



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE BOTÁNICA

CALIDAD DE RENDIMIENTO DE MAÍZ EN FUNCIÓN DEL TIPO DE FERTILIZACIÓN EN AMBIENTES CONTRASTANTES

CID AGUILAR CARPIO

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE

DOCTOR EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO

2014

La presente tesis, titulada: **CALIDAD DE RENDIMIENTO DE MAÍZ EN FUNCIÓN DEL TIPO DE FERTILIZACIÓN EN AMBIENTES CONTRASTANTES**, realizada por el alumno: **Cid Aguilar Carpio**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS

BOTÁNICA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



DR. JOSÉ ALBERTO SALVADOR ESCALANTE ESTRADA

ASESOR:



DR. IMMER AGUILAR MARISCAL

ASESOR:



DR. F. VÍCTOR CONDE MARTÍNEZ

ASESOR:



DR. ANTONIO TRINIDAD SANTOS

ASESOR:



DR. JOSÉ APOLINAR MEJÍA CONTRERAS

Montecillo, Texcoco, México, 27 de agosto de 2014

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y tecnología (CONACYT), por el apoyo otorgado para realizar mis estudios de doctorado.

Al Colegio de Postgraduados, por la oportunidad de realizar mis estudios en esta Institución.

Al Dr. José Alberto Salvador Escalante Estrada, por la dirección brindada durante mis estudios doctorales.

Al Dr. Immer Aguilar Mariscal, por el esfuerzo, tiempo y dedicación para las mejoras de esta investigación.

Al Dr. Antonio Trinidad Santos, por sus sugerencias para la mejora de mi investigación.

Al Dr. F. Víctor Conde Martínez, por sus observaciones y correcciones del presente estudio de investigación.

Al Dr. José Apolinar Mejía Contreras, por sus valiosas aportaciones al presente estudio de investigación.

DEDICATORIA

A mis padres Immer Aguilar Mariscal y Catalina Carpio Rodríguez, por su apoyo incondicional para la realización de todas mis metas.

A mis hermanos Andre Aguilar Carpio e Immer Aguilar Carpio, por estar siempre apoyándome.

A los profesores del Colegio de Postgraduados, que contribuyeron a mi formación académica.

**CALIDAD DE RENDIMIENTO DE MAÍZ EN FUNCIÓN DEL TIPO DE
FERTILIZACIÓN EN AMBIENTES CONTRASTANTES
RESUMEN GENERAL**

En México, el maíz es el cultivo más estudiado, por ser el alimento básico de los mexicanos. El crecimiento y producción del maíz (*Zea mays* L.) depende del potencial genético de la planta, el cual responde a las condiciones ambientales en las que crece y al manejo agrícola que se le proporcione. Dentro del manejo, la fertilización nitrogenada es determinante para aumentar el rendimiento de grano, sin embargo, representan una inversión de alto costo y muchas veces utilizada ineficientemente. El uso de bacterias fijadoras de nitrógeno y hongos micorrizicos como complemento a la fertilización química, puede ser una opción para aumentar el rendimiento. En la agricultura es imprescindible ser eficiente en el uso del agua y nitrógeno, ya que estos son los insumos más importantes para la producción. Por otra parte, el nitrógeno mejora la composición de proteínas en el grano, pero de forma excesiva es perjudicial a la salud humana por la acumulación de nitratos. El análisis de crecimiento ha sido usado ampliamente para el estudio de los factores (nitrógeno, biofertilizante y condiciones ambientales) que influyen en el desarrollo de la planta y el rendimiento. Por lo que, el objetivo del presente estudio fue determinar el efecto del biofertilizante y nitrógeno en genotipos de maíz en dos ambientes contrastantes sobre: a) la ocurrencia de las fases fenológicas; b) la producción de materia seca, rendimiento y sus componentes, c) tasa de asimilación neta, d) tasa de crecimiento del cultivo, e) eficiencia en el uso del agua y nitrógeno; f) contenido de nitrógeno, proteína y carbohidratos en el grano; y g) la rentabilidad en maíz en siembras tempranas y de lluvia estacional. El estudio se realizó en Iguala, Gro. en siembra temprana bajo riego y temporal, en el cual se sembró el maíz criollo raza “Vandeño”, VS-535 y los híbridos H-562 y H-7573, y en Montecillo, Edo. de México en temporal, se sembró el maíz criollo Michoacan-21, HS-2 y Promesa, los tratamientos consistieron en la inoculación a la semilla del biofertilizante y la aplicación de 0, 80 y 160 kg N ha⁻¹. Para evaluar el crecimiento del cultivo, se registró la emergencia (E), floración (FL) y madurez fisiológica (MF), además, se contabilizó el número de hojas y el área foliar, con lo cual se calculó el índice (IAF) y duración de área foliar (DAFT). También se evaluó la materia seca (MS) y las tasas de crecimiento del cultivo (\overline{TCC}) y asimilación neta (\overline{TAN}). A la madurez fisiológica se evaluó el índice de cosecha, rendimiento de grano (RG) y sus componentes. Se calculó la eficiencia en el uso del agua y nitrógeno, contenido de nitrógeno, proteína y carbohidratos en el

grano. Además, se realizó un análisis económico. En Iguala, Guerrero, en el 2011 bajo condiciones de riego, el maíz criollo raza Vandeño con la aplicación del biofertilizante y 160 kg N ha⁻¹ incrementó la materia seca total durante el desarrollo del cultivo, pero no fue significativo para el rendimiento de grano. En relación a H-562 la más alta producción de materia seca total y rendimiento de grano fue con biofertilizante y 160 kg N ha⁻¹, al igual que se incrementó el índice y duración de área foliar, que generó la más alta tasa de crecimiento del cultivo y asimilación neta. El mayor ingreso neto se logra con H-562 y 160 kg N ha⁻¹ independientemente del uso del biofertilizante. En el 2011, en temporal, el rendimiento más alto se logra usando H-562 con 80 y 160 kg N ha⁻¹. El mayor ingreso neto se logra con H-562 y 160 kg N ha⁻¹. En el 2012, en temporal, al evaluar el genotipo VS-535, se observó que el cultivo con 160 kg N ha⁻¹ presentó la más alta respuesta en el IAF y DAFT a los 75 dds. En cuanto a la MS, \overline{TCC} y \overline{TAN} más alta se presentó con la aplicación de biofertilizante con 80 y 160 kg N ha⁻¹, durante el ciclo del cultivo. Para RG la mayor respuesta se encontró con la aplicación de 160 kg N ha⁻¹, más biofertilizante. La aplicación de biofertilizante con 80 y 160 kg N ha⁻¹ incrementó la eficiencia en el uso del agua, eficiencia agronómica de nitrógeno, producción de materia seca y rendimiento de grano. El mayor ingreso neto se logra con biofertilizante y 160 kg N ha⁻¹. En el 2011, en Montecillo, Edo. de México, los genotipos en estudio presentan diferencias en la ocurrencia de las fases fenológicas. Siendo, Promesa el que logró incrementar la mayor eficiencia en el uso del agua y nitrógeno con la aplicación de 160 kg N ha⁻¹, con este tratamiento se logró la más alta materia seca total, índice y duración de área foliar, lo que ocasiono la mayor tasa de crecimiento del cultivo y tasa de asimilación neta durante el desarrollo del cultivo, esto a su vez repercutió en el más alto rendimiento de grano. Sin embargo, en el contenido de nitrógeno y proteína del grano fue más alto en HS-2 con 160 kg N ha⁻¹. Sin embargo, el mayor ingreso neto se logra con Promesa y 80 kg N ha⁻¹. En el 2012, el uso de biofertilizante logró incrementar de manera significativa la materia seca y rendimiento de grano solo en Michoacan-21. En general, el mayor rendimiento y materia seca se logra con 160 kg de N ha⁻¹. Para la región de estudio y época de siembra, la producción de materia seca más alta se logra en HS-2 con 160 kg N ha⁻¹ y para el rendimiento de grano en Promesa con 160 kg N ha⁻¹. El mayor ingreso neto se logra con Promesa y 160 kg N ha⁻¹ independientemente del uso del biofertilizante.

Palabras claves: *Zea mays*, biofertilizante, nitrógeno, materia seca, grano, urea, *Glomus*, *Azospirillum*, análisis de crecimiento.

MAIZE GRAIN YIELD QUALITY DEPENDING ON FERTILIZATION IN CONTRASTING ENVIRONMENTS

ABSTRACT

In Mexico, corn is the most studied crop, being the staple food of Mexicans. The growth and yield of maize (*Zea mays* L.) depends on the genetic potential of the plant, which responds to the environmental growing conditions and farm management to be provided. Nitrogen fertilization within the management is determine and for grain yield increase, however, represent a high investment cost and often used inefficiently. The use of nitrogen-fixing bacteria and mycorrhizal fungi to supplement the chemical fertilizers, may be an option to increase yield. In agriculture it is essential to be efficient in the use of water and nitrogen, as these are the most important inputs for production. In addition, the nitrogen improves the protein composition in the grain, but applied excessively is detrimental to human health by increasing nitrates. Furthermore, analysis of growth has been widely used to study the factors (nitrogen biofertilizer and environmental conditions) that influence plant growth and yield. So, the objective of this study was to determine the effect of biofertilizer and nitrogen on maize genotypes in two contrasting environments: a) the occurrence of phenological phases; b) dry matter production, yield and its components; c) greenness index, d) net assimilation rate, e) crop growth rate, f) water use efficiency and nitrogen; g) nitrogen content, protein and carbohydrates in the grain; h) profitability in early corn plantings and under rainfall condition. The study was conducted in Iguala, Gro. Early planting in irrigated and under rainfall condiction, using native race "Vandeño", synthetic variety VS-535 and hybrid H-562 and H-7573, and at Montecillo, Edo. of Mexico under rain fall condition, Michoacan-21, HS-2 and Promesa were used, treatments consisted of inoculation of biofertilizer on seed and application of 0, 80 and 160 kg N ha⁻¹. Crop growth, emergence (E), anthesis (A) and physiological maturity (PM) were recorded, in addition, the number of leaves and leaf area were counted, the leave area index (LAI) and leaf area duration (LAD) were calculated. Dry matter (DM) and crop growth rate (CGR) and net assimilation (NAR) was also evaluated. A physiological maturity harvest index, grain yield (GY) and its components were evaluated. The efficiency of the water and nitrogen, nitrogen content, protein and carbohydrates in the grain was calculated. In addition, an economic analysis was performed. In Iguala, Guerrero, in 2011 under irrigated conditions, native race Vandeño with the application of biofertilizer and 160 kg N ha⁻¹ increased the total dry matter during the growing season, but was not significant for grain yield.

Regarding H-562 the highest production of total dry matter and grain yield with biofertilizer and 160 kg N ha⁻¹ were obtained as well as increased the rate and duration of leaf area, which generated the highest crop growth rate and net assimilation. The higher net income was achieved with H-562 and 160 kg N ha⁻¹ regardless of the use of bio-fertilizer. In 2011, under rainfall conditions, the highest performance is achieved by H-562 with 80 and 160 kg N ha⁻¹. The higher net income was achieved with H-562 and 160 kg N ha⁻¹. In 2012, under rainfall conditions, in the VS-535 genotype, it was observed that the crop with 160 kg N ha⁻¹ had the highest response in the LAI and the LAD 75 dds. As for DM, and CGR, NAR highest values were presented with the application of biofertilizer with 80 and 160 kg N ha⁻¹ during the crop development. For GY greater response was found with the application of 160 kg N ha⁻¹ plus biofertilizer. The application of biofertilizer with 80 and 160 kg N ha⁻¹ increased the water efficiency, nitrogen agronomic efficiency, dry matter production and grain yield. The higher net income was achieved with biofertilizer and 160 kg N ha⁻¹. In 2011, at Montecillo, Edo. of Mexico, the genotypes under study differ in the occurrence of phenological phases. Being, Promesa which was able to increase the more water use efficiency and nitrogen application of 160 kg N ha⁻¹, with this treatment was obtained the highest total dry matter, index and leaf area duration, what caused most crop growth rate and net assimilation rate during crop development, which in turn affected the highest grain yield. However, the nitrogen content and grain protein was higher in the hibryd HS-2 with 160 kg N ha⁻¹. But nevertheless, the highest net income is achieved with Promesa and 80 kg N ha⁻¹. In 2012, use of biofertilizer was able to increase significantly the dry matter and grain yield only in Michoacan-21. In general, the higher yield and dry matter were obtained with 160 kg N ha⁻¹. For the study region and planting date, the higher dry matter production was achieved with HS-2 with 160 kg N ha⁻¹ and grain yield in Promesa 160 kg N ha⁻¹. The higher net income was achieved with Promesa and 160 kg N ha⁻¹ regardless of the use of biofertilizer.

Key words: *Zea mays*, biofertilizer, nitrogen, dry matter, grain yield, urea, *Glomus*, *Azospirillum*, crop grows analysis.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIO.....	iv
RESUMEN GENERAL	v
ABSTRACT	vii
LISTA DE CUADROS	xiv
LISTA DE FIGURAS	xvii
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
CAPÍTULO I. RENDIMIENTO Y RENTABILIDAD DE MAÍZ EN FUNCIÓN DEL GENOTIPO, BIOFERTILIZANTE Y NITRÓGENO, EN SIEMBRA TEMPRANA DE RIEGO, EN CLIMA CÁLIDO.....	5
RESUMEN	5
ABSTRACT	5
INTRODUCCIÓN.....	6
MATERIALES Y MÉTODOS.....	8
RESULTADOS	9
Fenología, condiciones climáticas, unidades calor y evapotranspiración.....	9
Materia seca (MS), índice de cosecha (IC), rendimiento (RG) y sus componentes	11
Genotipo.....	12
Biofertilizante	12
Nitrógeno	13
Genotipo * Biofertilizante (G * Bio)	14
Genotipo * Nitrógeno (G * N).....	15
Biofertilizante * Nitrógeno (Bio * N).....	16
Genotipo * Biofertilizante * Nitrógeno (G * Bio * N)	17
Correlación del rendimiento de maíz entre sus componentes.....	18
Análisis económico	18
CONCLUSIÓN	20
AGRADECIMIENTOS.....	21
LITERATURA CITADA	21
CAPÍTULO II. ANÁLISIS DE CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE MAÍZ EN FUNCIÓN DEL GENOTIPO, BIOFERTILIZANTE Y NITRÓGENO, EN CLIMA CÁLIDO.....	24
RESUMEN	24
ABSTRACT	25

