



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias

**Evaluación de fertilizantes orgánicos y
químicos en maíz dulce (*Zea mays* L.)**

Tesis

que para obtener el grado de

**Maestra en Ciencias en Biosistemática y
Manejo de Recursos Naturales y Agrícolas**

Presenta

Ivone Alemán de la Torre

Zapopan, Jalisco

Mayo de 2016



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias

**Evaluación de fertilizantes orgánicos y
químicos en maíz dulce (*Zea mays* L.)**

Tesis

que para obtener el grado de

**Maestra en Ciencias en Biosistemática y Manejo de
Recursos Naturales y Agrícolas**

Presenta

Ivone Alemán de la Torre

DIRECTOR

Dr. José Ron Parra

Zapopan, Jalisco

Mayo de 2016



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias

TITULO:

Evaluación de fertilizantes orgánicos y químicos en maíz dulce (*Zea mays* L.)

Por

Ivone Alemán de la Torre

Maestría en Ciencias en Biosistemática y Manejo de Recursos
Naturales y Agrícolas

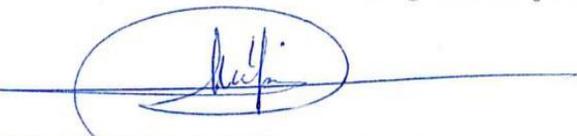
Aprobado por:


Dr. José Ron Parra
Director de Tesis e integrante del jurado

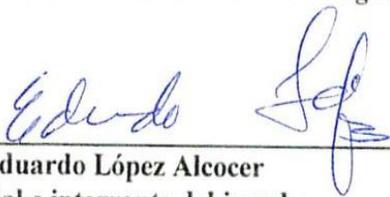
ABRIL 7, 2016
Fecha


Dr. Diego Raymundo González Eguiarte
Asesor del Comité Particular e integrante del jurado

26/04/2016
Fecha


Dr. Rogelio Lépez Ildelfonso
Asesor del Comité Particular e integrante del jurado

26/04/2016
Fecha


Dr. Eduardo López Alcocer
Sinodal e integrante del jurado

26/04/2016
Fecha


Dra. Patricia Zarazúa Villaseñor
Sinodal e integrante del jurado

26/04/2016
Fecha

AGRADECIMIENTOS

- ✓ Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo otorgado para realizar mis estudios de posgrado.
- ✓ A la Universidad de Guadalajara, en especial al Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias por darme la oportunidad de cursar un posgrado de calidad, y fortalecer mi formación académica.
- ✓ Un profundo agradecimiento al Dr. José Ron Parra, por guiarme y brindarme su experiencia, confianza y tiempo para la realización de este trabajo.
- ✓ A mis asesores: Dr. Diego Raymundo González Eguiarte y Dr. Rogelio Lépiz Ildefonso, por su apoyo y participación en este trabajo de investigación, con su ayuda y consejos pude concluir esta etapa, mi más sincero agradecimiento.
- ✓ Al Dr. Eduardo López Alcocer por la orientación brindada, apoyo y sus valiosas aportaciones a este proyecto.
- ✓ A la Dra. Paty Zarazúa, por su apoyo y tiempo para la conclusión de este ciclo.
- ✓ A todos mis profesores de esta Maestría en Biosistemática y Manejo de Recursos Naturales y Agrícolas, por sus enseñanzas recibidas.
- ✓ A mi familia, en especial a mi hermana Lau, por su apoyo durante mis estudios.
- ✓ A mis compañeros y amigos del CUCBA: Gaby, Gloria, Isidro, Irma, Pedro y Chuy.

DEDICATORIA

A mis papás, su amor, cariño, apoyo, enseñanzas, tiempo, dedicación, cuidados, ellos han hecho mucho de quien soy ahora. Incondicionales siempre.

A mi Leo, mi luz y el amor de mi vida.

A mis hermanas Lau y Deni.

Y a tantas personas que han sido parte importante de mi existencia.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	iii
ÍNDICE DE CUADROS	iv
RESUMEN	5
ABSTRACT	6
I INTRODUCCIÓN	7
1.1 OBJETIVO GENERAL	10
1.1.1 Objetivos específicos:	10
1.2 HIPÓTESIS	10
II REVISIÓN DE LITERATURA	11
2.1 MAÍZ (<i>Zea mays</i> L.)	11
2.1.1 Origen, domesticación y distribución geográfica del maíz	11
2.1.2 Usos del maíz	13
2.2 MAÍZ DULCE (<i>Zea mays</i> L. <i>saccharata</i>)	13
2.2.1 Características y propiedades del maíz dulce	14
2.2.2 Clasificación del maíz dulce	15
2.2.3 Ciclo del cultivo de maíz dulce y Grados Brix	16
2.2.4 Usos del maíz dulce	17
2.2.5 Razas de maíz dulce en México	18
2.2.5.1 Raza Dulcillo del Noroeste	18
2.2.5.2 Raza de Maíz Dulce	19
2.2.6 Importancia económica del maíz dulce en México	22
2.3 ELEMENTOS NUTRICIONALES DEL SUELO	22
2.3.1 El suelo como fuente de nutrientes	23
2.4 FERTILIZACIÓN DE LA PLANTA DE MAÍZ	24
2.4.1 Fertilización a través del tiempo	24
2.4.2 Agricultura inorgánica	26
2.4.3 Agricultura orgánica	27
2.4.3.1 Panorama internacional y el maíz en la agricultura orgánica	28
2.5 FERTILIZANTES EN EL MERCADO	29
2.5.1 Fertilizantes químicos	30

2.5.2 Abonos orgánicos	31
2.5.3 Vermiabono.....	33
2.5.4 Biofertilizantes	34
2.5.5 Abonos verdes.....	36
2.6 IMPORTANCIA DE LA CALIDAD DEL SUELO Y CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA PARA LA FERTILIZACIÓN.....	37
2.6.1 Influencia del pH para el cultivo y el aprovechamiento de fertilizantes.....	40
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	42
3.1 Tratamientos de fertilización	42
3.2 Variedad de maíz dulce	47
3.3 Diseño experimental	47
3.4 Ambientes de evaluación y su descripción	47
3.5 Manejo experimental.....	48
3.6 Variables estudiadas	48
3.7 Análisis estadístico	51
3.8 Análisis de suelo	52
3.9 Análisis financiero	54
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	55
4.1 Análisis de suelo	55
4.2 Desarrollo de las plantas en suelo MI y MS	57
4.3 Análisis de varianza individuales	59
4.3.1 Suelo MI.....	59
4.3.2 Suelo MS.....	63
4.4 Análisis de varianza combinado	68
4.5 Análisis financiero	77
V. CONCLUSIONES.....	83
VI. LITERATURA CITADA	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de la raza de maíz Dulcillo del Noroeste en México, CONABIO, 2015	18
Figura 2. Distribución de la raza de maíz Dulce en México, CONABIO, 2015.	20
Figura 3. Medias de altura de planta en ocho tratamientos de fertilización y su interacción en dos ambientes	70
Figura 4. Medias de altura de mazorca en ocho tratamientos de fertilización y su interacción en dos ambientes	70
Figura 5. Medias de acame de raíz en ocho tratamientos de fertilización y su interacción en dos ambientes	71
Figura 6. Medias de peso de elote en ocho tratamientos de fertilización y su interacción en dos ambientes	71
Figura 7. Medias de longitud de elote en ocho tratamientos de fertilización y su interacción en dos ambientes	72
Figura 8. Medias de diámetro de elote en ocho tratamientos de fertilización y su interacción en dos ambientes	72
Figura 9. Medias de peso de elote sin bráctea en ocho tratamientos de fertilización y su interacción en dos ambientes	73
Figura 10. Medias de rendimiento en ocho tratamientos de fertilización y su interacción en dos ambientes	73
Figura 11. Medias de grados Brix en ocho tratamientos de fertilización y su interacción en dos ambientes	74
Figura 12. Medias de calificación de planta en ocho tratamientos de fertilización y su interacción en dos ambientes	74

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Características de los abonos orgánicos comerciales.	44
Cuadro 2. Tratamientos de fertilización y su aplicación en el cultivo de maíz dulce en condiciones de temporal. CUCBA 2013 T.	46
Cuadro 3. Resultados de análisis de suelo por tratamiento en los ambientes MI y MS	55
Cuadro 4. Resultados de análisis de suelo por tratamiento en los ambientes MI y MS	56
Cuadro 5. Parámetros estadísticos de las variables agronómicas y fisiológicas tomadas del análisis de varianza. CUCBA PV 2013. Suelo MI.	59
Cuadro 6. Comparación de medias de variables agronómicas y fisiológicas. CUCBA PV 2013. Suelo MI.	60
Cuadro 7. Comparación de medias de variables agronómicas y fisiológicas. CUCBA PV 2013. Suelo MI	61
Cuadro 8. Comparación de medias de variables agronómicas y fisiológicas. CUCBA PV 2013. Suelo MI	62
Cuadro 9. Parámetros estadísticos de las variables agronómicas y fisiológicas tomadas del análisis de varianza. CUCBA PV 2013. Suelo MS.	64
Cuadro 10. Comparación de medias de variables agronómicas y fisiológicas. CUCBA PV 2013. Suelo MS	65
Cuadro 11. Comparación de medias de variables agronómicas y fisiológicas. CUCBA PV 2013. Suelo MS.	66
Cuadro 12. Comparación de medias de variables agronómicas y fisiológicas. CUCBA PV 2013. Suelo MS	67
Cuadro 13. Parámetros estadísticos de las variables agronómicas y fisiológicas resultado del análisis de varianza combinado	69
Cuadro 14. Comparación de medias de variables agronómicas y fisiológicas. CUCBA PV 2013. Análisis combinado.	76
Cuadro 15. Costo (\$ ha ⁻¹) de tratamientos de fertilización en el año 2015	77
Cuadro 16. Costo (\$ ha ⁻¹) para la aplicación de fertilizantes en el año 2015	80
Cuadro 17. Costo total de tratamientos de fertilización (\$ ha ⁻¹).	81

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la aplicación de fertilizantes orgánicos y químicos en un híbrido experimental de maíz dulce para diferentes características agronómicas y de calidad. El experimento se realizó en el ciclo PV 2013 bajo condiciones de temporal en dos ambientes: suelo con manejo intensivo (MI) y suelo con manejo sustentable (MS), en el municipio de Zapopan, Jalisco; la densidad de población fue de 50 mil plantas ha⁻¹ y ocho tratamientos de fertilización de suelo y foliar. Tratamientos orgánicos: Biofom, Abonasa y Vermiabono Orgánico. Tratamientos combinados: Cosustenta I, Cosustenta II, Vermiabono y como testigos: fertilización química N-P-K (180-46-00) y cero fertilización; el tamaño de parcela fue de 5 surcos de 5 metros de longitud, tomando como parcela útil los tres surcos centrales. El diseño experimental fue bloques completos al azar con cuatro repeticiones y se tomaron 15 variables agronómicas y fisiológicas, así como una calificación por coloración de planta e inundación de la parcela. Se realizaron análisis de suelo antes de la siembra y a la cosecha en cada parcela experimental. El valor promedio de pH fue de 3.96 y 5.0 en los ambientes MI y MS respectivamente. Se detectó interacción entre tratamientos y ambientes en 10 de las 15 variables estudiadas destacando el porcentaje de acame de raíz, el cual tuvo interacción en los tratamientos Cosustenta I, Vermiabono, Vermiabono orgánico y cero fertilización, todos ellos mostraron tendencia a reducir este porcentaje en el suelo MS; mientras que en longitud de elote se detectó interacción en los tratamientos Biofom, Abonasa, Vermiabono y cero fertilización, pero en esta variable las interacciones fueron positivas para el ambiente MI. El rendimiento de grano fue superior 18% en el ambiente MS, favorecido por el pH menos ácido y el mejor aprovechamiento de los fertilizantes, el resto de las interacciones dadas mostraron tendencia a favor de los fertilizantes aplicados en el suelo MS. El tratamiento de fertilización química (180-46-00), fue mejor en rendimiento de grano en el análisis combinado y la aplicación de Biofom 100% orgánico, favoreció al híbrido de maíz dulce en longitud y anchura de elotes y fue el segundo mejor en rendimiento. El tratamiento Vermiabono Orgánico 10 ton ha⁻¹ alcanzó un rendimiento similar al testigo químico y al Biofom, pero resultó el de costos más altos. No obstante, el mayor costo de los abonos orgánicos, se sugiere su utilización por los beneficios que aportan a mediano y largo plazo para mantener las características favorables de un suelo fértil.

ABSTRACT

The research aimed to evaluate the effect of the application of organic and chemical fertilizers in an experimental hybrid sweet corn for different agronomic and quality characteristics. The experiment was conducted in spring summer 2013 cycle under rainfed conditions in two environments: soil with intensive management (MI) and soil with sustainable management (MS), in the municipality of Zapopan, Jalisco; population density was 50 000 plants ha⁻¹ and eight treatments of soil and foliar fertilization. Organic treatments: Biofom, Abonasa and Organic vermicomposting. Combined treatments: Cosustenta I, Cosustenta II, vermicomposting and as witnesses: chemical fertilizer N-P-K (180-46-00) and zero fertilization; plot size was 5 rows of 5 meters long, taking as useful plot the three central rows. The experimental design was randomized complete block with four replications and 15 agronomic and physiological variables, as well as a color rating of plant and flooding of the plot were taken. Soil analyzes were performed before planting and harvest in each experimental plot. The average pH value was 3.96 and 5.0 in the MI and MS respectively environments. Interaction between treatments and environments was detected in 10 of the 15 variables studied highlighting the percentage of root lodging, which had interaction in Cosustenta I, Vermicomposting, Organic vermicomposting and zero fertilization treatments, all they tended to reduce this percentage in the MS soil; while corn interaction length was detected in Biofom, Abonasa, and zero vermicomposting fertilization treatments but this variable interactions were positive for MI environment. Grain yield was higher than 18% in the MS environment, favored by the pH less acidic and better use of fertilizers, other interactions given showed in favor of fertilizers applied to the soil MS. Treatment of chemical fertilization (180-46-00), was better in grain yield in the combined analysis and application of Biofom 100% organic, favored the hybrid sweet corn in length and width of corn and was the second best in grain yield. The vermicomposting organic treatment 10 ton ha⁻¹ reached similar performance to chemical control and Biofom, but it turned out the higher costs. However, the higher cost of organic fertilizers, use by the benefits in the medium and long term to maintain the favorable characteristics of fertile soil is suggested.

I INTRODUCCIÓN

En México el maíz es de importancia económica, social y cultural. Ocupa el primer lugar en superficie cosechada con casi 8 millones de hectáreas, siendo Sinaloa, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Chiapas, Guanajuato, Veracruz y Guerrero los ocho estados que más aportan con el 70.28 % del total de la producción nacional (SIAP, 2015). El consumo *per cápita* es de 180 kg año⁻¹ y es la fuente principal de carbohidratos y proteínas de la población con bajos recursos económicos. Además del valor alimenticio que tiene el maíz como grano, es importante como forraje para el ganado; en la industria se le utiliza para la extracción de aceite, almidón, harina, ceras, pigmentos y otros subproductos; recientemente se está usando para producir etanol (biocombustible) (Ramírez *et al.*, 2004).

Jalisco es el segundo productor de maíz a nivel nacional, en 2013 se cosecharon más de 750 mil hectáreas y la producción rebasó los 3.4 millones de toneladas, aportando el 14.5 % del total nacional; así mismo, ocupa el primer lugar en producción en condiciones de temporal (SIAP, 2015).

En México la mayor demanda es maíz blanco, amarillo y pozolero, seguido del maíz para forraje verde y en menor cantidad para elote. Para la producción de elote se utilizan maíces de grano normal y los de grano dulce, siendo los estados de Sinaloa y Sonora los que producen la mayor cantidad de éste último. En el año 2013, el volumen de producción de maíz dulce fue de 44,817.76 t y el valor rebasó los 26 millones de dólares; es importante señalar que casi el 100% de esta producción es para exportar a otros países, principalmente a Estados Unidos de América, ya sea en elote fresco o industrializado (SAGARPA, 2014).

En general, la demanda de alimentos por parte de la población en continua expansión ha incrementado la explotación de recursos naturales por parte del sector agrícola. Por lo tanto, el reto de la agricultura está en satisfacer esta demanda de alimentos que deben ser obtenidos en una superficie cada vez menor por la invasión del crecimiento urbano y degradación de los recursos naturales; para lograr esto, se ha recurrido a la aplicación indiscriminada de

fertilizantes químicos para proporcionar a la planta los nutrientes necesarios al cultivo y alcanzar altos niveles de producción.

Por otra parte, el uso excesivo de estos productos ha ocasionado una degradación del suelo, modificando niveles de pH y la disminución de nutrientes disponibles, lo que afecta los rendimientos de maíz esperados. Por esta problemática, existe un interés creciente en modificar el manejo agronómico en relación al tipo de fertilizantes utilizados, esta tendencia va encaminada a disminuir el uso de fertilizantes químicos y aumentar el uso de biofertilizantes y abonos orgánicos, ya que se ha comprobado que generan un efecto positivo (Lamas *et al.*, 2003) y que la aplicación de materia orgánica al suelo de forma sistemática es de trascendental importancia para mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del mismo y se puede lograr la sustentabilidad agrícola de los sistemas productivos.

En Michoacán, Tapia *et al.* (2013) comprobaron la eficacia de la nutrición orgánica en la obtención de altos rendimientos de grano en un tratamiento a base de *Azospirillum*, micorrizas y (120-40-00) de NPK con hasta 11.4 t ha⁻¹ de grano, con una producción similar al tratamiento fertilizado (240-80-00) NPK con 13.1 t ha⁻¹ de grano. Establecen también que es factible reducir las dosis de fertilizantes químicos hasta en 120 kg ha⁻¹ de nitrógeno con la adición de fertilizantes orgánicos, sin afectar ni el rendimiento de grano ni la nutrición del maíz de temporal en este estado.

En maíz dulce, Bavec *et al.* (2013) consignan que al aplicar un residuo orgánico vegetal (bagazo de calabaza) como fertilizante, se aportó gran cantidad de nitrógeno al suelo, lo que favoreció al sano desarrollo del cultivo y un alto rendimiento, mismo resultado que con la aplicación de un producto químico a base de nitrógeno de liberación lenta.

Tomando en cuenta el problema del uso excesivo de fertilizantes químicos, considerando que el consumo de elote de maíz dulce en México se ha incrementado en los últimos años y que el 100% de las variedades y de la semilla sembrada en el país es importada, el Centro

Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA) de la Universidad de Guadalajara cuenta con materiales experimentales de grano dulce para su posible liberación y siembra a nivel comercial, es importante orientar su producción orgánica para el mercado creciente de este tipo de maíces en fresco, libres de agroquímicos y dañinos a la salud y medio ambiente, en pro de una agricultura sustentable en beneficio de los suelos y la salud de los humanos.

Considerando también que se ha evaluado y comparado en diferentes partes del mundo el uso de fertilizantes orgánicos e inorgánicos para cultivos y que se han obtenido resultados alentadores, se decidió validar este híbrido de maíz dulce nacional y enfocar su producción a orgánica o sustentable para disminuir el daño ambiental que se genera por el uso de agroquímicos.

1.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de la aplicación de fertilizantes orgánicos y químicos en un híbrido experimental de maíz dulce para diferentes características agronómicas y de calidad.

1.1.1 Objetivos específicos:

Estimar el efecto de la aplicación de fertilizantes orgánicos y químicos en las propiedades químicas del suelo.

Identificar un tratamiento de fertilización orgánica de bajo costo y buen rendimiento para la producción de maíz dulce.

1.2 HIPÓTESIS

Los abonos orgánicos y biofertilizantes pueden propiciar niveles de producción comparables a los fertilizantes químicos en el cultivo de maíz, además de mejorar las características físicas y químicas del suelo.

II REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 MAÍZ (*Zea mays* L.)

El maíz ha sido, es y continuará siendo uno de los principales alimentos para la población de México y el mundo, aunque sus usos van más allá del aspecto alimenticio, siendo en la actualidad muy numerosos, forma parte fundamental de la historia cultural del país y actualmente se cultiva prácticamente en todo el territorio mexicano (Ruiz *et al.*, 2013). Así mismo, 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 (Hernández 1971; Polanco y Flores 2008; SIAP 2008; citado por CONABIO, 2015).

2.1.1 Origen, domesticación y distribución geográfica del maíz

México, es el centro de origen y diversidad del maíz, se cree que se originó a partir del teocintle anual *Zea mays ssp. parviglumis*, mediante un evento individual en la región de la Cuenca del Balsas, aunque actualmente es la teoría más aceptada, otras teorías como la multicéntrica del origen del maíz (Kato *et al.*, 2009) propone que fue originado y domesticado en varias regiones entre México y Guatemala, habiéndose determinado cinco centros de domesticación, con base en patrones de distribución muy particulares de algunos nudos específicos localizados en varios cromosomas: 1) mesa central de México, que dio origen al maíz primigenio que se le ha dado el nombre de Complejo Mesa Central; 2) región de altura media en los estados de Morelos, México, Guerrero y sus alrededores, que desarrolló el Complejo Pepitilla; 3) la región centro-norte de Oaxaca que originó el Complejo Tuxpeño; 4) el territorio comprendido entre los estados de Oaxaca y Chiapas, del cual resultó el germoplasma denominado Complejo Zapalote y 5) la región alta de Guatemala, del cual surgió el germoplasma que se denominó Complejo Altos de Guatemala (Kato, 2009). Probablemente ésta teoría es la única que parece explicar adecuadamente cómo pudo evolucionar la gran variación racial, que podría ser considerado como el punto de partida para la dispersión del maíz hacia el resto de la República Mexicana,

de tal forma que ahora se encuentra distribuido prácticamente en todo el territorio nacional (Ruiz *et al.*, 2013).

El proceso de domesticación del maíz inició hace aproximadamente 10,000 años, cuando el hombre se hizo sedentario gracias a la siembra y cosecha de especies de alto valor de consumo, como el maíz, especie que a través de la selección empírica prolongada, se ha transformado en el maíz actual. La selección empírica continúa en el presente con el cultivo y selección que hacen los agricultores año con año en su germoplasma, generando variantes de maíces nativos (o criollos) y sus parientes silvestres los teocintles, en las regiones donde coinciden de manera natural (CONABIO, 2015).

El maíz es una especie vegetal que ha logrado una distribución geográfica amplia; desde los 50° Latitud Norte a 40° Latitud Sur (González, 1984) y se encuentra desde el nivel del mar hasta los 3,400 m de altitud. Su forma, altura de planta, número de hojas, tamaño de grano y forma de la mazorca entre otras características, se deben a la presión selectiva del hombre, la cual interactúa siempre con las presiones naturales del medio físico y biológico (Sánchez *et al.*, 2000).

Es hasta el año de 1750 cuando el maíz recibió de Carlos Linneo su primer nombre científico: *Zea mays*. *Zea* que se deriva del vocablo griego para designar “grano” o “cereal”, y *mays*, sonido de la palabra “maíz” de la lengua castellana. De acuerdo con Sánchez (2011), la clasificación más completa está constituida por 59 razas ordenadas de acuerdo a la similitud de sus características morfológicas, isoenzimáticas y climáticas del sitio de colecta. Anderson y Cutler (1942) (citado por Sánchez, 2011) propusieron la agupación de *Zea mays* L. en razas y variedades de maíz, consideraron caracteres de planta con suficiente estabilidad como número de ramas de la espiga, tamaño de espiguillas masculinas, número de hojas de la mazorca, número de hileras, etc. En total, se definieron siete grupos o razas: Grupo cónico o razas de las partes altas del centro de México, Grupo Sierra de Chihuahua o Razas de las partes altas del norte de México, Grupo de maíces de ocho hileras o Razas del occidente de México, Grupo Chapalote,

Grupo de maíces tropicales precoces o de maduración temprana, Razas del Grupo Dentados Tropicales y Grupo de Madurez Tardía del Sureste de México.

