20 y 35.20±17.60 en el día final del análisis respectivamente los tratamientos 1, 2 y 3, durante los diez días que duro el análisis liberaron 329.4 mg la composta, 241.4 mg la vermicomposta y 323.1 mg la gallinaza, siendo la composta la que libero más CO<sub>2</sub> en todo el tiempo, coincidiendo con los resultados encontrados por (Contreras *et al.*, 2006) quienes incubaron diferentes materiales y obtuvieron que la gallinaza y el estiércol de caprino muestran una mejor respuesta en lo que a la activación de los microorganismos del suelo se refiere, así mismo vemos como en los días 2, 5, 6, 7 y 10 la gallinaza supero a los otros dos productos; en relación de los productos orgánicos mezclados en una relación de 50 y 50 %, liberando más CO<sub>2</sub> la mezcla de composta-gallinaza, (Acosta *et al.*, 2006), encontraron que para la liberación de CO<sub>2</sub> de compostas elaboradas de estiércol de chivo, indican un decaimiento en los valores obtenidos diariamente; en relación a las mezclas de 50% de productos orgánicos con 50% químicos la liberación fue entre el 11.30±2.50 y el 39.20±14.30 mg de CO<sub>2</sub>, muy similar a los tratamientos con el 100% químico y el sin fertilizar que liberaron entre el 9.90±1.90 y el 39.60±13.70 respectivamente en la duración del análisis de la liberación de CO<sub>2</sub>.