INTRODUCCIÓN.....	25
MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
Fenología, condiciones climáticas, unidades calor y evapotranspiración.....	28
Número de hojas, índice de área foliar y duración del área foliar.....	30
Genotipo.....	31
Biofertilizante.....	31
Nitrógeno.....	32
Genotipo * Biofertilizante (G * Bio).....	33
Genotipo * Nitrógeno (G * N).....	33
Biofertilizante * Nitrógeno (Bio * N).....	34
Genotipo * Biofertilizante * Nitrógeno (G * Bio * N).....	35
Materia seca total (MS).....	36
Tasa de crecimiento del cultivo (TCC).....	37
Tasa media de asimilación neta (TAN).....	38
CONCLUSION.....	40
LITERATURA CITADA.....	40
CAPÍTULO III. RENDIMIENTO Y RENTABILIDAD DE MAÍZ EN FUNCIÓN DEL GENOTIPO, BIOFERTILIZANTE Y NITRÓGENO, EN SIEMBRA TEMPORAL, EN CLIMA CÁLIDO.....	43
RESUMEN.....	43
ABSTRACT.....	43
INTRODUCCIÓN.....	44
MATERIALES Y MÉTODOS.....	46
RESULTADOS.....	47
Fenología, condiciones climáticas, unidades calor y evapotranspiración.....	47
Materia seca (MS), índice de cosecha (IC), rendimiento (RG) y sus componentes.....	49
Genotipo.....	49
Biofertilizante.....	50
Nitrógeno.....	50
Genotipo * Biofertilizante (G * Bio).....	51
Genotipo * Nitrógeno (G * N).....	52
Biofertilizante * Nitrógeno (Bio * N).....	53
Genotipo * Biofertilizante * Nitrógeno (G * Bio * N).....	53
Análisis económico.....	54
CONCLUSIÓN.....	56

AGRADECIMIENTOS.....	56
LITERATURA CITADA	56
CAPÍTULO IV. EFICIENCIA AGRONÓMICA, ANALISIS DE CRECIMIENTO, RENDIMIENTO Y RENTABILIDAD DEL MAÍZ VS-535 EN FUNCIÓN DEL BIOFERTILIZANTE Y NITRÓGENO, EN SIEMBRA DE TEMPORAL, CLIMA CALIDO ...	59
RESUMEN	59
ABSTRACT	60
INTRODUCCIÓN.....	60
MATERIALES Y MÉTODOS.....	62
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	64
Fenología, condiciones climáticas, unidades calor y evapotranspiración.....	64
Número de hojas, índice de área foliar y duración del área foliar	65
Biofertilizante	66
Nitrógeno	66
Biofertilizante * Nitrógeno (Bio * N).....	67
Tasa de crecimiento del cultivo (TCC), asimilación neta (TAN) y materia seca total (MS)..	67
Biofertilizante	68
Nitrógeno	68
Biofertilizante * nitrógeno (Bio * N).....	69
Materia seca (MS), índice de cosecha (IC), rendimiento (RG) y sus componentes	70
Biofertilizante	71
Nitrógeno	71
Biofertilizante * Nitrógeno (Bio * N).....	72
Eficiencia en el uso del agua (EUA).....	73
Eficiencia agronómica del nitrógeno (EAN)	74
Análisis económico.....	75
CONCLUSIÓN	76
AGRADECIMIENTOS.....	77
LITERATURA CITADA	77
CAPÍTULO V. EFICIENCIA AGRONÓMICA, RENDIMIENTO Y RENTABILIDAD DE GENOTIPOS DE MAÍZ EN FUNCIÓN DEL NITRÓGENO, EN CLIMA TEMPLADO	82
RESUMEN	82
ABSTRACT	82
INTRODUCCIÓN.....	83
MATERIALES Y MÉTODOS.....	85

RESULTADOS Y DISCUSIÓN	87
Fenología, condiciones climáticas, unidades calor y evapotranspiración.....	87
Materia seca total (MS), índice de cosecha (IC), rendimiento (RG) y sus componentes	88
Genotipo.....	89
Nitrógeno	89
Genotipo * Nitrógeno (G * N).....	90
Eficiencia en el uso del agua (EUA).....	91
Eficiencia agronómica del nitrógeno (EAN)	93
Contenido de nitrógeno, proteína y carbohidratos	94
Análisis económico	95
CONCLUSIÓN	97
AGRADECIMIENTOS.....	97
LITERATURA CITADA	97
CAPÍTULO VI. ANÁLISIS DE CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE MAÍZ EN FUNCIÓN DEL GENOTIPO Y NITRÓGENO, EN CLIMA TEMPLADO	102
RESUMEN	102
ABSTRACT	102
INTRODUCCIÓN.....	103
MATERIALES Y MÉTODOS.....	105
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	106
Fenología, condiciones climáticas, unidades calor y evapotranspiración.....	106
Número de hojas, índice de área foliar y duración del área foliar	108
Genotipo.....	108
Nitrógeno	109
Genotipo * Nitrógeno (G * N).....	110
Materia seca total (MS).....	110
Tasa de crecimiento del cultivo (TCC).....	111
Tasa media de asimilación neta (TAN).....	112
Rendimiento de grano	113
CONCLUSION	114
LITERATURA CITADA	114
CAPÍTULO VII. RENTABILIDAD Y RENDIMIENTO DE MAÍZ EN FUNCIÓN DEL GENOTIPO, BIOFERTILIZANTE Y NITRÓGENO, EN CLIMA TEMPLADO	117
RESUMEN	117
ABSTRACT	118

INTRODUCCIÓN.....	118
MATERIALES Y MÉTODOS.....	120
RESULTADOS	121
Fenología, condiciones climáticas, unidades calor y evapotranspiración.....	121
Materia seca (MS), índice de cosecha (IC), rendimiento (RG) y sus componentes	123
Genotipo.....	124
Biofertilizante	124
Nitrógeno	124
Genotipo * Biofertilizante (G * Bio)	125
Genotipo * Nitrógeno (G * N).....	126
Biofertilizante * Nitrógeno (Bio * N).....	127
Genotipo * Biofertilizante * Nitrógeno (G * Bio * N)	128
Análisis económico.....	129
CONCLUSIÓN	130
AGRADECIMIENTOS.....	131
LITERATURA CITADA	131
CAPÍTULO VIII. RENTABILIDAD Y RENDIMIENTO DE MAÍZ EN FUNCIÓN DEL GENOTIPO Y NITRÓGENO, EN DOS AÑOS	135
RESUMEN	135
ABSTRACT	136
INTRODUCCIÓN.....	136
MATERIALES Y MÉTODOS.....	137
RESULTADOS	138
Fenología y condiciones climáticas.	138
Materia seca (MS) y rendimiento de grano (RG)	140
Genotipo.....	141
Nitrógeno	142
Año * Genotipo (A * G)	142
Año * Nitrógeno (G * N).....	143
Genotipo * Nitrógeno (G * N).....	144
Año * Genotipo * Nitrógeno (A * G * N)	145
Análisis económico.....	146
CONCLUSIÓN	147
AGRADECIMIENTOS.....	148
LITERATURA CITADA	148
CONCLUSIÓN GENERAL.....	150

LISTA DE CUADROS

CAPÍTULO I

- 1 Análisis de varianza para materia seca (MS), índice de cosecha (IC), rendimiento de grano (RG) y sus componentes. Iguala, Gro. 2011. 12
- 2 Materia seca (MS), índice de cosecha (IC), rendimiento (RG) y sus componentes de genotipos de maíz en función biofertilizante (Sin y Con Bio) y nitrógeno (N). Iguala, Gro. 2011. 13
- 3 Rendimiento (RG), ingresos totales (IT), costos fijos (CF), costos variables (CV) y costos totales (CT), ingresos netos (IN) y ganancia por peso invertido (GPI) en genotipos de maíz en función del biofertilizante (Sin y Con Bio) y nitrógeno (N). Iguala, Gro. 2011. 19

CAPÍTULO II

- 1 Análisis de varianza para número de hojas (NH), índice de área foliar (IAF) y duración de área foliar total (DAFT). Iguala, Gro. 2011. 31
- 2 Número de hojas (NH), índice de área foliar (IAF) y duración del área foliar total (DAFT) en genotipos de maíz en función del biofertilizante (Bio) y nitrógeno. Iguala, Gro. 2011. 32
- 3 Número de hojas (NH), índice de área foliar (IAF) y duración del área foliar total (DAFT) en genotipos de maíz en función del biofertilizante (Bio). Iguala, Gro. 2011. 33
- 4 Número de hojas (NH), índice de área foliar (IAF) y duración del área foliar total (DAFT) en genotipos de maíz en función del nitrógeno (N). Iguala, Gro. 2011. 34
- 5 Número de hojas (NH), índice de área foliar (IAF) y duración del área foliar total (DAFT) del maíz en función del biofertilizante (Bio) y nitrógeno (N). Iguala, Gro. 2011. 35
- 6 Número de hojas (NH), índice de área foliar (IAF) y duración del área foliar total (DAFT) en genotipos (G) de maíz en función del biofertilizante (Bio) y nitrógeno (N). Iguala, Gro. 2011. 36

CAPÍTULO III

1. Análisis de varianza para materia seca (MS), índice de cosecha (IC), rendimiento de grano (RG) y sus componentes. Iguala, Gro. 2011. 49

- 2 Materia seca (MS), índice de cosecha (IC), rendimiento (RG) y sus componentes de 50
genotipos de maíz en función biofertilizante (Sin y Con Bio) y nitrógeno (N).
Iguala, Gro. 2011.
- 3 Rendimiento (RG), ingresos totales (IT), costos fijos (CF), costos variables (CV) y 55
costos totales (CT), ingresos netos (IN) y ganancia por peso invertido (GPI) en
genotipos de maíz en función del biofertilizante (Sin y Con Bio) y nitrógeno (N).
Iguala, Gro. 2011.

CAPÍTULO IV

- 1 Medias decenales de la temperatura máxima (T_{máx}), mínima (T_{mín}), suma decenal 65
de la precipitación (PP), evapotranspiración (ET_c) y unidades calor (UC), durante el
ciclo del cultivo del maíz VS-535. S = Siembra, E = Emergencia, FL = Floración,
MF = Madurez fisiológica. Iguala, Gro. 2012.
- 2 Análisis de varianza para número de hojas (NH), índice de área foliar (IAF) y 65
duración de área foliar total (DAFT) en función del biofertilizante (Bio) y nitrógeno
(N). Iguala, Gro.2012.
- 3 Número de hojas (NH), índice de área foliar (IAF) y duración del área foliar total 66
(DAFT) en maíz VS-535 en función del biofertilizante (Bio) y nitrógeno (N). Iguala,
Gro. 2012.
- 4 Número de hojas (NH), índice de área foliar (IAF) y duración del área foliar total 67
(DAFT) del maíz en función del biofertilizante (Bio) y nitrógeno (N). Iguala, Gro.
2012.
- 5 Análisis de varianza para la tasa de crecimiento del cultivo (TCC), tasa de 68
asimilación neta (TAN) y materia seca total (MS). Iguala, Gro. 2012.
- 6 Tasa de crecimiento del cultivo (\overline{TCC}), asimilación neta (TAN) y materia seca total 69
(MS) en el maíz VS-535 en función del biofertilizante (Bio) y nitrógeno (N). Iguala,
Gro. 2012.
- 7 Tasa de crecimiento del cultivo (\overline{TCC}), asimilación neta (TAN) y materia seca total 70
(MS) en el maíz VS-535 en función del biofertilizante (Bio) y nitrógeno (N). Iguala,
Gro. 2012.
- 8 Análisis de varianza para materia seca total (MS), índice de cosecha (IC), 71
rendimiento de grano (RG) y sus componentes. Iguala, Gro. 2012.

- 9 Materia seca (MS), índice de cosecha (IC), rendimiento de grano (RG) y sus 72
componentes del maíz VS-535 en función del biofertilizante (Bio) y nitrógeno (N).
Iguala, Gro. 2012.
- 10 Materia seca (MS), índice de cosecha (IC), rendimiento de grano (RG) y sus 73
componentes del maíz VS-535 en función del biofertilizante (Bio) y nitrógeno (N).
Iguala, Gro. 2012.
- 11 Eficiencia en el uso del agua (EUA) en el maíz VS-535 en función del 74
biofertilizante y nitrógeno. Iguala, Gro. 2012.
- 12 Eficiencia agronómica de nitrógeno (EAN) en el maíz VS-535 en función del 75
biofertilizante y nitrógeno. Iguala, Gro. 2012.
- 13 Rendimiento de grano (RG), ingresos totales (IT), costos fijos (CF), costos variables 76
(CV) y costos totales (CT), ingresos netos (IN) y ganancia por peso invertido (GPI)
en el maíz VS-535 en función del biofertilizante (Bio) y nitrógeno (N). Iguala, Gro.
2012.

CAPÍTULO V

- 1 Análisis de varianza para materia seca total (MS), índice de cosecha (IC), 89
rendimiento de grano (RG) y sus componentes. Montecillo, Edo. de México. 2011.
- 2 Materia seca (MS), índice de cosecha (IC), rendimiento (RG) y sus componentes de 90
genotipos de maíz en función del nitrógeno (N). Montecillo, Edo. de México. 2011.
- 3 Eficiencia en el uso del agua (EUA) en genotipos de maíz en función del nitrógeno. 92
Montecillos, Edo. de México. 2011.
- 4 Eficiencia agronómica de nitrógeno (EAN) en genotipos de maíz en función del 93
nitrógeno. Montecillos, Edo. de México. 2011.
- 5 Contenido de nitrógeno y proteína en genotipos de maíz en función del nitrógeno. 95
Montecillo, Edo. de México. 2011.
- 6 Rendimiento (RG), ingresos totales (IT), costos fijos (CF), costos variables (CV) y 96
costos totales (CT), ingresos netos (IN) y ganancia por peso invertido (GPI) en
genotipos de maíz en función del nitrógeno (N). Montecillo, Edo. de México. 2011.

CAPÍTULO VI

- 1 Análisis de varianza para número de hojas (NH), índice de área foliar (IAF) y 107
duración de área foliar total (DAFT). Montecillos, Edo. de México. 2011.