2.1.2 Usos del maíz

A partir de la gran diversidad de razas y variedades de maíz desarrolladas a través de diferentes grupos étnicos, se tiene un gran acervo genético y una gran cantidad de materiales diferenciados para la elaboración de productos en la alimentación humana, cuya producción atiende nichos de mercado muy específicos.

El maíz es valioso culturalmente, ya que es la base principal para una variedad muy grande de alimentos entre los que se encuentran el pozole, tortilla, tostadas, atoles y otros. Las hojas del elote se utilizan para hacer los tamales de elote y de masa de maíz; además con el grano, se elaboran frituras y cereales de caja por mencionar algunos ejemplos. Además del valor alimenticio que tiene el maíz como elote y grano, es importante como forraje para el ganado. Asimismo, del grano se extrae aceite, almidón, harina, ceras, pigmentos y para la producción de etanol (biocombustible) (Ramírez *et al.*, 2004).

2.2 MAÍZ DULCE (*Zea mays L. saccharata*)

Su nombre común o vulgar es maíz dulce, choclo o elote, mientras que su nombre científico o latino es *Zea mays L. var. saccharata*. Pertenece a la Familia: Poáceas (Gramíneas), tiene su origen en América y ya era conocido por pueblos americanos precolombinos; es considerada una de las razas exóticas y la primera publicación que se tiene acerca de este tipo de maíz se debe a Thomas Jefferson en 1810, en su libro de “la Huerta” (Tracy *et al.*, 2006). Llegó a Europa con los primeros viajes de Colón, y fue cultivado a partir de las razas mexicanas hacia las primeras décadas del siglo XVI. A lo largo del siglo XIX el interés por este cultivo de maíz dulce aumentó rápidamente y comenzaron a aparecer numerosas variedades resultado del cruzamiento de maíz dulce con variedades de maíz grano (Ordaz *et al.*, 2007).

Actualmente, se cultivan alrededor de 350,000 ha de maíz dulce en todo el mundo, siendo Estados Unidos de América el productor más importante. Para los climas templados de Europa el maíz dulce se ha convertido en un nuevo cultivo potencial con 73,600 ha cosechadas siendo principalmente Hungría y Francia los mayores productores, el sistema de producción se basa principalmente en sistema de cultivo no orgánico (Van der Westen, 2008; citado por Bavec *et al.*, 2013). En el año 2013 se produjeron en México alrededor de 44,817.76 toneladas (SAGARPA, 2014) y la tendencia muestra un aumento.

2.2.1 Características y propiedades del maíz dulce

La característica principal de calidad de este tipo de maíz es el sabor dulce de sus granos, el cual se debe a los altos niveles de azúcares totales. El alto contenido de azúcares está asociado a la disrupción de la síntesis de almidón en el endospermo, la cual es causada por la expresión de un gen que incrementa el contenido de sacarosa y disminuyen los niveles de almidón (Zhu *et al.*, 1992; Ramírez *et al.*, 2007; citado por Álvarez *et al.*, 2004).

Debido a la presencia de este gen recesivo presente en su genoma, se restringe la conversión de azúcar en almidón durante la etapa de maduración del grano, el maíz dulce logra acumular aproximadamente el doble de azúcar que los híbridos de grano normal (Fauguenbaum, 1991; citado por Aguirre y Fernández, 2001). Las variedades de maíz dulce son más sensibles a estreses abióticos como temperaturas extremas y sequías, o bióticos como malas hierbas y plagas. Generalmente tiene los mismos enemigos naturales y presenta las mismas enfermedades que los cultivares de maíz para grano (Ordaz *et al.*, 2007), es particularmente susceptible a la pudrición del tallo y al acame. El daño causado por los insectos a las mazorcas las hace inaceptables al consumidor, por lo que se debe tener especial cuidado en la producción de este cultivo que no requiere ninguna tecnología nueva. Además es de considerar el tiempo que el cultivo ocupa en el terreno, ya que se cosecha entre 17 y 20 días después de la floración (Anónimo, 2015).

2.2.2 Clasificación del maíz dulce

El maíz dulce, de acuerdo al contenido de azúcar, se clasifica en estándar, intermedio y superdulce. En cuanto a su valor nutritivo, este cultivo se destaca por la notable cantidad de hidratos de carbono que contiene. Aunque no aporta grandes cantidades de vitaminas (en pequeña cantidad provitamina A y folatos), sí es importante su aporte de ciertos minerales tales como el magnesio, el fósforo y el potasio. Se han estudiado 14 tipos de mutantes de endospermo que afectan la síntesis del almidón y la acumulación de azúcar en el grano de maíz a fin de utilizarlas en la obtención de cultivares de maíz dulce. Ocho de esos mutantes han sido usados para el desarrollo de cultivares que han estado o están aún en cultivos comerciales (Boyer y Shannon, 1984; Tracy, 1994; citados por Paliwal, 2001). Sin embargo, los maíces dulces más comúnmente usados están basados en cuatro genes mutantes que se describen a continuación.

Clasificación de maíces dulces reportado por Paliwal, 2001:

Azucarado-1 (su1): tienen granos translúcidos arrugados. Este gen no da lugar a niveles excepcionalmente altos de azúcar y, por lo general, genera mayores niveles de fitoglicógeno o polisacáridos solubles en agua, lo cual confiere al endospermo una textura suave y un color crema de los granos al momento de la cosecha. Actualmente su uso está decreciendo en los ambientes templados ya que se han obtenido tipos de maíz superdulce. En los ambientes tropicales los tipos *su1* pierden calidad rápidamente a causa de la alta temperatura y humedad y además son susceptibles a varias enfermedades. Por lo tanto, este mutante no es considerado adecuado para el desarrollo de cultivares para los ambientes tropicales (Tracy, 1994; Brewbaker, 1996; citado por Paliwal, 2001).

Gen intensificador de azúcar (se): en combinación con el gen *su*, da lugar a muy altos niveles de azúcar, similar a los tipos doble dulces o superdulces. Estos genes *su-se* son usados exclusivamente en ambientes templados; esta combinación no es adecuada para ambientes tropicales por las mismas razones de los tipos anteriores y, más aún, los tipos de azúcar

intensificado son demasiado susceptibles a la pudrición de la mazorca y del grano como para ser cultivados con éxito en los trópicos (Brewbaker, 1996; citado por Paliwal, 2001).

Arrugado-2 (sh2) o *quebradizo-1 (bt1)*: estos tipos de maíces superdulces están siendo cada vez más usados. Tienen granos opacos y arrugados con bajo contenido de almidón. Estos mutantes acumulan azúcares a expensas del almidón y tienen un bajo contenido total de carbohidratos en el momento de la madurez de la semilla. En la actualidad los tipos *arrugado-2* son el segundo tipo más usado de maíz dulce, después de los *su1*, en los ambientes templados. En los tipos *su* el máximo contenido de azúcar ocurre alrededor de 18 a 20 días después de la polinización y, 28 días después de esta, el contenido de azúcar se reduce en 50%; por lo tanto, el período de cosecha y uso es muy limitado. Los tipos *sh2* y *bt1* tienen un alto nivel de sacarosa al momento de cosechar los granos, o sea 18 a 20 días después de la polinización; a los 28 días todavía mantienen el doble del contenido de azúcar de los tipos *su* en el momento de la cosecha que también ocurre a los 18 a 20 días de la polinización. Esto extiende considerablemente el período de cosecha de los tipos *sh2* y *bt1*; ambos tipos son comúnmente usados para la obtención de tipos de maíz dulce en los ambientes tropicales de Hawaii, Estados Unidos de América y Tailandia. Sin embargo, el pobre vigor de la semilla y la consecuente baja germinación son un serio inconveniente para su desarrollo (Boyer y Shannon, 1984; Nelson, 1980; Tracy, 1994; citado por Paliwal, 2001).

2.2.3 Ciclo del cultivo de maíz dulce y Grados Brix

El ciclo de duración del cultivo es de 90 a 120 días y sus elotes deben cosecharse durante la etapa de "leche," cuando los granos están completamente formados pero no completamente maduros. Esta etapa ocurre cerca de 20 días después de la aparición de los primeros estigmas del jilote. Los granos están suaves y redondos y el jugo del grano es lechoso. El maíz dulce permanece en la etapa de leche menos de una semana. Los elotes deben comerse, procesarse o refrigerarse tan pronto como sea posible. Las variedades de maíz dulce tradicionales pueden perder hasta el 50 por ciento de su azúcar dentro de 12 horas después de la cosecha si no se refrigeran. Esto se debe a que el azúcar presente en los granos se transforma en almidón, que no

tiene poder edulcorante (sabor dulce). Esto ocurre si la cosecha se deja en el campo y las mazorcas se recogen demasiado tarde, o si el tiempo de almacenamiento es demasiado prolongado (Anónimo, 2015).

En la agroindustria es importante el contenido de sólidos solubles a la cosecha y se expresa en grados Brix. Esto influye directamente en la calidad de la materia prima y está íntimamente relacionada con la época de cosecha y la rapidez en que se va procesar. Se denomina calidad A, cuando los grados Brix fluctúan entre 24-30 (óptimo); debajo de 24 (inmaduro) es calidad B y sobre 30 (sobremaduro), esta es C y en estos dos últimos casos el precio disminuye. Las mazorcas grado A deben exudar jugo blanco, de apariencia lechosa luego de presionar los granos y éstos deben presentar un sabor dulce característico (Anónimo, 2015).

2.2.4 Usos del maíz dulce

El maíz dulce tiene múltiples usos. En algunas áreas del mundo se usa básicamente como alimento humano. En Estados Unidos, cerca del 85 % de la cosecha es alimento para ganado, ya que su rastrojo es muy apetecido. El principal uso es como verdura fresca de mercado o de huerta en regiones que favorecen su cultivo (Jugenheimer, 1987; citado por Aguirre y Fernández, 2001) y mayormente se encuentra disponible congelado y enlatado.

Específicamente en regiones de México de donde es nativo, se conoce y se consume en diferentes formas de uso y preparación. Por ejemplo, dada la característica del grano de poseer una baja absorción de agua, es suave y dulce, lo hacen apropiado para preparar pinole (harina endulzada hecha de los granos tostados y molidos); esquites (granos de maíz tostados lentamente) y ponteduro, bolas hechas de granos tostados y esponjados unidos con jarabe. También se usa en sopas y caldos como elote fresco (Sánchez *et al.*, 2000). Se considera que por estos usos especiales se ha mantenido su cultivo, aunque en escala limitada (Hernández 1985; Wellhausen *et al.*, 1951; citado por CONABIO, 2015)

2.2.5 Razas de maíz dulce en México

Se han clasificado dos razas de maíz dulce en México: El Dulcillo del Noroeste que pertenece al Grupo Chapalote y el maíz Dulce de Jalisco que pertenece al grupo Cónico o Razas de las partes altas del centro de México y se describen a continuación:

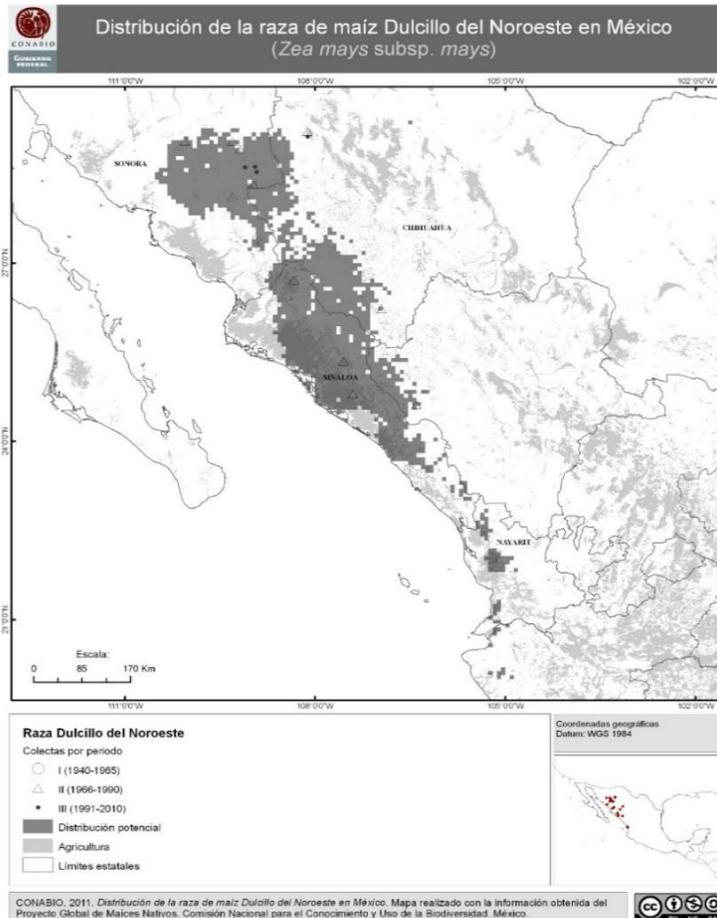


Figura 1. Distribución de la raza de maíz Dulcillo del Noroeste en México. CONABIO, 2015.

Se distribuye en áreas con una precipitación acumulada promedio anual de 520 a

2.2.5.1 Raza Dulcillo del Noroeste

Se encuentra a una latitud desde 21°56'60" a 30°33'0" Latitud Norte y en una longitud desde 106°46'0" a 111°57'0" Longitud Oeste. Se desarrolla a altitudes entre 13 y 2069 msnm (Figura 1). Su área de adaptación es en climas Templado semiárido frío, Subtrópico semirárido templado, Subtrópico semiárido semicálido, Subtrópico árido cálido, Subtrópico semiárido cálido y Trópico semiárido cálido. Su temperatura base es a los 7.5 °C y se desarrolla en un rango de

1466 mm ó con una lluvia acumulada promedio estacional (mayo-octubre) de 397 a 1376 mm (Ruíz *et al.*, 2013).

En 1951, Wellhausen reportó esta raza pero no bien definida, posteriormente Sánchez (1989)(citado por CONABIO), la describe y diferencia por tener mazorcas en forma de “puro” con grano de textura dulce (mencionaba que por su alto contenido de sacarosa, al madurar el grano daban una apariencia rugosa), de coloraciones amarillo y rojo.

Aunque en textura es similar al del centro de México, como su nombre lo dice, se ha encontrado sólo en localidades de estados del noroeste Sonora, Chihuahua, Durango, Sinaloa y Nayarit (Figura 1) principalmente en elevaciones de 70 a 1,000 msnm puesto que este tipo de maíz se adapta primordialmente a las tierras bajas y áridas del trópico aunque se han obtenido muestras hasta los 2,000 msnm. (CONABIO, 2011).Esta raza está poco representada en bancos de germoplasma, y las colectas recientes son escasas, provenientes de comunidades de los municipios de Yécora y Sahuaripa en Sonora y Madera en Chihuahua (CONABIO, 2011). Sánchez *et al.*, (2000) coinciden y mencionan que en todo Sonora se ha encontrado un maíz dulce muy diferente del maíz dulce de Jalisco, por tener mazorcas más largas y granos de menor tamaño y de color amarillo pálido.

Los maíces dulces del noroeste, se adaptan primordialmente a las tierras bajas y áridas del trópico. Wellhausen *et al.*, (1951) sugieren un posible origen de Dulcillo del Noroeste a partir de la hibridación de Dulce y Reventador, hipótesis que se sustenta en la evaluación de sus rasgos morfológicos que lo asocian con las razas del noroeste, específicamente Chapalote y Reventador (Sánchez, 1989 citado por CONABIO, 2011).

2.2.5.2 Raza de Maíz Dulce

Se encuentra a una latitud que va desde los 18° 47' 35" a 29° 7' 60" de latitud Norte. Respecto a la longitud, se encuentra desde los 109° 52' 60" hasta 101° 1' 10" Longitud Oeste. Se desarrolla a altitudes entre 666 y 2638 m, se adapta a los climas: Subtrópico árido templado, Subtrópico

semiárido templado, Subtrópico subhúmedo templado, Subtrópico árido semicálido, Subtrópico semiárido semicálido, Subtrópico semiárido cálido y Trópico semiárido cálido. Su temperatura base es a los 8.0 °C y se desarrolla en un rango de temperatura media anual de 14 a 23 °C y en un intervalo de temperatura media mayo-octubre de 15 a 25 °C. Se distribuye en áreas con una precipitación acumulada promedio anual de 432 a 1223 mm ó con una lluvia acumulada promedio estacional (mayo-octubre) de 375 a 1104 mm (Ruíz *et al.*, 2013).

Esta raza de maíz es de mazorca cónica a semicilíndrica y se caracteriza por sus granos de diferente coloración con alto contenido de sacarosa, lo que les da una apariencia rugosa al secarse, condición por la que se denomina textura de grano “dulce”, que se aplica a otras razas que expresan esta característica (Wellhausen *et al.*, 1951). Se diferencia de la Raza Dulcillo del Noroeste por tener mazorcas menos alargadas y granos más grandes. En México, el maíz dulce se encuentra principalmente en el Estado de Jalisco, Nayarit, norte de

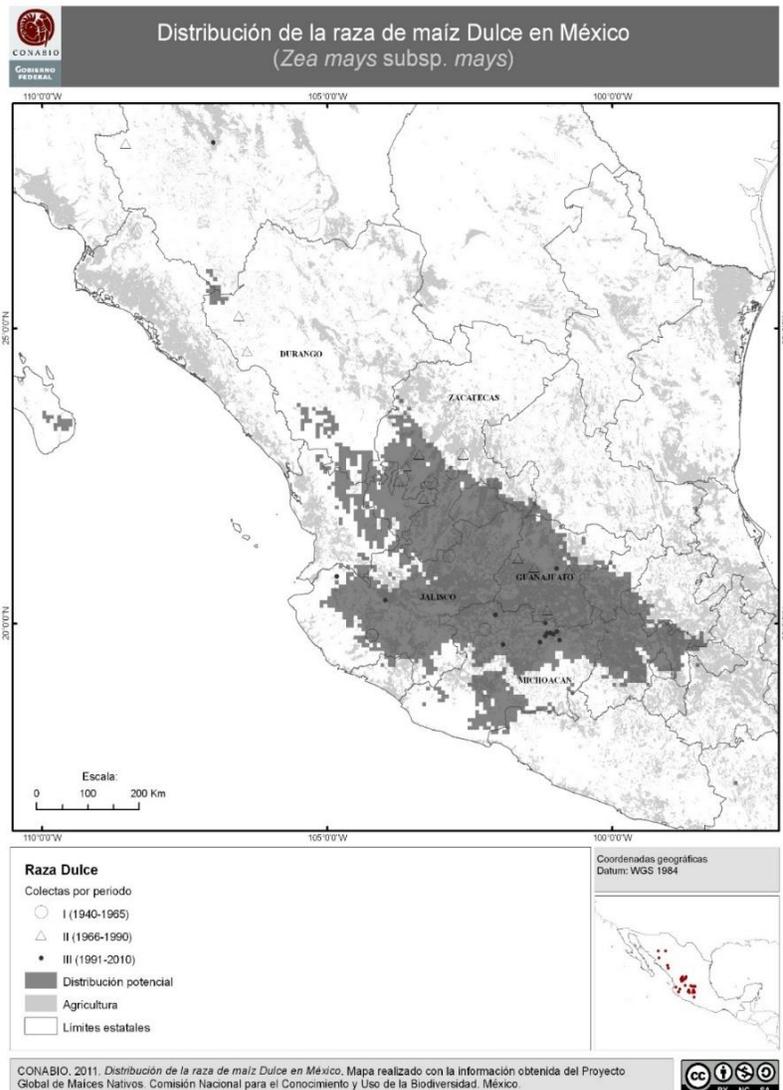


Figura 2. Distribución de la raza de maíz Dulce en México. CONABIO, 2015.

Michoacán y norte de Guanajuato en elevaciones de 1000 a 1,500 metros (Figura 2). Otros puntos donde se ha encontrado, aunque con menor presencia, es en la parte central del norte de Guanajuato y centro de Durango; se han recolectado ciertas modificaciones de esta raza a elevaciones de 100 msnm en Nayarit y Sonora.

La mazorca presenta endospermo azucarado, blanco o amarillo; pericarpio sin color o rojo (Sánchez *et al.*, 2000). Se cultiva en el occidente del país, comúnmente en altitudes de 1,500 a 2,400 m (CONABIO 2011; Ron *et al.*, 1996; Wellhausen *et al.*, 1951; citado por CONABIO, 2015).

Descripción de la raza según Wellhausen *et al.*, (1951):

Estudios han demostrado que es escasa la evidencia de que su influencia se ha extendido hacia otras razas. La planta es de altura mediana, precoz, presenta abundante ahijamiento, número mediano de hojas con anchura y longitud medianas, índice de venación muy elevado, color y pubescencia muy ligero, medianamente susceptible a las razas de chahuixtle que prevalecen en la Mesa Central de México, número de nudos cromosómicos bajo presentando un promedio de 5. Las espigas son largas, con número mediano de ramificaciones dispuestas a lo largo de la cuarta parte de la longitud del raquis central: secundarias comunes y terciarias ausentes, además de un índice de condensación medianamente alto. Presenta mazorcas cortas, anchas, cilíndricas, con ligero adelgazamiento en los dos extremos, cuenta con 14 a 16 hileras, pedúnculo pequeño a mediano, el 50% de las mazorcas presenta color, sus granos son medianamente anchos y longitud mediana, delgados, cuadrados en su cara superior y con superficie arrugada (CONABIO, 2015).

Pocos trabajos se han hecho en el mejoramiento genético de poblaciones de esta raza en México. En otros países, especialmente en Estados Unidos, poblaciones similares de esta raza son la base de variedades eloterías y para sopas, ampliamente cultivadas y consumidas (Ortega *et al.*, 2008).

2.2.6 Importancia económica del maíz dulce en México.

El maíz dulce es importante en México porque casi el total de la producción nacional se exporta hacia otros países, principalmente a Estados Unidos de América, ya sea fresco o industrializado. En el año 2013, el volumen de producción de maíz dulce fue de 44,817.76 t y el valor rebasó los 26 millones de dólares (SAGARPA, 2014). Es importante señalar, que la semilla híbrida (cruzas simples en su mayoría) utilizada es proveniente del mismo país norteamericano, ya que en México pocos trabajos sobre mejoramiento genético se han realizado.

2.3 ELEMENTOS NUTRICIONALES DEL SUELO

Von Liebig en 1840 (citado por García *et al.*, 2009), enunció el siguiente principio: “el rendimiento de la cosecha está determinado por el elemento nutritivo que se encuentra en menor cantidad”. Además, un exceso en cualquier otro nutriente, no puede compensar la deficiencia del elemento nutritivo limitante. Esta Ley pone en evidencia la relación entre los elementos nutritivos y la necesidad de alcanzar un nivel suficiente en cada uno de ellos, para que pueda obtenerse el rendimiento óptimo. Las plantas, para su germinación, crecimiento y reproducción requieren alrededor de 16 elementos nutritivos; de estos, el oxígeno, carbono y el hidrógeno los toma la planta del aire y del agua; mientras que los 13 restantes los toma del suelo. Además, en cada ciclo de cultivo de maíz las plantas extraen del suelo los elementos nutritivos que necesitan para su desarrollo y producción, por lo que si no se restituyen estos al suelo, éste será cada vez más pobre y las cosechas menores (Chuela *et al.*, 2011)

El estado nutricional de la planta es determinante para la producción de biomasa y grano, y numerosos factores intervienen en el equilibrio metabólico del maíz: calidad de la semilla y el suelo, condiciones meteorológicas, sustancias aplicadas. La aplicación masiva de fertilizantes nitrogenados solubles, por ejemplo, genera la producción exagerada de follaje, que es alimento de los parásitos. Una planta equilibrada es menos propensa a plagas y enfermedades (Aguilar *et al.*, 2003). Wolfe *et al.*, (1988) (citado por Sainz y Echeverría, 1998) afirmaron que el contenido

de clorofila en la hoja de maíz esta estrecha y positivamente relacionado a la concentración de N en la hoja y, por lo tanto, refleja la condición nitrogenada del cultivo. Además de la disponibilidad de N, otros factores ambientales pueden afectar el contenido de clorofila en hojas de maíz.