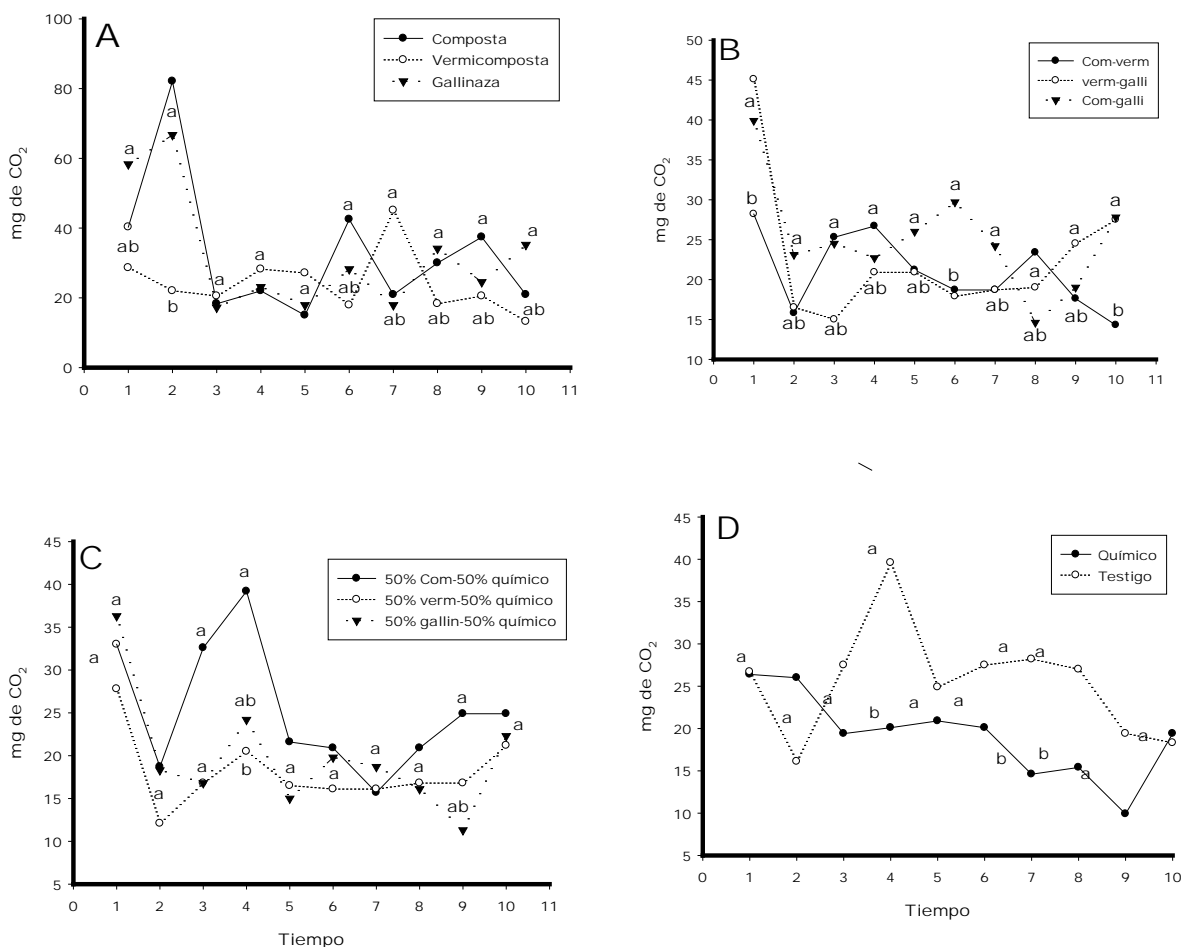


Figura 5 Liberación de CO<sub>2</sub> del suelo, en función de los tratamientos de fertilización del suelo. (A) Tratamientos 1,2 y 3 = Con productos orgánicos 100 %; (B) Tratamientos 4, 5 y 6 = 50 % y 50 % con productos orgánicos; (C) Tratamientos 7, 8 y 9 = 50 % productos orgánicos y 50 % con químicos; (D) Tratamiento 10 = fertilización mineral (350N-120-00K) y el Tratamiento 11 = testigo. Los valores con la misma letra no son estadísticamente diferentes según la prueba de Tukey.

#### 4.3.2.3 Eficiencia agronómica relativa (EAR)

La eficiencia agronómica relativa (EAR) en maíz híbrido se obtuvo a partir de la relación:  $EAR = \frac{\text{rendimiento con fertilización orgánico} - \text{rendimiento del testigo}}{\text{rendimiento con fertilización química} - \text{rendimiento del testigo}} \times 100$ . Como se puede observar en el Cuadro 5 la aplicación de gallinaza en los tratamientos fueron en donde se obtuvo la mejor EAR, 151.99, 124.66 y 108.05 %, en los tratamientos 3, 5,

y 9 respectivamente seguido por el tratamiento 8 en donde se aplicó 50% vermicomposta-50% químico, después el tratamiento 7 en donde se aplicó 50% composta-50% químico, seguido por el tratamiento 6 en donde se aplicó 50% composta-50% gallinaza y el tratamiento 4 en donde se aplicó 50% composta-50% vermicomposta, quedando al final los tratamientos 1, y 2 en donde se aplicó el 100% de composta y vermicomposta respectivamente, la E.A.R. de los tratamientos con los abonos orgánicos, solos o mezclados con químico superaron a los demás tratamientos, no así al tratamiento en donde se adiciono el 100% gallinaza, lo que indica claramente el efecto residual de los abonos orgánicos bajo las condiciones en que se realizó este trabajo de investigación, de los tres abonos orgánicos evaluados la vermicomposta no mostró acción residual como los demás; similar comportamiento tuvo en trabajos anteriores (Aranguibel y Guzmán, 2002) quienes también evaluaron este material y señalan que el producto empleado no reúne las condiciones ideales que refieren algunos autores en cuanto a su calidad y composición (Ferruzzi, 1994), los resultados obtenidos mostraron que el mayor efecto del tratamiento con fertilización orgánica (gallinaza) alcanzó el máximo nivel debido a que los productos químicos de síntesis son sales solubles altamente concentradas, disponibles en forma inmediata para las plantas, pero de corta acción residual y los productos orgánicos se consideran como materiales de lenta liberación que aportan sus nutrimentos a través del tiempo dependiendo de diversos factores como el tipo de material orgánico, sus características, las condiciones biológicas, edáficas y ambientales (Meléndez, 2003), (Vera-Núñez *et al.*, 2012). Cabe destacar que las mezclas utilizadas en este ensayo dieron respuestas bastante aceptables en relación a la acción residual; similares resultados han sido obtenidos en otros trabajos realizados donde se han evaluado mezclas de compostas y fertilizantes químicos (Matheus, 2001, Briceño y Mora, 2003), en los que se ha reafirmado el efecto complementario y positivo del uso de ambos productos.