- 2 Número de hojas (NH), índice de área foliar (IAF) y duración del área foliar total (DAFT) en genotipos de maíz en función del nitrógeno (N). Montecillos, Edo. de México. 2011. 108
- 3 Número de hojas (NH), índice de área foliar (IAF) y duración del área foliar total (DAFT) en genotipos de maíz en función del nitrógeno (N). Montecillos, Edo. de México. 2011. 109

CAPÍTULO VII

- 1 Análisis de varianza para materia seca (MS), índice de cosecha (IC), rendimiento de grano (RG) y sus componentes. Montecillo, Edo. de México. 2012. 121
- 2 Materia seca (MS), índice de cosecha (IC), rendimiento (RG) y sus componentes de genotipos de maíz en función biofertilizante (Sin y Con Bio) y nitrógeno (N). Montecillo, Edo. de México. 2012. 123
- 3 Rendimiento de grano (RG), ingresos totales (IT), costos fijos (CF), costos variables (CV) y costos totales (CT), ingresos netos (IN) y ganancia por peso invertido (GPI) en genotipos de maíz en función del biofertilizante (Sin y Con Bio) y nitrógeno (N). Montecillo, Edo. de México. 2012. 128

CAPÍTULO VIII

- 1 Análisis de varianza para materia seca (MS) y rendimiento de grano (RG). Montecillo, Edo. de México. 2011 y 2012. 139
- 2 Materia seca (MS) y rendimiento de grano (RG) de genotipos de maíz en función del nitrógeno (N) en el 2011 y 2012. Montecillo, Edo. de México. 140
- 3 Rendimiento de grano (RG), ingresos totales (IT), costos fijos (CF), costos variables (CV), costos totales (CT), ingresos netos (IN) y ganancia por peso invertido (GPI) en genotipos de maíz en función del nitrógeno (N) en el 2011 y 2012. Montecillo, Edo. de México. 145

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

- 1 Medias decenales de la temperatura máxima (T_{máx}, °C), mínima (T_{mín}, °C) y suma decenal de la precipitación (PP, mm) y evapotranspiración (ET_c, mm) durante el ciclo del cultivo de los maíces Vandeño, VS-535, H-562 y H-7573. E = Emergencia, FL = Floración, MF = Madurez fisiológica. Iguala, Gro. 2011. 10

- 2 Unidades calor (UC), evapotranspiración (ETc) y fenología durante el ciclo del cultivo en los maíces Vandeño, VS-535, H-562 y H-7573. E = Emergencia, EVg = Etapa vegetativa, ER = Etapa reproductiva, MF = Madurez fisiológica. Iguala, Gro. 2011. 11
- 3 (A) Materia seca (MS) y (B) rendimiento (RG) en genotipos de maíz en función del biofertilizante. Iguala, Gro. 2011. 14
- 4 (A) Materia seca (MS) y (B) rendimiento (RG) en genotipos de maíz en función del nitrógeno (N). Iguala, Gro. 2011. 15
- 5 (A) Materia seca (MS) y (B) rendimiento (RG) en función del biofertilizante y nitrógeno (N). Iguala, Gro. 2011. Sin y con significancia, no aplicación de biofertilizante y aplicación, respectivamente. 16
- 6 (A) Materia seca (MS) y (B) rendimiento (RG) en función del genotipo (G), biofertilizante (Con y Sin Biofertilizante), y nitrógeno (N). Iguala, Gro. 2011. 17
- 7 Relación del rendimiento (RG) entre el número de granos (NG) (A), número de granos por hilera (NGH) (B), número de hileras (NH) (C) y peso de 100 granos (P100G) (D). Iguala, Gro. 2011. 18

CAPÍTULO II

- 1 Medias decenales de la temperatura máxima (T_{máx}, °C), mínima (T_{mín}, °C) y suma decenal de la precipitación (PP, mm) y evapotranspiración (ETc, mm) durante el ciclo del cultivo de los maíces Vandeño y H-562. E = Emergencia, FL = Floración, MF = Madurez fisiológica. Iguala, Gro. 2011. 29
- 2 Unidades calor (UC), evapotranspiración (ETc) y fenología durante el ciclo del cultivo en los genotipos Vandeño y H-562. E = Emergencia, FL = Floración, MF = Madurez fisiológica. Iguala, Gro. 2011. 30
- 3 Dinámica de la materia seca total en maíz Vandeño (A y B) y H-562 (C y D) en función del nitrógeno y biofertilizante (Bio) (B y D) durante el ciclo del cultivo. Iguala, Gro. 2011. 37
- 4 Dinámica de la tasa media de crecimiento del cultivo (\overline{TCC}) en maíz Vandeño (A y B) y H-562 (C y D) en función del nitrógeno y biofertilizante (Bio) (B y D). Iguala, Gro. 2011. 38
- 5 Dinámica de la tasa media de asimilación neta (\overline{TAN}) en maíz Vandeño (A y B) y H- 39

562 (C y D) en función del nitrógeno y biofertilizante (Bio) (B y D). Iguala, Gro. 2011.

CAPÍTULO III

- 1 Medias decenales de la temperatura máxima (T_{máx}, °C), mínima (T_{mín}, °C) y suma decenal de la precipitación (PP, mm) durante el ciclo del cultivo de los maíces Vandeño, VS-535 y H-562. E = Emergencia, FL = Floración, MF = Madurez fisiológica. Iguala, Gro. 2011. 47
- 2 Unidades calor (UC), evapotranspiración (ET_c) y fenología de los maíces Vandeño, VS-535 y H-562. E = Emergencia, FL = Floración, MF = Madurez fisiológica. Iguala, Gro. 2011. 48
- 3 (A) Materia seca (MS) y (B) rendimiento (RG) en genotipos de maíz en función del biofertilizante. Iguala, Gro. 2011. 51
- 4 (A) Materia seca (MS) y (B) rendimiento (RG) en genotipos de maíz en función del nitrógeno (N). Iguala, Gro. 2011. 52
- 5 Materia seca (MS) y (B) rendimiento (RG) en función del biofertilizante y nitrógeno (N). Iguala, Gro. 2011. Sin y con significa, no aplicación de biofertilizante y aplicación, respectivamente. 53
- 6 (A) Materia seca (MS) y (B) rendimiento de grano (RG) en función del genotipo (G), biofertilizante (Con y Sin Biofertilizante), y nitrógeno (N). Iguala, Gro. 2011. 54

CAPÍTULO V

- 1 Medias decenales de la temperatura máxima (T_{máx}, °C), mínima (T_{mín}, °C) y suma decenal de la precipitación (PP, mm) durante el ciclo del cultivo de los maíces Michoacan-21, HS-2 y Promesa. E = Emergencia, FL = Floración, MF = Madurez fisiológica. Montecillo, Edo. de México. 2011. 87
- 2 Unidades calor (UC), evapotranspiración (ET_c) y fenología durante el ciclo del cultivo en los cultivares de maíz Michoacan-21, HS-2 y Promesa. E = Emergencia, FL = Floración, MF = Madurez fisiológica. Montecillo, Edo. de México. 2011. 88
- 3 (A) Materia seca total (MS) y (B) rendimiento de grano (RG) en genotipos de maíz en función del nitrógeno (N). Montecillo, Edo. de México. 2011. 91

CAPÍTULO VI

- 1 Medias decenales de la temperatura máxima (T_{máx}, °C), mínima (T_{mín}, °C) y suma 107

- decenal de la precipitación (PP, mm) durante el ciclo del cultivo de los maíces Michoacan-21, HS-2 y Promesa. E = Emergencia, FL = Floración, MF = Madurez fisiológica. Montecillo, Edo. de México. 2011.
- 2 Unidades calor (UC), evapotranspiración (ETc) y fenología durante el ciclo del cultivo en los cultivares de maíz Michoacan-21 y Promesa. E = Emergencia, FL = Floración, MF = Madurez fisiológica. Montecillo, Edo. de México. 2011. 108
- 3 Dinámica de la materia seca total en el maíz Michoacan-21 (A) y Promesa (B) en función del nitrógeno durante el ciclo del cultivo. Montecillo, Edo. de México. 2011. 111
- 4 Dinámica de la tasa media de crecimiento del cultivo (\overline{TCC}) en maíz Michoacan-21 (A) y Promesa (B) en función del nitrógeno. Montecillo, Edo. de México. 2011. 112
- 5 Dinámica de la tasa media de asimilación neta (\overline{TAN}) en maíz Michoacan-21 (A) y Promesa (B) en función del nitrógeno. Montecillo, Edo. de México. 2011. 113
- 6 Rendimiento de grano (RG) en genotipos de maíz en función del nitrógeno. Montecillo, Edo. de México. 2011. 113

CAPÍTULO VII

- 1 Medias decenales de la temperatura máxima (T_{máx}, °C), mínima (T_{mín}, °C) y suma decenal de la precipitación (PP, mm) y evapotranspiración (ETc, mm) durante el ciclo del cultivo de los maíces Michoacan-21 y Promesa. E = Emergencia, FL = Floración, MF = Madurez fisiológica. Montecillo, Edo. de México. 2012. 122
- 2 Unidades calor (UC), evapotranspiración (ETc) y fenología durante el ciclo del cultivo en los genotipos Michoacan-21 y Promesa. E = Emergencia, FL = Floración, MF = Madurez fisiológica. Montecillo, Edo. de México. 2012. 123
- 3 (A) Materia seca (MS) y (B) rendimiento de grano (RG) en genotipos de maíz en función del biofertilizante (S_{bio} = sin biofertilizante, Bio = con biofertilizante). Montecillo, Edo. de México. 2012. 126
- 4 (A) Materia seca (MS) y (B) rendimiento de grano (RG) en genotipos de maíz en función del nitrógeno (N). Montecillo, Edo. de México. 2012. 127
- 5 (A) Materia seca (MS) y (B) rendimiento de grano (RG) en función del biofertilizante y nitrógeno (N). Montecillo, Edo. de México. 2012. Sin y con significa, no aplicación de biofertilizante y aplicación, respectivamente. 128

- 6 (A) Materia seca (MS) y (B) rendimiento de grano (RG) en función del genotipo (G), biofertilizante (Con y Sin Biofertilizante), y nitrógeno (N). Montecillo, Edo. de México. 2012. 129

CAPÍTULO VIII

- 1 Medias decenales de la temperatura máxima (T_{máx}, °C), mínima (T_{mín}, °C) y suma decenal de la precipitación (PP, mm) durante el ciclo del cultivo de los maíces Michoacan-21, HS-2 y Promesa en los años 2011 (A) y 2012 (B). E = Emergencia, FL = Floración, MF = Madurez fisiológica. Montecillo, Edo. de México. 140
- 2 (A) Materia seca (MS) y (B) rendimiento de grano (RG) en genotipos de maíz en el 2011 y 2012. Montecillo, Edo. de México. 143
- 3 (A) Materia seca (MS) y (B) rendimiento de grano (RG) en función del nitrógeno (N). Montecillo, Edo. de México. 2011 y 2012. 144
- 4 (A) Materia seca (MS) y (B) rendimiento de grano (RG) en genotipos de maíz en función del nitrógeno (N). Montecillo, Edo. de México. 2012. 145
- 5 (A) Materia seca (MS) y (B) rendimiento de grano (RG) en función del genotipo (G) y nitrógeno (N) en el 2011 y 2012. Montecillo, Edo. de México. 146

INTRODUCCIÓN GENERAL

El maíz es uno de los cultivos más importantes a nivel mundial, que constituye la base de la alimentación de los mexicanos, siendo la principal fuente tanto de energía como de proteínas de la población (Domínguez *et al.*, 2014). El maíz ocupa 43 % de la superficie cultivada en México (7.9 millones de ha), donde los principales estados productores son: Sinaloa, Jalisco, Edo. de México, Michoacán, Chiapas y Guerrero (SIAP, 2012).

Para la producción de maíz, los agricultores de riego prefieren el uso de semillas híbridas, por su potencial alto de producción y sus características agronómicas favorables, como: tolerancia a enfermedades, resistencia al acame y ciclo vegetativo corto (Espinosa *et al.*, 2003), y los de lluvia estacional prefieren los criollos que seleccionan ciclo tras ciclo. Por lo cual, se debe explorar el tipo de variedades que conviene sembrar en cada agrosistema y el manejo más apropiado para una mayor producción.

En la agricultura es imprescindible ser eficiente en el uso del agua (EUA) y nitrógeno (N), ya que estos son los insumos más importantes para la producción, deben estar bien provistos en cantidad y oportunidad para asegurar un estado fisiológico óptimo al momento de la floración, que es cuando se determina el rendimiento (Andrade *et al.*, 2002). Dentro de los fertilizantes utilizados en la agricultura, el más usado es el nitrógeno, por ser determinante en el incremento del rendimiento en maíz (Borras, 2001). Se ha demostrado que la aplicación fraccionada de nitrógeno, induce una recuperación del nutrimento por la planta y permite obtener rendimientos más altos (Villafaña, *et al.*, 2014), pero excesivo e inapropiado uso de la fertilización nitrogenada, puede causar una alta acumulación de este insumo como nitratos en el grano, lo cual puede ser perjudicial a la salud humana, además de causar contaminación y pérdidas económicas (Stagnari *et al.*, 2007). Sin embargo, la fertilización nitrogenada representa una inversión de alto costo y riesgo ambiental. Para reducir el costo de producción en maíz y conservar el ambiente es necesario sustituir o complementar la fertilización química con formas biológicas conocidas como biofertilizantes (Mycorrizas y bacterias) (Alarcón y Ferrera, 2000; Martínez, 2004; Uribe y Dzib, 2006). Las bacterias y hongos son capaces de proveer a la planta diferentes nutrimentos en forma asimilable (Uribe y Dzib, 2006). Sin embargo, en maíz con la aplicación de biofertilizantes no se han encontrado efectos importantes en crecimiento y rendimiento de grano (García *et al.*, 2007). La respuesta del cultivo al biofertilizante puede ser variable debido a la precipitación

pluvial, temperatura y características físicas y químicas del suelo de cada región y el genotipo utilizado (Irizar-Garza *et al.*, 2003; García-Olivares *et al.*, 2007).

Por otra parte, el análisis de crecimiento ha sido usado ampliamente para el estudio de los factores (nitrógeno, biofertilizante y ambientales) que influyen en el desarrollo de la planta y el rendimiento, a través del seguimiento de la acumulación de materia seca durante el ciclo de cultivo (Santos *et al.*, 2010). También, así como para comparar el rendimiento de diferentes cultivares y especies en condiciones similares de crecimiento (Woo *et al.*, 2004). El análisis de crecimiento usa medidas directas como el peso de la materia seca, la cual depende del tamaño, actividad y duración del área foliar (Tekalign y Hammes, 2005). Mediante esto se pueden calcular variables como: el índice de área foliar, la cual representa la relación entre el área foliar y el área de suelo ocupada por el cultivo. La tasa de asimilación neta que indica la eficiencia fotosintética promedio, al medir la ganancia neta de asimilados por unidad de área foliar y tiempo y la tasa de crecimiento del cultivo que es considerado un índice de la productividad agrícola, mide la ganancia en peso de un cultivo por unidad de área de suelo y por unidad de tiempo. En cuanto al tiempo que el follaje persiste, se tiene la duración de área foliar como índice que representa la producción de hojas en el periodo de crecimiento del cultivo (Santos *et al.*, 2010). En base a lo anterior, el objetivo del presente estudio fue determinar el efecto del biofertilizante y nitrógeno en genotipos de maíz en dos ambientes contrastantes sobre: a) la ocurrencia de las fases fenológicas; b) la producción de materia seca, rendimiento y sus componentes; c) índice de verdor, d) tasa de asimilación neta, e) tasa de crecimiento del cultivo, f) eficiencia en el uso del agua y nitrógeno; g) contenido de nitrógeno, proteína y carbohidratos en el grano; y h) la rentabilidad en maíz en siembras tempranas y de lluvia estacional.

LITERATURA CITADA

- Alarcón, A. y C. R. Ferrera. 2000. Biofertilizantes: Importancia y Utilización en la Agricultura. Agricultura Técnica en México. 26(002): 191-203.
- Andrade, F., L. Echarte, R. Rizzalli, A. Della Maggiora y M. Casanovas. 2002. Kernel number prediction in maize under nitrogen or water stress. Crop Science. 42: 1173-1179.
- Borras, L. and M. E. Otegui. 2001. Maize Kernel Weight Response to Postflowering Source-Sink Ratio. Crop Sciences. 49: 1816-1822.