2.3.1 El suelo como fuente de nutrientes

El mantenimiento de la capacidad productiva del suelo requiere integrar prácticas de nutrición vegetal y de mejoramiento del suelo. En la capa superior del suelo y en las inmediaciones de la raíz, es donde se producen varios procesos importantes para la adquisición de estos nutrientes por la planta, la colonización de las raíces por microorganismos y la descomposición de la materia orgánica (Cheng, 1999; citado por Loredó *et al.*, 2007). La asimilabilidad de los elementos nutritivos presentes en el suelo no depende sólo de la forma química en que se encuentren, sino que también actúa el clima, la genética de la planta, y su estado de desarrollo, de las propiedades físicas y químicas del suelo y de las prácticas culturales (García *et al.*, 2009).

Como se ha mencionado, la mayoría de los suelos son deficientes en macroelementos; los cuales se proporcionan al cultivo principalmente con fertilizantes químicos. Sin embargo, en los últimos años se han validado y recomendado para complementar estos macroelementos, el uso de abonos orgánicos y vermiabono. Otra fuente importante para la obtención de nutrientes se da con la utilización de microorganismos benéficos ya sean hongos o bacterias que en simbiosis con las plantas aportan grandes cantidades de macronutrientes. Los micronutrientes se aplican al cultivo por medio de fertilizantes foliares químicos u orgánicos, pero muchos de ellos se encuentran en el suelo ya disponibles para la planta. La mayoría de los suelos de México no contiene la cantidad necesaria de nitrógeno, por tanto este nutriente ha sido adicionado al suelo en forma de fertilizante químico, el cual, además de su alto costo, contamina el suelo y las fuentes de agua (Castellanos, 1986).

Tapia *et al.* (2013), coinciden con Castellanos, ya que consignan que los suelos son naturalmente carentes de nutrientes como nitrógeno y que los niveles de materia orgánica están abajo del 3%

por lo que en cada año de cultivo se han utilizado los fertilizantes químicos, mismos que modifican las propiedades del suelo y provocan mayor necesidad de consumo por el detrimento en la fertilidad, sumado a esto se incrementan también los costos.

Además de esto, una deficiencia de cualquiera de los nutrientes esenciales puede limitar el crecimiento del maíz. Las dos deficiencias más comunes después del nitrógeno, son el fósforo y el zinc. La deficiencia de fósforo aparece por lo general en suelos ácidos; la fijación del fósforo en formas poco solubles también ocurre en suelos tropicales y se estima que hay una alta fijación de este elemento perjudicando a un 36% del área tropical de cultivo (Sánchez *et al.*, 1977; tomado de FAO, 2015). Los síntomas de la deficiencia de fósforo son: un menor crecimiento, las hojas toman un color rojizo y las mazorcas son de tamaño pequeño. La deficiencia de zinc se manifiesta por bandas blancuzcas cerca de la base de las hojas en crecimiento y un menor crecimiento de las mismas (FAO, 2015).

La nutrición orgánica se plantea como opción viable para suministrar nutrientes a los cultivos de interés para los productores, en este caso el maíz, con el fin de disminuir la dependencia de los fertilizantes químicos y disminuir los costos de producción (Tapia *et al.*, 2013).

2.4 FERTILIZACIÓN DE LA PLANTA DE MAÍZ

2.4.1 Fertilización a través del tiempo

Antes de que se conocieran los fertilizantes químicos, la forma común de mantener la fertilidad de los suelos, en la mayoría de los terrenos era mediante el uso de estiércoles, abonos verdes, residuos de cosecha y algunos subproductos agrícolas. Existe información abundante sobre la evaluación de estos productos y su efecto positivo en el rendimiento de las cosechas (Trinidad, 1987).

Esto dio un cambio radical en México a mediados del siglo XX, con la aparición de fertilizantes químicos sintéticos que eran subsidiados por el gobierno federal con bajo costo, de efectos

inmediatos sobre el crecimiento de las plantas y de fácil distribución entre los productores; esto significó un freno para la utilización de biofertilizantes y abonos orgánicos por lo que su uso fue limitado durante la llamada crisis energética mundial de los 70's (Aguirre *et al.*, 2009).

Inicialmente, el uso de fertilizantes químicos se orientó a los cultivos de riego para obtener altos rendimientos. El maíz se empezó a sembrar como cultivo intensivo con riego, sobre todo en Tamaulipas, el Bajío (Michoacán, Querétaro y Guanajuato) y los valles irrigados de Sonora, Sinaloa y Guerrero, o bajo temporal favorable en Jalisco y Veracruz. El resultado inmediato fue un aumento notable de los rendimientos. De acuerdo con las cifras oficiales, los rendimientos promedio de grano fueron mayores bajo riego (3.2 t ha^{-1}) que en tierras de temporal (1.63 t ha^{-1}), pero se quedaron muy por debajo del potencial (Aguilar *et al.*, 2003).

Sin embargo, los efectos adversos se han hecho notorios en varias regiones agrícolas donde se realiza agricultura intensiva. Los resultados indican que el 25% del suelo agrícola mundial, antes fértil, ahora está degradado física, química y biológicamente por el excesivo tránsito de maquinaria y sobredosis química (Lamas *et al.*, 2003), lo cual ha afectado los rendimientos de cultivos debido entre otras causas a bajos niveles de materia orgánica en el suelo (Espinoza, 2004; citado por Arieche y Mora, 2005) y se requiere el uso de grandes cantidades de fertilizante químico y pesticidas, lo que ha influido en el desbalance biológico de la rizósfera de la mayoría de los terrenos de productores. A pesar de que en los cultivos se han aplicado fertilizantes químicos y la tecnología de formulación de estos continúa vigente, se ha tenido un repunte en la cultura ambiental con la utilización de productos naturales para enriquecer los suelos y cubrir las necesidades nutricionales de las plantas (Rosas, 2008).

La investigación en fertilización de cultivos, tiene una dinámica de cambios por diferentes causas, principalmente el de reducir dosis de agroquímicos aplicados al suelo y mejorar la fertilidad del suelo, para esto se ha trabajado con programas de mejoramiento genético, nuevas técnicas de riego, siembra más eficiente, rotación de cultivos, dosis de fertilización, uso de

fertilizantes naturales y otros, todos con un mismo fin, alcanzar niveles altos de productividad (Opazo *et al.*, 2008).

2.4.2 Agricultura inorgánica

Desde hace unos 150 años ya se utilizaban los fertilizantes químicos (García *et al.*, 2009), pero no es hasta mediados del siglo XX cuando el uso de ellos cobró tanta importancia como los abonos orgánicos a los cuales llegaron a superar. En el reporte de fertilizantes del año 1979 ya no se mencionó ningún fertilizante de tipo orgánico (Carmona *et al.*, 2012)

Justus Von Liebig en 1843 (Julca *et al.*, 2006), demostró que las plantas precisan de agua y sustancias inorgánicas para su crecimiento y fomentó el desarrollo de los fertilizantes inorgánicos, que son de 20 a 100 veces más concentrados en elementos básicos como N, P, K, que los abonos orgánicos; este resultado supuso un indudable efecto positivo en la agricultura aumentando los rendimientos, pero provocando el abandono de muchas técnicas antiguas de cultivo como es el uso de residuos orgánicos, entre otros (Arens, 1983; Navarro *et al.*, 1995); citado por Julca *et al.*, 2006).

Antes y después de la Revolución Verde, se ha hecho uso de los fertilizantes químicos con la finalidad de obtener algunos beneficios como el incremento de los rendimientos agrícolas; pero al mismo tiempo se ha generado un impacto negativo al ambiente, reflejado en la contaminación de los ecosistemas debido al uso indiscriminado de fertilizantes químicos y otros productos.

En México, los fertilizantes químicos sintéticos empezaron a usarse a mediados del siglo XX y a pesar de que inicialmente no fue muy importante la producción de fertilizantes, poco a poco fue adquiriendo relevancia por la utilización de éstos en la agricultura como parte del paquete tecnológico emanado de la investigación agrícola y rápidamente se convirtieron en elementos indispensables en los campos agrícolas (Pichardo, 2006; citado por Aguirre *et al.*, 2009).

Como resultado, la reducción en la capacidad productiva inherente de suelos agrícolas cultivados intensivamente está generalmente enmascarada por importantes aplicaciones de fertilizantes, con un costo siempre creciente. Pero esta es sólo una solución temporal, y, con el tiempo, la reducción continuada de los niveles de materia orgánica lleva a una disponibilidad de nutrientes para las plantas reducida y un incremento de la susceptibilidad al estrés hídrico, resultando en una reducción del rendimiento que no puede ser detenida aplicando sólo más aportes de fertilizante. En consecuencia, los cultivos cada vez más intensivos, no son sostenibles a largo plazo, ni desde el punto de vista medioambiental ni desde el económico (Espejo, 2008).

2.4.3 Agricultura orgánica

Desde tiempos remotos, los campesinos usaban un método tradicional de composteo con restos de cosecha. Se constata que en el listado de fertilizantes en 1914 aparecían 55 de tipo orgánico y hasta esa fecha eran los más importantes para la producción de cultivos, teniendo la capacidad de mejorar la fertilidad del suelo y por ende la producción y productividad de los cultivos (Carmona *et al.*, 2012).

En los sistemas tradicionales de producción, los pequeños agricultores mantenían la fertilidad de sus tierras para obtener sus cosechas cerrando ciclos de energía y nutrientes. Todo ello se realizaba mediante técnicas agronómicas básicas, como la rotación de cultivos, la incorporación de los rastrojos, y el reciclaje de restos orgánicos mediante el compostaje, creando así sistemas de gestión que permitían la autorregulación del agroecosistema dentro de un equilibrio dinámico y perdurable (Labrador, 1996).

La agricultura orgánica utiliza la energía natural y el reciclado de los esquilmos agrícolas, pecuarios y forestales, así como las basuras urbanas e industriales y mediante un composteo biológico (normal o lombricomposteo) se produce humus rico en nutrientes regresándolo al suelo para que de ahí se nutran los cultivos seleccionados. Se pueden producir biofertilizantes naturales ricos en *Rhizobium*, micorrizas y otros microorganismos que contribuyan a la fertilidad natural del suelo (Romero *et al.*, 2000).

El periodo de transición para que un suelo sea orgánico oscila entre 3 a 5 años, dependiendo del manejo previo del suelo y de los factores medio ambientales, Sin embargo, dependiendo del grado de contaminantes que presente el suelo, puede extenderse hasta los 8 años. En caso específico del cultivo de maíz, el periodo de transición para producir y vender maíz orgánico certificado tiene una duración de 3 años consecutivos, durante los cuales los productores tienen prohibido el uso de sustancias no autorizadas en la producción, así como vender el producto final como orgánico. La semilla orgánica también es más costosa que la convencional, y para su producción se utiliza menor cantidad de nitrógeno, fósforo y potasio, utilizando como fuentes nutrimentales estiércoles o compostas (Foreman, 2010).

2.4.3.1 Panorama internacional y el maíz en la agricultura orgánica.

En las últimas décadas, se han presentado cambios importantes en la producción y el consumo de alimentos en todo el mundo. Esta tendencia se vincula principalmente con una fuerte preocupación por la salud, nuevas exigencias en los gustos de los consumidores y una mayor conciencia de la importancia de la protección del medio ambiente. La agricultura orgánica es un sistema de producción con una alta utilización de mano de obra y con un mercado potencial aun sin explotar.

Los expertos estiman que para el futuro inmediato entre 3 y 10% de los productos de alimentos serán de origen orgánico. De ahí que, la agricultura orgánica responde a una de las tendencias de consumo más dinámicas a nivel internacional. El sobreprecio o *premium* en los productos orgánicos respecto a los convencionales, ha sido uno de los principales factores que ha motivado el crecimiento de la agricultura orgánica a nivel mundial. Este sobreprecio es debido a los altos costos de certificación, el largo tiempo de transición (3 años), la disminución del rendimiento en los cultivos y el incremento en el costo de la mano de obra, entre otros (Lamas *et al.*, 2003). Sin embargo un gran porcentaje de la población no puede pagar este sobreprecio

En Estados Unidos de América, la demanda de alimentos orgánicos se está incrementando cada vez más y el número de hectáreas certificadas para producción de maíz orgánico se ha elevado

de 38,040 ha en el año 2001 a 86,198 ha en el año 2010, esta producción va enfocada en buen porcentaje a abastecer la demanda pecuaria más que para alimento humano, con la finalidad de producir leche y carne orgánica. Aunque la producción de maíz orgánico es sólo una pequeña fracción de la producción, las utilidades netas superaron en el 2010 a las de producción de maíz convencional con un 131.2% mayor (USDA, 2011; tomado de CANAMI, 2014). Otro mercado importante para la producción y venta de productos orgánicos son los países europeos, ya que su interés por conservar el medio ambiente y consumir productos inocuos es cada vez mayor.

En México la agricultura orgánica ha seguido la tendencia internacional y también se encuentra en franca expansión. La superficie bajo este régimen de producción ha pasado de 25,000 a alrededor de 400,000 has., desde el año 1995 hasta el año 2010, (SAGARPA, 2014) y la cifra sigue aumentando año con año.

La agricultura orgánica pretende ser la solución para la producción sostenida de alimentos limpios y sanos, porque plantea soluciones objetivas al problema de la contaminación de la biósfera, debido a que es un sistema de producción en donde los insumos que se utilizan no son contaminantes para las plantas, el ser humano, el agua, el suelo y el medio ambiente, ya que elimina el empleo de los plaguicidas y los fertilizantes de síntesis química (Ruiz, 1998).

2.5 FERTILIZANTES EN EL MERCADO

Los fertilizantes permiten restituir a los suelos los elementos nutritivos que las plantas extraen, o que los suelos pierden por lavado y erosión, poniendo a disposición de los cultivos los nutrientes que precisan en cada momento. La asimilabilidad de los elementos nutritivos presentes en el suelo no depende sólo de la forma química en que se encuentren, sino que es también función del clima, de la genética de la planta, de su estado de desarrollo, de las propiedades físicas y químicas del suelo y de las prácticas culturales (García, *et al.*, 2009).

Pueden ser productos orgánicos o inorgánicos que contienen al menos uno de los tres elementos principales (Nitrógeno, Fósforo o Potasio), pudiendo contener además otros nutrientes. Los fertilizantes se clasifican según distintos criterios:

- a) Por su naturaleza: orgánicos e inorgánicos
- b) Por su composición: simples (contienen un solo elemento) o compuestos (pueden ser de dos o más elementos) (Villalobos, 2009; citado por Jiménez *et al.*, 2004).

Las recomendaciones de fertilización estarán en función del cultivo, de las condiciones de fertilidad del suelo y de los rendimientos esperados, por lo que es conveniente apoyarse de un análisis de suelo y recomendaciones específicas de expertos (Jiménez *et al.*, 2004).

2.5.1 Fertilizantes químicos

Los fertilizantes químicos son sustancias que contienen uno o más de los nutrientes que requieren las plantas para su desarrollo, en forma concentrada y fácilmente solubles en agua. Los nutrientes fundamentales son: nitrógeno (N), que forma parte de las proteínas; fósforo (P), que da energía a las semillas, y potasio (K), que aumenta el contenido de azúcares en los frutos y de los almidones en las semillas (Rueda, 1991).

La producción y el consumo de fertilizantes químicos en el mundo se incrementó aceleradamente al término de la segunda guerra mundial (Rueda, 1991). De todos los fertilizantes quizá los que más se han utilizado sean los químicos por sus efectos inmediatos sobre el crecimiento de las plantas, y aunque se dice que su uso en sí no es la causa contaminante, sino su empleo inadecuado, sus efectos adversos se han hecho notorios en varias regiones agrícolas donde se realiza agricultura intensiva. Aquí los daños físicoquímicos en suelo, aire, y agua son bastante evidentes, y su daño terminal se manifiesta incluso en la muerte de seres humanos y animales que consumen algunos de estos compuestos por diferentes vías o simplemente que están expuestos a sus efectos. Es importante desarrollar metodologías adecuadas que permitan realizar un uso óptimo de los fertilizantes, lo cual significa aplicar dosis

óptimas, pero no excesivas, para tener una máxima producción, sin riesgo de contaminación (Opazo *et al.*, 2008).

Los principales productos químicos comerciales son: la urea, sulfato de amonio, superfosfato de calcio triple, cloruro de potasio entre otros: los microelementos se proporcionan a la planta por medio de fertilizantes foliares, principalmente (Chuela *et al.*, 2011).

2.5.2 Abonos orgánicos

Lamas *et al.*, (2003) definen a los abonos orgánicos como aquellos materiales derivados de la descomposición biológica de residuos de cultivos, deyecciones y estiércoles animales, de árboles y arbustos, pastos, basura y desechos industriales; asientan que su aplicación en forma y dosis adecuadas mejoran las propiedades y características físicas, químicas y biológicas del suelo, es la forma más natural de fertilizar al suelo. Los abonos orgánicos se han usado desde tiempos remotos y su influencia sobre la fertilidad de los suelos ha sido demostrada, aunque su composición química, el aporte de nutrientes a los cultivos y su efecto en el suelo, varían según su procedencia, edad, manejo y contenido de humedad. Misma afirmación consigna Santamaría *et al.* (2001), quienes manifiestan que en la calidad final de la composta intervienen factores como tipo de sustrato (residuos orgánicos) y los que manipula el hombre: aireación, humedad, pH, temperatura y la especie de lombriz cuando se maneja el vermicomposteo.

Anderson y Domsch, (1989) y Abawi y Thurston (1994) citados por Romero *et al.* (2000) mencionan que los abonos orgánicos pueden prevenir, controlar e influir en la severidad de patógenos del suelo, además de servir como fertilizantes y mejoradores del suelo y señalan una amplia variación de efectos que dependen del material aplicado y de su grado de descomposición. La adición de residuos vegetales o estiércoles incrementa la actividad y cantidad de la biomasa microbiana del suelo, la cual en suelos cultivados varía de 100 a 600 mg kg⁻¹ de C-biomasa microbiana.

Por otra parte, Romera y Guerrero (2000) establecen que los fertilizantes orgánicos ejercen un efecto multilateral sobre las propiedades agronómicas de los suelos y, cuando se utilizan correctamente, elevan de manera adecuada la cosecha de los cultivos agrícolas

Lamas *et al.*, (2003) consignan beneficios por la utilización de abonos orgánicos, los cuales evitan la formación de costras superficiales, mejoran las condiciones organolépticas de las cosechas, los cultivos son menos vulnerables a plagas y enfermedades, aporte muy reducido de nitratos y menos contaminación a los acuíferos, los nutrientes son liberados lentamente, lo que evita su pérdida por lixiviación.

La mayoría de los cultivos muestra una clara respuesta a la aplicación de los abonos orgánicos de manera más evidente bajo condiciones de temporal y en suelos sometidos al cultivo de manera tradicional y prolongada. No en vano, los abonos orgánicos están considerados universales por el hecho de que aportan casi todos los nutrientes que las plantas necesitan para su desarrollo. Es cierto que, en comparación con los fertilizantes químicos, contienen bajas cantidades de nutrientes, sin embargo la disponibilidad de dichos elementos es más constante durante el desarrollo del cultivo por la mineralización gradual a que están sometidos (SAGARPA, 2015). Aguirre y Fernández (2001) aseguran que hay ocasiones en que los abonos orgánicos resultan superiores a los químicos por la forma regular de suministrarlos a las plantas, lo que puede estar acorde con las necesidades de las mismas, además de actuar como regulador de la lixiviación, aportar microelementos, así como ejercer efectos quelatinizantes y solubilizadores de la materia orgánica sobre los elementos del suelo. Sin embargo, la utilización de abonos orgánicos presenta la desventaja de tener un efecto lento, por lo que en los suelos degradados y de muy baja fertilidad no es recomendable sustituir 100 % la aplicación de productos orgánicos, se recomienda un sistema combinado (convencional y orgánico) en el afán de hacer un cambio gradual, y ayudarle al suelo a restablecer el equilibrio natural (Félix *et al.*, 2008).

2.5.3 Vermiabono

La lombricultura es la cría masiva, sistemática y controlada de lombrices composteadoras; es una técnica que involucra varios procesos biológicos, que aceleran la transformación y mineralización de un residuo orgánico en descomposición y lo convierte en un abono para las plantas llamado “vermiabono” o “humus de lombriz” (Carmona *et al.*, 2012).

Las lombrices de tierra, influyen de forma muy significativa en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, y juegan un papel crucial en la modificación de su estructura y en la aceleración de la descomposición de la materia orgánica y del reciclado de nutrientes. Presentan una tasa alta de consumo, digestión y asimilación de la materia orgánica, por lo que juegan un papel clave como transformadoras del mantillo. Las lombrices de tierra también tienen un gran impacto en las transformaciones del nitrógeno a través de modificaciones de las condiciones ambientales y de sus interacciones con los microorganismos; así su actividad en los restos orgánicos produce condiciones que favorecen la nitrificación, que resulta en la conversión rápida del nitrógeno amoniacal en nitratos, aumentando la mineralización de nitrógeno (Edwards y Bohlen 1996; Lavelle y Spain 2001; citados por Domínguez *et al.*, 2009).

El humus de lombriz contiene una concentración importante de elementos solubles orgánicos, entre los que se incluyen los humatos más importantes como son: los ácidos húmicos, fúlvicos y úlmicos, y su aplicación en estado líquido estimula los procesos de humificación y mineralización de los residuos vegetales en el suelo (Somarriba y Guzmán 2004; citados por Méndez *et al.*, 2012).

Las lombrices de la especie *Eisenia foetida* (lombriz roja californiana) ingieren grandes cantidades de materia orgánica descompuesta. De esta ingesta, hasta un 60% se excreta en una sustancia llamada “humus de lombriz”, “lombricomposta” o “vermiabono”, que constituye un sustrato ideal para la proliferación de microorganismos útiles. Las lombrices transforman los minerales no asimilables presentes en los desechos y residuos animales en nitratos y fosfatos directamente asimilables por las plantas. El humus de lombriz es inodoro, no se pudre ni

fermenta, y su apariencia general es similar a la borra del café. En los análisis químicos del humus de lombriz se detecta la presencia de hasta un 5% de nitrógeno, 5% de fósforo, 5% de potasio, 4% de calcio, una carga bacteriana de 2 billones por gramo y un pH de entre 7 y 7,5 (Hernández y Cruz 1993; citados por Mendoza *et al.*, 2003).

Chaoui *et al.* (2002) (citado por Félix *et al.* 2008) reportan que la aplicación de vermiabono suprime las enfermedades de plantas como por ejemplo *Phytophthora*, *Fusarium*, y *Plasmodiophora* en tomate y calabaza, *Pythium* y *Rhizoctonia* en pepino y rábano y *Verticillium* en fresa.

En el caso específico del cultivo de maíz, se ha demostrado que el humus de lombriz promueve el crecimiento de raíces, tallo, hojas y la floración, debido a las sustancias húmicas y fúlvicas que contiene. También se ha encontrado que su uso en cultivos de olivo mejora su producción y se sugiere un posible efecto positivo en el rendimiento de maíz (Montenegro y Alvarado, 2005; Eyheraguibel *et al.*, 2008; citados por Méndez *et al.*, 2012).

2.5.4 Biofertilizantes

La actividad microbiana es importante para mantener la fertilidad del suelo y la nutrición de las plantas. Los microorganismos del suelo conducen la biodegradación de la materia orgánica y constituyen un importante reservorio lábil de C, N y P (Díaz *et al.*, 1993).