Cuadro 5. Eficiencia agronómica relativa (EAR) de los tratamientos orgánicos evaluados en maíz híbrido

Tratamientos	Descripción	EAR (%)
1	100% composta	44.21
2	100% vermicomposta	28.38
3	100% gallinaza	151.99
4	50% composta-50% vermicomposta	50.23
5	50% vermicomposta-50% gallinaza	124.66
6	50% composta-50% gallinaza	72.77
7	50% composta-50% químico	61.24
8	50% vermocomposta-50% químico	83.45
9	50% gallinaza-50% químico	108.05

#### 4.3.2.4 Contenido de nitrógeno

El contenido de nitrógeno en el maíz híbrido se comportó de igual manera que en el maíz nativo no evidenciando diferencias estadísticas significativas, aunque en más baja concentración ya que en todos los tratamientos se comportó de igual manera, esto mismo encontraron (Flores *et al.*, 2014) quienes en sus resultados mostraron que no hubo un efecto evidente del manejo sobre la concentración de nitrógeno en ninguna de sus formas, ya que las diferencias en concentraciones entre uno y otro manejo no fueron lo suficientemente amplias, no obstante en relación numérica el tratamiento que mejor concentración de nitrógeno presento fu el 3 seguido por el 6 y así sucesivamente los demás, las lecturas de contenido de nitrógeno oxilaron entre el  $0.37 \pm 0.02$  y el  $0.81 \pm 0.13$  %, se debe destacar que los patrones de acumulación de nutrientes pueden ser variables con los diferentes ambientes, condiciones y tipo de

suelo, variedad de cultivo y otras prácticas de manejo como irrigación, fertilización, etc. (Hanway, 1962).

#### **4.3.2.5 Contenido de fósforo en plantas de maíz**

En relación a la concentración de fósforo en las plantas de maíz, se observó que fue muy baja y similar en todos los tratamientos de  $0.22 \pm 0.01$  en el tratamiento 7 en donde se suministró 50 % de composta-50 % de químicos a  $0.40 \pm 0.03$  en el tratamiento 5 en donde se aplicó 50 % vermicomposta-50% gallinaza, Figura 5, es decir, no hubo diferencias significativas entre ellos ( $P > 0.05$ ). Estos resultados coinciden con lo descrito por (Lynch, 2007) la reducida disponibilidad de fósforo (P) en el suelo es uno de los principales factores que limita el crecimiento y rendimiento de los cultivos a nivel mundial, particularmente en los países en donde el acceso al fertilizante es restringido y por lo descrito por (Bayuelo-Jiménez *et al.*, 2011) quienes sugieren que las características radicales de maíz son un factor determinante en la absorción de fósforo y en la expresión de su eficiencia, en etapa de plántula y en posteriores estados del desarrollo.

#### **4.3.2.6 Contenido de potasio en plantas de maíz**

La concentración del potasio se puede observar como sigue: el tratamiento que más contenido de potasio presento fue el 1 con  $1.86 \pm 0.16$  % en donde se aplicó 100% de composta, seguido por el tratamiento 4 en donde se le adiciono 50% composta-50 % vermicomposta con  $1.79 \pm 0.12$  % y el tratamiento 9 en donde se aplicó 50% gallinaza-50% químico con  $1.71 \pm 0.06$  %, declinando los demás tratamientos, En el estadio de llenado del grano o del desarrollo de las plantas, la absorción de K disminuye en cultivos como soja, maíz, trigo ó arroz (Kafkafi y Xu, 1999). La mayor parte del K total contenido en la parte aérea de plantas de maíz fue al comienzo de la etapa reproductiva (Jordan *et al.*, 1950; Hanway, 1962; Gething, 1990).