- Domínguez, M. C. A., Brambila, P. J. J., Carballo, C. A. y Quero, C. A. R. 2014. Red de valor para maíz con alta calidad de proteína. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5 (3): 391-403.
- Espinosa, A., Sierra, M., Gómez, N. 2003. Producción y tecnología de semillas mejoradas de maíz por el INIFAP en el escenario sin la PRONASE. *Agronomía Mesoamericana*. 14(001):117-121.
- Espinosa, J. y J. P. García. 2008. High fertilizer prices: What can be done?. *Better crops*. 92:8-10.
- García, O. J. G., V. R. M. Moreno, I. C. L. Rodríguez, A. H. Mendoza, N. P. Mayer. 2007. Efecto de cepas de *Azospirillum basilense* en el crecimiento y rendimiento de grano del maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 30(003):305-310.
- García-Olivares. J. G., V. R. Moreno-Medina, I. C. Rodríguez-Luna, A. Mendoza-Herrera, N. Mayek-Pérez. 2007. Efecto de cepas de *Azospirillum basilense* en el crecimiento y rendimiento de grano del maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 30(003):305-310.
- Irizar-Garza. M. B., P. Vargas-Vargas, D. Garza-García, C. Tut-Couoh, I. Rojas-Martínez, A. Trujillo-Campos, R. García-Silva, D. Aguirre-Montoya, J. C. Martínez-González, S. Alvarado-Mendoza, O. Grageda-Cabrera, J. Valero-Garza, J. F. Aguirre-Medina. 2003. Respuesta de cultivos agrícolas a los biofertilizantes en la región central de México. *Agricultura Técnica en México*. 29(002): 213-225.
- Martínez, M. J. 2004. Respuesta de la biofertilización en el crecimiento y Rendimiento de sorgo de grano en Linares, Nuevo León. *In: Memoria del Simposio de Biofertilización*. A Díaz-Franco, N Mayek-Pérez, A Mendoza, N Maldonado-Moreno (eds). 25 de noviembre de 2004. Río Bravo, México. pp:42-52.
- Santos, C. M., M. Segura A. y C. E. Núñez L. 2010. Análisis de crecimiento y relación fuente demanda de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el municipio de Zipaquirá (Cundinamarca, Colombia). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*. 63(1): 5253-5266.
- Santos, C. M., M. Segura A. y C. E. Núñez L. 2010. Análisis de crecimiento y relación fuente demanda de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el municipio de Zipaquirá (Cundinamarca, Colombia). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*. 63(1): 5253-5266.

- Sistema de Información Agropecuaria (SIAP). 2011. Sistema de Información Agropecuaria de Consulta. SAGARPA. México. Disponible en: http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar_comanuar.html (Revisado: 12 septiembre de 2012).
- Stagnari, F., V. Di Bitetto and M. Pisante. 2007. Effects of N fertilizers and rates on yield, safety and nutrients in processing spinach genotypes. *Scientia Horticulturae*. 114: 225-233.
- Tekalign, T. and P. S: Hammes. 2005. Growth and productivity of potato as influenced by cultivar and productive growth II. Growth analysis, tuber yield and quality. *Scientia Horticulturae*. 105(1):29-44.
- Uribe-Valle, G., R. Dzib-Echeverría. 2006. Micorriza arbuscular (*Glomus intraradices*), *Azospirillum brasilense* y Brassinoesteroide en la producción de maíz en suelo luvisol. *Agricultura Técnica en México*. 32: 68-72.
- Villafaña, A. T. L., E. J. Morales R., G. Estrada C. y C. G. Martínez R. 2014. Determinantes ecofisiológicos del rendimiento en tres cultivares de trigo en función y fraccionamiento del nitrógeno. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 5 (3): 405-419.
- Villar, Z. D. y B. R. Ortega. 2002. Bases Teóricas y su Aplicación para la Fertilización Nitrogenada en Cultivos. Medidor de clorofila. Centro de Agricultura de Precisión. Departamento de Ciencias Vegetales. Agronomía y Forestal. 4-8 pp.
- Woo, R. J. L., R. Vázquez A., E. Olivares S., F. Zavala G., R. González G., R. Valdez C. y C. Gallegos V. 2004. Análisis de crecimiento en maíz (*Zea mays* L.) aplicando lodos activados y urea. *Sistema de producción agropecuaria. Agrofaz*. 4(1):437-441.

CAPÍTULO I. RENDIMIENTO Y RENTABILIDAD DE MAÍZ EN FUNCIÓN DEL GENOTIPO, BIOFERTILIZANTE Y NITRÓGENO, EN SIEMBRA TEMPRANA BAJO RIEGO, EN CLIMA CÁLIDO

Aguilar Carpio Cid, Dr.
Colegio de Postgraduados, 2014

RESUMEN

El crecimiento y producción del maíz (*Zea mays* L.) depende del potencial genético de la planta, el cual responde a las condiciones ambientales en las que crece y al manejo agrícola que se le proporcione. Dentro del manejo, la fertilización nitrogenada es determinante para aumentar el rendimiento de grano, la cual generalmente se obtiene de abonos químicos que representan una inversión de alto costo y riesgo ambiental. El uso de bacterias fijadoras de nitrógeno y hongos micorrizicos como complemento a la fertilización química, puede ser una opción para aumentar el rendimiento, reducir costos de producción y conservar el ambiente. Como una alternativa a esta problemática, el objetivo del presente estudio fue determinar la producción de materia seca (MS), índice de cosecha, rendimiento de grano (RG), componentes y rentabilidad en los genotipos de maíz criollo raza “Vandeño”, variedad sintética VS-535 y los híbridos H-562 y H-7573, con y sin biofertilizante y 0, 80 y 160 kg N ha⁻¹. El estudio se realizó en Iguala, Gro. en siembra temprana bajo riego, donde se registró el tiempo a ocurrencia de las fases fenológicas. Las evaluaciones se realizaron en la cosecha. Para la región de estudio y época de siembra, solamente se observaron diferencias entre cultivares en la ocurrencia de las fases fenológicas. Se observaron diferencias genotípicas, por efecto de biofertilizante y nitrógeno en la producción de MS y RG. La MS y RG más alto se logró con la combinación de H-562, biofertilizante y 160 kg N ha⁻¹ (3000 y 924 g m⁻², respectivamente) y el más bajo correspondió al tratamiento H-562, sin biofertilizante y sin nitrógeno (1703 y 376 g m⁻², respectivamente). El mayor ingreso neto se logró con H-562 y 160 kg N ha⁻¹ independientemente del uso de biofertilizante.

Palabras clave: *Glomus*, *Azospirillum*, grano, urea.

ABSTRACT

Corn growth and production depend of its genetic potential, and its response to the environmental conditions in which it grows and the provided management. Inputs as nitrogen fertilizer are

crucial to increase grain yield, most nutrients are usually obtained from inorganic fertilizers that represent an investment of high cost and environmental risk. The use of bacteria for nitrogen fixation and mycorrhizal as a complement to the inorganic fertilizer, can be an option to increase yields, reduce production costs and conserve the environment. As an alternative to this problem, the objective of the present study was to determine the production of dry matter (DM), harvest index, grain yield (GY), and its components, and profitability in the genotypes of maize race "Vandeño", synthetic variety VS-535 and hybrids H-562 and H-7573, with and without biofertilizer and 0, 80 and 160 kg N ha⁻¹. The study was conducted at Iguala, Gro. in early sown under irrigation conditions, dates of phenological stages were recorded. Assessments were evaluated at harvest. For the region of study and sowing date, only differences between cultivars were observed. The differences observed were genotypical, by effect of biofertilizer and nitrogen in the production of DM and higher GY. The higher DM and GY were achieved with the combination of H-562, biofertilizer and 160 kg N ha⁻¹ (3000 y 924 g m⁻², respectively) and the lower treatment correspond to H-562, without biofertilizer and without nitrogen (1703 y 376 g m⁻², respectively). The higher net income was achieved with H-562 and 160 kg N ha⁻¹ regardless of the use of biofertilizer.

Index words: *Glomus*, *Azospirillum*, grain, urea.

INTRODUCCIÓN

En México, el maíz es el cultivo más importante desde el punto de vista alimenticio, industrial, político y social, el consumo *per capita* de maíz es de 330 g d⁻¹, con una aportación de 32 a 55% de carbohidratos (Hartcamp *et al.* 2000). Se desarrolla en diferentes zonas edafoclimáticas y que forman parte de los usos y costumbres de las regiones étnicas. Los principales estados productores de maíz en México son; Sinaloa, Jalisco, Edo. de Méx. y Michoacán. Guerrero ocupa el quinto lugar, con una producción de 1,309,068 t, donde el 92% (438,006 ha) de la producción es bajo condiciones de temporal, donde la precipitación media del estado es de 1200 mm con rendimiento promedio de 2.76 t ha⁻¹. El 8% (24,374 ha) de la superficie se siembra bajo condiciones de riego (ciclo agrícola otoño-invierno) con un rendimiento promedio de 3.5 t ha⁻¹ (SIAP, 2011). Los agricultores de riego prefieren el uso de semillas híbridas, por su potencial alto de producción y sus características agronómicas favorables, como: tolerancia a enfermedades, resistencia al acame y ciclo vegetativo corto (Espinosa *et al.*, 2003), y los de temporal prefieren

los criollos que seleccionan ciclo tras ciclo. Por lo cual, se debe explorar el tipo de variedades que conviene sembrar en cada agrosistema y el manejo más apropiado para una mayor producción. Dentro del manejo, la fertilización nitrogenada (FN) es determinante para incrementar el rendimiento de maíz (Borrás, 2001). El nitrógeno es el nutrimento más importante para la producción, tanto el agua como el nitrógeno deben estar bien provistos en cantidad y oportunidad para asegurar un estado fisiológico óptimo al momento de la floración, que es cuando se determina el rendimiento (Andrade *et al.*, 1996). Sin embargo, la FN representa una inversión de alto costo y riesgo ambiental. Para reducir el costo de producción en maíz y conservar el ambiente es necesario sustituir o complementar la fertilización química con formas biológicas conocidas como biofertilizantes (Alarcón y Ferrera, 2000; Martínez, 2004; Uribe y Dzib, 2006). La respuesta del cultivo al biofertilizante puede ser variable debido a la precipitación, temperatura y características físicas y químicas del suelo de cada región y el genotipo utilizado (Irizar-Garza *et al.*, 2003; García-Olivares *et al.*, 2007).

Estudios en maíz, indican que con la inoculación de *Azospirillum brasilense* se ha logrado incrementar la producción en 30% (O'hara *et al.*, 1981). García-Olivares *et al.* (2007) al evaluar en campo, la cepa de *A. brasilense* (CBG-497) reportan un incremento de 0.3 t ha⁻¹ en el rendimiento del maíz 'Asgrow-Tigre', mientras que en 'Dekalb-2003' y 'Garst-8222' el rendimiento se incrementó en 1.3 y 0.3 t ha⁻¹ (8%), respectivamente. Por otra parte, algunos estudios no han encontrado respuesta al *Azospirillum* sp. y al hongo micorrízico como reportan Irizar-Garza *et al.* (2003) en Guanajuato, Tlaxcala y Puebla. En contraste, en Puebla, la inoculación con *Azospirillum* sp. produjo mayor rendimiento para el maíz híbrido (6.4 t ha⁻¹) y criollo (4.0 t ha⁻¹). Roveda y Polo (2007) en maíz con *Glomus* sp. encuentran incrementos en la producción de MS. En general, los antecedentes indican que la inoculación basada en *Azospirillum brasilense* y la asociación con *Glomus* incrementan el rendimiento tanto en maíz criollo como híbrido.

No obstante, los reportes sobre el tema en clima cálido no son abundantes por lo que, el objetivo del presente estudio fue determinar la ocurrencia de las fases fenológicas, producción de materia seca, rendimiento, sus componentes y rentabilidad en maíz en siembra temprana bajo riego, en función del genotipo, nitrógeno y el biofertilizante (*Azospirillum* + *Glomus*).

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se estableció bajo condiciones de riego en Iguala, Gro., con clima cálido subhúmedo con lluvias en verano con precipitación anual es de 1100 mm y altitud de 635 m (Aw_0 , García, 2005). Los tratamientos consistieron en la siembra del maíz criollo raza “Vandefío”, una variedad sintética VS-535 y dos híbridos H-562 y H-7573 con y sin biofertilizantes que contiene bacterias fijadoras de nitrógeno *Azospirillum* y hongos micorrízico (*Glomus* sp.) y 0, 80 y 160 kg N ha⁻¹ el 23 de enero de 2011. La densidad de población fue de 6.25 pl m⁻² y distancia entre surcos de 80 cm. El diseño experimental fue bloques completamente al azar con arreglo de parcelas subdivididas y cuatro repeticiones. La unidad experimental fue de cuatro surcos de 0.8 m de ancho x 4 m de longitud. Para conocer las características iniciales del suelo en los primeros 30 cm de profundidad, se realizó un análisis físico y químico en el Laboratorio de Nutrición Vegetal S. C., Fertilab. Los resultados indican que es un suelo de textura arcillosa, densidad aparente de 1.07 g cm⁻³, pH 7.8, conductividad eléctrica 0.83 dS m⁻¹, materia orgánica de 1.57 % y nitrógeno inorgánico 5.54 ppm. Durante el desarrollo del estudio se registró la temperatura máxima (T_{máx}) y mínima (T_{mín}) decenal y la suma de la evaporación (Ev, mm) y precipitación (PP, mm), datos proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional (CONAGUA). También se registró la ocurrencia de las fases fenológicas como: días a emergencia (E), floración (FL) y a madurez fisiológica (MF). El criterio utilizado para estas variables fue presentado en Ritchie y Hanway (1982). También, para cada fase fenológica se determinó la acumulación de unidades calor para el cultivo (UC, °C d), mediante el método residual, el cual es descrito por la siguiente ecuación como se indica en Snyder (1985):

$$UC = (T_{máx} + T_{mín} / 2) - TB$$

Donde: T_{máx} y T_{mín} son diarias (°C) y TB = Temperatura base, considerada como 10 °C (Villalpando y Ruíz, 1993). La evapotranspiración del cultivo (ET_c) se calculó a partir de los datos de la evaporación (Ev) del tanque tipo “A”, utilizando 0.6 como coeficiente para el evaporímetro, kc inicial = 0.35, kc a mediados del periodo = 1.14 y kc final = 0.6 (Doorenbos y Pruitt, 1986), a partir de la siguiente ecuación:

$$ET_c = Ev \times 0.6 \times Kc$$

A la MF se evaluó la materia seca (MS total, g m⁻²), índice de cosecha (IC, %), rendimiento de grano (RG, 10% de humedad, g m⁻²), peso de 100 granos (P100G, g), número de granos (NG, m²), número de hileras (NH) y número de granos por hilera (NGH). A las variables en estudio, se

les aplicó un análisis de varianza (ANDEVA), con el programa estadístico de SAS (Statistical Analysis System, Versión 9.0), la prueba de comparación de medias Tukey ($\alpha=0.05$) y un análisis de regresión entre RG y sus componentes.