Algunos microorganismos son capaces de establecer simbiosis mutualista con las plantas, tales como las rizobacterias promotoras del crecimiento del género *Azospirillum* que fijan el nitrógeno atmosférico en la endorrizosfera de gramíneas y otros, como las micorrizas arbusculares que colonizan las raíces de las plantas, forman una extensa red de micelio en el suelo y mejoran la capacidad de éstas para aprovechar el agua y los nutrientes (Smith y Read, 1997; Steenhoudt y Vanderleyden, 2000; citados por Álvarez y Anzueto, 2004)

Las micorrizas (hongo del género *Glomus*) permiten a muchas plantas que crecen en suelos infértiles absorber en forma eficiente fósforo y otros nutrientes poco móviles. Del total de fósforo aplicado a un cultivo en un ciclo, sólo se asimila una cantidad menor al 50% y con la micorrización puede incrementarse la eficiencia de absorción de este elemento. Las plantas suministran sustratos energéticos y funcionales al hongo y este por medio de su red de hifas externas capta diversos nutrientes, principalmente fosfatos del suelo y los transfiere a la planta. (Lamas *et al.*, 2003).

Los biofertilizantes son insumos formulados con uno o varios microorganismos benéficos principalmente hongos o bacterias, los cuales se encuentran de forma natural en el suelo en asociación o simbiosis con la planta y de una forma u otra, proveen o mejoran la disponibilidad de nutrientes cuando se aplican a los cultivos. Los más utilizados para el cultivo de maíz son los hongos micorrízicos que favorecen al desarrollo radicular y mejoran la capacidad de absorción del agua y nutrientes (Alarcón y Ferrera, 1999) así como la bacteria *Azospirillum brasilense*. Álvarez y Anzueto (2004) coinciden en esta afirmación, señalan que el interés agronómico en la actividad microbiana se debe a su potencial para reciclar los nutrientes, mejorar la nutrición de las plantas y disminuir o sustituir la aplicación de fertilizantes de origen industrial.

La actividad y población de estos microorganismos varía en función de la textura del suelo, pH, temperatura y suministro de agua, oxígeno, carbono y nitrógeno (García *et al.*, 2009). Las prácticas de manejo intensivo y la contaminación pueden influenciar la biomasa microbiana del suelo. La actividad microbiana afecta evidentemente la fertilidad del suelo (Leita *et al.*, 1999; citados por Arrieché y Mora, 2005).

Diversos autores señalan que la sustitución de fuentes químicas de nitrógeno, por el nitrógeno fijado por bacterias no simbióticas, (*Azospirillum brasilense*) es también una alternativa económica y ecológicamente deseable para la producción de los diferentes cultivos. Esta alternativa para mejorar la nutrición de las plantas, se puede complementar mediante la reactivación y el uso de microorganismos simbióticos llamados hongos micorrízicos, los cuales

se asocian con las raíces de las plantas e inducen a que estas posean una mayor absorción y disponibilidad de nutrimento.

2.5.5 Abonos verdes

Si se incorporan al suelo masas de plantas cultivadas con el fin de enterrarlas posteriormente con el arado, entonces se habla de abono verde. El uso de éstos es una práctica conocida a nivel mundial para la recuperación de suelos que presentan severas degradaciones (McDonugh J.F. *et al.*, 1995; citados por Becker *et al.*, 1995).

La incorporación de abonos verdes, de diversas fuentes de materia orgánica en el suelo, produce varios efectos favorables en las propiedades químicas, físicas y biológicas (Guerrero, 1993).

Ruiz, *et al.* (1998) mencionan que en México, los rendimientos de los cultivos en zonas de temporal son generalmente bajos, ya que se practica una agricultura de pocos insumos tecnológicos. La mayoría de los productores utilizan cantidades reducidas de estiércol y los residuos de cosecha se emplean para alimentar el ganado, por lo que los suelos van perdiendo paulatinamente su materia orgánica y los rendimientos decrecen. Los abonos verdes pueden aportar cantidades importantes de nitrógeno y materia orgánica

Los cultivos destinados a abono verde pueden sembrarse como cultivo principal dentro de una rotación o estar en forma de cultivos asociados. Fertilizar con abono verde significa incorporar al suelo plantas verdes con alto porcentaje de agua, práctica realizable durante o al inicio de la floración cuando apenas están lignificadas y poseen abundante azúcar, almidón y nitrógeno. Principalmente se utilizan como abono verde a las leguminosas, las cuales además tienen la capacidad de fijación simbiótica de nitrógeno al suelo mediante la bacteria del género *Rhizobium*.

La tecnología de abonos verdes resulta viable para contrarrestar los efectos de la erosión hídrica y la pérdida progresiva de la fertilidad del suelo. Se han identificado especies con potencial que

producen hasta 50 t ha⁻¹ de materia verde en suelos profundos y 25 t ha⁻¹ en suelos delgados de lomerío. (Loeza, 1998). Los objetivos del abonado verde son: acumulación de nitrógeno, acumulación de humus, disminuir la lixiviación de minerales, aprovechamiento productivo del agua de lluvia en el rendimiento del cultivo, disminución de la erosión, cubrir el suelo con sustancias orgánicas, desmenuzamiento del suelo (labranza biológica del suelo), mullido del suelo y del subsuelo, control de malezas (supresión de la luz, efecto antagónico), control de plagas (reducción de la cantidad de nemátodos), control de enfermedades y un mayor rendimiento en general del cultivo siguiente (Lamas *et al.*, 2003).

2.6 IMPORTANCIA DE LA CALIDAD DEL SUELO Y CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA PARA LA FERTILIZACIÓN

Un suelo de calidad es aquél que tiene la capacidad de producir cultivos sanos y nutritivos en forma sostenida a largo plazo, y de promover, al mismo tiempo, la salud humana y animal sin detrimento de los recursos naturales base o del medio ambiente circundante (Astier *et al.*, 2002). Parr *et al.* (1992) sugieren que las tres funciones principales de un suelo son: proveer un medio para el crecimiento de las plantas, regular y distribuir el flujo del agua en el ambiente y servir como amortiguador de los cambios. Para evaluar esto, se propusieron diversos indicadores de calidad del suelo con base en tres atributos fundamentales de los sistemas de manejo agrícolas sustentables; por ejemplo Masera *et al.* (1999) definen un conjunto de atributos generales empleando una perspectiva sistémica, que incluye productividad, equidad, estabilidad, resiliencia, confiabilidad, adaptabilidad y autogestión. A partir de éstos se generan varios indicadores (que describen procesos relevantes), que reflejan a su vez el estado de dichos atributos, por ejemplo el número de variedades presentes en una parcela agrícola proporcionará información sobre el estado del atributo: resiliencia. Por otro lado Haberern (1992), señala que algunos de los indicadores primarios están relacionados principalmente con las características de los suelos, como su salud (tasa de infiltración, compactación, cantidad de carbono orgánico), su productividad, su grado de cobertura por pastizales y bioindicadores como presencia de lombrices de tierra y termitas.

La evaluación de la calidad del suelo es indispensable para determinar si un sistema de manejo es sustentable, a corto y largo plazo (Doran *et al.*, 1994; citado por Astier *et al.*, 2002) ya que el mantenimiento de la calidad del suelo es crítico para un ambiente sostenible, por lo que es necesario una apropiada selección de indicadores de calidad que ofrezcan una rápida respuesta al cambio, clara discriminación entre los sistemas de manejo, mayor sensibilidad al estrés y a la restauración ambiental, así como del reflejo de la variabilidad espacial y temporal (Gil *et al.*, 2005). Un denominador común entre los elementos estratégicos para alcanzar la sustentabilidad de los ecosistemas es el mejoramiento y conservación de la calidad y productividad del suelo.

Los suelos de uso agrícola en comparación con los suelos similares bajo vegetación natural, presentan generalmente algún proceso de degradación y se caracterizan por contener menos materia orgánica, nitrógeno total y bases intercambiables (potasio, calcio, magnesio y sodio), así como una capacidad de intercambio catiónico más baja. Asimismo, cambia la estabilidad de la estructura y se produce una remoción de suelo como resultado de la erosión provocada por la labranza, la escorrentía superficial y la deflación eólica (Geissert e Ibáñez, 2008).

La materia orgánica (MO) contribuye al crecimiento de las plantas a través de sus efectos sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Esta tiene funciones nutricionales ya que interviene en el ciclo biogeoquímico de los nutrientes y sirve como una fuente de N, P y S para el crecimiento de las plantas. Además modifica el pH, regulando la disponibilidad de nutrientes y el balance de energía; una función biológica en la que afecta profundamente la actividad de la microflora y la microfauna. También tiene una función física ya que interviene en la formación y estabilización de agregados, promoviendo una buena estructura, con lo cual mejora la aireación y la retención de humedad (Krull *et al.*, 2004).

Según Kinsella (1995) (citado por Heenan *et al.* 2004), después de 15 a 20 años de cultivo intensivo, el contenido en carbono orgánico en la mayoría de los suelos agrícolas en zonas semiáridas se reduce a la mitad. Pero la reducción en el contenido en materia orgánica del suelo

debido al cultivo es particularmente importante en suelos bajo condiciones tropicales y subtropicales donde el carbono del suelo se oxida rápidamente.

Como resultado, la reducción en la capacidad productiva inherente de suelos agrícolas cultivados intensivamente está generalmente enmascarada por importantes aplicaciones de fertilizantes, con un coste siempre creciente. Pero esta es sólo una solución temporal, y, con el tiempo, la reducción continuada de los niveles de materia orgánica lleva a una disponibilidad de nutrientes para las plantas reducida y un incremento de la susceptibilidad al estrés hídrico, resultando en una reducción del rendimiento que no puede ser detenida aplicando sólo más aportes de fertilizante. En pocas palabras, los cultivos como son ahora ampliamente practicados, no son sostenibles a largo plazo, ni desde el punto de vista medioambiental ni desde el económico (Espejo, 2008).

Dos de los componentes importantes en la materia orgánica son los ácidos húmicos y fúlvicos los cuales son los responsables de muchas de las mejoras que ejerce el humus. Las sustancias húmicas elevan la capacidad de intercambio catiónico de los suelos al formar complejos arcillo-húmicos, forman complejos fosfo-húmicos manteniendo el fósforo en un estado asimilable por la planta (Tisdale y Nelson, 1966; Guerrero, 1996; Chen *et al.*, 2001; citados por Félix *et al.*, 2008)

La presencia de humus en proporciones de 1 a 2% es suficiente para que el suelo sea fértil, pero el proceso natural de formación de humus puede durar muchos años. El humus tiene efecto sobre las propiedades físicas del suelo, formando agregados y dando estabilidad estructural, uniéndose a las arcillas y formando el complejo de cambio, favoreciendo la penetración del agua y su retención, disminuyendo la erosión y favoreciendo el intercambio gaseoso. Cuando se refiere al efecto del humus sobre las propiedades químicas del suelo, algunos autores mencionan que aumenta la capacidad de cambio del suelo, la reserva de nutrientes para la vida vegetal, favorece la acción de los abonos minerales y facilita su absorción a través de la membrana celular de las raicillas. Y en cuanto a su efecto sobre las propiedades biológicas favorece los

procesos de mineralización, el desarrollo de la cubierta vegetal, sirve de alimento a una multitud de microorganismos y estimula el crecimiento de la planta en un sistema ecológico equilibrado (Julca *et al.*, 2006)

2.6.1 Influencia del pH para el cultivo y el aprovechamiento de fertilizantes

El pH del suelo es una medida de la acidez de la solución del suelo. Técnicamente es el logaritmo inverso de la concentración de iones de hidrógeno, el pH del suelo tiene una influencia dramática en la disponibilidad de los nutrientes, encontrándose la mayor disponibilidad entre 6.5 y 7.5. Los problemas fuertes con disponibilidad de nutrientes se acentúan cuando los valores de pH son menores a 5 y mayores a 8. Un suelo con fuerte basicidad presenta un alto contenido de bases de cambio, pero la presencia de un elevado contenido de carbonato de calcio bloquea la posible absorción de fósforo y de la mayor parte de los micronutrientes (García *et al.*, 2009). Un suelo con fuerte acidez es pobre en bases (calcio, magnesio, potasio), la actividad de los microorganismos se reduce y el fósforo disponible disminuye, al precipitarse con el hierro y el aluminio. El pH puede variar desde 0 a 14 y de acuerdo con esta escala los suelos se clasifican en:

- Suelos ácidos.....pH inferior a 6.5
- Suelos neutros.....pH entre 6.6 y 7.5
- Suelos básicos.....pH superior a 7.5

Los productores de hortalizas deben estar conscientes de que hay 10 veces mayor acidez entre un suelo con pH de 4.5 comparado con uno de 5.5. Es decir, para neutralizar la acidez deberá agregarse 10 veces más cantidad de caliza. Con el uso de abonos orgánicos se ha observado que el pH en suelos ligeramente ácidos o neutros, tiende a aumentar. Con la aplicación de 4 toneladas de porqueraza por hectárea en un año, el pH aumentó de 5.5 a 5.8; con aplicaciones de 10 toneladas de gallinaza durante 4 años, el pH aumentó de 4.8 a 5.1 y con la aplicación de 6 toneladas de gallinaza, composta y vermiabono, el pH aumentó de 5.8 a 6.0 (SAGARPA, 2015).

Astier *et al.* (2002) asegura que otras propiedades químicas como la capacidad amortiguadora y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) reducen la probabilidad de cambios drásticos en el pH y de las concentraciones de cationes en el suelo. Propiedades físicas tales como la estructura, la porosidad y la capacidad de retención de agua, permiten un crecimiento y desarrollo adecuado de las partes subterráneas de las plantas y, en consecuencia, de las aéreas, al evitar algún estrés fisiológico. Específicamente el maíz dulce es sensible a las deficiencias de zinc y manganeso, especialmente en suelos alcalinos (ph mayor de 7) (Anónimo, 2015).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en el Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA) perteneciente a la Universidad de Guadalajara en Las Agujas, municipio de Zapopan, Jalisco ubicado a 20° 44' 42.5" latitud norte y 103° 30' 52.5" longitud oeste y una elevación de 1650 msnm; presenta un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, inviernos y primaveras secos y templados. La temperatura media anual de este sitio es de 23.5 °C, con una máxima de 35 °C y una mínima de 5.4 °C. La precipitación media anual es de 906.1mm, con lluvias principalmente entre los meses de junio a octubre. Los suelos agrícolas predominantes son Regosoles y se caracterizan por ser suelos Francos, con bajo contenido de materia orgánica y pH ácido (Ruiz *et al.*, 1997; citado por Ibarra *et al.*, 2009).

3.1 Tratamientos de fertilización

Los diferentes tratamientos de fertilización fueron seleccionados por los beneficios que ofrecen a los cultivos a partir de su aplicación; para comprobarlo, se hizo una evaluación en campo y comparación entre éstos; a continuación, se describen con base en información que las empresas aportantes proporcionan documentalmente.

Abonasa: Es un fertilizante de origen orgánico que ha sido elaborado mediante unas técnicas que garantizan su estado de humificación, aporta macronutrientes, consiguiendo así un producto de elevado interés agronómico, además aporta una materia orgánica estabilizada, desinfectada y libre de patógenos y semillas. Su pH es de 5.9 y tiene un 31% de MO. Contiene nutrientes esenciales como N, C, P, K, Na, Ca, Mg y algunos micronutrientes contenidos en niveles inferiores. Para complementar se aplicó un fertilizante foliar rico en ácidos húmicos, ácidos fulvicos y micronutrientes resultado de los lixiviados del compuesto orgánico Abonasa.

Biofom: Es un biofertilizante orgánico mineral que se aplica al suelo, cuenta con alto contenido de nutrientes como son el N, P, K, Mg, Ca, Fe, B, Cu, Mn, Si, Zn, I, S, Na, Co y

Cl. Contribuye a mejorar el pH y promueve la recuperación de la fertilidad del suelo por el aporte de MO, ácidos húmicos y fúlvicos, hormonas de crecimiento, aminoácidos y microorganismos vivos como hongos micorrízicos y bacterias benéficas. Como complemento, se aplicó un fertilizante foliar con los mismos nutrientes pero en presentación líquida, para un contacto y aprovechamiento directo a la planta.

Cosustenta: Ferbiliq es un producto biofertilizante inoculante a base de microorganismos benéficos *Azospirillum brasilense* y *Glomus intraradices*, es un tratamiento natural que no contamina el medio ambiente y favorece el desarrollo radical y una mejor absorción de nutrientes, sugiere reducir de 30 a 50% la dosis de fertilizante químico que se aplica habitualmente; contiene alrededor de 40,000 esporas viables de *Glomus intraradices* y 180,000 millones de la bacteria *Azospirillum brasilense*, suficiente para inocular la semilla para una hectárea de siembra. Para completar este tratamiento y de acuerdo a lo que la empresa recomienda se aplicó Humikam plus, producto a base de ácidos húmicos, fúlvicos, potasio y activadores metabólicos y fisiológicos de las plantas como ácido glutámico, nicotínico y pantoténico, que promueven el crecimiento y desarrollo de la raíz y de la planta en general y aumenta la concentración de los ingredientes activos principales de la materia orgánica en el suelo, la floculación del suelo, la infiltración del agua y la retención de humedad en el suelo; así mismo promueve el suministro y la liberación del potasio y la liberación y disponibilidad de los otros nutrientes.

El tratamiento se complementa con la aplicación de Algamino, producto a base de algas marinas y plantas el cual mejora las condiciones de nutrición y salinidad del suelo lo que reduce el bloqueo de nutrientes como Fe por fósforo y otros micronutrientes por los carbonatos acumulados; por otro lado, y también de acuerdo con la empresa, contribuye a la fijación del nitrógeno al suelo y promueve la eficiencia de otros fertilizantes aplicados. Por último el Sinerguano, producto a base de guano de murciélago que aporta nutrientes como N, P, K y una gran flora microbiana que juegan un papel fundamental en la absorción de

nutrientes en la planta. Se sugieren dos tratamientos con base a estos productos a diferentes dosis de aplicación (Cuadro 1).

Vermiabono: es un abono orgánico procesado por la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), la cual se alimenta de desechos vegetales. Las excretas o heces fecales de las lombrices, tienen la misma apariencia y olor de la tierra negra fresca, es un sustrato de gran uniformidad, contenido nutrimental y con una excelente estructura física, porosidad, aireación, drenaje y capacidad de retención de humedad. No genera desperdicios, malos olores o atracción de organismos indeseables. Aporta alrededor de 25% de MO total sobre materia seca, y gran contenido de macro y micronutrientes. A partir de este producto, se diseñaron dos tratamientos de fertilización para observar el efecto con el uso exclusivo de este abono y otro agregando fertilizante químico en dosis reducida (fórmula 23-00-00).

Químico: Se aplicó un tratamiento de fertilización N-P₂O₅-K₂O, con la fórmula DAP 18-46-00 kg ha⁻¹ de Nitrógeno, Fósforo y Potasio (Fosfato diamónico) respectivamente. Se aplicó urea para completar la dosis de 180-69-00 kg ha⁻¹ recomendada por Chuela *et al.* (2011), y un fertilizante foliar químico-comercial (Fertikorn).

En el Cuadro 1 se muestra el porcentaje de contenido de los principales minerales encontrados en las muestras de abono orgánico Abonasa y Biofom. En el Cuadro 2, se indican las dosis de fertilizantes utilizados para cada uno de los tratamientos, así como el tiempo de aplicación, a los 20, 40 y 60 días de germinación.

Cuadro 1. Características físicas de los abonos orgánicos comerciales.

Determinaciones:	Método	Abonasa	Biofom
Humedad %	Gravimetría	20.18	14.40
Materia Orgánica %	Gravimetría	30.79	20.26
Cenizas %	Gravimetría	69.21	79.74
C orgánico %	Calculado	17.86	11.75

Nitrógeno Total %	Kjeldahl	2.93	2.61
R C/N %	Calculado	6.10	4.50
Fósforo Total %	Espectofotómetro	2.10	2.43
Potasio Total %	Absorción atómica	2.65	3.52
Sodio Total %	Absorción atómica	0.73	0.60
Calcio Total %	Absorción atómica	2.77	3.88
Magnesio %	Absorción atómica	0.80	0.58
pH	Potenciómetro	5.9	5.6
Conductividad eléctrica (mmhos/cm)	Conductímetro	50.4	53.6
Densidad gr/ml	Probeta	0.77	0.96
Ácidos Fúlvicos %	KONONOVA	5.58	3.70
Ácidos Húmicos %	KONONOVA	3.26	1.89

Cuadro 2. Tratamientos de fertilización y su aplicación en el cultivo de maíz dulce en condiciones de temporal. CUCBA 2013 T.

Tra	Nombre	Fertilizante químico kg ha ⁻¹			Aplicación a la siembra	Adicionales		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O		20 días	40 días	60 días
1	Abonasa	0	0	0	0.8 t ha ⁻¹ Abonasa	Aplicación foliar de Abonasa: 3.0 l ha ⁻¹ diluidos en 150 litros de agua	Aplicación foliar de Abonasa: 3.0 l ha ⁻¹ diluidos en 150 litros de agua. Segunda aplicación al suelo 0.8 t ha ⁻¹ de Abonasa	Aplicación foliar de Abonasa: 3.0 l ha ⁻¹ diluidos en 150 litros de agua
2	Biofom	0	0	0	1 t ha ⁻¹ de Biofom	Aplicación foliar de Biofom líquido: 3.0 l ha ⁻¹ diluidos en 200 litros de agua	Aplicación foliar de Biofom líquido: 3.0 l ha ⁻¹ diluidos en 200 litros de agua	
3	Cosustenta I	90	23	0	Inoculación de semilla: 1 bote para la semilla de una hectárea FERBILIQ. El fertilizante químico fue aplicado a la siembra.	Fertilizante foliar: 0.5 l ha ⁻¹ de ALGAMINO + 50 gr ha ⁻¹ de K.HUMIKAM PLUS diluidos en 50 litros de agua.	Fertilizante foliar: 0.5 l ha ⁻¹ de ALGAMINO + 50 gr ha ⁻¹ de K.HUMIKAM PLUS diluidos en 50 litros de agua.	Fertilizante foliar: 2.0 l ha ⁻¹ de SINERGUANO diluido en 200 litros de agua.
4	Cosustenta II	90	23	0	Inoculación de semilla: 1 bote/ha FERBILIQ. Aplicación del 100% fertilizante químico.		Única aplicación foliar de: 100 g ha ⁻¹ de K.HUMIKAM PLUS	
5	Vermi abono	23	0	0	6 t ha ⁻¹	5 kg ha ⁻¹ de urea + 40.0 l ha ⁻¹ de humatos + 160 litros de agua (se aplicó al suelo)	5 kg ha ⁻¹ de urea + 40.0 l ha ⁻¹ de humatos + 160 litros de agua (se aplicó en follaje)	5 kg ha ⁻¹ de urea + 40.0 l ha ⁻¹ de humatos + 160 litros de agua (se aplicó en follaje)
6	Vermi abono orgánico	0	0	0	10 t ha ⁻¹ + 5 g de suelo con micorrizas	40.0 l ha ⁻¹ de humatos + 160.0 litros de agua (aplicación foliar)	40.0 l ha ⁻¹ de humatos + 160.0 litros de agua (aplicación foliar)	40.0 l ha ⁻¹ de humatos + 160.0 litros de agua (aplicación foliar)
7	Químico	180	46	0	Fórmula DAP (18-46-00)	Aplicación de N (162-00-00) en forma de urea. Aplicación foliar: fertilizante químico (4.0 l ha ⁻¹ + 3 kg urea)	Aplicación foliar: fertilizante químico: 4.0 l ha ⁻¹ + 3 kg ha ⁻¹ de urea.	Aplicación foliar: fertilizante químico: 4.0 l ha ⁻¹ + 3 kg ha ⁻¹ de urea.
8	Cero fertiliza	0	0	0	0	0	0	0

Todos los fertilizantes se esparcieron manualmente y de manera uniforme a las parcelas (5 surcos de 5 m) en tiempo y de acuerdo a las instrucciones del fabricante del producto. En el caso de la fertilización foliar, se realizó con un aspersor manual de acuerdo a las instrucciones del producto diluyendo previamente con las dosis de agua recomendada para cada uno de ellos.