## Rendimiento de grano de maíz

La Figura 6 nos muestra el comportamiento del rendimiento de grano de maíz híbrido en el ciclo vegetativo de este cultivo, sobresaliendo en rendimiento el tratamiento donde se adiciono el producto orgánico gallinaza (100%) con una producción de  $253.99 \pm 18.05$  g/10 plantas, seguido por el tratamiento 5 en donde se utilizó 50% vermicomposta-50% gallinaza con un rendimiento de  $226.76 \pm 18.05$  g/10 plantas, acercándoseles en rendimiento el tratamiento compuesto por 50% gallinaza-50% químico con  $210.21 \pm 18.05$ g/10 plantas así mismo vemos como continua el descenso en producción de los demás tratamientos analizados, mostrando que el producto orgánico gallinaza fue el que influyo más para producir mejor en esta investigación, existiendo una diferencia significativa entre el tratamiento 3 y los demás, esto mismo describen (Cruz-Flores *et al.*, 2005) que encontraron que la disminución de la actividad de la fosfatasa puede relacionarse con el desarrollo fisiológico de la planta y el aumento del suministro de P de las fuentes orgánicas e inorgánicas y se ha mostrado que la aplicación de materia orgánica incrementa la actividad de fosfatasa alcalina debido a una estimulación de la actividad microbiana (Purakayastha *et al.*, 2006), y por una mayor diversidad de bacterias (Sakurai *et al.*, 2008) también en otro trabajo se encontró que indistintamente del tipo de abono la fertilización mejoró el rendimiento de grano del maíz, posiblemente debido a una estimulación de la mineralización de los abonos por la mayor disponibilidad de N y P para la biomasa microbiana, según lo observado con una mezcla de urea y composta en un suelo con bajo contenido de N inorgánico (Kyung-Hwa *et al.*, 2004).



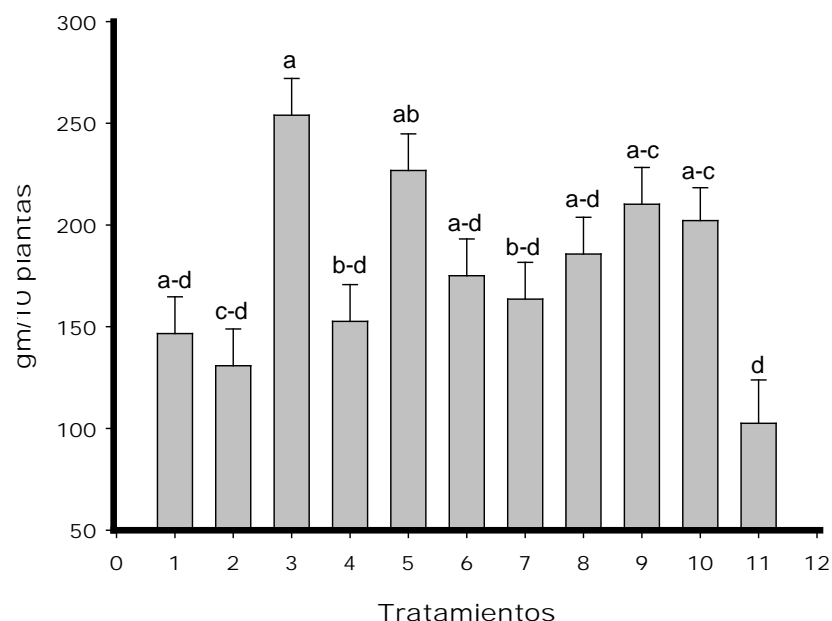


Figura 6. Rendimiento de grano de maíz en función del tratamiento de fertilización. Tratamiento 1 = mh con composta; Tratamiento 2 = mh con vermicomposta; Tratamiento 3 = mh con gallinaza; Tratamiento 4 mh con 50% composta-50% vermicomposta; Tratamiento 5 mh con 50% vermicomposta-50% gallinaza; Tratamiento 6 mh con 50% composta-50% gallinaza; Tratamiento 7 mh con 50% composta-50% químico; Tratamiento 8 mh con 50% vermicomposta-50% químico; Tratamiento 9 mh con 50% composta-50% químico; Tratamiento 10 mh con fertilización mineral (350N) y Tratamientos 11 mh sin fertilización. Los valores con la misma letra no son estadísticamente diferentes Tukey,  $\alpha=0.05$ . mh= Maíz híbrido