Adicionalmente, se realizó un análisis económico para rendimiento, utilizando las siguientes ecuaciones: $IN = YPy - (\sum XiPi + CF)$, donde IN = Ingreso neto, Y = Rendimiento ($kg\ ha^{-1}$), Py = precio por kg, $\sum XiPi$ = suma de costos variables, CF = costos fijos (Volke, 1982). También se determinó la GPI con la relación: $GPI = (\sum XiPi + CF) / YPy$, donde: GPI = ganancia por peso invertido.

RESULTADOS Y DISCUSION

Fenología, condiciones climáticas, unidades calor y evapotranspiración

En la Figura 1, se observa la media decenal de la T_{máx} y T_{mín} durante el desarrollo del cultivo que fluctuó entre 33 °C y 38 °C, y entre 20 °C y 25 °C, respectivamente. De siembra (S) a FL, la T_{máx} y T_{mín} promedio fue de 35 °C y 20 °C y de FL a MF fue de 38 °C y 23 °C, respectivamente. La T_{máx} fue casi similar a la óptima, 30 °C y 34 °C (Kiniry y Bonhomme, 1991), lo cual no indica limitaciones por temperatura para una mayor expresión del rendimiento en los genotipos estudiados, debido a que la T_{máx} en la cual se afecta el desarrollo del maíz se encuentra entre los 40 °C y 44 °C, para las condiciones de clima calido (Kiniry y Bonhomme, 1991).

La suma decenal de la PP fue de 60 mm ocurrida en MF. En el presente estudio, se aplicaron ocho riegos (lámina de 111 mm, por riego) durante el cultivo. El primero fue dos días antes de la siembra (21/01/2011), posteriormente a los 17, 34 y 51 días después de la siembra (dds) de S a FL y a los 66, 76, 89 y 102 dds, de FL a MF. En total se aplicó en riegos 888 mm. Respecto a la ET_c se observó que de S a FL fue de 51 mm y de FL a MF de 61 mm. Siendo en total 112 mm durante el ciclo del cultivo. Lo que indica que el cultivo no sufrió restricción hídrica para su crecimiento.

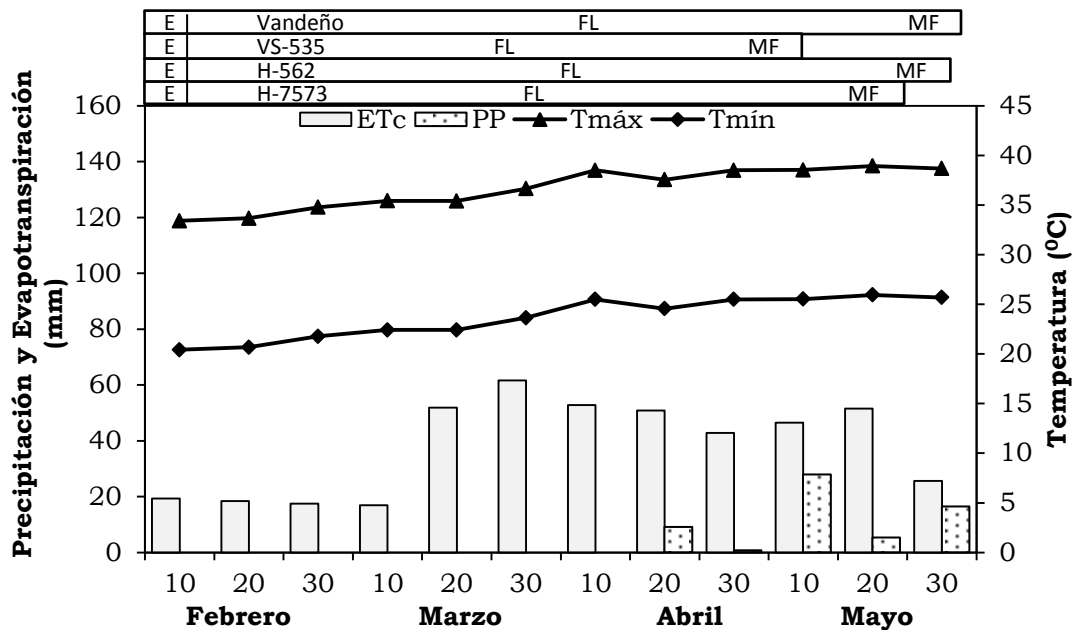


Figura 1. Medias decenales de la temperatura máxima (Tmáx, °C), mínima (Tmín, °C) y suma decenal de la precipitación (PP, mm) y evapotranspiración (ETc, mm) durante el ciclo del cultivo de los maíces Vandeño, VS-535, H-562 y H-7573. E = Emergencia, FL = Floración, MF = Madurez fisiológica. Iguala, Gro. 2011.

Los genotipos en estudio, presentaron diferencias en las fechas a ocurrencia de las etapas fenológicas, a excepción de la emergencia donde fue similar (5 dds). En contraste, en la floración en Vandeño ocurrió a los 74 dds. en VS-535 a los 62 dds, en H-562 a los 72 dds y en H-7573 a los 74 dds. La MF en VS-535 a los 100 dds, en H-7573 a los 110 dds, en “Vandeño” y H-562 fue a los 115 dds (Figura 1).

En la Figura 2 se observa la acumulación de UC durante el ciclo del cultivo, el cual fue diferente entre genotipos; de siembra a emergencia para Vandeño, VS-535, H-562 y H-7573 las UC fueron de 84 °C d; 947, 1047, 1153 y 1187 °C d de E a FL para VS-535, H-7573, H-562 y Vandeño, respectivamente y de FL a MF de 777, 839, 873 y 887 °C d para VS-535, Vandeño, H-562 y H-7573. El total de las UC fue de 1808, 2018, 2110 y 2110 °C d, para VS-535, H-7573, Vandeño y H-562, respectivamente, cabe señalar que la acumulación total de UC d se relaciona con la duración del ciclo del cultivo (Figura 2). En referencia Núñez-Hernández *et al.* (2005) en maíces híbridos, reportan en promedio de 1470 °C d⁻¹ a MF, para un clima semicálido árido, valores más

bajos a los obtenidos en el presente estudio. Posiblemente esta diferencia se deba a los diferentes genotipos utilizados y condiciones ambientales.

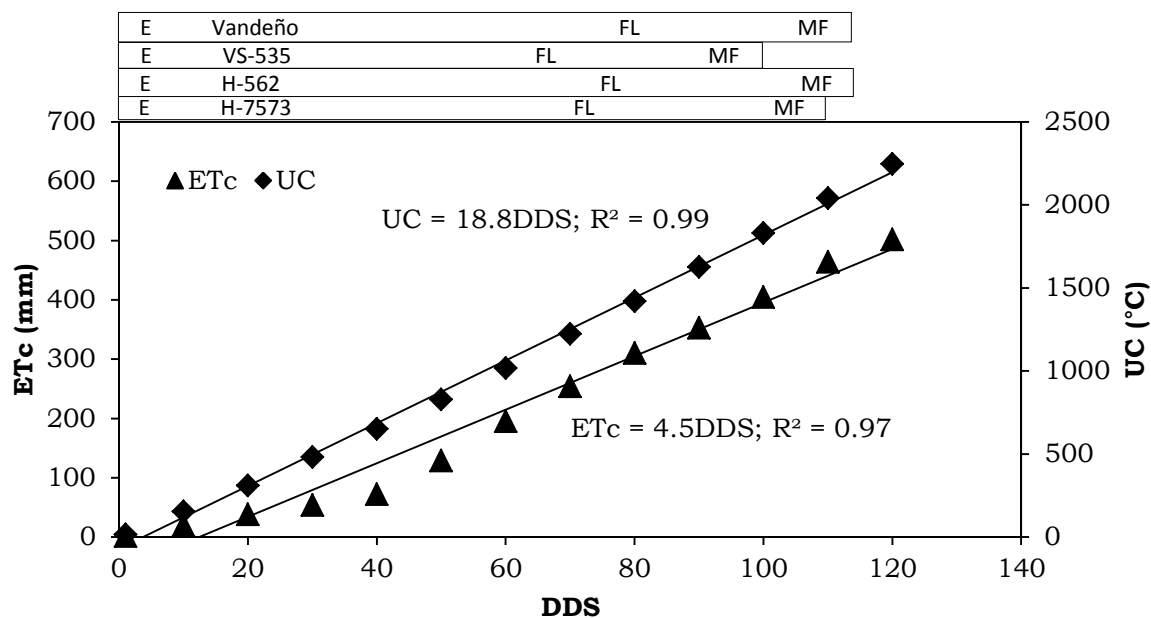


Figura 2. Unidades calor (UC), evapotranspiración (ETc) y fenología durante el ciclo del cultivo en los maíces Vandño, VS-535, H-562 y H-7573. E = Emergencia, FL = Floración, MF = Madurez fisiológica. Iguala, Gro. 2011.

Para la ETc, se observó que en el periodo de siembra a emergencia en cuatro genotipos fue de 10.5 mm. De E a FL fue de 190, 210, 257 y 259 mm para VS-535, H-7573, Vandño y H-562, respectivamente. De FL a MF fue de, 203, 217, 224 y 243 mm para VS-535, Vandño, H-562 y H-7573, respectivamente y la ETc total fue de 404, 464, 485 y 485 mm para VS-535, H-7573, Vandño y H-562, respectivamente (Figura 2). Esto indica que las necesidades de agua difieren entre genotipo y son más altas para Vandño y H-562, por su mayor ciclo de crecimiento.

Materia seca (MS), índice de cosecha (IC), rendimiento (RG) y sus componentes

El ANDEVA para la MS y sus componentes del RG mostró cambios significativos debido a genotipos (G), biofertilizante (Bio), nitrógeno (N) y las interacciones, genotipo x biofertilizante (G x Bio), Genotipo x nitrógeno (G x N), biofertilizante x nitrógeno (Bio x N) y genotipo x biofertilizante x nitrógeno (G x Bio x N). Se observaron diferentes respuestas en la MS, IC, RG y sus componentes en las interacciones (Cuadro 1).

Cuadro 1. Análisis de varianza para materia seca (MS), índice de cosecha (IC), rendimiento de grano (RG) y sus componentes. Iguala, Gro. 2011.

Factor	MS	IC	RG	P100G	NH	NGH	NG
	g m ⁻²	%	g m ⁻²	g			m ⁻²
G	**	NS	**	**	**	**	**
Bio	*	NS	*	**	**	*	**
G x Bio	*	**	*	*	NS	*	*
N	**	**	**	*	NS	NS	*
G x N	**	**	**	**	**	**	**
Bio x N	**	**	**	NS	NS	NS	NS
G x Bio x N	**	**	**	**	*	*	**

*,** = P≤0.05, 0.01, respectivamente; NS = No significativo a P≥0.05; P100G = Peso de 100 granos, NH = Número de hileras, NGH = Número de granos por hilera. NG = Número de granos. G = Genotipo, Bio = Biofertilizante, N = Nitrógeno.

Genotipo

En el Cuadro 2, se observa que los cultivares mejorados superaron en 15 y 20% al criollo, en cuanto a MS. El genotipo VS-535 por su ciclo de crecimiento más largo tuvo oportunidad de interceptar mayor cantidad de radiación, lo que generó un incremento del 20% en MS con respecto a “Vandeño” (Figura 1). En relación al IC los genotipos presentaron similar distribución de MS hacia el grano. Esto indica que las diferencias en MS y RG entre genotipos, son en la misma proporción. En cuanto al RG, H-7573 presentó el más alto (768 g m⁻²), debido al mayor P100G y NG, seguido de H-562 (704 g m⁻²), VS-535 (665 g m⁻²) y Vandeño (550 g m⁻²). Aguiluz (1998) reporta para H-7573 cultivado en Poza Rica, Ver. (Clima Aw₁), un RG de 7 t ha⁻¹, menor al encontrado en el presente estudio. Turrent-Fernández *et al.* (2004) para el mismo híbrido sembrado en Iguala, Gro. con riego reportan un RG de 11 t ha⁻¹, que superó a lo presentado. Dichas diferencias se relacionan con las condiciones ambientales de los estudios realizados.

Biofertilizante

El maíz con biofertilizante presentó MS total y RG, de 5 y 4% superior al testigo, respectivamente (Cuadro 2). Sin embargo el IC no fue afectado, lo que indica, que el Bio ocasiono incrementos similares en MS y RG; el RG más alto fue consecuencia de incrementos en el P100G, NH, NGH y NG (Cuadro 2). Dicho aumento en el RG y sus componentes puede deberse a una mayor área radical e incremento en actividad de la misma y en consecuencia una

mayor tasa de absorción de agua y nutrimentos (Dobbelaere *et al.*, 2002); González *et al.* (2011) y Dobbelaere *et al.* (2002) reportan incrementos del 5 y 12% en el RG de maíz con la aplicación del Bio. Esto indica que el Bio ocasionó incrementos en el RG.

Nitrógeno

En el Cuadro 2 se observa que a excepción del NH y NGH ocasionó cambios significativos para la BT, RG y sus componentes. La aplicación de 160 kg N ha⁻¹ incrementó en 235 g m⁻² la MS y en el IC en 4%, en tanto con 80 kg N ha⁻¹ el incremento fue de 23 y 4%, con respecto a sin fertilización (Cuadro 2), lo que indica que con N se promovió una mayor acumulación de MS hacia el grano respecto al resto de las estructuras de la planta, generado esto por un mayor tamaño de la demanda. Con 160 kg N ha⁻¹ el RG se aumentó en 290 g m⁻², el P100G en 1.3 g y el NG en 369 granos por m². Otros estudios reportan incrementos en el RG del maíz con la aplicación de 90 y 60 kg N ha⁻¹ para la zona norte del estado de Guerrero (González *et al.*, 2011) y con 140 kg N ha⁻¹ para Balcarce Argentina (Hecheverria y Sainz, 2001). Esto sugiere que con el suministro de N se logran incrementos en el RG.

Cuadro 2. Materia seca (MS), índice de cosecha (IC), rendimiento (RG) y sus componentes de genotipos de maíz en función biofertilizante (Sin y Con Bio) y nitrógeno (N). Iguala, Gro. 2011.