3.2 Variedad de maíz dulce

La variedad de maíz dulce utilizada en este estudio fue una cruce experimental de tres líneas con el mutante “*su*” (sugar) que le confiere un nivel elevado de azúcar en el grano fresco y seco que se utiliza como alimento directo en elote o grano fresco enlatado. Este híbrido se desarrolló en el Departamento de Producción Agrícola del CUCBA y se encuentra actualmente en la etapa de validación para su posible liberación comercial.

3.3 Diseño experimental

Tomando en cuenta el número de tratamientos, el tipo de productos y el tamaño de la parcela experimental, se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones dando un total de 32 parcelas experimentales. Para la aleatorización de las parcelas en los dos ambientes mencionados más adelante, se utilizó el programa field book (CIMMYT, 2002). Cada una de las parcelas experimentales constó de cinco surcos de 5 m de largo con 0.75 m de distancia entre surcos de los cuales se tomó como parcela útil los tres surcos centrales. En el caso de maíz dulce, por ser más susceptible a acame de tallo y por considerarse el producto final esperado un elote de buen tamaño, se programó tener una población aproximada de 50,000 plantas ha⁻¹, es decir, 20 plantas por surco a una distancia de 25 cm entre plantas.

3.4 Ambientes de evaluación y su descripción

El experimento se estableció en dos ambientes, el primero en un suelo de manejo intensivo (MI) con monocultivo de maíz, sin rotación de cultivos. El manejo agronómico que se aplica es a base de compuestos químicos para control de maleza e insectos, además de la aplicación de fertilizantes inorgánicos para cubrir la demanda de nutrientes que requiera el cultivo, por

estas características que se mencionan se distinguirá como suelo MI. El segundo ambiente tiene un suelo con manejo sustentable (MS) en donde se practica la rotación de cultivos (principalmente frijol y maíz) y se ha dado un manejo con abonos orgánicos, ya que del año 2009 al 2013 se le aplicaron en dos momentos 8 t ha⁻¹ de vermiabono, además de esto, es un área de acceso restringido y el uso de agroquímicos en muy reducido.

En estos dos sitios de evaluación, se preparó el terreno antes de la siembra. El método de preparación utilizado fue el de labranza tradicional, en el que incluyó el desvarado, subsoleo, barbercho y rastreo, mismos que se llevaron a cabo oportunamente.

3.5 Manejo experimental

Fecha de siembra: En el ambiente suelo MI se estableció el experimento el día 28 de Junio del 2013, la siembra fue manual con espacios de 20 cm entre planta y planta; en el MS se sembró el 1 de Julio del mismo año, en las mismas condiciones.

Control de plagas: A los cuatro días de siembra se aplicaron al suelo MI de manera uniforme 4.0 l ha⁻¹ de Primagram para control de hierbas (herbicida preemergente) y en el suelo MS 5.0 l ha⁻¹ de Primagram + 4.0 l ha⁻¹ de Faena al siguiente día de siembra con el mismo fin. A los 30 días se aplicó Palgus (insecticida) para control de gusano cogollero a una dosis de 75 ml ha⁻¹ diluidos en 300 l ha⁻¹ de agua en los dos ambientes de evaluación. Durante el desarrollo del cultivo, se dio esporádicamente un deshierbe manual porque se tuvo presencia de maleza mayormente en el suelo MS.

Aclareo: Como se sembraron más semillas para asegurar el número total por parcela, se realizó un aclareo a los 45 días de siembra, dejando 20 plantas por surco.

3.6 Variables estudiadas

Se registraron los siguientes datos y variables en la parcela útil:

1. **Número de plantas.** Se contó el número de plantas totales en la unidad experimental.

2. **Número de días a floración masculina.** Se anotó el número de días transcurridos desde la siembra hasta que el 50 % de las plantas estén liberando polen, para esto, se contaron las espigas de los tres surcos centrales al medio día, para asegurar la presencia de polen.

3. **Número de días a floración femenina.** Se registró el número de días transcurridos desde la siembra hasta que el 50 % de las plantas tuvo jilotes o inflorescencias femeninas con estigmas expuestos de 3.0 cm de longitud aproximadamente, se contaron el total de plantas que presentaron esta característica.

4. **Altura de planta.** Se tomó una muestra al azar de 10 plantas por parcela y se midió la altura de la planta en cm, con una regla o “estadal” desde el ras del suelo hasta la punta de la espiga.

5. **Altura de mazorca.** En las mismas plantas donde se midió la altura de planta total, se midió en centímetros con un estadal la altura de la mazorca principal, desde el ras del suelo hasta el nudo donde se inserta esta mazorca.

6. **Calificación visual de planta.** En una escala de 1-3 se calificó la coloración del follaje, en donde la calificación de 1 fue para coloración amarillenta y 3 para coloración verde oscuro

7. **Calificación de inundación de terreno.** En una escala de 1-3 se calificó el grado de inundación observada en los surcos que comprenden cada parcela experimental, de acuerdo al porcentaje que abarcaba la inundación principalmente de los tres surcos centrales; la calificación 1 fue para parcelas no inundadas y la calificación 3 fue para parcelas completamente inundadas. Esta calificación se tomó a los dos meses de siembra, ya con el temporal avanzado y asegurando que el suelo estuviera saturado de agua.

8. **Acame de raíz.** Se contaron el total de plantas acamadas de raíz en cada una de las parcelas experimentales. Se consideraron con acame de raíz aquellas plantas caídas, desviadas en un ángulo mayor de 30 ° con respecto a su vertical y las plantas con “cuello de ganso”. El número total de plantas acamadas de raíz se divide entre el número total de plantas de la parcela y se multiplica por 100 para expresar la variable en porcentaje. Este acame se contó un día antes de la cosecha de las parcelas.

9. **Acame de tallo.** Se contaron el total de plantas acamadas de tallo en cada una de las parcelas experimentales. Se consideraron con acame de tallo todas las plantas quebradas o dobladas por abajo del nudo donde se inserta la mazorca principal. El número de plantas acamadas de tallo se divide entre el número total de plantas de la parcela y se multiplica por 100 para expresar la variable en porcentaje. El acame de tallo se contó un día antes de la cosecha.

10. **Número total de elotes.** Se contaron directamente en la planta el número de elotes totales en la parcela útil. Se tomaron en cuenta sólo los elotes principales y en caso de encontrar un segundo elote de tamaño normal también se contabilizó, esto da una idea de las plantas sin mazorca “horras” que se tuvieron.

11. **Diámetro de elote.** De los tres surcos bordo (fuera de la parcela experimental útil), se cortaron 10 elotes frescos (muestra) a los que se les midió de la parte central el diámetro de elote en centímetros con un vernier digital.

12. **Longitud de elote.** De la misma muestra de elotes se midió longitud total en centímetros, tomado desde la parte basal del elote hasta la punta, esto se llevó a cabo con una regla convencional.

13. **Peso de elote con bráctea.** De la muestra, se obtuvo el peso de elote incluyendo las hojas que lo recubren, se pesaron en una báscula digital en gramos.

14. **Peso de elote sin bráctea.** A los mismos elotes se retiró el total de hojas y se pesaron en una báscula digital en gramos.

15. **Contenido de Clorofila.** Se midió el contenido de clorofila a diez plantas por parcela experimental seleccionadas al azar con el determinador de clorofila marca Konica Minolta SPAD Chlorophyll Meter SPAD-502 Plus en la hoja donde se inserta la mazorca principal en tres puntos: parte apical, central y basal; de estos tres datos se consideró el promedio por planta.

16. **Grados Brix.** Con los mismos 10 elotes frescos de cada parcela experimental de los 2 surcos laterales de la parcela, se determinó el porcentaje de grados Brix con el Refractómetro: Refractometer PAL-1 Pocket marca ATAGO, la muestra se tomó aproximadamente 20 días después de la etapa de floración.

17. **Porcentaje de humedad del grano.** Se determinó con base en una muestra de 250 g en un determinador de humedad marca Steinlite SL95 Moisture Meter.

18. **Peso de campo.** Se cosecharon todas las mazorcas de los tres surcos centrales de la parcela útil, se desgranaron en una desgranadora eléctrica y se pesó el grano en una báscula digital para obtener peso de campo. El peso de campo se convirtió a kg ha^{-1} de peso seco de la siguiente manera:

$$\text{REND} = \text{PG} * \text{PH} * \text{FC} \quad (\text{Virgen } et al., 2010).$$

Donde:

$$\text{REND} = \text{rendimiento de grano } \text{ha}^{-1}$$

PG = peso de grano por unidad experimental (Peso de campo, 3 surcos centrales de 5 m de largo cada uno).

PH = porcentaje de humedad del grano de la unidad experimental.

FC = factor de conversión a kg ha^{-1} ; donde $\text{FC} = 10000/\text{área de la unidad experimental}$.

$$\text{FC} = 10,000/11.25 = 888.88$$

3.7 Análisis estadístico

Con los datos obtenidos se realizó un análisis de varianza individual por ambiente y otro combinado que integra los datos obtenidos de los dos ambientes evaluados, haciendo uso del programa estadístico SAS System Versión 9.0. También se hicieron las comparaciones de medias con la prueba de Tukey al 5% de probabilidad. Los modelos estadísticos considerados en los análisis de varianza se describen a continuación:

Análisis individual y combinado. El diseño bloques completos al azar, parte de un modelo para desarrollar el análisis de varianza. Cada observación del experimento es expresada en los parámetros mediante la siguiente ecuación lineal:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + p_j + \epsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Observación en la unidad experimental del tratamiento i en el bloque j

μ = efecto medio

τ_i = efecto medio del i-ésimo tratamiento

ρ_j = efecto medio del j-ésimo bloque

ϵ_{ij} = error residual, al margen de cada tratamiento o repetición.

3.8 Análisis de suelo

Se tomó una muestra de suelo de cada ambiente al inicio del experimento para su análisis, el método de muestreo fue en zig zag, de donde se obtuvo una muestra compuesta de seis submuestras tomadas de entre los 20 y 25 cm de profundidad. Al finalizar el ciclo del cultivo se tomaron muestras de suelo de las parcelas experimentales en donde se aplicaron los tratamientos de fertilización; se extrajeron para su análisis dos repeticiones completas de cada ambiente dando un total de 16 muestras por ambiente. Se analizaron en el Laboratorio de Agromicrobiología y Laboratorio Ambiental y de Abonos Orgánicos del Departamento de Ciencias Ambientales del CUCBA. Los procesos se obtuvieron del manual de prácticas del Laboratorio de Agromicrobiología basado en “The Methods of soil analysis agronomy 9”. A continuación una breve descripción del proceso:

Nitrógeno inorgánico (método de KCl). Se prepararon las siguientes soluciones: ácido Bórico al 4%, cloruro de potasio (KCl) 2N, indicador mixto (mezcla de partes iguales de rojo de metilo al 0.66% y de verde de bromocresol al 0.99% y se diluyeron en etanol al 95%), cloruro de potasio (KCl) 2N, óxido de magnesio calcinado entre 600-700 grados centígrados en mufla, ácido clorhídrico 0.01N y mezcla de devarda. Se pesaron 5 g de suelo y se colocaron en un frasco de plástico de 125 ml, se agregaron 50 ml de KCl 2N y se agitó por 60 minutos a 180 rpm. Se filtró el sobrenadante con papel filtro Whatman No. 42 y se colocaron 50 ml de solución de H_3BO_3 con indicador en un matraz Erlenmeyer de 250 ml. Se pipeteó una alícuota de 10 a 20 ml del filtrado del suelo y se colocó en un matraz de destilación, se agregaron 0.2 g de MgO calcinado y 0.2 g de aleación de devarda. Se destiló hasta completar 150 ml y se tituló esta muestra con HCl 0.01N hasta el vire de color verde a color morado.

Determinación de fósforo aprovechable (método Mehlich). Se pesaron 1.25 gr de suelo previamente tamizado por malla de 2 mm y se colocaron en frascos de plástico, se adicionaron 25 ml de solución extractora (NaHCO_3) 0.5 M, se tapó y se agito la suspensión durante 30 minutos. Se pasó por papel filtro equivalente al papel Whatman No 42 y al mismo tiempo se preparó el testigo blanco a partir de la alícuota de solución extractora y adicionando todos los activos de la muestra: solución de tartrato de antimonio y potasio al 0.5%, solución de molibdato de amonio ($(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), solución reductora con ácido ascórbico 0.50 g de ácido ascórbico con un poco de solución de molibdato de amonio y se aforó a 100 ml con la misma solución. Se tomó una alícuota de 5 ml (o 10 ml cuando la concentración resultó muy baja) del filtrado y se colocó en un matraz aforado de 25 ml Se agregaron 2.5 ml de la solución reductora, se agitó y se aforó con agua destilada. Se tomó lectura después de 30 minutos en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 882.

Contenido de Materia Orgánica (por el método de combustión de humedad de Walkley y Black). Se pesaron 0.5 gr de suelo pasado por un tamiz de 0.2mm, posteriormente se colocó en un matraz de Erlenmeyer de 500ml. Se agregaron 10 ml de dicromato de potasio 1N con una pipeta volumétrica y 20 ml de ácido sulfúrico concentrado. Se dejó digerir por 30 minutos y se agregaron 200 ml de agua destilada para detener la reacción. Posteriormente se agregaron 5 ml de ácido fosfórico concentrado y 1 ml de difenilamina como indicador. Finalmente se tituló con sulfato ferroso 0.5 M haciéndolo previamente con dos testigos.

pH y Conductividad Eléctrica. Se utilizó un HANNA Instrument HI 9811-5, se calibró con una solución tampón y simultáneamente se pesó una muestra de suelo de 5 gr y se agregaron 100 ml de agua destilada mismos que fueron puestos en frascos de vidrio, se agitaron por 30 minutos. Para tomar la lectura con el potenciómetro se sumergió la sonda del medidor a 4 cm aproximadamente y se esperó a que se estabilizara la lectura.

Capacidad de intercambio catiónico (CIC) se determinó en cada una de las muestras de suelo por el método Acetato de Amonio efectuados por personal del laboratorio de Agrología del CUCBA.

3.9 Análisis financiero

Se hizo una investigación de los costos reales en el mercado (año 2015) de los productos fertilizantes que se aplicaron y se hizo un cálculo aproximado de la mano de obra requerida para aplicarlos en una hectárea de forma manual o mecanizada. Es importante mencionar que los costos varían por diversos factores, por ejemplo la zona donde se apliquen, tipo de terreno, disponibilidad de productos y personal.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis de suelo

De acuerdo a los resultados del análisis de suelo de las 32 muestras tomadas al final del experimento; en el ambiente MS se tuvo un pH de 5.2 y en el ambiente MI de 4.0 (Cuadro 3), según García *et al.* (2009) este resultado considera estos niveles de pH como fuertemente ácido y extremadamente ácido respectivamente; esto puede afectar la correcta absorción y aprovechamiento de nutrientes, ya que el pH recomendado para el desarrollo del cultivo de maíz va de 5.0 a 8.0 siendo el valor óptimo de 6.0 a 7.0 (Purseglove, 1985). Aunque edáfica y geográficamente son similares los ambientes que se evaluaron se detectaron diferencias estadísticas en los resultados obtenidos entre los dos ambientes, esto se debe al uso y manejo que se ha dado; autores reportan que el uso continuo de fertilizantes nitrogenados tienden a acidificar el suelo. Otro efecto de la acidez del suelo es hacer que ciertos nutrientes sean puestos en una situación parcialmente no disponible para el cultivo como es el caso del fósforo ya que si hay deficiencia se tendrá un menor crecimiento y una pobre formación de mazorcas (García *et al.*, 2009).

Cuadro 3. Resultados del análisis de suelo por tratamiento en los ambientes MI y MS

Tratamiento	pH (promedio)		% MO		CIC meq/100	
	MI	MS	MI	MS	MI	MS
1 Abonasa	3.95	4.90	1.93	2.25	11.90	9.97
2 Biofom	3.95	5.30	1.68	1.69	12.25	10.50
3 Cosustenta I	4.10	5.00	2.04	2.60	12.60	11.20
4 Cosustenta II	3.85	5.05	2.14	1.80	12.25	11.02
5 Vermiabono	3.90	4.85	1.82	1.53	12.60	13.12
6 Vermiabono orgánico	4.20	4.95	1.99	1.83	13.12	10.50
7 Testigo químico	3.80	4.80	1.91	1.75	11.52	10.67
8 Cero fertilización	3.95	5.15	1.97	1.76	12.95	11.02
Media general	3.96	5.00	1.93	1.90	12.39	11.00
Resultados de análisis de suelo al inicio del experimento	4.00	5.20	2.23	2.20	13.60	9.00
Valor óptimo para maíz	6.0 -7.0		3.50%		En suelos francos: 5-15	

* MI: Manejo intensivo, MS: Manejo Sustentable.

Debido al uso y manejo que se le ha dado en los últimos años al MS se esperaba un mayor contenido de materia orgánica (MO), sin embargo los porcentajes fueron bajos (MS 2.20 y MI 2.23) al inicio del experimento. En las muestras de suelo por parcela se encontró poca variabilidad en los dos ambientes y se mantuvo la tendencia de mayor contenido de MO en el MI. En lo que refiere a la capacidad de intercambio catiónico (CIC) también se presenta 33.8% más alto para el suelo MI, a pesar de que una buena CIC evita el cambio drástico en los niveles de pH, no se puede evitar la acidez por la aplicación constante de fertilizantes químicos al terreno (Cuadro 3), este resultado difiere del obtenido por Clark (1997) quien reportó una relación positiva entre la CIC y el pH relacionada con el efecto benéfico de un suelo en condiciones de fertilidad y mayor colonización de hongos micorrízicos.

En el Cuadro 4, se observa que el MS arrojó en las muestras de suelo por tratamiento valores altos de fósforo siendo la media 656.2 ppm, esto representa 5 veces mayor disponibilidad de fósforo en el suelo disponible para la planta que en el MI que solo llegó a las 113.5 ppm en promedio.

Cuadro 4. Resultados del análisis de suelo por tratamiento en ambiente MI y MS

Trat	Fósforo ppm		Conductividad eléctrica		Nitrógeno inorgánico ppm	
	MI	MS	MI	MS	MI	MS
1 Abonasa	79	643	85	80	339	188
2 Biofom	105	558	85	70	191	205
3 Cosustenta I	139	646	80	85	244	190
4 Cosustenta II	146	708	110	70	260	131
5 Vermiabono	128	571	80	60	339	131
6 Vermiabono orgánico	104	757	55	85	218	205
7 Testigo químico	105	746	95	95	288	296
8 Cero fertilización	102	621	85	60	187	222
Media general	114	656	84	76	258	196
*Resultados al inicio del experimento	59	69	0.35	0.16	219	145

* Los valores de resultados del fósforo y conductividad eléctrica al inicio y final del experimento están reportadas en diferentes unidades por el método que se utilizó. MI: Manejo intensivo, MS: Manejo Sustentable.

A pesar de que entre los años 2009 y 2013 se agregaron 8 toneladas de vermiabono en el suelo MS y se esperaba un mayor contenido de MO y nutrientes, los niveles de N son pobres

comparados con el suelo MI, que puede ser debido a la aplicación restringida de fertilizantes nitrogenados en el área, este resultado coincide con lo reportado por Opazo *et al.* (2008) quienes en su investigación encontraron altos contenidos de fósforo y un bajo contenido de N inorgánico, por esto se tuvo una alta respuesta en el maíz dulce por la aplicación de N, mismo que sucedió en el suelo. Silva *et al.* (1992), explican que a partir de la incorporación de residuos de plantas al suelo, se estimula o retarda la descomposición del humus nativo en el mismo, este efecto se llama “priming” (preparación) y es usualmente positivo. A medida que se pierde el C extra del suelo hay un aumento de microorganismos que producen enzimas y atacan la MO contenida en el suelo, esto puede explicar los niveles menores de MO en el suelo MS.

El nitrógeno (N) reportado en los análisis fue superior en el MI con un 24% mayor que en MS en el caso del análisis de las muestras de suelo por tratamiento y una diferencia 33.7% más en los análisis iniciales; esta diferencia se debe al exceso de N aplicado por medio de fertilizantes químicos en cada ciclo de cultivo en el MI, lo que ha ocasionado la acidificación del suelo. Silva *et al.* (1992), estudiaron el comportamiento en el suelo con diferentes restos vegetales que se agregaron y reportaron que en los suelos con un promedio de 1.2 y 1.3% de N, se absorbe N mineral del suelo convirtiéndolo en N orgánico, y que los suelos con contenido superior a 1.8% de N se daba una liberación neta de N inorgánico al suelo desde el comienzo. Mencionaron también que un contenido entre 1.2 y 1.8% de N, no tenían efecto sobre el N del suelo durante el proceso de descomposición de la MO y que aunque se inmovilice el N en las primeras etapa, termina por liberarse al medio.

4.2 Desarrollo de las plantas en suelo MI y MS

En el ambiente de suelo MI, entre los 5 y 7 días después de la siembra ocurrió la emergencia de las plantas de maíz, la cual fue uniforme. En los tratamientos Cosustenta I y Cosustenta II inoculados con micorriza y *azospirillum brasilense*, así como en el tratamiento Vermiabono orgánico al que también se le aplicó micorriza al suelo no se observó ventaja o desventaja al momento de la emergencia de las plantas con semilla inoculada comparados con el resto de tratamientos sin inocular con Biofertilizante. Durante el desarrollo vegetativo (alrededor de la

tercer hoja o etapa V3) se observaron manchas necróticas y/o cloróticas en las hojas de la planta provocando la muerte de algunas de ellas; este daño pudo ser ocasionado por los efectos del herbicida aplicado en combinación con el carácter ácido del suelo, ya que el cultivo de maíz dulce es sensible a ciertos productos químicos como los herbicidas preemergentes que contienen dimetenamida, ya que causan reacciones fitotóxicas y daños irreversibles Garza *et al.* 2003). Otra posible causa es por efectos residuales de herbicidas aplicados en años anteriores, como atrazinas que pudieron permanecer inmóviles en el suelo en los 2 a 6 meses anteriores (Urzúa, 2001) o el glifosato que aunque algunos autores (Njiti *et al.*, 2003; Baley *et al.*, 2009; Camberato *et al.*, 2011; citados por Cogua y Duque, 2015) afirman que no causa efectos significativos en las plantas de maíz, ni alteran su crecimiento. Cogua y Duque (2015) concluyen que los porcentajes de inhibición sí producen efectos fisiológicos por el uso de glifosato en semillas de maíz y se afecta el desarrollo y producción de la planta de maíz. Para subsanar el daño presentado se hizo a una aplicación homogénea de fertilizante foliar con 2 l ha⁻¹ del producto comercial Bayfolan.

En la etapa V9, se observaron enfermedades como roya (*Puccinia sorghi*) y daño por turcicum (*Helminthosporium turcicum*) que no perjudicaron de manera importante el desarrollo de las plantas.

En el ambiente de suelo MS, entre los 5 y 6 días después de la siembra, se observaron las primeras plántulas. En este sitio durante la emergencia del cultivo, se presentó un ataque de roedores en las orillas del ensayo; las partes dañadas se sembraron. Los tratamientos Cosustenta I y Cosustenta II inoculados con micorriza y *azospirillum brasilense*, así como el tratamiento Vermiabono orgánico al que también se le aplicó micorriza al suelo no mostraron diferencia entre tratamientos con semilla inoculada y el resto de tratamientos sin inocular al momento de la emergencia de las plantas. Este ambiente mostró inundaciones en el terreno muy frecuentes y mayor presencia de malezas de hoja angosta principalmente grama. No obstante, se logró un crecimiento normal y sano en el desarrollo del cultivo.