## CAPITULO V: DISCUSIÓN GENERAL

### 5.1 Discusión general

El maíz es considerado uno de los cultivos más representativos e importantes en México ya que es consumido en diferentes derivados (INTA, 1999). Algunas variedades de maíz criollo y sus parientes silvestres se encuentran incluidas en la lista de especies de interés para la conservación (NOM-059-SEMARNAT-2001) y, en consecuencia son prioridad en la estrategia nacional de la conservación de la agrobiodiversidad, junto con otras especies. En México, el maíz forma parte de nuestra alimentación diaria, es el cultivo de mayor presencia en el país, constituye un insumo para la ganadería y para la obtención de numerosos productos industriales, por lo que, desde el punto de vista alimentario, económico, político y social, es el cultivo agrícola más importante (Polanco y Flores, 2008, SIAP, 1996-2012). En la actualidad, en lo que se refiere a la teoría del origen del maíz (*Zea mays* L.), existen varias hipótesis, por demás rebuscadas y complicadas. A este respecto, es importante hacer notar que un profesor de la Escuela Nacional de Agricultura, Pandurang, 1930, publicó el Boletín de Investigación Núm. 1; Nuevas variedades de maíz, de la Estación Experimental Agrícola, en el que describe al teozintle y, por su cruzamiento con el maíz, llega a obtener la planta llamada por él Teomaíz. Después de varias generaciones filiales, el profesor Pandurang llegó a “fijar una nueva variedad de maíz que da muchas mazorquitas”, y que...“podemos deducir (por este hecho) que este híbrido entre teozintle y maíz, la *Euchlaena mexicana* (es) la planta madre del maíz actual”. En el año 2012, México ocupó el cuarto lugar en producción de maíz en el mundo (FAO, 2014). La importancia del cultivo del maíz a nivel mundial y nacional se debe a la enorme adaptabilidad del cultivo, y a su enorme diversidad genética con que cuenta, actualmente en México se han reportado 59 razas de maíz criollo (Ron Parra, *et. al.*, 2006) las cuales presentan diversas características agromorfológicas que prácticamente le permite al cultivo de maíz crecer en casi cualquier lado. En México en el año de 2012 se sembraron 7' 372, 218.19 hectáreas de maíz, con una producción de 22' 372, 218.19 toneladas (SIAP, 2014). Existen evidencias que la aplicación de abonos orgánicos, son una alternativa de fertilización viable para

alcanzar niveles de calidad óptimos y sin contaminar el ambiente. Una alternativa para disminuir los costos y la dependencia de fertilizantes sintéticos, es la utilización de algunos materiales orgánicos como la vermicomposta (Pant *et al.*, 2009; Preciado *et al.*, 2011), el cual puede ser aplicado en sistemas de riego presurizado (Shrestha *et al.*, 2012).

Los resultados obtenidos en los capítulos II y III, se observó que el patrón de emisión de CO<sub>2</sub> del suelo fue similar al de descomposición de la vermicomposta aplicada al suelo, el cual correspondió con la mayor tasa de descomposición de la vermicomposta, el tratamiento T2 de fertilización orgánica presentó mayor liberación de CO<sub>2</sub> que en el T5 en todo el periodo de incubación y la tasa de descomposición de la vermicomposta fue mayor a partir del segundo periodo de incubación. La tasa de descomposición de la vermicomposta en el suelo observada sugiere que durante el tiempo de su incubación liberó nutrientes que fueron aprovechados para la nutrición de las plantas de maíz criollo, mismos que sirvieron como complemento a la fertilización reducida de N, P y K aplicada, y así producir un rendimiento de grano aceptable respecto al rendimiento del maíz híbrido.