Factor		MS g m ⁻²	IC %	RG g m ⁻²	P100G g	NH	NGH	NG m ²
Genotipo	Vandeño	2206 b	25 a	617 c	30 c	16 c	9 c	969 c
	VS-535	2581 a	24 a	665 bc	37 b	20 b	11 b	1,463 b
	H-562	2568 a	26 a	704 ab	31 c	16 c	9 c	1,019 c
	H-7573	2727 a	28 a	740 a	40 a	21 a	12 a	1,644 a
Tukey $\alpha = 0.05$		273	3	65	2.3	1.1	0.5	156
Bio	Sin	2462 b	26 a	669 b	34 b	18 b	10.5 b	1,230 b
	Con	2579 a	26 a	694 a	35 a	19 a	10.7 a	1,319 a
Tukey $\alpha = 0.05$		77	1	27	0.7	0.4	0.1	50
N (kg ha ⁻¹)	0	2176 b	23 b	520 c	34.4 b	19 a	10 a	900 b
	80	2683 a	27 a	714 b	34.8 ab	18 a	10 a	1,244 a
	160	2702 a	27 a	810 a	35.7 a	18 a	10 a	1,269 a
Tukey $\alpha = 0.05$		134	1	32	1.2	0.6	0.4	88
Media general		2520	26	681	35	18	10	1,275
CV. (%)		7	8	6	5	5	5	9

En columnas para cada factor principal letras similares indican que los valores son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha=0.05$).

Genotipo x Biofertilizante (G x Bio)

El ANDEVA para la MS y RG, mostró diferencias significativas por efecto de la interacción G x Bio (Figura 2); lo que demuestra que los genotipos presentaron respuestas diferentes a la aplicación del Bio. Así, H-562 y Vandeño presentaron incremento del 7% (180 g m^{-2}) y 13% (276 g m^{-2}) en MS con la aplicación de Bio, respectivamente, en contraste a VS-535 y H-7573 donde dicho comportamiento no se observa. No está bien definido el mecanismo de respuesta en cuanto a la afinidad de los genotipos estudiados. Schank *et al.* (1981) en pasto (*Digitaria sp.*) también encontraron mayor MS con la inoculación de Bio, en clima semiárido. Con respecto a Bio, el RG de VS-535, H-562 y H-7573 se incrementó en 4, 12 y 6%, respectivamente. Esto indica que el cultivo con Bio fue más eficiente en acumular mayor MS hacia el grano; debido posiblemente a un aumento en la superficie de absorción radical que pudo influir sobre la duración del área foliar y en consecuencia mayor oportunidad para el llenado de grano. Como también se deduce de los estudios realizados por García-Olivares *et al.* (2007).

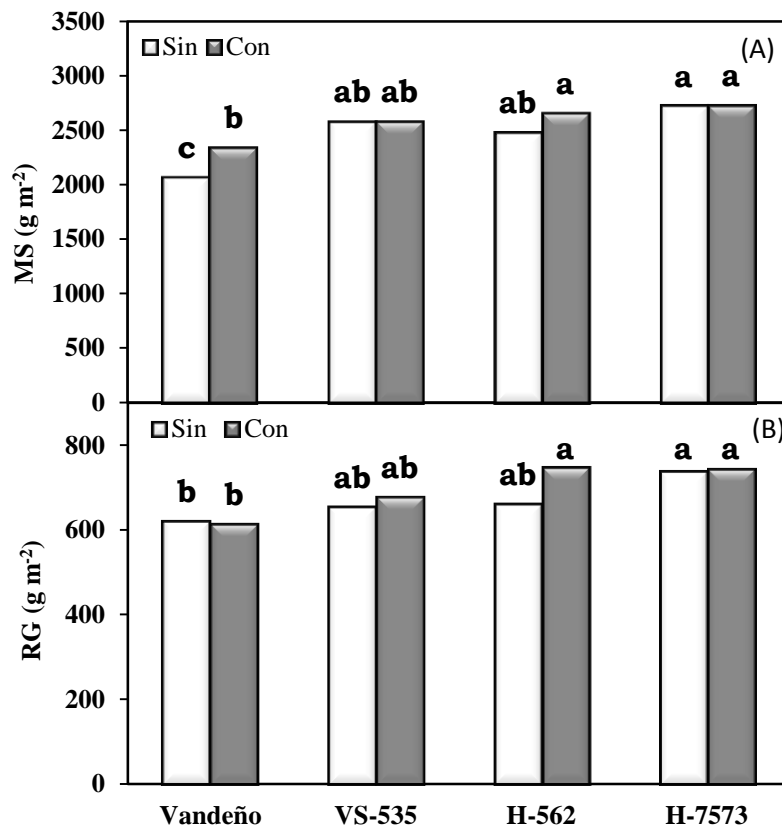


Figura 3. (A) Materia seca (MS) y (B) rendimiento (RG) en genotipos de maíz en función del biofertilizante. Iguala, Gro. 2011.

Genotipo x Nitrógeno (G x N)

En la Figura 4 se observa que los genotipos presentaron respuesta diferente al N. En general dicha respuesta se ajustó al modelo de un polinomio de segundo grado. El genotipo H-562 mostró respuesta más alta al N en una producción de MS de 14 g m⁻² por unidad de N aplicado, seguido de VS-535, Vandeño y H-7573 que produjo la respuesta más baja (5.5 g m⁻² por unidad de N). A excepción de H-7573, la máxima producción de MS se logró con 160 kg N ha⁻¹. Esto puede deberse a la eficiencia en el uso del N, debido a las características de las variedades mejoradas. En relación al RG, también se observó variabilidad entre genotipos en respuesta al N (Figura 4B). H-562 presentó mayor RG (5.9 g m⁻²) por unidad de N aplicado, seguido de H-7573, VS-535 y Vandeño que presentó la respuesta más baja (1.4 g m⁻² por kg N aplicado). El RG más alto se obtuvo con la combinación de VS-535 y 160 kg N ha⁻¹. En general se observa que los genotipos mejorados presentaron mayor respuesta al N. Tendencias similares han sido reportadas por (De la Cruz-Lázaro *et al.*, 2009; Mani-Pati *et al.*, 2010).

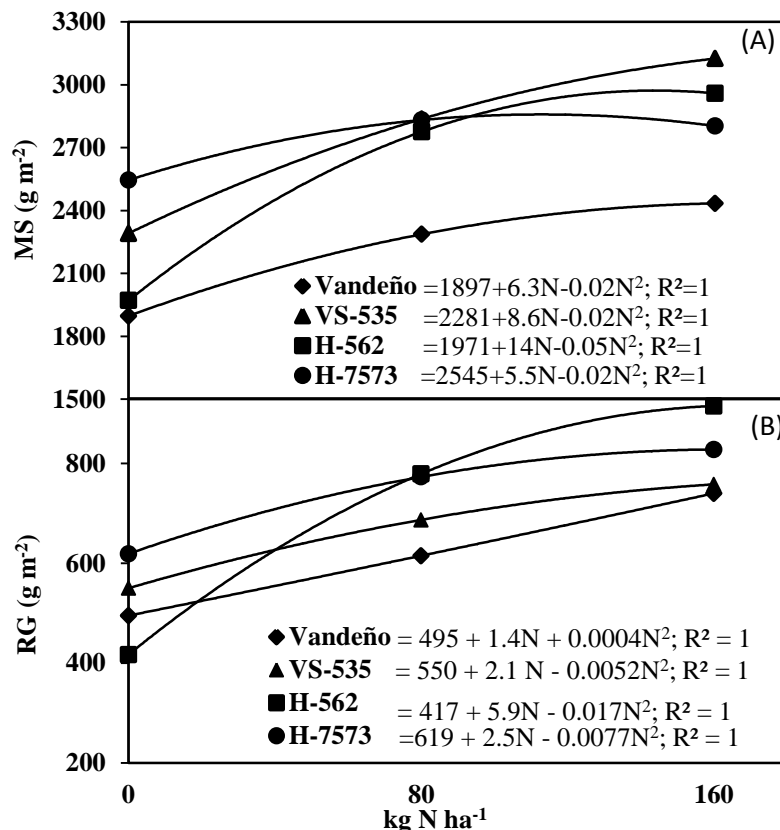


Figura 4. (A) Materia seca (MS) y (B) rendimiento (RG) en genotipos de maíz en función del nitrógeno (N). Igualá, Gro. 2011.

Biofertilizante x Nitrógeno (Bio x N)

El ADEVA mostró cambios significativos para la MS, IC y RG debido a la interacción Bio x N (Cuadro 1). En la Figura 5A, se observa que el cultivo sin Bio presentó mayor respuesta en MS (12 g m^{-2} por kg N^{-1}) con Bio (7 g m^{-2} por kg N^{-1}), lo que indica, que en la respuesta al suministro de N la influencia del Bio es limitado. En contraste, el maíz con Bio presentó mayor para RG con N; particularmente con 80 kg N ha^{-1} (Figura 5B) y con una tasa de incremento de 3.5 g m^{-2} por kg de N. Resultados similares reportaron García-Olivares *et al.* (2007), al utilizar *Azospirillum* y 140 kg N ha^{-1} , con los híbridos Tigre, Dekalb-2003 y Garst-8222. Lo observado sugiere que la inoculación con Bio eleva la respuesta al N. En contraste, Uribe y Dzib (2006) en clima cálido, no encontraron incremento en el RG con el N al inocular con Bio. Probablemente, las diferencias en el contenido de N inicial y las características del suelo limitaron la respuesta al N.

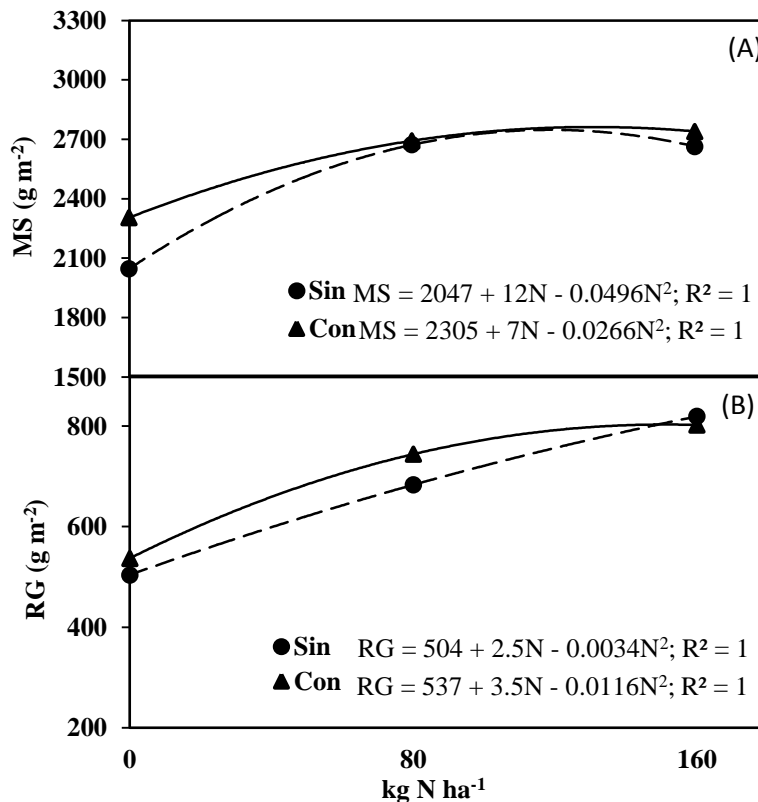


Figura 5. (A) Materia seca (MS) y (B) rendimiento (RG) en función del biofertilizante y nitrógeno (N). Iguala, Gro. 2011. Sin y con = no aplicación de biofertilizante y aplicación.

Genotipo x Biofertilizante x Nitrógeno (G x Bio x N)

El ANDEVA mostró cambios significativos para la MS, IC, RG y sus componentes por efecto de la interacción G x Bio x N (Cuadro 1). Con respecto a la interacción G x Bio x N (Figura 6A), se observa que la mayor respuesta en MS se encontró con Bio y 160 kg N ha⁻¹ para H-562, seguido de VS-535, H-7573 y Vandeano. El RG más alto correspondió a Bio y 160 kg N ha⁻¹ para H-562, seguido de H-7573, VS-535 y Vandeano. En términos generales, se observó una respuesta positiva al Bio pero fue menor en el RG. Los factores responsables de tales irregularidades son difíciles de identificar, pero se atribuye a la variabilidad del genotipo y niveles de N, así como la capacidad del biofertilizante para establecerse (Pecina-Quintero *et al.*, 2005) y estimular el crecimiento de la raíz (Romani *et al.*, 1983), lo que logró un efecto positivo sobre el rendimiento.

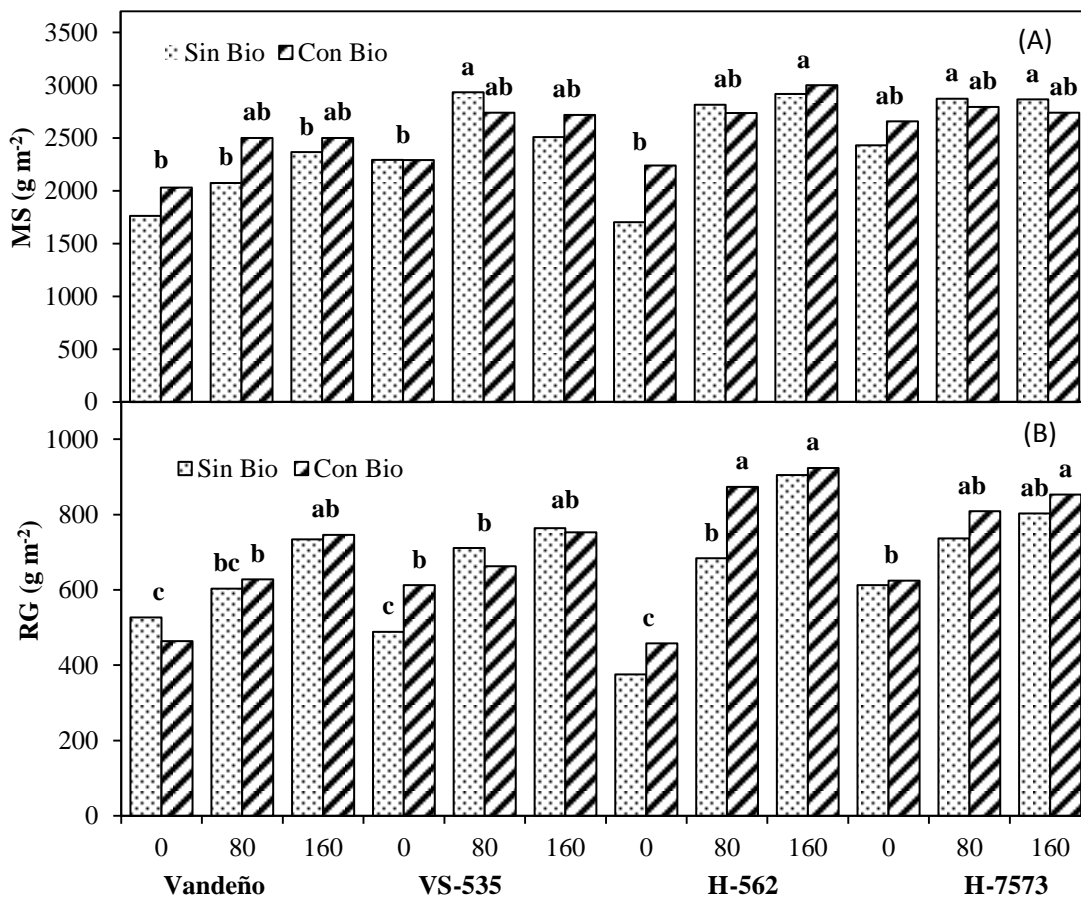


Figura 6. (A) Materia seca (MS) y (B) rendimiento (RG) en función del genotipo (G), biofertilizante (Con y Sin Biofertilizante), y nitrógeno (N). Iguala, Gro. 2011.