4.3 Análisis de varianza individuales

4.3.1 Suelo MI

De las 15 variables estudiadas, se detectaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en floración masculina, grados Brix, longitud de elote y coloración de planta, lo que indica que hubo respuesta en algunas características estudiadas por los tratamientos aplicados. Los coeficientes de variación se ubican dentro del rango aceptable para cada una de las variables a excepción de mazorcas dañadas y acame de raíz, que presentaron valores de coeficiente de variación superiores al 25%, esto debido a que en algunos tratamientos no se tuvo presencia de acames y en el caso de las que si presentaron se disparan los valores de CV por la poca variación que se tuvo (Cuadro 5).

Cuadro 5. Parámetros estadísticos de las variables agronómicas y fisiológicas tomadas del análisis de varianza. CUCBA PV 2013. Suelo MI.

Variable	CM	R ²	CV	Valor F	Valor p	Significancia	Media
Floración Masculina (días)	1.12	0.52	0.94	2.30	0.05	*	74
Floración Femenina (días)	3.77	0.50	1.71	2.10	0.07	ns	78
Altura de Planta (cm)	55.46	0.26	4.57	0.74	0.68	ns	189.4
Altura de Mazorca (cm)	48.35	0.23	10.14	0.64	0.76	ns	85.9
Plantas Totales (unidad)	1.76	0.46	4.23	1.76	0.13	ns	59.3
Acame de Raíz (porcentaje)	0.47	0.20	127.66	0.52	0.85	ns	0.8
Acame de Tallo (porcentaje)	48.97	0.34	20.82	1.10	0.40	ns	32.0
Mazorcas Dañadas (unidad)	9.65	0.26	26.50	0.73	0.68	ns	13.7
Rendimiento de grano (kg ha ⁻¹)	262450	0.32	17.66	0.99	0.48	ns	2918.1
Humedad de grano (%)	0.26	0.28	4.23	0.82	0.61	ns	13.4
Clorofila (unidades SPAD)	20.36	0.42	7.19	1.53	0.19	ns	50.8
Grados Brix (%)	8.3	0.65	6.03	3.94	0.003	**	24.1
Peso de Elote (kg)	0.001	0.31	11.78	0.92	0.53	ns	0.3
Longitud de Elote (cm)	1.26	0.55	4.32	2.52	0.03	*	16.4
Diámetro de Elote (cm)	0.061	0.47	4.10	1.84	0.11	ns	4.5
Peso de Elote sin Bráctea (gr)	599.06	0.31	12.83	0.95	0.51	ns	196.2
Coloración de Planta (1-3)	0.06	0.59	5.87	3.01	0.01	**	2.6
Inundación de Parcela (1-3)	0.007	0.32	8.70	1.00	0.47	ns	1.0

CM= Cuadrado Medio; R²= Coeficiente de Determinación; CV= Coeficiente de Variación. *, ** Valor significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad de error, ns= valor no significativo.

En el Cuadro 6, se presentan las medias de tratamientos de siete variables. La floración masculina y femenina se presentó entre los 73 y 80 días, emergió primero la inflorescencia masculina y posteriormente la femenina con una diferencia promedio de 5 días. El mismo efecto se presentó en alturas de planta y mazorca donde el tratamiento químico presentó una tendencia a mayores alturas, mientras los tratamientos Cosustenta I y Vermiabono orgánico reflejaron un porte más bajo.

Cuadro 6. Comparación de medias de variables agronómicas y fisiológicas. CUCBA PV 2013. Suelo MI

Tratamiento	Plantas Totales	Floración		Altura de	Altura de	Acame	Acame
		Masc (días)	Fem (días)	Planta (cm)	Mazorca (cm)	de Raíz (%)	de Tallo (%)
1 Abonasa	57	75	79	189	84	0.8	30
2 Biofom	59	75	79	191	91	0.8	30
3 Cosustenta I	59	74	78	187	85	0.5	31
4 Cosustenta II	60	75	79	188	87	0.3	37
5 Vermiabono	61	74	78	188	86	1.3	31
6 Vermiabono orgánico	61	74	77	186	82	1.0	31
7 Testigo químico	59	75	80	188	81	1.0	35
8 Cero fertilización	60	74	78	198	92	0.5	33
Media general	59.3	74.4	78.4	189.3	85.9	0.75	32.0
CV	4.2	0.9	1.7	4.6	10.1	127.7	20.8
DMS	5.9	1.6	3.2	20.5	20.6	2.3	15.8

* CV=Coficiente de Variación, DMS= Diferencia Mínima Significativa (0.05).

Respecto al acame de raíz, la incidencia fue baja, en los tratamientos con inóculo de biofertilizantes en semilla (tratamientos Cosustenta I y II) tendieron a mostrar un menor porcentaje de acame de raíz, lo cual concuerda con la afirmación de Álvarez *et al.* (2004), quienes exponen que las micorrizas arbusculares colonizan las raíces de las plantas, forman una extensa red de micelio en el suelo, lo que mejora la capacidad de anclaje, retención y aprovechamiento de nutrientes. El acame de tallo fue 32% más frecuente que el acame de raíz al que le correspondió 0.75% en promedio; los porcentajes de acame fueron uniformes en todos los tratamientos de fertilización, sin embargo los tratamientos Abonasa y Biofom mostraron menor porcentaje de acame de tallo. En el Cuadro 7, se presentan las medias de las variables de elote y mazorca; la longitud de elote fue mayor en el tratamiento 2 de Biofom, el mayor peso de

elote, diámetro de elote y el peso de elote sin bráctea resultó hasta 13% mayor que la media general. Bavec *et al.* (2013) reportan en su investigación que al utilizar diferentes tipos de fertilizantes orgánicos e inorgánicos se presentó una respuesta en la variable de peso de elote y número de granos. Sin embargo coincide con el presente trabajo para diámetro de elote donde no hubo efecto por aplicación de diferentes dosis y fuentes de nitrógeno. En este caso, los tratamientos menos favorecidos para estas variables fueron el 3 y 4 (Cosustenta I y II). El porcentaje de mazorcas dañadas fue similar en todos los tratamientos, pero el tratamiento testigo cero fertilización presentó 25% menos mazorcas dañadas que la media general y comparado con los tratamientos Químico y Biofom que presentaron mayores daños, con 28% más pudriciones respecto a la media. El tratamiento Vermiabono también reflejó buena sanidad de mazorca, ya que estuvo por debajo de la media general y bajó un 13% de daño respecto al daño más alto. A pesar de que el tratamiento 2 de Biofom fue el único que acusó diferencia significativa en longitud de elote y fue levemente mejor que los otros tratamientos, presentó el mayor número de mazorcas dañadas. No obstante, sí se observan los resultados en el Cuadro 8 es claro que éste fue el único tratamiento que se vio afectado por inundación de parcela, situación que pudo ocasionar la presencia de pudrición de mazorcas en mayor porcentaje y, por consecuencia, que se afectaran los rendimientos esperados.

Cuadro 7. Comparación de medias de variables agronómicas y fisiológicas. CUCBA PV 2013. Suelo MI.

Tratamiento	Peso de Elote (gr)	Longitud de Elote (cm)	Diámetro de Elote (cm)	Peso de Elote sin Bráctea (gr)	Mazorcas Cosechadas (unidad)	Mazorcas Dañadas (unidad)
1 Abonasa	269	16	4.3	186	53	14
2 Biofom	311	17	4.6	223	56	15
3 Cosustenta I	260	16	4.5	189	55	15
4 Cosustenta II	261	16	4.4	185	55	14
5 Vermiabono	279	16	4.5	199	55	13
6 Vermiabono orgánico	276	16	4.3	190	58	14
7 Testigo químico	280	16	4.6	190	57	15
8 Cero fertilización	299	17	4.6	208	56	10
Media general	0.3	16.4	4.5	196	55.7	13.7
CV	11.8	4.3	4.1	12.8	6.2	26.5
DMS	0.07	1.7	0.4	59.7	8.2	8.6

* CV=Coeficiente de Variación, DMS= Diferencia Mínima Significativa (0.05).

En el Cuadro 8, se presentan las medias de las variables rendimiento de grano, humedad, clorofila, grados Brix y las calificaciones de planta e inundación del terreno. El rendimiento de grano no presentó diferencias estadísticas significativas entre tratamientos y testigos, pero la tendencia en el ambiente MI fue positiva para el tratamiento testigo cero fertilización, ya que registró el mayor rendimiento mientras que el tratamiento Cosustenta II fue el que rindió menos., El testigo cero fertilización fue 18.6 % mejor respecto a la media y 26.0% respecto al rendimiento del tratamiento que presentó la media más baja. Con base en los resultados de los análisis de suelo y al resultado obtenido en los rendimientos de grano, se puede argumentar que el suelo se encuentra sobre-fertilizado por abuso de productos químicos en años anteriores, y que pudo presentarse un enmascaramiento de los tratamientos de fertilización aplicados; esto explica que, aunque no hubo diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, el tratamiento testigo cero fertilización obtuvo mayor peso de campo dando el rendimiento de 3461kg ha⁻¹.

Cuadro 8. Comparación de medias de variables agronómicas y fisiológicas. CUCBA PV 2013. Suelo MI

Tratamiento	Rendimiento de grano (kg ha ⁻¹)	Humedad (%)	Clorofila (unidades SPAD)	Grados Brix (%)	Coloración de Planta (1-3)	Inundación de Parcela (1-3)
1 Abonasa	3005	13.7	52	25	2.7 ab	1.0
2 Biofom	2741	13.2	53	26	2.7 ab	1.1
3 Cosustenta I	2732	13.1	49	24	2.5 ab	1.0
4 Cosustenta II	2561	13.9	50	23	2.5 ab	1.0
5 Vermiabono	2924.	13.2	50	22	2.7 ab	1.0
6 Vermiabono orgánico	3192	13.5	52	24	2.8 a	1.0
7 Testigo químico	2730	13.4	51	24	2.4 ab	1.0
8 Cero fertilización	3461	13.2	50	25	2.4 b	1.0
Media general	2918.1	13.4	50.8	24.1	2.6	1.01
CV	17.7	4.2	7.2	6.0	5.9	8.7
DMS	1222.5	1.3	8.7	3.4	0.3	0.2

* Prueba de Tukey: Letras iguales no hay diferencias significativas, letras diferentes indican que sí hay diferencias. CV=Coefficiente de Variación, DMS= Diferencia Mínima Significativa (0.05).

El porcentaje de humedad que presentaron fue estable para todos los tratamientos en este ambiente, al igual que la clorofila en la hoja, que según Sainz y Echeverría (1998) está

estrechamente relacionada con el contenido de Nitrógeno (N) en la planta, y puede dar información para evaluar el estado nutricional del cultivo, y mostrar una relación con el rendimiento final siempre y cuando se tome este dato después de la hoja V6 (seis hojas verdaderas). Estos mismos autores reportan niveles de clorofila de 51 y 59 unidades SPAD (unidades se reportan desde 9.9 hasta 199.9 unidades) a los 56 y 73 días respectivamente, mientras que en el presente estudio a los 60 días de emergencia se presentaron resultados similares que oscilaron entre 48 y 53 unidades SPAD. Estos resultados reflejan que la planta se encontraba con un nivel de N aceptable. El tratamiento 2 de Biofom es el que presentó mejor nivel de clorofila mientras que el tratamiento 3 de Cosustenta I presentó el más bajo. Bavec *et al* (2013) tampoco reportaron diferencias estadísticas significativas en las tasas fotosintéticas entre sus tratamientos de fertilización.

En relación a la calificación por aspecto y coloración de planta, se observó una recuperación satisfactoria por los daños de una posible intoxicación de las plántulas que se tuvo al inicio del cultivo causada aparentemente por residuos de herbicidas aplicados en años anteriores, ya que se registró una media de 2.57 y sí se detectaron diferencias estadísticas significativas siendo mejor el tratamiento 6 Vermiabono orgánico y el peor el tratamiento cero fertilización. En este ambiente no se presentaron afectaciones mayores en las parcelas por inundación del terreno, el tratamiento 2 de Biofom mostró una ligera afectación en comparación con los demás, pero en general se tuvo buena afluencia y absorción del agua de lluvia.

4.3.2 Suelo MS

Los análisis de varianza (Cuadro 9) detectaron diferencias estadísticas significativas entre las medias de tratamientos en 8 de las variables estudiadas y las dos calificaciones de coloración de planta e inundación de la parcela experimental del ensayo establecido en el suelo MS. Los coeficientes de determinación fueron más altos y presentaron mayor variación en este ambiente. Los coeficientes de variación para acame de raíz y tallo, número de mazorcas dañadas y

rendimiento de grano fueron de valores arriba del 25% lo que indica mayor variación en los datos de estas variables.

Cuadro 9. Parámetros estadísticos de las variables agronómicas y fisiológicas tomadas del análisis de varianza. CUCBA PV 2013. Suelo MS

Variable	CM	R ²	CV	Valor F	Valor p	Significancia	Media
Floración Masculina (días)	4.63	0.63	1.60	3.55	0.007	**	71.4
Floración Femenina (días)	6.15	0.72	1.48	5.27	0.0007	**	72.7
Altura de Planta (cm)	872.62	0.64	7.70	3.81	0.004	**	196.5
Altura de Mazorca (cm)	383.85	0.57	12.85	2.77	0.024	*	91.69
Plantas Totales (unidad)	28.58	0.41	7.97	1.45	0.226	ns	55.65
Acame de Raíz (porcentaje)	16.58	0.48	177.46	1.92	0.1	ns	1.65
Acame de Tallo (porcentaje)	113.72	0.60	31.88	3.14	0.013	**	18.87
Mazorcas Dañadas (unidad)	1.68	0.15	32.59	0.37	0.94	ns	6.53
Rendimiento de grano (kg ha ⁻¹)	3138801	0.63	26.34	3.55	0.006	**	3569.2
Humedad (%)	0.18	0.54	2.19	2.46	0.0397	*	12.40
Clorofila (unidades SPAD)	45.64	0.42	13.32	1.54	0.1925	ns	40.81
Grados Brix (%)	22.39	0.71	8.66	5.11	0.0008	**	24.18
Peso de Elote (kg)	0.00	0.35	16.77	0.85	0.3858	ns	0.30
Longitud de Elote (cm)	1.21	0.29	7.20	1.20	0.5876	ns	16.57
Diámetro de Elote (cm)	0.05	0.36	4.65	0.64	0.34	ns	4.49
Peso de Elote sin Bráctea (gr)	789.61	0.23	17.23	4.56	0.7638	ns	203.8
Coloración de Planta (1-3)	0.59	0.68	16.89	3.37	0.0017	**	2.14
Inundación de Parcela (1-3)	0.71	0.62	23.01	1.13	0.0091	**	1.99

CM= Cuadrado Medio; R²= Coeficiente de Determinación; CV= Coeficiente de Variación.*, ** Valor significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad. ns= valor no significativo.

El Cuadro 10, muestra las medias de tratamientos para floración masculina y femenina, altura de planta y mazorca y acame de raíz y tallo, los cuales mostraron una diferencia significativa ($P \leq 0.05$ y $P \leq 0.01$) entre tratamientos evaluados excepto para acame de raíz (Cuadro 9). Con el tratamiento químico se adelantó el desarrollo 1 y 2 días de floración masculina y femenina respectivamente, el mismo efecto se presentó para altura de planta y mazorca ya que el tratamiento químico fue el que alcanzó mayor altura con una diferencia en total de 22.6 cm respecto a la media y 40 cm respecto al tratamiento testigo cero fertilización el cual fue de menor

altura. En el caso de acame de raíz, el tratamiento 4 (Cosustenta II) fue el más elevado, mientras que el tratamiento químico fue el que tuvo tallos más fuertes y menor porcentaje de plantas quebradas o caídas. El tratamiento testigo cero fertilización fue el que sufrió mayor porcentaje de acame de tallo, mientras que el tratamiento 4 (Cosustenta II) inoculado en la siembra con micorrizas presentó beneficios, redujo el porcentaje 31% menos respecto a la media general de tratamientos.]

Cuadro 10. Comparación de medias de variables agronómicas y fisiológicas. CUCBA PV 2013. Suelo MS.

Tratamiento	Plantas Totales	Floración	Floración	Altura de	Altura de	Acame de	Acame de
		Masculina (días)	Femenina (días)	Planta (cm)	Mazorca (cm)	Raíz (%)	Tallo (%)
1 Abonasa	54	71	74	195 ab	91 ab	0.75	24 ab
2 Biofom	58	71	73	199 ab	94 ab	1.75	19.5 ab
3 Cosustenta I	53	72	73	194 ab	91 ab	0.25	20.0 ab
4 Cosustenta II	55	71	72	203 ab	95 ab	5.50	13.0 ab
5 Vermiabono	55	72	73	196 ab	89 ab	0.50	20.7 ab
6 Vermiabono orgánico	55	71	73	188 ab	89 ab	0.50	20.7 ab
7 Testigo químico	62	70	71	219 a	108 a	3.75	9.0 b
8 Cero fertilización	55	72	73	179 b	78 b	0.25	24.5 a
Media general	55.6	71	73	196.5	91.7	1.6	18.8
CV	7.9	1.6	1.5	7.7	12.8	177.4	31.9
DMS	10.5	2.7	2.5	35.9	27.9	6.9	14.3

* Prueba de Tukey: Letras iguales no hay diferencias significativas, letras diferentes indican que sí hay diferencias. CV=Coficiente de Variación, DMS= Diferencia Mínima Significativa

El Cuadro 11, muestra los promedios para las variables peso de elote, longitud de elote, diámetro de elote, peso de elote sin bráctea, mazorcas cosechadas y dañadas; únicamente se observó diferencia entre medias en la variable mazorcas cosechadas, en el resto de las variables no hubo diferencias. Los pesos de elote con bráctea tuvieron un peso entre 0.291 y 0.359 kg correspondiente a los tratamientos testigo cero fertilización y químico, respectivamente; sin embargo, los tratamientos Biofom, Cosustenta I y Cosustenta II superaron a la media. La longitud de elote fue muy uniforme, todos los tratamientos estuvieron alrededor de 17 cm de largo.

La tendencia en variables como peso de elote sin bráctea y el número de mazorcas dañadas se vio a favor del tratamiento químico seguido de los tratamientos 5 y 2 (Vermiabono y Biofom), los cuáles superaron a la media.

Cuadro 11. Comparación de medias de variables agronómicas y fisiológicas. CUCBA PV 2013. Suelo MS.

Tratamiento	Peso de Elote (kg)	Longitud de Elote (cm)	Diámetro de Elote (cm)	Peso de Elote sin Bráctea (gr)	Mazorcas Cosechadas (unidad)	Mazorcas Dañadas (unidad)
1 Abonasa	0.294	17	4.5	195	47	6.5
2 Biofom	0.308	17	4.4	204	54	7.0
3 Cosustenta I	0.315	16	4.4	199	44	7.2
4 Cosustenta II	0.313	17	4.5	206	53	6.5
5 Vermiabono	0.307	17	4.5	211	49	6.0
6 Vermiabono orgánico	0.281	16	4.5	198	50	6.0
7 Testigo químico	0.359	17	4.7	224	55	5.7
8 Cero fertilización	0.291	16	4.4	193	46	7.2
Media general	0.3	16.6	4.5	203.8	49.6	6.5
CV	16.7	7.2	4.6	17.2	13.5	32.6
DMS	0.1	2.8	0.5	83.3	15.9	5.0

*CV=Coficiente de Variación, DMS= Diferencia Mínima Significativa (0.05).

En el Cuadro 12, se presentan las variables rendimiento de grano, porcentaje de humedad, clorofila, grados Brix y las calificaciones tomadas por aspecto de planta e inundación de la parcela. En lo que refiere a rendimiento de grano, aunque no se presentaron diferencias en las medias, la tendencia de la respuesta a la aplicación de los diferentes fertilizantes se comportó de acuerdo a lo esperado; el tratamiento químico, fue el más rendidor, con 34 % más que la media general y un 78% más que el tratamiento testigo cero fertilización el cual fue el más bajo.

Dos tratamientos, el primero totalmente orgánico (tratamiento Biofom) y uno combinado (tratamiento Cosustenta II) fueron 11.3 % y 10.1% respectivamente superiores a la media general. Al igual que López *et al.* (2001) se alcanzó mejor respuesta con el tratamiento de fertilización química (6.05 t ha⁻¹ con la fórmula 120-40-00 NPK); no obstante, con el tratamiento

de composta (a base de desperdicios vegetales, residuos de cosecha y estiércol) se obtuvo un rendimiento similar (5.66 t ha^{-1}).

De acuerdo al contenido óptimo de clorofila, según lo reportado por Sainz y Echeverría (1998) para esperar buenos rendimientos se requiere alcanzar entre 50 y 60 unidades SPAD en la etapa V6; este ambiente presentó niveles bajos de clorofila en esta etapa que varían desde 36 hasta las 45 unidades SPAD, esto indica que se tuvo una deficiencia de N.

Cuadro 12. Comparación de medias de variables agronómicas y fisiológicas. CUCBA PV 2013. Suelo MS.

Tratamiento	Rendimiento de grano (kg ha^{-1})	Humedad (%)	Clorofila (unidades SPAD)	Grados Brix (%)	Coloración de Planta (1-3)	Inundación de Parcela (1-3)
1 Abonasa	3227	12.3 ab	41	24.5	2.3 ab	2.1
2 Biofom	3971	12.6 a	43	23.9	2.2 ab	1.9
3 Cosustenta I	3108	12.5 ab	38	22.8	2.1ab	2.0
4 Cosustenta II	3931	12.5 ab	40	23.5	2.3 ab	1.9
5 Vermiabono	3518	12.6 a	42	24.8	1.9 ab	1.8
6 Vermiabono orgánico	3331	12.2 ab	40	24.1	1.9 ab	2.2
7 Testigo químico	4787	12.4 ab	46	25.4	2.8 a	1.6
8 Cero fertilización	2682	11.9 b	36	24.5	1.6 b	2.4
Media general	3569.2	12.4	40.8	24.2	2.1	1.9
CV	26.3	2.2	13.3	8.6	16.9	23
DMS	2229.7	0.6	12.9	4.9	0.8	1.1

Prueba de Tukey: Letras iguales no hay diferencias significativas, letras diferentes indican que sí hay diferencias. CV=Coficiente de Variación, DMS= Diferencia Mínima Significativa.

En este ambiente algunas parcelas mostraron mayor afectación por encharcamientos de agua, los tratamientos más afectados fueron el de Abonasa, Vermiabono Orgánico y el testigo cero fertilización, este daño se reflejó en variables como clorofila y la calificación de planta, a pesar de que se conoce que el maíz soporta un exceso de humedad en las regiones en que el suelo está mantenido por encima de su capacidad de campo durante largos períodos, da lugar a un menor abastecimiento de oxígeno a las raíces, tal como ocurre en suelos pesados y mal drenados. Lafitte (2001) menciona que las inundaciones dan lugar al cierre de los estomas, que ocasiona

un crecimiento limitado, clorosis, un menor crecimiento de las raíces y en algunas ocasiones se provoca la muerte de la planta.

Por otro lado las inundaciones están asociadas a una menor absorción de nutrientes. La absorción del nitrógeno se reduce por la rápida desnitrificación de los nitratos después de 48 horas de inundación. Altas aplicaciones de nitrógeno pueden compensar en algunos casos los efectos de las inundaciones; en el caso del potasio, su absorción se reduce a causa de los efectos directos de la anoxia (sin presencia de oxígeno) sobre la misma y sobre su translocación en la planta de maíz, nótese que los resultados del rendimiento final en este estudio concuerdan con esta afirmación, ya que el tratamiento testigo cero fertilización fue el que tuvo valores de unidades SPAD más bajos y menor rendimiento además de que sufrió mayor afectación de inundación del terreno; por su parte, el tratamiento químico fue el que reportó el mayor peso, mayor cantidad de unidades SPAD y menor afectación por inundación del terreno.

En la variable grados Brix, se mantuvo un porcentaje de dulzor del grano entre los 22.8 y 25.4 % por lo que no se detectaron diferencias estadísticas entre tratamientos, lo que indica que no se modifican los niveles de azúcar por la aplicación de diferentes tratamientos de fertilización (Cuadro 12).