Los resultados de este trabajo arrojan que es factible utilizar vermicomposta y supermagro en conjunto con fertilización reducida en un 65 % (122.5N-42P-00K), para lograr aceptable producción de grano de maíz criollo nativo de Sinaloa, México, y lo que es mejor se cuidó el medio ambiente al utilizar los productos orgánicos para no contaminar el suelo.

Respecto a los resultados del IV, al adicionar composta, vermicomposta y gallinaza a los tratamientos y de acuerdo a lo observado en el proyecto de investigación, el mejor producto orgánico para obtener buen rendimiento de grano de maíz nativo o híbrido es la gallinaza seguida por la vermicomposta mezclada con gallinaza, así como, la gallinaza mezclada con los fertilizantes minerales de síntesis, ya que en estos tratamientos en donde se adicionaron estos productos, el rendimiento de grano de maíz nativo fueron mejor e igual y en el híbrido fue mayor que lo obtenido en el tratamiento en donde se adicionaron los fertilizantes químicos inorgánicos, esto mismo describen (Cruz-Flores *et al.*, 2005) que encontraron que la disminución de la actividad de la fosfatasa puede relacionarse con el desarrollo fisiológico de la planta

y el aumento del suministro de P de las fuentes orgánicas e inorgánicas y se ha mostrado que la aplicación de materia orgánica incrementa la actividad de fosfatasa alcalina debido a una estimulación de la actividad microbiana (Purakayastha *et al.*, 2006), y por una mayor diversidad de bacterias (Sakurai *et al.*, 2008), así también al utilizar estos productos se mejoró la eficiencia agronómica relativa (EAR), una muy buena liberación de CO<sub>2</sub> y buen contenido de nitrógeno, fósforo y potasio los cuales se comportaron de igual manera tanto en maíz nativo como en el híbrido al no presentar diferencia estadística significativa entre los tratamientos. En relación a las variables LPD= Longitud de pedúnculo, HIL= Hileras de mazorca, LOM= Longitud de mazorca, DIM= Diámetro de mazorca, PO= Peso de olote, V100G= Volumen de 100 granos, P100G= Peso de 100 granos y RG= Rendimiento de grano, se comportaron de forma diferente en cada tratamiento coincidiendo estos resultados con los encontrados por Leyva, 2009 y Sánchez-Peña *et al.*, 2008.

Como sugerencia, se hace necesario la continuidad de estas investigaciones en relación al estudio de producción con productos orgánicos, para depender menos de los productos minerales de síntesis, produciendo productos libres de contaminantes y protegiendo el medio ambiente que es lo que heredaremos a nuestras futuras generaciones.

## LITERATURA CITADA

- Acosta, Y., J. Cayama, E. Gómez, N. Reyes, D. Rojas y H. García. 2006. Respiración microbiana y prueba de fitotoxicidad en el proceso de compostaje de una mezcla de residuos orgánicos. *Multiciencias* 6: 220-227.
- Aira, M., Monroy, F. & Dominguez, J. (2005). Ageing effects on nitrogen dynamics and enzyme activities in casts of *Aporrectodea caliginosa* (Lumbricidae). *Pedobiologia* 49:467-473.
- Aranguibel, M. y Guzmán, I. 2002. Efecto residual del vermicompost en plantas de maíz (*Zea mays* L.) a nivel de macetas. Trabajo de grado en Tecnología Superior Agrícola. Departamento de Ciencias. Agrarias. Núcleo "Rafael Rangel". Universidad de los Andes. Trujillo. Venezuela. 52 p.
- Bayuelo-Jiménez J S, V A Pérez-Decelis, M L Magdaleno-Armas, M Gallardo-Valdéz, I Ochoa, J P Lynch (2011) Genetic variation for root traits of maize (*Zea mays* L.) from Purhepecha Plateau, under contrasting phosphorus availability. *Field Crops Res.* 121:350-362.
- Briceño, B. Mora, J. 2003. Acción residual de uso de Biofertilizante La Pastora, en maíz (*Zea mays* L.) como planta indicadora. Trabajo de grado en Tecnología Superior Agrícola. Departamento de Ciencias Agrarias. Núcleo "Rafael Rangel". Universidad de los Andes. Trujillo. Venezuela. 68 P.
- Contreras, F., J. Paolini y C. Rivero. 2006. Efecto de la adición de enmiendas orgánicas sobre la cinética de la mineralización del carbono en suelos del municipio Rivas Dávila, estado Mérida, Venezuela. *Rev. Fac. Agron. (Maracay)* 31: 37-52.
- Cruz-Flores, G., D. Flores-Román, G. Alcantar-González, y A. Trinidad-Santos. 2005. Fosfatasa ácida, nitrato reductasa, glutamina sintetasa y eficiencia de uso de fósforo y nitrógeno en cereales. *Terra Latinoamericana* 23: 457-468.
- FAO. 2015. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Estadísticas de maíz. Disponible [En Línea] en: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>. Consultado en Marzo de 2015.
- Ferruzzi, C. 1994. Manual de Lombricultura. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 138 p.
- Flores, M.J.P., B. Corral D., P. Osuna A., J. Torres P., J. Valero G. y A.I. Flores A. 2014. *Division III, Aprovechamiento del Recurso Suelo*. Pp.1-223, **In** Memoria