Correlación del rendimiento de maíz entre sus componentes

En la Figura 6, que muestra la relación entre el RG y sus componentes, se observa que el P100G y NG son los componentes que presentan la mejor relación con el RG ($R^2 = 0.85$ y 0.83 , respectivamente). Esto indica que a mayor peso de grano y número de granos, el RG será más alto. Esto sugiere que la mayor demanda de fotoasimilados es generada por el NG. Al respecto, Borrás y Otegui (2001) mencionan que la reducción en el peso de grano está relacionada con el incremento en el número de granos. El NGH y NH presentaron una relación más baja con el RG ($R^2 = 0.73$ y 0.72 , respectivamente).

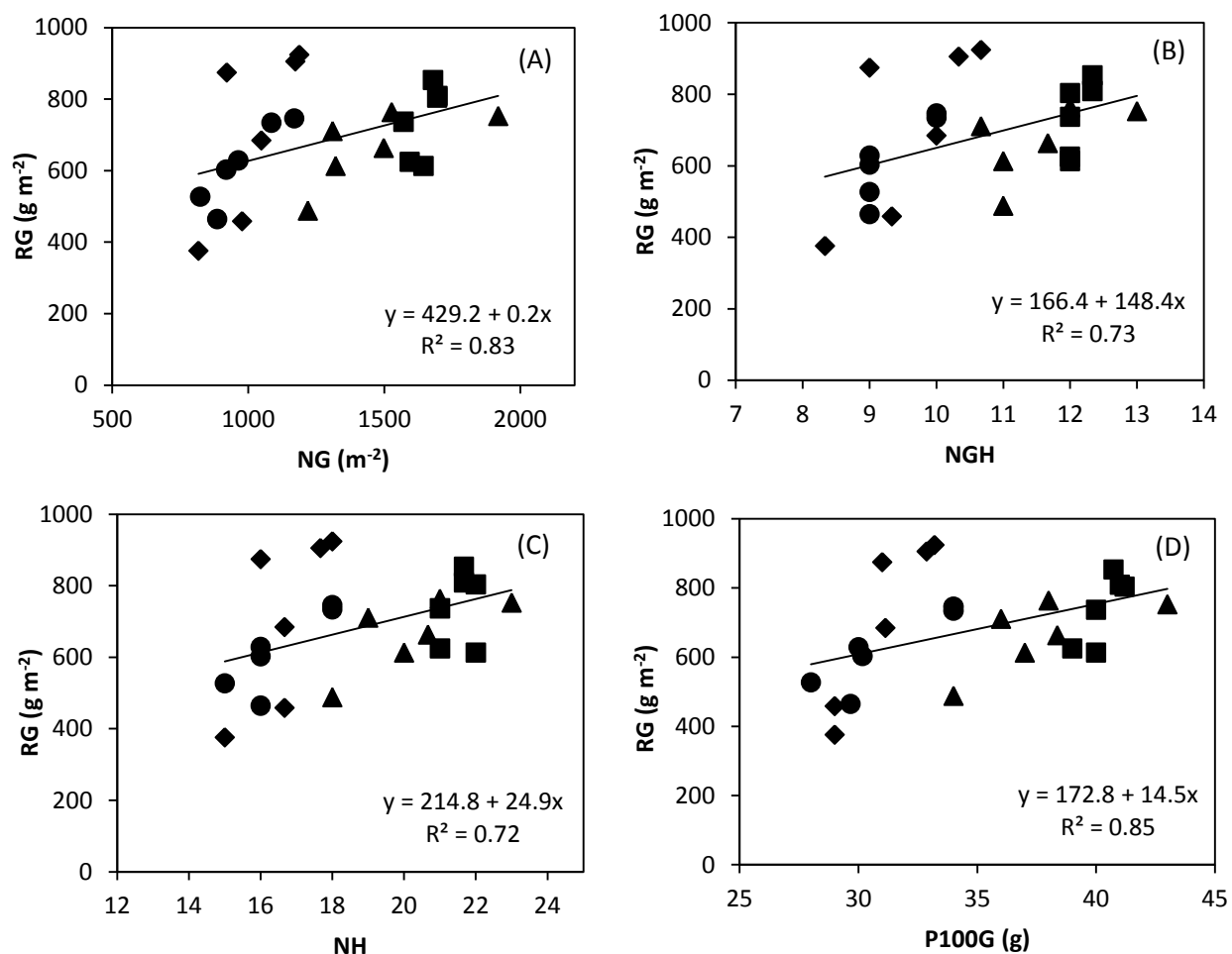


Figura 7. Relación del rendimiento (RG) entre el número granos (NG) (A), número granos hilera¹ (NGH) (B), número de hileras (NH) (C) y peso 100 granos (P100G) (D). Iguala, Gro. 2011.

Análisis económico

En cuanto al análisis económico, el mayor RG se presentó en el híbrido H-562 con Bio más la aplicación de 160 kg N ha^{-1} , sin embargo en el Cuadro 5 se observa que la siembra del maíz H-

562 sin Bio y la aplicación de 160 kg N ha⁻¹ generó el mayor ingreso neto (IN), debido, al IT que fue el más alto, con un CT de \$ 9859. El uso de Bio más 80 kg N ha⁻¹ logró la mejor GPI, debido a que por cada peso invertido, se recuperó \$ 4.33. Por lo que para agricultores de capital limitado se recomienda el uso de Vandeño, debido a que genera el mayor IN sin el uso de Bio y N. Al respecto Turrent-Fernández *et al.* (2004) en Iguala, Gro en siembra de riego y 190 kg N ha⁻¹ observó el más alto IN con el híbrido H-7573 en comparación con H-551C, Hemoc, H-516, H-515 y H-513. Esto contrasta con los resultados de este estudio, ya que H-562 presentó el mayor IN en comparación con H-7573, VS-535 y Vandeño.

Cuadro 3. Rendimiento (RG), ingresos totales (IT), costos fijos (CF), costos variables (CV) y costos totales (CT), ingresos netos (IN) y ganancia por peso invertido (GPI) en genotipos de maíz en función del biofertilizante (Sin y Con Bio) y nitrógeno (N). Iguala, Gro. 2011.

Genotipo	Bio	N (kg ha ⁻¹)	RG (kg ha ⁻¹)	IT \$	CF \$	CV \$	CT \$	IN \$	GPI \$
Vandeño	Sin	0	5270	28985.00	5933	560.00	6493.60	22491.40	3.46
		80	6030	33165.00	5933	2083.00	8016.60	25148.40	3.14
		160	7343	40388.33	5933	3506.00	9439.60	30948.73	3.28
	Con	0	4647	25556.67	5933	1152.00	7085.60	18471.07	2.61
		80	6287	34576.67	5933	2675.00	8608.60	25968.07	3.02
		160	7463	41048.33	5933	4098.00	10031.60	31016.73	3.09
VS-535	Sin	0	4883	26858.33	5933	1150.00	7083.60	19774.73	2.79
		80	7110	39105.00	5933	2673.00	8606.60	30498.40	3.54
		160	7640	42020.00	5933	4096.00	10029.60	31990.40	3.19
	Con	0	6133	33731.50	5933	1742.00	7675.60	26055.90	3.39
		80	6637	36501.67	5933	3265.00	9198.60	27303.07	2.97
		160	7530	41415.00	5933	4688.00	10621.60	30793.40	2.90
H-562	Sin	0	3760	20680.00	5933	980.00	6913.60	13766.40	1.99
		80	6847	37656.67	5933	2503.00	8436.60	29220.07	3.46
		160	9057	50838.33	5933	3926.00	9859.60	40978.73	4.16
	Con	0	4587	25226.67	5933	1572.00	7505.60	17721.07	2.36
		80	8747	48106.67	5933	3095.00	9028.60	39078.07	4.33
		160	9243	49811.67	5933	4518.00	10451.60	39360.07	3.77
H-7573	Sin	0	6250	34375.00	5933	1900.00	7833.60	26541.40	3.39
		80	7370	40535.00	5933	3423.00	9356.60	31178.40	3.33
		160	8533	46933.33	5933	4846.00	10779.60	36153.73	3.35
	Con	0	6133	33733.33	5933	2492.00	8425.60	25307.73	3.00
		80	8093	44511.50	5933	4015.00	9948.60	34562.90	3.47
		160	8037	44201.67	5933	5438.00	11371.60	32830.07	2.89

IT = RG * precio por kg de maíz (\$ 5.50). CF = incluye costo de preparación del terreno, siembra, riego, manejo de maleza y plagas. CV = incluye el costo del biofertilizante, fertilización y cosecha de maíz. CT = CF + CV. IN = IT - CT. GPI = IN / CT.

En síntesis, para condiciones ambientales registradas durante el estudio, se observó que la temperatura osciló entre los 20 y 38°C, según Kiniry y Bonhomme (1991) el desarrollo adecuado del cultivo de maíz es hasta los 38°C, sin embargo, la ETc (61 mm) más alta y Tmáx (38°C) se presentó en floración, lo que pudo ocasionar disminución en el llenado de grano y por ende en el rendimiento. En los genotipos utilizados se pudo observar un incremento en la MS con el uso del biofertilizante cuando la fertilización era cero y con 160 kg N ha⁻¹, y principalmente en el maíz criollo Vandeño. Con respecto al IC no se observaron diferencias entre genotipos, debido a que presentaron similar distribución de MS hacia el grano. En cuanto al RG la mayor respuesta se obtuvo en los genotipos H-562 y H-7573 con biofertilizante en los diferentes niveles de fertilización, esto se relaciona con el incremento en el P100G y NG, y en menor medida en Vandeño; lo anterior representa la posibilidad de ahorro en insumos para el productor y una disminución en la contaminación de los suelos y del agua por fertilizantes químicos (Irizar-Garza *et al.*, 2003), ya que en H-562 con 80 kg N ha⁻¹ se aumentó el RG en 27% cuando se utilizó biofertilizante. Además, con dicha interacción se logró la mayor ganancia por peso invertido (GPI = \$4.33) y un aumento en el ingreso neto del 183% (\$ 25,311.67) con respecto a la nula aplicación de nitrógeno y biofertilizante. El uso de la fertilización nitrogenada y biofertilizantes en la agricultura mexicana tiene un gran futuro, sin embargo se necesita estudiar el efecto que estos tienen en la fenología y calidad de la semilla en los diferentes genotipos de maíz que existen, para poder determinar su comportamiento en la planta.

CONCLUSIONES

La aplicación de biofertilizante y nitrógeno ocasionó incrementos significativos en la producción de materia seca y en el rendimiento. Dicho incremento fue en función del genotipo utilizado. El maíz criollo raza “Vandeño” y el mejorado H-562 presentan incrementos en materia seca y solamente el H-562 en el rendimiento con el biofertilizante. Los genotipos de maíz incrementan la producción de materia seca y rendimiento en grano con el nitrógeno. En general, el mayor rendimiento se logra con 160 kg de N ha⁻¹. Con biofertilizante y 80 kg N ha⁻¹ se logra el rendimiento más alto de maíz. Para la región de estudio y época de siembra, la producción de materia seca y rendimiento más alto se logra con el H-562, biofertilizante y 160 kg N ha⁻¹. La producción de materia seca y rendimiento más bajo se logró con H-562, sin aplicación de

nitrógeno y sin biofertilizante. El mayor ingreso neto se logra con H-562 y 160 kg N ha⁻¹ independientemente del uso del biofertilizante.

AGRADECIMIENTOS

A CONACYT por el apoyo económico recibido para llevar a cabo esta trabajo de investigación.

LITERATURA CITADA

- Aguiluz, A. 1998. Evaluación de híbridos de maíz (*Zea mays* L.) de grano blanco y amarillo en ambientes de centroamérica, panamá y el caribe en 1996. *Agronomía mesoamericana* 9(1): 28-37.
- Alarcón, A., R. Ferrera-Cerrato. 2000. Biofertilizante: Importancia y utilización en la agricultura. *Agricultura Técnica en México*. 26:191-203.
- Andrade, F. H. 1998. Posibilidades de expansión de la producción agrícola. *Interciencia*. 23(4): 218-226.
- Andrade, F. H., A. G. Cirilo, S. A. Uhart, M. E. Otegui. 1996. *Ecofisiología del cultivo de maíz*. Dekalb Press. Buenos Aires, Argentina. 292 p.
- Borrás, L. y M. E. Otegui. 2001. Maize kernel weight response to postflowering source-sink ratio. *Crop Sci*. 49: 1816-1822.
- De la Cruz-Lazaro, E., H. Códova-Orellana, M. A. Estrada-Botello, J. D. Mendoza-Palacios, A. Gómez-Vázquez, N. P. Brito-Manzano. 2009. Rendimiento de grano de genotipos de maíz sembrados bajo tres densidades de población. *Universidad y Ciencia*. 25(1): 93-98.
- Dobbelaere, S., A. Croonenborghs, A. Thys, D. Ptacek, Y. Okon, J. Vanderleyden. 2002. Effect of inoculation with wild type *Azospirillum brasilense* and *A. irakense* strains on development and nitrogen uptake of spring wheat and grain maize. *Biol. Fertil. Soils* 36:284-297.
- Doorenbos, J. y W. O. Pruitt. 1986. Las necesidades de agua por los cultivos. Estudio FAO. *Riego y Drenaje*. Manual 24.
- Espinosa, A., Sierra, M., Gómez, N. 2003. Producción y tecnología de semillas mejoradas de maíz por el INIFAP en el escenario sin la PRONASE. *Agronomía Mesoamericana*. 14(001):117-121.