4.4 Análisis de varianza combinado

El análisis de varianza combinado (Cuadro 13), refleja que las medias entre los tratamientos mostraron diferencias estadísticas altamente significativas ($P \leq 0.01$) para floración masculina y femenina, altura de planta, acame de raíz y tallo, mazorcas cosechadas, mazorcas dañadas, porcentaje de humedad, clorofila, grados Brix y las calificaciones tomadas de planta e inundación del terreno, En el caso de altura de mazorca y plantas totales se detectaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$), pero no diferencias en las variables tomadas en estado fresco del elote como son: peso de elote con bráctea y sin bráctea, así como en longitud y diámetro.

Cuadro 13. Parámetros estadísticos de las variables agronómicas y fisiológicas resultado del análisis de varianza combinado.

Variable	CM	R ²	CV	Valor F	Valor p	Significancia	Media
Floración Masculina (días)	9.45	0.84	1.29	10.55	<0.0001	**	73
Floración Femenina (días)	28.83	0.90	1.61	19.45	<0.0001	**	76
Altura de Planta (cm)	481.41	0.61	6.38	3.17	0.0007	**	193
Altura de Mazorca (cm)	231.30	0.51	11.66	2.16	0.0169	*	89
Plantas Totales (unidad)	8.74	0.48	181.67	1.83	0.047	*	1.2
Acame de Raíz (porcentaje)	208.72	0.72	24.95	5.18	<0.0001	**	25
Acame de Tallo (porcentaje)	44.41	0.71	29.42	5.02	<0.0001	**	10.1
Mazorcas Dañadas (unidad)	2,010,368	0.59	23.69	2.95	0.0014	**	3244
Rendimiento de grano (kg ha ⁻¹)	0.97	0.71	3.44	4.92	<0.0001	**	12.9
Humedad (%)	107.40	0.71	10.11	5.01	<0.0001	**	45.8
Clorofila (unidades SPAD)	14.62	0.69	7.46	4.50	<0.0001	**	24.1
Grados Brix (%)	0.002	0.40	14.75	1.36	0.193	ns	0.294
Peso de Elote (kg)	1.21	0.38	5.95	1.26	0.256	ns	16.5
Longitud de Elote (cm)	0.05	0.41	4.38	1.43	0.161	ns	4.5
Diámetro de Elote (cm)	7.05.5	0.27	15.27	0.76	0.751	ns	199.9
Peso de Elote sin Bráctea (gr)	0.46	0.74	11.77	5.91	<0.0001	**	2.4
Coloración de Planta (1-3)	1.07	0.83	21.96	9.83	<0.0001	**	1.5
Inundación de Parcela (1-3)	0.71	0.62	23.01	1.13	0.0091	**	1.99

CM= Cuadrado Medio; R²= Coeficiente de Determinación; CV= Coeficiente de Variación.*, ** Valor significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad. ns= valor no significativo.

La variable altura de planta (Figura 3.) muestra una tendencia de respuesta similar en siete de los tratamientos, pero en el tratamiento testigo cero fertilización, se ve reflejado un desarrollo de la planta mejor en suelo MI que en el resto de los tratamientos. En la misma figura, se observa la diferencia que se evidenció aplicando el mismo tratamiento de fertilización, pero en dos

suelos con diferente manejo, tal es el caso del tratamiento químico, en donde es muy claro el aprovechamiento que se logró con un suelo de manejo sustentable.

El mismo caso se presentó en la variable altura de mazorca, en donde los tratamientos tienen una tendencia para el desarrollo de alturas de planta similar (Figura 4) al de alturas de mazorca,

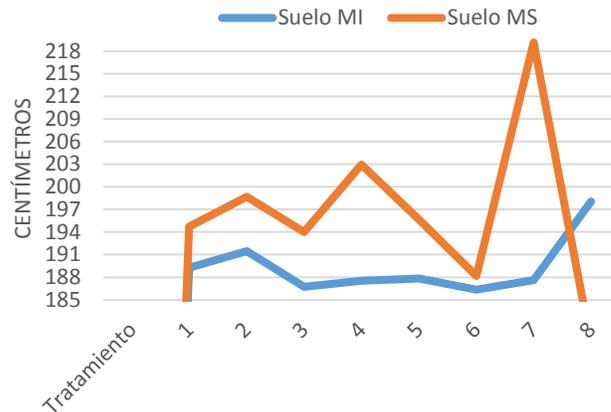


Figura 3. Medias de altura de planta en ocho tratamientos de fertilización y su interacción en dos ambientes

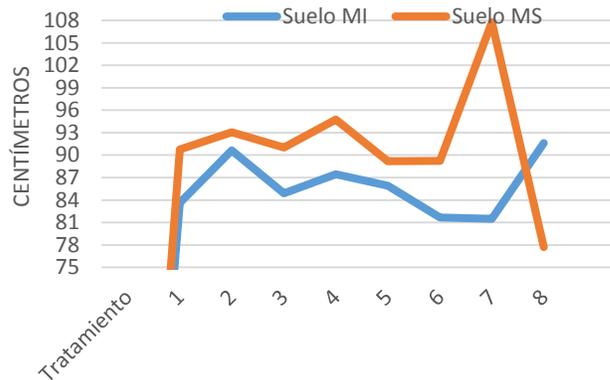


Figura 4. Medias de altura de mazorca en ocho tratamientos de fertilización y su interacción en dos ambientes

interactuando el tratamiento cero fertilización y mostrando una mayor diferencia en el tratamiento químico. Los tratamientos Abonasa, Biofom, Cosustenta I y II, Vermiabono y Vermiabono orgánico mantuvieron el mismo comportamiento en los dos ambientes.

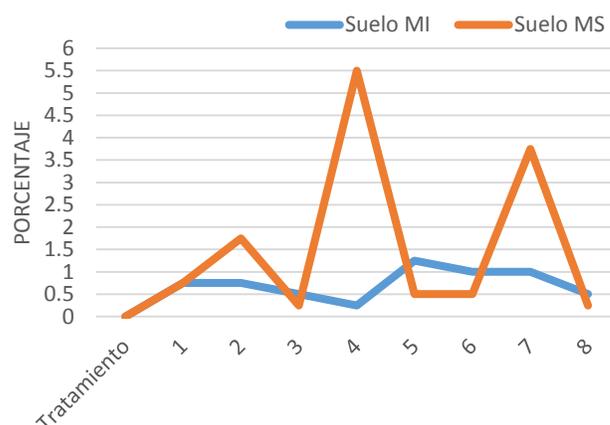


Figura 5. Medias de acame de raíz en ocho tratamientos de fertilización y su interacción en dos ambientes

En la Figura 5. se muestra la interacción en la variable acame de raíz; en esta gráfica se manifiesta una interacción para los tratamientos Abonasa, aunque con mínima diferencia, Cosustenta I, Vermiabono, Vermiabono orgánico además del testigo cero fertilización. La mayor diferencia se observó en el tratamiento Cosustenta II con una reducción de acames de raíz en el Suelo MS, mismo fue el caso del tratamiento químico, aunque con menor diferencia.

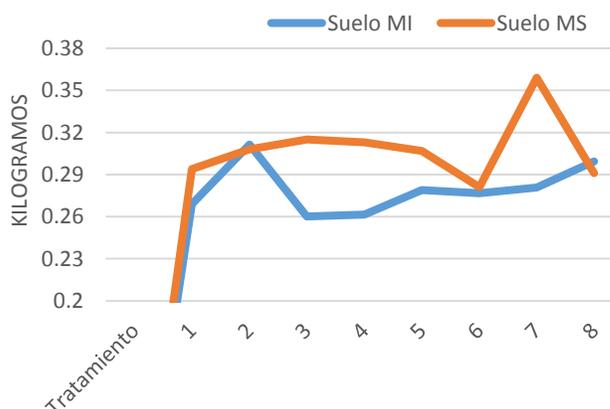


Figura 6. Medias de peso de elote en ocho tratamientos de fertilización y su interacción en dos ambientes

En la Figura 6. la tendencia de los tratamientos de fertilización fue similar, pero el peso de elote en el tratamiento Biofom el cual presentó interacción, sí fue mayor en el Suelo MI. Además de

éste, el tratamiento testigo cero fertilización mostró interacción, aunque mínima, se observa una tendencia a elotes más grandes en el suelo MI.

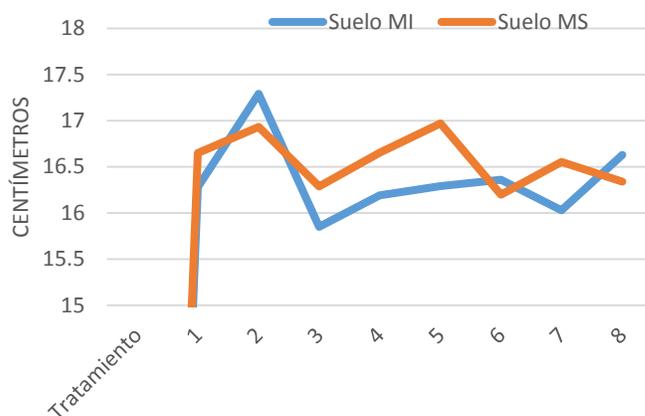


Figura 7. Medias de longitud de elote en ocho tratamientos de fertilización y su interacción en dos ambientes

En la Figura 7. se ilustran las longitudes de elote; los tratamientos 6 y 8, Vermiabono orgánico y testigo cero fertilización respectivamente, fueron los que demostraron interacción al ser aplicados en estos dos ambientes.

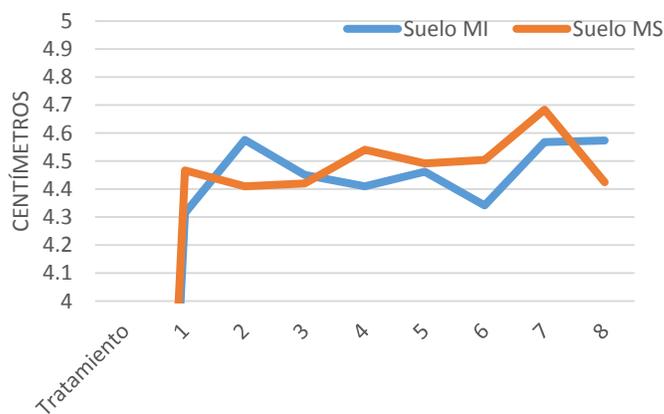


Figura 8 Medias de diámetro de elote en ocho tratamientos de fertilización y su interacción en dos ambientes

La Figura 8 muestra la interacción dada entre la media de diámetro de elote, que a pesar que fueron muy similares se observó competencia entre tratamientos en los dos ambientes.

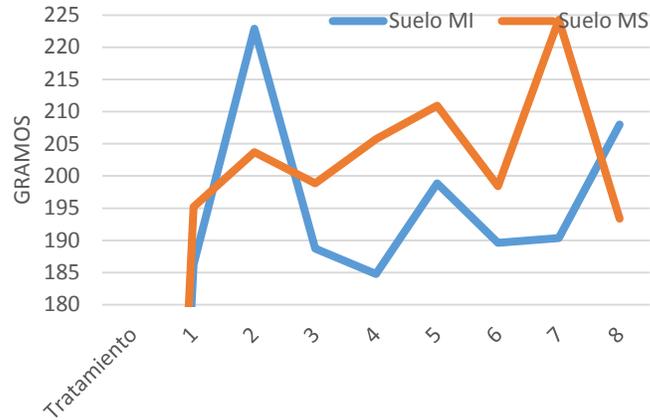


Figura 9. Medias de peso de elote sin bráctea en ocho tratamientos de fertilización y su interacción en dos ambientes

Por otro lado, la variable de peso de elote sin bráctea, sólo mostró interacción en el tratamiento 1, 3 y 8 (Abonasa, Cosustenta I y testigo cero fertilización respectivamente), en los tres casos el ambiente Suelo MI fue el de mejores resultados para esta variable. Sin embargo, el resto de los tratamientos mantuvo una tendencia a favor de los tratamientos aplicados en el suelo MS (Figura 9).

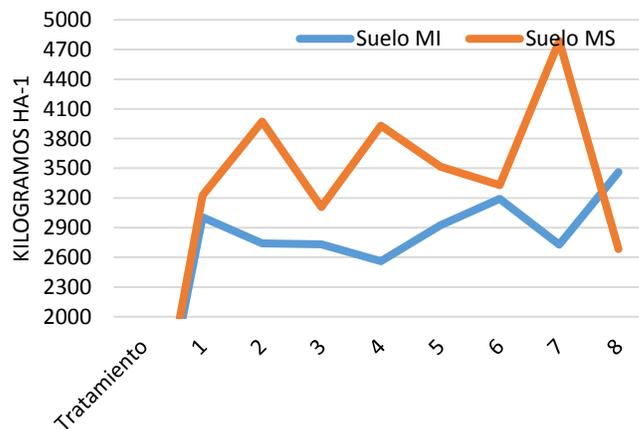


Figura 10. Medias de rendimiento de grano en ocho tratamientos de fertilización y su interacción en dos ambientes

En la Figura 10 se muestra la interacción encontrada en el rendimiento de grano, donde únicamente el tratamiento testigo cero fertilización la reflejó. Por los resultados de análisis de



Figura 11. Medias de grados Brix en ocho tratamientos de fertilización y su interacción en dos ambientes

suelo reportados anteriormente, se deduce que este efecto se dio por el pH y los residuos de fertilizantes químicos de ciclos anteriores, ya que se esperaba que este tratamiento no acusara respuesta alguna, pero sorprendió que alcanzara mayor rendimiento que otros tratamientos conformados con materia orgánica, fertilizantes químicos y biofertilizantes.

En lo que refiere a grados Brix, se detectó interacción en el tratamiento 4 y 8 (Cosustenta II y testigo cero fertilización), los cuales fueron influenciados para su óptimo funcionamiento por el ambiente, para el caso del tratamiento 4, hubo un mejor aprovechamiento en el Suelo MS y para el caso del testigo cero fertilización en el ambiente suelo MI (Figura 11).

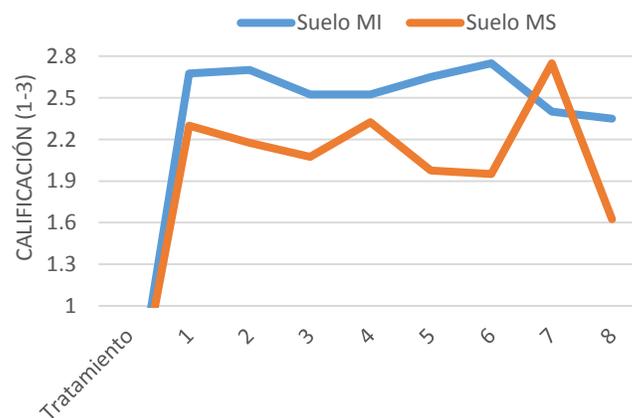


Figura 12. Medias de calificación de planta en ocho tratamientos de fertilización y su interacción en dos ambientes

En la calificación de planta se encontró interacción en los tratamientos 7 y 8 (químico y testigo cero fertilización), pero en el caso del tratamiento 7 tuvo mejor respuesta en el suelo MS, este mismo ambiente no fue favorecedor para el tratamiento 8, el cual se vio reflejado en esta calificación y otras variables (Figura 12).

El Cuadro 14, muestra las medias de las variables estudiadas. Aunque se detectó una diferencia de tres días en la siembra entre el ambiente MI y el MS, se presentó un crecimiento del cultivo en el MS más rápido y saludable, los días a floración masculina presentaron 3 días de diferencia y una floración femenina de 6 días, que por tratarse del mismo híbrido y las mismas condiciones climáticas (temperatura y precipitación) es de consideración. Además, tratándose del cultivo de maíz, es importante saber que tener sincronía floral es importante, puesto que el polen liberado puede ser aprovechado completamente por los estigmas expuestos. Al contrario, si presenta asincronía floral puede terminarse el polen sin haber polinizado el total de los estigmas y el elote quedará parcialmente formado.

La altura de planta y mazorca, fue diferente, en el ambiente MS presentó valores superiores que pudieron deberse a dos factores: primero que no se tuvo afectación por intoxicación de algún producto químico residual en el suelo, y el segundo el encharcamiento entre surcos en este ambiente, ya que el maíz responde inmediatamente a la anoxia por medio de la formación de aerénquima y de raíces adventicias y por la elongación de los internodos más bajos, estas adaptaciones permiten la difusión del oxígeno a las raíces y facilitan la sobrevivencia a inundaciones de corta duración, como fue el caso en este ambiente. El acame de raíz se presentó con la misma frecuencia en los dos ambientes, pero el acame de tallo fue superior en MI aunque los pesos de elote fueron menores que en el suelo MS. Lo que indica que tuvieron mayor resistencia o anclaje de tallo a los vientos y a condiciones ambientales que se presentaron.

Cuadro 14. Comparación de medias de variables agronómicas y fisiológicas. CUCBA PV 2013. Análisis combinado.

Variables	Suelo		Media general	CV	DMS
	MI	MS			
Floración Masculina (días)	74.3 a	71.4 b	72.9	1.3	0.48
Floración Femenina (días)	78.3 a	72.7 b	75.6	1.6	0.61
Altura de Planta (cm)	189.3 b	196.5 a	193.0	6.4	6.22
Altura de Mazorca (cm)	85.9 b	91.6 a	88.8	11.7	5.23
Plantas Totales	59.3 a	55.6 b	57.5	6.3	1.82
Acame de Raíz (%)	0.8	1.6	1.2	181.7	1.10
Acame de Tallo (%)	32 a	18.8 b	25.4	25.0	3.20
Mazorcas Cosechadas	55.6 a	49.6 b	52.7	10.1	2.69
Mazorcas Dañadas	13.6 a	6.5 b	10.1	29.4	1.50
Peso de Elote (kg)	0.27 b	0.3 a	0.294	14.8	0.02
Longitud de Elote (cm)	16.4	16.6	16.5	6.0	0.49
Diámetro de Elote (cm)	4.46	4.49	4.47	4.4	0.10
Peso de Elote sin Bráctea (gr)	196.10	203.80	199.99	15.3	15.41
Rendimiento de grano kg ha ⁻¹	2918.1 b	3569.1 a	3243.7	23.7	416.35
Humedad (%)	13.4 a	12.4 b	12.9	3.4	0.22
Clorofila (unidades SPAD)	50.7 a	40.8 b	45.80	10.1	2.34
Grados Brix (%)	24.00	24.10	24.13	7.5	0.91
Coloración de Planta (1-5)	2.57 a	2.14 b	2.35	11.8	0.14
Inundación de Parcela (1-5)	1.01 b	1.99 b	1.500	22.0	0.17

*MI= Suelo con manejo intenso, MS= Suelo con manejo sustentable. Prueba de Tukey: Letras iguales no hay diferencias significativas, letras diferentes indican que sí hay diferencias. CV=Coefficiente de Variación, DMS= Diferencia Mínima Significativa.

A pesar de que el número de elotes cosechados fue menor en 10.7 % en el MS los rendimientos finales son superiores, puesto que un elote podrido o dañado pierde peso en la mayoría de los casos; además la sanidad de elote en el MS fue notoriamente superior, aunque no se presentó diferencia entre longitud, diámetro y peso de elote sin bráctea; de esta manera se está evidenciando aquí una de las bondades de mantener un suelo con calidad. Se registró un 22.3% de mayor respuesta en producción por peso de grano o rendimiento y nuevamente el ambiente MS, tal como reporta López *et al.* (2001) en el sentido de que los abonos orgánicos son una alternativa para sustituir la fertilización inorgánica. Esto se debe a que los abonos orgánicos pueden abastecer al suelo de nutrientes como el N y los demás elementos esenciales que contiene la composta. Por otro lado, el contenido de clorofila en la planta fue más alto en el MI. Finalmente, resulta importante resaltar, que la característica principal de los maíces dulces

es precisamente el dulzor de sus granos, y por la presente evaluación se confirma que el uso de diferentes dosis y fuentes de fertilización no modifica los niveles de azúcar contenidos en diferentes formas de elote, ya que no se presentaron diferencias importantes por los tratamientos aplicados, ni por el ambiente.

4.5 Análisis financiero

Se investigó el costo real de mercado de los diferentes insumos que se aplicaron en los tratamientos (Cuadro 15) y se reportan a continuación.

En principio, los tratamientos de Cosustenta I y Cosustenta II, tienen un menor costo en el mercado (sin considerar el costo de aplicación), que el tratamiento de fertilización química. Por su costo accesible es benéfico para el productor y aunque no se alcanzaron los mejores rendimientos, la relación beneficio costo puede ser mayor, además se agregan al suelo microorganismos benéficos y se redujo la aplicación de fertilizantes químicos al 50% contribuyendo así a contrarrestar el deterioro del suelo a corto plazo. No obstante, se omite la integración de algún abono orgánico lo que puede ocasionar pérdidas de nutrientes en cada ciclo y un empobrecimiento y degradación del suelo a largo plazo. El tratamiento de fertilización completo Abonasa fue de costo mayor, a pesar de que 1 tonelada es 26% más económica que la producida por la empresa Biofom. Esto porque las dosis recomendadas para este cultivo fueron de 1.6 t ha⁻¹ lo que encareció el tratamiento (Cuadro 15), pero éste respondió bien ya que se mantuvo en la media en la mayoría de las variables como alturas de planta y mazorca, acame de raíz y tallo, longitud y diámetro de elote, entre otras.

Cuadro 15. Costo (\$ ha⁻¹) de tratamientos de fertilización en el año 2015

FERTILIZANTE	PRESENTACIÓN/ MARCA	CANTIDAD/ HA	UNIDAD	COSTO UNITARIO \$	COSTO TOTAL \$
ABONASA	ABONASA POLVO	1.6	T	4000	6400
	FOLIAR	9	L	70	630
TOTAL					7030
BIOFOM	BIOFOM COMPOSTA	1	T	5400	5400
	BIOFOM LÍQUIDO (FOLIAR)	6	L	120	720

				TOTAL	6120
COSUSTENTA I	FERBILIQ	0.6	L	298	298
	ALGAMINO	1	L	210	210
(90-23-00)	K. HUMIKAM PLUS	0.1	KG	355	35.5
	SINERGUANO	2	L	155	310
	FÓRMULA DAP	50	KG	9	450
	UREA	202.5	KG	7	1417.5
				TOTAL	2721
COSUSTENTA II	FERBILIQ	0.6	L	298	298
	K HUMIKAM PLUS	0.1	KG	355	35.5
(90-23-00)	FÓRMULA DAP	50	KG	9	450
	UREA	202.5	KG	7	1417.5
				TOTAL	2201
VERMIABONO	VERMIABONO	6	T	1700	10200
	LIXIVIADOS				
(23-00-00)	(FERTILIZANTE FOLIAR	120	L	8	960
	LÍQUIDO)				
	UREA	72.5	KG	7	507.5
				TOTAL	11667.5
VERMIABONO ORGÁNICO	VERMIABONO	10	T	1700	17000
	LIXIVIADOS				
	(FERTILIZANTE FOLIAR	120	L	8	960
	LÍQUIDO)				
				TOTAL	17960
QUIMICO (180-46-00)	FÓRMULA DAP	100	KG	9	900
	UREA	414	KG	7	2898
	MICRONUTRIENTES	15	KG	20	300
	FOLIAR	4	L	100	400
				TOTAL	4498

* Los costos de mercado son de mayo del 2015 y son precios dados al público en general.

Con los tratamientos a base de Vermiabono (5 y 6) se obtuvieron buenos rendimientos (principalmente en el tratamiento 6 “Vermiabono orgánico”), pero aquí se muestra que la utilización de estos insumos es costosa ya que este tratamiento puede costar hasta 18 mil pesos por hectárea por las altas cantidades de producto que se agregaron al suelo (Cuadro 15). Sin embargo, por la comparación de los dos ambientes se conoce que es conveniente aplicarlos periódicamente y los beneficios a mediano y largo plazo pueden ser favorables.