del XXXIX Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, 19 al 24 Octubre de 2014. Ciudad Juárez, Chihuahua. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Ciudad Juárez, Chihuahua, México.

Gething, P.A. 1990. Potassium and water relationships. *In*: Potash facts. IPI, Bern.

Hanway, J.J. 1962. Corn growth and composition in relation to soil fertility: 11. Uptake of N, P, and K and their distribution in different plant parts during the growing season. *Agron. J.* 54: 217-222.

IGAC y Cenicaña, 2005. Estudio detallado de suelos y capacidad de uso de las tierras sembradas con caña de azúcar en el Valle Geográfico del Río Cauca. Bogotá, D. C. Colombia.

Instituto Nicaragunse de Tecnología Agropecuaria. INTA 1999. Informe técnico anual 1999 - 2000. Programa Granos Básicos CNIA – INTA.

Jordan, H.V.; Laird, K.D. and Ferguson, D.D. 1950. Growth rates and nutrient uptake by corn in a fertilizer-spacing experiment. *Agron. J.* 42: 361-268.

Kafkafi, U. and Xu, G.H. 1999. Potassium nutrition for high crop yields. *In*: Frontiers in potassium nutrition: new perspectives on the effects of potassium on physiology of plants (D. M. Oosterhuis, and G. Berkowitz, eds.). 133-142: PPI/PPIC, Georgia, USA.

Kyung-Hwa, H., C. Woo-Jung, H. Gwang-Hyun, Y. Seok-In, Y. Sun-Ho, and R. Hee-Myong. 2004. Urea-nitrogen transformation and compost-nitrogen mineralization in three different soils as affected by the interaction between both nitrogen inputs. *Biol. Fertility Soils* 39:193–199.

Leyva, O. J. F. 2009. Variación de maíces criollos de San Ignacio en el estado de Sinaloa. Tesis Licenciatura. Sinaloa, México: Universidad Autónoma de Sinaloa. 46 p.

Lynch J P (2007) Roots of the second Green Revolution. *Aust. J. Bot.* 55:493-512.

Matheus, J. 2001. Evaluación Agronómica del uso de un biofertilizante en el cultivo del maíz (*Zea mays* L). Trabajo de grado presentado a la Coordinación del Área de Postgrado del Vicerrectorado de Producción Agrícola. Universidad Nacional Experimental de Los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora. Guanare, Portuguesa, Venezuela. 101 p.

- Meléndez, G. 2003. Residuos orgánicos y materia orgánica del suelo. In: Gloria Meléndez y Gabriela Soto (eds.) Taller de abonos orgánicos. Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica. San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica. pp 6 - 31.
- Pandurang, K. 1930. Nuevas variedades de maíz. Bol. Inv. Núm. 1. Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo, Méx. 10 p.
- Pant, A. P., T. J. K. Radovich, N. V. Hue, S. T. Talcott, and K. A. Krenek. 2009. Vermicompost extracts influence growth, mineral nutrients, phytonutrients and antioxidant activity in pakchoi (*Brassica rapa* cv. Bonsai, Chinensis group) grown under vermicompost and chemical fertilizer. J. Sci. Food Agric. 89: 2383-2392.
- Polanco-Jaime, Alejandro y Trinidad Flores Méndez (2008), *Bases para una política de I&D e innovación de la cadena de valor del maíz*, Foro Consultivo y Científico, a.c., México.
- Preciado R., P., M. Fortis H., J. L. García H., E. Rueda P., J. R. Esparza R., A. Lara H., M. A. Segura C. y J. Orozco V. 2011. Evaluación de soluciones nutritivas orgánicas en la producción de tomate en invernadero. Interciencia 36: 689-693.
- Purakayastha, T. J., S. Bhadraray, P. K. Chhonkar, and V. Verma. 2006. Microbial biomass phosphorus and alkaline phosphomonoesterase activity in the rhizosphere of different wheat cultivars as influenced by inorganic phosphorus and farmyard manure. Biol. Fertility Soils 43: 153-161.
- Roca, A.; Paz, A.; y Vidal, E. 2008. Análisis de las propiedades físicas y químicas del suelo tras la adición de compost procedente de RSU. Actas del VIII Congreso SEAE. Murcia. 266 p.
- Salgado GS, Palma LDJ, Cisneros DJ (1999) *Manual de procedimientos para el muestreo del suelos, plantas y aguas e interpretación en cultivos tropicales*. Instituto para el Desarrollo de Sistemas de Producción del Trópico Húmedo de Tabasco, Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Villahermosa, Tabasco. 76 pp.
- Sánchez-Peña, P., López-Valenzuela, J. A., Lugo-Melchor, R., Leyva, O. J. F., Hernández-Verdugo, S., Cauich-Pech, S. O., González-Galindo. R. Villarreal-Romero, M., Parra-Terraza, S., Corrales-Madrid, J. L., Sánchez-Peña, J., Quintero-Arce, J. R., Garzón-Tiznado, J. A., Palacios-Velarde, O., Armenta-Soto, J. L. 2008. Variación fenotípica de maíces nativos del estado de Sinaloa,

- México. Memorias del XI congreso, Internacional en Agrícolas, Mexicali B. C. México. 638-642.
- Sakurai, M., J. Wasaki, Y. Tomizawa, T. Shinano, and M. Osaki. 2008. Analysis of bacterial communities on alkaline phosphatase genes in soil supplied with organic matter. *Soil Sci. Plant Nutr.* 54: 62–71.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera) – SAGARPA. 2015. Situación actual y perspectiva del maíz en México 1996-2012. Disponible [En Línea] en: <http://www.siap.gob.mx>. Consultado en Marzo de 2015.
- Shrestha, K., K. Walsh, and D. Midmore. 2012. Microbially enhanced compost extract: Does it increase solubilisation of minerals and mineralisation of organic matter and thus improve plant nutrition. *J. Biorem. Biodegrad.* 3: 2155-6199.
- Silvana, A.; Wagner, B. & Carlos, C. (2005) Effect of sewage sludge on microbial biomass, basal respiration, metabolic quotient and soil enzymatic activity. *Appl Soil Ecol* 30:65–77.
- Ron P J, Sánchez J, Jiménez A, Carrera J, Martín J, Morales M, De la Cruz L., Hurtado S, Mena S, Rodríguez J (2006). *Maíces Nativos del Occidente de México*. I. Colectas 2004.
- Vera-Nuñez, J. A., Grageda-Cabrera, O. A., Ávila-Miranda, M. E. Castellanos-Ramos, J. Z., Escalante-García, J.I., Gorokovsky, A., Peña-Cabriales, J. J. 2012. Fertilizantes de solubilidad controlada en el cultivo de trigo en el Bajío: Balance de N. *Terra Latinoamericana*, 30(2): 121-127.