El costo de la aplicación de un tratamiento de fertilización química es inferior a los tres tratamientos de fertilización 100% orgánica, pero comparados con los tratamientos combinados de Cosustenta son mucho menos rentables.

Es de resaltar que la utilización de fertilizantes químicos si puede ser factible, pero al paso de los años además del daño ambiental que provoca en cuerpos de agua y suelo, disminuye la productividad del mismo, esto se vio reflejado en los resultados del análisis combinado de este estudio donde 14 de las 15 variables estudiadas fueron estadísticamente mejores en un suelo MS tratado con abono orgánico que en el suelo MI, misma afirmación exponen Alvarez y Anzueto (2004), quienes demostraron con su investigación la importancia de fortalecer las prácticas de manejo sustentable que restituyan la cantidad y la calidad de las reservas orgánicas y cationes básicos del suelo y así contribuir a la mejora de la actividad microbiana sobretodo en suelos ácidos con uso agrícola intensivo.

El tratamiento Biofom resultó ser factible en el análisis financiero, ya que cuesta \$5400.0, costo mayor que una tonelada de vermiabono o de abonasa, pero la dosis recomendada fue menor y eso abarató los costos totales, también se hicieron sólo dos aplicaciones de fertilización foliar y significó un ahorro más en costos. Aunque no es más barato aplicar este tratamiento que el tratamiento químico, se agrega MO al suelo, lo que promueve el mantenimiento de un suelo sano a mediano y largo plazo (Cuadro 15).

En el Cuadro 16, se reportan los costos aproximados por la aplicación de fertilizantes de cada tratamiento, y aunque estos varían de acuerdo a la forma de aplicación ya sea manual o mecánica y al acceso a la superficie, se tomó en consideración el número de aplicaciones al suelo y foliares que cada uno requiere a los 20, 40 y 60 días. En el caso de la aplicación mecanizada no se tomó en cuenta la aplicación de fertilizante al momento de la siembra porque la misma sembradora va depositando en el suelo el fertilizante (principalmente químico) que se requiere.

Cuadro 16. Costo (\$ ha⁻¹) para la aplicación de fertilizantes en el año 2015

FERTILIZANTE	PRESENTACIÓN/ MARCA	APLICACIÓN MECANIZADA (TRACTOR \$500.0)	COSTO	MANO DE OBRA (JORNAL \$200.0)	COSTO	TOTAL
ABONASA	ABONASA POLVO	1	500	2	200	400
	FOLIAR	3	1500	3	200	600
	TOTAL		2000		TOTAL	1000
BIOFOM	BIOFOM COMPOSTA	1	500	2	200	400
	BIOFOM LÍQUIDO (FOLIAR)	2	1000	2	200	400
	TOTAL		1500		TOTAL	800
COSUSTENTA I (90-23-00)	FERBILIQ	3	1500	3	200	600
	ALGAMINO					
	K. HUMIKAM PLUS					
	SINERGUANO					
	FÓRMULA DAP			1	200	200
	UREA					
TOTAL		1500		TOTAL	800	
COSUSTENTA II (90-23-00)	FERBILIQ	2	1000	2	200	400
	K HUMIKAM PLUS					
	FÓRMULA DAP			1	200	200
	UREA					
	TOTAL		1000		TOTAL	600
VERMIABONO (23-00-00)	VERMIABONO	1	500	3	200	600
	LIXIVIADOS (FERTILIZANTE FOLIAR LÍQUIDO)	3	1500	3	200	600
	UREA					
	TOTAL		2000		TOTAL	1200
VERMIABONO ORGÁNICO	VERMIABONO	1	500	4	200	800
	LIXIVIADOS (FERTILIZANTE FOLIAR LÍQUIDO)	3	1500	3	200	600
	TOTAL		2000		TOTAL	1400
QUIMICO (180-46-00)	FÓRMULA DAP	1	500	1	200	200
	UREA	1	500	3	200	600
	MICRONUTRIENTES FOLIAR	1	500	3	200	600
	TOTAL		1500		TOTAL	1400

* El costo del jornal y tractor es el servicio por día, puede variar por región, tipo de terreno o ubicación del terreno.

Como se observa en el Cuadro 16, los tratamientos más costosos por aplicación son el químico y el Vermiabono orgánico, este último por la alta cantidad de toneladas que se aplican se requiere mayor trabajo y el químico por la cantidad de aplicaciones foliares y al suelo que se necesitan.

Cuadro 17. Costo total de tratamientos de fertilización (\$ ha⁻¹).

Nombre	Costo del tratamiento de fertilización \$	Costo de aplicación mecanizada \$	Costo de aplicación manual \$	Costo total/ha mecanizado \$	Costo total/ha manual \$
1. Abonasa	7030.0	2000.0	1000.0	9030.0	8030.0
2. Biofom	6120.0	1500.0	800.0	7620.0	6920.0
3. Cosustenta I	2721.0	1500.0	800.0	4221.0	3521.0
4. Cosustenta II	2201.0	1000.0	600.0	3201.0	2801.0
5. Vermiabono	11667.5	2000.0	1200.0	13667.5	12867.5
6. Vermiabono orgánico	17960.0	2000.0	1400.0	19960.0	19360.0
7. Químico	4498.0	1500.0	1400.0	5998.0	5898.0

Los dos tratamientos de Cosustenta, además de un bajo costo de los productos requieren menor costo de aplicación por ser éstas reducidas. El tratamiento Cosustenta II es el de menor costo de todos, por el tratamiento completo y el gasto de aplicación que genera (Cuadro 17), Los tratamientos a base de vermiabono resultaron ser los más costosos mientras que entre el tratamiento químico y Biofom es mínima la diferencia.

El costo de fertilización de maíz dulce con abonos orgánicos es mayor en todos los casos por los altos volúmenes requeridos para proporcionar los nutrientes que demanda este cultivo; una alternativa para disminuir gasto, son los tratamientos Cosustenta I y Cosustenta II que además mostraron una tendencia a reducir el porcentaje de acame presentado, y un costo en el mercado accesible. No obstante, se sugiere investigar a corto o mediano plazo con abonos orgánicos y biofertilizantes para así, ir modificando positivamente las propiedades del suelo para la producción de este cultivo; ya que la aplicación de abonos orgánicos genera un efecto benéfico

a largo plazo, porque mantiene los niveles más apropiados del pH del suelo y favorece un sano desarrollo del cultivo, buena sanidad de elote y características agronómicas deseables en el maíz dulce para consumo fresco o industrializado.

V. CONCLUSIONES

Los resultados de análisis de suelo demostraron que bajo un manejo con monocultivo de maíz y un uso intenso de fertilizantes, el pH del suelo se modifica drásticamente con tendencia clara a la acidificación.

Los niveles de pH iguales o menores a 4.0 calificados como extremadamente ácidos, limitaron la expresión del maíz principalmente en el suelo MI, donde se registró menor desarrollo de la planta, menor peso de elote y menor rendimiento de grano.

El tratamiento de fertilización química (180-46-00), fue el que alcanzó, el mejor rendimiento en los dos ambientes, pero en el análisis individual demostró estadísticamente ser inferior en el suelo MI por la utilización periódica de estos productos.

El tratamiento Biofom 100% orgánico, favoreció al híbrido de maíz dulce, ya que se lograron elotes más largos, anchos y fue el segundo mejor en rendimiento.

El tratamiento Vermiabono Orgánico 10 ton ha⁻¹, fue bueno en campo y alcanzó un rendimiento muy similar al testigo químico y al Biofom. Sin embargo el análisis financiero muestra que el costo de éste es el más alto de todos los tratamientos de fertilización que se emplearon.

Los resultados del trabajo son un apoyo a la estrategia de utilizar técnicas de manejo sustentable para detener o revertir el daño causado al suelo por el uso continuo y excesivo de fertilizantes químicos.

VI. LITERATURA CITADA

- Aguilar, J., Ilsley C., Marielle C. (2003) Los sistemas agrícolas de maíz y sus procesos técnicos, “Sin maíz no hay país”. Consejo Nacional de las Culturas y las Artes. Museo Nacional de Culturas Populares de México, México. pp 100-105.
- Aguirre, C. M., Fernández, N. N. (2001) Fertilización orgánica en maíz dulce. Cátedra de Horticultura y Floricultura - Facultad de Ciencias Agrarias - UNNE. Corrientes, Argentina.
- Aguirre M. J.F., M. Irizar G., A. Duran P., O. A. Grageda C. M. Peña D., C. Loredó O. y A. Gutiérrez B. (2009) Los Biofertilizantes microbianos: alternativa para la agricultura en México. INIFAP. Folleto técnico Núm. 5. Tuxtla Chico, Chiapas.
- Alarcón A. y R. Ferrera C. (1999) Manejo de la micorriza arbuscular en sistemas de propagación de plantas frutícolas. Revista Terra. 17(3):179-191
- Álvarez S. J., M. Anzueto M. (2004) Actividad microbiana del suelo bajo diferentes sistemas de producción de maíz en los altos de Chiapas, México. Departamento de Agroecología. División de Sistemas de Producción Alternativos. El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR). Chiapas, México. Agrobiencia 38: 13-22.
- Arrieché I., Mora O. (2005) Efecto de la aplicación de residuos orgánicos sobre el cultivo del maíz en suelos degradados del Estado. Bioagro, vol. 17, núm. 3, Septiembre, pp. 155-159. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Venezuela.
- Astier C. M., M. Maass M., J. Etchevers B. (2002) Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. Agrobiencia 36: 605-620.
- Anónimo. Guías para el cultivo de maíz dulce. 2015. Disponible en: <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=36157898>
- Bavec F., M. Bavec, M. Fekonja (2013) Organic and mineral nitrogen fertilizers in sweet maize (*Zea mays* L. *saccharata* Sturt.) production under temperate climate. Zemdirbyste – Agriculture, 100 (3): 243-250
- Becker M. ; Ladha J.K. and Ali M. (1995) Green manure technology : Potential, usage and limitations. A case for lowland rice. Plant and Soil. 174: 181-184.

- Castellanos Ramos J.Z.(1986) Evaluación de estiércol de bovino y gallinaza como fuentes de fósforo en el cultivo de alfalfa. Agric. Tec. Mex. Vol. 12 Núm. 2 Julio-Diciembre
- Carmona J. X., G. Salazar G., G. Domínguez A., L. E. Arias C., A. A Chávez D., A. J. Galindo B (2012) Manual para la elaboración de abonos orgánicos a partir de técnicas como la composta y lombricomposta. Folleto técnico núm.2. CIRPAC, INIFAP. Jalisco, México.
- CIMMYT. (2002) El programa de maíz. Manual de usuario de Fieldbook 5.1/7.1 y Alfa. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. México, D.F.
- Clark, R. B.(1997) Arbuscular mycorrhizal adaptation, spore germination, root colonization, and host plant growth and mineral acquisition at low pH. Plant and Soil 192: 15-22.
- Cogua R. P., G. Duque N. (2015) Evaluación de la toxicidad del Roundup en la germinación de semillas de maíz (*Zea mays*). COLCIENCIAS. Universidad Nacional de Colombia. Ingenium, 9(23):11-16
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Biodiversidad mexicana. CONABIO, (2015) Disponible en: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 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”. Disponible en: <http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/proyectoMaices.html>
- Chuela B. M., V. Alemán M., J.L. Ramírez D., R. Ramírez Z., L. Soltero D., A. Ledesma M (2011) Guía para producir maíz de temporal en el Estado de Jalisco. Inifap. Ceajal, Jalisco, México.
- Díaz R. M., M.J. Acea y T. Carballas (1993) Microbial biomass and C and N mineralization in forest soils. Bioresource technology. Núm 43, pp 161-167
- Domínguez J., M. Aira y M. Gómez B (2009) El papel de las lombrices de tierra en la descomposición de la materia orgánica y el ciclo de nutrientes. Ecosistemas 18 (2): 20-31. Disponible en: <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=601>

- Espejo S. R. (2008) Formación de humus y fijación de C dependiendo del manejo del suelo. Memoria de la II Conferencia Internacional sobre Eco-Biología del suelo y el compost, 26-29 de Noviembre de 2008. Puerto de la Cruz, Tenerife, España.
- Félix H. J.A., R. R. Sañudo T., G. E. Rojo M., R. Martínez R. y V. Olalde P. (2008) Importancia de los abonos orgánicos. Universidad Autónoma Indígena de México. Ra Ximhai. Vol. 4. Núm. 1, Enero- Abril. pp 57-67
- Foreman, L. (2010) Characteristics and Production Costs of U.S. Corn Farms, Including Organic, EIB-128, U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2015) El maíz en los trópicos, depósito de documentos de la FAO. Departamento de agricultura. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/003/x7650s/x7650s12.htm>
- García S. J. P., J.J. Lucena M., S. Ruano C., M. Nogales G. (2009) Guía práctica de la fertilización racional de los cultivos en España. V.A. Impresores, S.A. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural Marino. Gobierno de España. 264 p
- Garza U. E., E. Céspedes T., E. Aguirre A., R. del Ángel S. (2003). Guía para cultivar maíz en la planicie Huasteca Potosina. INIFAP. Folleto para productores Núm. 6.
- Geissert D. y A. Ibáñez (2008) Calidad y ambiente físico-químico de los suelos. In Manson, R.H., Hernández-Ortiz, V. Gallina S. y K. Mehltreter (Eds). Agroecosistemas de Veracruz, biodiversidad, manejo y conservación. INECOL e INE-SEMARNAT. pp 213-221
- Gil S. F., T. Cepeda C., Leiros M. C. y Seoane S. (2005) Different approaches to evaluating soil quality using biochemical properties. *Soil Biology and Biochemistry* 37: 877-887.
- González de C., M. (1984) Especies vegetales de importancia económica en México. Editorial Porrúa. México. 305 p.
- Guerrero, J. (1993). Abonos Orgánicos. Tecnología para el Manejo Ecológico del suelo. Sistema Nacional de Información Agraria. Lima, Perú. 90 p. Disponible en: http://issuu.com/bibliotecaagricolanacional/docs/facultad_agronomia
- Haberern, J. (1992) A soil health index. *Journal of Soil and Water Conservation* 47: 6-10.

- Heenan D.P., K. Y. Chan, P. G. Knight (2004) Long term impact of rotation, tillage and stubble management on the loss of soil organic carbon and nitrogen from a chromic luvisol. *Soil and Tillage Research*. Australia. Vol 76. pp 59-68. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198703001922>
- Ibarra C. D., Ruiz, C. J. A., D. R. González, E., J. G. Flores G. y Díaz, P. G. (2009) Distribución espacial del pH de los suelos agrícolas de Zapopan, Jalisco, México. *Agricultura Técnica en México*, 35(3) 267-276.
- Jiménez G. C., L.H. Maciel P., A. Peña R. y A. Castillo R. (2004) Principios y fundamentos de labranza de conservación: Guía para su implementación. Campo experimental Pabellon, CIRNOC; INIFAP. Folleto Técnico Núm. 24.
- Julca O. A., L. Meneses F., R. Blás S. S. Bello A. (2006) La materia orgánica, importancia y experiencias de su uso en la agricultura. *IDEISA (Chile)* 24(1): 49-61
- Kato Y. T. A., C. Mapes S., L. M. Mera O., J. A. Serratos H. y R. A. Bye B. (2009) Origen y diversificación del maíz. Una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México. CONABIO. pp 116.
- Krull, E.S., Skjemstad, J.O. y Baldock J.A. (2004) Functions of soil organic matter and the effect on soil properties. GRDC Publications. Gobierno Australiano. Australia. 114 pp
- Labrador, M.J. (1996) La materia orgánica en los agrosistemas. Madrid, España, Ediciones Mundi-Prensa. pp 67.
- Lafitte H. R. (2001). El maíz en los trópicos, Depósito de documentos de la FAO. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/003/x7650s/x7650s12.htm>
- Lamas N. M. A., O. Neri F., G. Sánchez R. (2003) Agricultura Orgánica, una oportunidad sustentable de negocios para el sector agroalimentario mexicano. FIRA. Boletín informativo, Núm. 322 Volumen XXXV 10a. Época Año XXXI Diciembre. Aguascalientes, México. pp 124
- Loeza R. G. (1998) Abonos verdes: una opción para mejorar los suelos agrícolas en los Valles centrales de Oaxaca. INIFAP.CIRPAS. Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca. Desplegable para Productores No. 4

- Loredo O. C., S. Beltrán L., M.A. Peña D. (2007) Uso de biofertilizantes para la producción de maíz forrajero en condiciones de temporal. INIFAP. Folleto Científico No. 2. Noviembre
- López M. J., 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 en maíz. *Terra* 19(4):293-299.
- Masera, O. R., M. Astier, y S. López R. (1999) Sustentabilidad y Manejo de Recursos Naturales: el marco de evaluación MESMIS. Editorial Mundi-Prensa e Instituto de Ecología-UNAM, México. 109 p.
- Méndez M. O., N.S. León M., F.A. Gutiérrez M., R. Rincón R., J.D. Álvarez S. (2012) Efecto de la aplicación de humus de lombriz en el crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz. San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México. *Gayana Bot.* 69: 49-54.
- Mendoza N. H., J.C. Carrillo R., C. Perales S., J. Ruíz V. (2003) Evaluación de fuentes de fertilización orgánica para tomate de invernadero en Oaxaca, México. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica)*. Núm. 70. pp. 30-35
- Opazo A. J., A. Luchsinger L., O. Neira V. (2008) Factores de suelo y planta para determinar la fertilización nitrogenada en maíz dulce en la zona central de Chile. *Universidad de Chile. IDESIA (Chile) Mayo-Agosto 2008. Volúmen 26, Núm 2, pp 53-58*
- Ordaz F., M. C. Romay, P. Revilla. (2007) *Revista Horticultura*. Madrid, España. pp: 14-18
- Ortega C., A., M. J. Guerrero H., O Cota A., J. M. Hernández C. y L. A. Peinado F. (2008) Conocimiento de la diversidad y distribución actual del maíz nativo y sus parientes silvestres en México”. Informe final “Diversidad y distribución actual de los maíces nativos en Sonora. INIFAP. Obregón, Sonora. México. 75 p.
- Paliwal R.L. (2001) El maíz en los trópicos. Mejoramiento de maíz con objetivos especiales. Depósito de documentos de la FAO, departamento agrícola. Roma, Italia. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/003/X7650S/x7650s20.htm>
- Parr, J. F., R. I. Papendick, S. B. Hornick, y R. E. Meyer. (1992) Soil quality: Attributes and relationships to alternative and sustainable agriculture. *American Journal of Alternative Agriculture*. Núm 7: 5-11.

- Purseglove, J.W. (1985) Tropical crops: Dicotyledons. Longman Scientific and Technical. N.Y., U:S.A. 607 p
- Ramírez D. J.L., M. Chuela B., L. Soltero D., J. Franco M., A. Morfín V., V.A. Vidal M., H.L. Vallejo D., F. Caballero H., H. Delgado M., R. Valdivia B., J. Ron P. (2004) Patrón heterótico de maíz amarillo para la región centro-occidente de México. *Rev. Fitotecnia Mexicana*. 27 (1):13-17.
- Romero L. M., A. Trinidad S., R. García E., R. Ferrera C. (2000) Producción de papa y biomasa microbiana en suelo con abonos orgánicos y minerales. *Agrociencia* 34: 261-269
- Romera P, M. Del P; Guerrero, L. (2000) Agricultura ecológica. Disponible en: www.nortecastilla.es/canalagro/datos/agricultura_ecologica/agricultura_ecologica05.htm
- Rosas G. N. (2008) Avances en el desarrollo de formulaciones insecticidas a base de *Bacillus thuringensis* *Revista Colombiana de Biotecnología*, Universidad Nacional de Colombia. Colombia. 10: 49-63
- Ruiz C., J.A., J.M. Hernández C., J.J. Sánchez G., A. Ortega C., G. Ramírez O., M.J. Guerrero H., F. Aragón C., V.A. Vidal M. y L. de la Cruz L. (2013) Ecología, adaptación y distribución actual y potencial de las razas mexicanas de maíz. Libro Técnico Núm. 5. INIFAP-CIRPAC-Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jalisco. 159 p.
- Ruiz C., J.A., G. Medina G., I.J. González A., H.E. Flores L., G. Ramírez O., C. Ortiz T., K.F. Byerly M. y R.A Martínez P. (2013) Requerimientos agroecológicos de cultivos. Segunda Edición. Libro técnico Núm. 3. INIFAP. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-CIRPAC-Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jalisco. México pp 305-311
- Ruiz, F. J. F. (1998). Tópicos sobre agricultura orgánica. Tomos I y II. Consejo Nacional Regulador de Agricultura Orgánica. Universidad Autónoma Chapingo.
- Ruiz V. J., Aquino B. T. y Martínez S. D. (1998) Producción de abonos verdes y cultivos de propósito múltiple en asociación con maíz de temporal. Congreso Internacional de la Grana Cochinilla y Colorantes Naturales. Oaxaca, México.

- Rueda P. I. (1991) La industria de los fertilizantes en México. Instituto de Investigaciones económicas. Universidad Nacional Autónoma de México. 124 paginas.
- Sainz R. H., H.E. Echeverría. (1998) Relación entre las lecturas del medidor de clorofila (Minolta SPAD 502) en distintos estadios del ciclo del cultivo de maíz y el rendimiento de grano. Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata, Núm. 103 (1). Argentina.
- Sánchez G.J.J. (2011) Diversidad del maíz y el teocintle. Informe para el proyecto: “Recopilación, generación, actualización y análisis de información acerca de la diversidad genética de maíces y sus parientes silvestres en México” Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F 98 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.
- Sánchez R. G., F.A. Martínez M., L.A. López I. (2000) Oportunidades de desarrollo del Maíz mexicano, alternativas de competitividad. Fideicomisos instituidos en relación con la agricultura (FIRA). División de Agrosistemas y Pesca de la Subdirección técnica.
- Santamaría R. S., R. Ferrera C., J.J. Almaraz S., A. Galvis E., I. Barois B. (2001) Dinámica y relaciones de microorganismos, C-Orgánico y N total durante el composteo y vermicomposteo. Agrociencia 35: 377-384.
- Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, SAGARPA (2014), Sistema de información comercial del sector agroalimentario. Disponible en: http://sicagro.sagarpa.gob.mx/SICAGRO_CONSULTA/filtroprod.aspx
<http://www.demexicoalmundo.com.mx/presentacion.html>
- Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, SAGARPA (2015) Abonos Orgánicos. Ficha técnica número 6. Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasCOUSSA/Abonos%20Organicos.pdf>.
- Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera, SIAP (2015) Cierre de la producción agrícola por cultivo año 2014. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>

- Silva A., J. Ponce de León, R. Carassa y W. Reyes. (1992) Efecto de la aplicación de efuentes orgánicos de tambo sobre la producción de verdes y propiedades físico químicas del suelo. Notas técnicas Núm. 16. Facultad de Agronomía. Uruguay. 16 p.
- Tapia V. M., A. Larios G., A. Hernández P. (2013) Fertilización orgánica y química del cultivo de maíz en Michoacán. AGROFAZ. 13 (2):51-58
- Tracy. W.F., S.R. Whitt y E.S. Bucklen (2006) Recurrent mutation and genome evolution: example of sugary1 and the origin of sweet maize. The plant genome. Crop Science 46(S1)
- Trinidad S. A. (1987) El uso de abonos orgánicos en la producción agrícola. Cuadernos de edafología. Colegio de Posgraduados, Chapingo, México.
- Urzúa, F. (2001). Alternativas de control químico de malezas en el cultivo del maíz (*Zea mays* L.). Revista Mexicana de la Ciencia de la Maleza, 1(1):7-13
- Virgen V. J., J. L. Arellano V., I. Rojas M., M. A. Ávila P. y G. F. Gutiérrez H. (2010). Producción de semillas de cruas simples de híbridos de maíz en Tlaxcala, México. Revista fitotecnia mexicana. 33 (spe4): 107-110.