- García E. 2005. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. 4ª Edición. Instituto de Geografía. Universidad Autónoma de México. 217 p.
- García-Olivares. J. G., V. R. Moreno-Medina, I. C. Rodríguez-Luna, A. Mendoza-Herrera, N. Mayek-Pérez. 2007. Efecto de cepas de *Azospirillum basilense* en el crecimiento y rendimiento de grano del maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 30(003):305-310.
- González, M. R.; Noriega, C. D.; Pereyda, H. J.; Domínguez, M. V. M.; López, E. M. E. y E. R. Garrido. 2011. Fertilización química con y sin biofertilizante en maíz de temporal en Guerrero. XVI Foro de estudios sobre Guerrero. Acapulco, Gro. 69-73 pp.
- Hartcamp, A. D., J. W. White., A. Rodríguez, M. Bänzinger, G. Hernández, L. A. Bates. 2000. Modified method for rapid tryptophan analysis in maize. *CIMMYT. Bulletin* 13: 3-6.
- Hecheverria H. E., H. R. Sainz-Rozas. 2001. Eficiencia de recuperación del nitrógeno aplicado al estadio de seis hojas del maíz bajo riego en siembra directa y labranza convencional. *Ciencia del suelo*. 19(1): 57-66.
- Irizar-Garza. M. B., P. Vargas-Vargas, D. Garza-García, C. Tut-Couoh, I. Rojas-Martínez, A. Trujillo-Campos, R. García-Silva, D. Aguirre-Montoya, J. C. Martínez-González, S. Alvarado-Mendoza, O. Grageda-Cabrera, J. Valero-Garza, J. F. Aguirre-Medina. 2003. Respuesta de cultivos agrícolas a los biofertilizantes en la región central de México. *Agricultura Técnica en México*. 29(002): 213-225.
- Kiniry J. R. and Bonhomme R. 1991. Predicting maize phenology. P. 115 - 131. En T. Hodges (ed.), *Physiological aspects of predicting crop phenology*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Mani-Pati, F., D. E. Clay, C. G. Carlson, S. A. Clay, G. Reicks and K. Kim. 2010. Nitrogen rate, landscape position and harvesting of corn stover impacts on energy gains and sustainability of corn production systems in South Dakota. *Agron. J.* 102:1535-1541.
- Martínez, M. J. 2004. Respuesta de la biofertilización en el crecimiento y Rendimiento de sorgo de grano en Linares, Nuevo León. *In: Memoria del Simposio de Biofertilización*. A Díaz-Franco, N Mayek-Pérez, A Mendoza, N Maldonado-Moreno (eds). 25 de noviembre de 2004. Río Bravo, México. pp:42-52.
- Núñez-Hernández, G, R. Faz-Contreras, F. González-Castañeda, A. Peña-Ramos. 2005. Madurez de híbridos de maíz a la cosecha para mejorar la producción y calidad del forraje. *Téc. Pecu. Méx.* 43(1): 69-78.

- O'hara G. W., M. R. Davey, J. A. Lucas. 1981. Effect of inoculation of Zea mays with *Azospirillum brasilense* strains under temperate conditions. *Can. J. Micro.* 27:871-877.
- Pecina-Quintero, V., A. Díaz-Franco, H. Williams-Alanís, E. Rosales-Robles, I. Garza-Cano. 2005. Influencia de fechas de siembra y biofertilizantes en sorgo. *Revista Fitotecnia Mexicana.* 28:389-392.
- Ritchie, S. W. and Hanway, J. J. 1982. How a corn plant develops. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service. Special report No. 48. Ames Iowa, EEUU. 21 p.
- Romani, G., M. T. Marriè, A. Bonetti, R. Cerana, P. Lado, E. Marrè. 1983. Effects of a brassinosteroid on growth and electrogenic proton extrusion in maize root segments. *Physiologia Plantarum.* 59 (4): 528-532.
- Roveda, G. y Polo, C. 2007. Mecanismos de adaptación de maíz asociado a *Glomus* spp. En suelos con bajo fósforo disponible. *Agronomía colombiana.* 25(2): 349-356.
- Schank, S. C., K. L. Weier and I. C. MacRae. 1981. Plant yield and nitrogen content of a Digitgrass in response to *Azospirillum* inoculation. *Appl. Environ. Micro.* 41(2): 342-345.
- Sistema de Información Agropecuaria (SIAP). 2011. Sistema de Información Agropecuaria de Consulta. SAGARPA. México. Disponible en: http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar_comanuar.html (Revisado: 12 septiembre de 2012).
- Snyder, R. L. 1985. Hand calculating degree-days. *Agric. For. Meteorol.* 35: 353-358.
- Turrent-Fernández, A., R. Camas-Gómez, A. López-Luna, M. Cantú-Almaguer, J. Ramírez-Silva, J. Medina-Méndez, A. Palafox-Caballero. 2004. Producción de maíz bajo riesgo en el Sur-Sureste de México: II. Desempeño financiero y primera aproximación tecnológica. *Agricultura Técnica en México.* 30 (2): 205-221.
- Uribe-Valle, G., R. Dzib-Echeverría. 2006. Micorriza arbuscular (*Glomus intraradices*), *Azospirillum brasilense* y Brassinoesteroide en la producción de maíz en suelo luvisol. *Agricultura Técnica en México.* (32): 68-72.
- Villalpando, I. J. F., Ruíz, C. J. A. 1993. Observaciones agrometeorológicas y su uso en la agricultura. Primera Ed. México; Editorial Limusa.
- Volke, H. V. 1982. Optimización de insumos de la producción en la agricultura. Colegio de Postgraduados, Chapingo. Méx. 61 p.

CAPÍTULO II. ANÁLISIS DE CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE MAÍZ EN FUNCIÓN DEL GENOTIPO, BIOFERTILIZANTE Y NITRÓGENO, EN CLIMA CÁLIDO

Cid Aguilar-Carpio, Dr.
Colegio de Postgraduados, 2014

RESUMEN

Los ambientes tropicales presentan severas restricciones para el desarrollo agrícola, como la baja disponibilidad de nitrógeno en el suelo. Dentro de los fertilizantes utilizados en la agricultura, el más usado es el nitrógeno. Sin embargo, representa una inversión de alto costo y riesgo ambiental. Para reducir el costo de producción en maíz y conservar el ambiente es necesario sustituir o complementar la fertilización química con biofertilizantes. Sin embargo, en maíz con biofertilizantes no se han encontrado efectos en crecimiento y rendimiento de grano. Por lo que, el objetivo del presente fue determinar la producción de materia seca, tasa de asimilación neta, tasa de crecimiento del cultivo y rendimiento de grano en maíz mejorado y criollo en siembra temprana bajo riego, en función del nitrógeno y biofertilizante. El estudio se estableció en Iguala, Gro. el 23 de enero del 2011; se sembró el maíz criollo raza “Vandeño” y el híbridos H-562, los tratamientos consistieron en la inoculación a la semilla del biofertilizante y la aplicación de 0, 80 y 160 kg N ha⁻¹. Para evaluar el crecimiento del cultivo, se registró la emergencia (E), floración (FL) y madurez fisiológica (MF), además, se contabilizó el número de hojas y el área foliar. También se calcularon las tasas de crecimiento del cultivo (\overline{TCC}) y asimilación neta (\overline{TAN}). A la madurez fisiológica se evaluó la materia seca total (MS) y rendimiento de grano (RG). La E ocurrió a los 5 dds en todos los tratamientos. Sin embargo, se observan diferencias genotípicas en la FL, al presentarse en el maíz “Vandeño” a los 74 dds y a los 72 dds en H-562. La madurez fisiológica en ambos genotipos, ocurrió a los 115 dds. En Vandeño el uso de biofertilizante y 160 kg N ha⁻¹ incrementó la MS durante el desarrollo del cultivo, pero no fue significativo para el RG. En cuanto al índice y duración de área foliar, el más alto fue con 80 y 160 kg N ha⁻¹, lo que ocasiono la mayor TCC, pero no así en la TAN. En relación a H-562 la más alta producción de materia seca total y rendimiento de grano fue con 160 kg N ha⁻¹, al igual que incrementó el índice y duración de área foliar, que generó la más alta tasa de crecimiento y asimilación neta.

Palabras claves: Maíz, análisis de crecimiento, nitrógeno, biofertilizante.

ABSTRACT

The tropical environments present severe constraints for agricultural development, such as low availability of nitrogen in the soil. Within the fertilizers used in agriculture, the most used is nitrogen. However, represents an investment of high cost and environmental risk. To reduce the cost of production in corn and conserve the environment is necessary to replace or supplement chemical fertilizers with biofertilizers. However, in maize biofertilizer have not found effects on growth and grain yield. So, the objective of this was to determine the dry matter production, net assimilation rate, crop growth rate and grain yield in improved and native corn under irrigated early sowing, in function of nitrogen and biofertilizer. The study was established in Iguala, Gro. the January 23, 2011; the native corn race "Vandeño" and the hybrid H-562 was sown, and treatments consisted of inoculation of biofertilizer on the seed and application of 0, 80 and 160 kg N ha⁻¹. To evaluate crop growth, emergence (E), flowering (FL) and physiological maturity (MF), were measure, also, the number of leaves and leaf area was recorded. Growth rates of the crop (CGR) and net assimilation (NAR) were also calculated. At physiological maturity the total dry matter (DM) and grain yield (GY) was evaluated. The E occurred at 5 dds in all treatments. However, genotypic differences in the FL observed in Vandeño at 74 dds and 72 dds in H-562. Physiological maturity in both genotypes, occurred at the 115 dds. In Vandeño the use of biofertilizer with 160 kg N ha⁻¹ increased the DM during the growing season, but was not significant for the GY. As for the rate and duration of leaf area, the highest was with 80 and 160 kg N ha⁻¹, that caused most CGR, but not in the NAR. Regarding, in H-562 the highest production of total dry matter and grain yield was with 160 kg N ha⁻¹, as well as increased the rate and duration of leaf area, which generated the highest growth rate and net assimilation.

Key words: Corn, growth analysis, nitrogen, biofertilizer.

INTRODUCCIÓN

En México, el maíz es el cultivo más estudiado, por ser el alimento básico de los mexicanos. Se siembran alrededor de 7,372,218 ha con un rendimiento promedio de 3.19 t ha⁻¹ (SIAP, 2012). Los principales estados productores son: Sinaloa, Jalisco, Edo. de Méx. y Michoacán, mientras que Guerrero ocupa el quinto lugar, con una producción de 1,304,132 t y rendimiento de 2.80 t ha⁻¹ (SIAP, 2012). Sin embargo, los rendimientos de grano de maíz varían entre genotipos, lo cual dificulta la selección de cultivares con mayor adaptación a las condiciones ambientales de

una misma localidad. Por lo cual, se debe explorar el tipo de variedades que conviene sembrar en cada agrosistema y el manejo más apropiado para una mayor producción del mismo.

Los ambientes tropicales se caracterizan por presentar severas restricciones para el desarrollo agrícola, como la baja disponibilidad de nitrógeno en el suelo (Roveda y Polo, 2007). Dentro de los fertilizantes utilizados en la agricultura, el más usado es el nitrógeno, por ser determinante en el incremento del rendimiento en maíz. Sin embargo, representa una inversión de alto costo y riesgo ambiental. Para reducir el costo de producción en maíz y conservar el ambiente es necesario sustituir o complementar la fertilización química con formas biológicas (Uribe y Dzib, 2006). Las bacterias y hongos son capaces de proveer a la planta diferentes nutrimentos en forma asimilable (Uribe y Dzib, 2006). Sin embargo, en maíz con la aplicación de biofertilizantes no se han encontrado efectos importantes en crecimiento y rendimiento de grano (García *et al.*, 2007).

El crecimiento del cultivo está influenciado principalmente por el clima y los nutrimentos (Naresh y Singh, 2001). En base a lo anterior, el análisis de crecimiento ha sido usado ampliamente para el estudio de los factores (nitrógeno, biofertilizante y condiciones ambientales) que influyen en el desarrollo de la planta y el rendimiento, a través del seguimiento de la acumulación de materia seca durante el ciclo del cultivo (Santos *et al.*, 2010). También, así como para comparar el rendimiento de diferentes cultivares y especies en condiciones similares de crecimiento (Woo *et al.*, 2004). El análisis de crecimiento usa medidas directas como el peso de la materia seca, la cual depende del tamaño, actividad y duración del área foliar (Tekalign y Hammes, 2005). Mediante esto se pueden calcular variables como: el índice de área foliar (IAF), la cual representa la relación entre el área foliar o superficie fotosintetizadora y el área de suelo ocupada por el cultivo. La tasa de asimilación neta (TAN) que indica la eficiencia fotosintética promedio, al medir la ganancia neta de asimilados por unidad de área foliar y tiempo y la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) que es considerado un índice de la productividad agrícola, mide la ganancia en peso de un cultivo por unidad de área de suelo y por unidad de tiempo. En cuanto al tiempo que el follaje persiste, se tiene la duración de área foliar (DAF) como índice que representa la producción de hojas en el periodo de crecimiento del cultivo (Santos *et al.*, 2010).

Estudios en maíz, indican que con la inoculación de *Azospirillum* y *Glomus* se ha logrado incrementar la producción de materia seca (MS) y rendimiento de grano, como consecuencia de mayores tasas de crecimiento (Pecina *et al.*, 2005; García *et al.*, 2007; Roveda y Polo, 2007). Al respecto, Díaz- López *et al.* (2013) observaron diferencias en la TAN entre genotipos de maíz

siendo el más alto a los 34 dds. Con la incorporación de nitrógeno en el suelo el cultivo de maíz puede incrementar la MS, IAF, DAF, TCC y TAN (Quiroz y Marín, 2000; Woo *et al.*, 2004; Naresh y Singh, 2001). En general, los antecedentes indican que la inoculación con *Azospirillum*, *Glomus* y el uso de nitrógeno, incrementan la producción de materia seca total y rendimiento de grano, como resultado de mayores índices de crecimiento, tanto en maíz criollo como híbrido. No obstante, los reportes sobre el tema en clima cálido y con los genotipos regionales del estado de Guerrero no son abundantes por lo que, el objetivo del presente fue determinar la producción de materia seca, TAN, TCC y rendimiento de grano en maíz mejorado y criollo en siembra temprana bajo riego, en función de la aplicación de nitrógeno y biofertilizante.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se estableció en Iguala, Gro. durante el 2011, de clima cálido subhúmedo con lluvias en verano y temperatura media de 26.4 °C. La precipitación anual es de 1100 mm y altitud de 635 m (Aw₀, García, 2005). El 23 de enero bajo condiciones de riego se sembró el maíz criollo raza “Vandeano” y el híbrido H-562, los tratamientos consistieron en la inoculación a la semilla de biofertilizante (*Azospirillum* sp. y *Glomus* sp.) y la aplicación de 0, 80, 160 kg N ha⁻¹, el cual se aplicó de forma fraccionada, la mitad de N a los 10 días después de la siembra (dds) y el resto a los 40 dds. La densidad de población fue de 6.25 pl m⁻² y en distancia entre surcos de 80 cm. El diseño experimental fue bloques completamente al azar con arreglo en parcelas sub divididas con cuatro repeticiones. La unidad experimental fue de cuatro surcos de 0.8 m de ancho x 4 m de longitud. Durante el desarrollo del estudio se registró la temperatura máxima (T_{máx}), mínima (T_{mín}) decenal y la suma de la evaporación (Ev, mm) y precipitación (PP, mm), datos proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional (CONAGUA). También se registró la ocurrencia de las fases fenológicas como: días a emergencia (E), floración (FL) y a madurez fisiológica (MF). El criterio utilizado es el presentado en Ritchie y Hanway (1982). También, para cada fase fenológica se determinó la acumulación de unidades calor para el cultivo (UC, °C d), mediante el método residual, el cual es descrito por la siguiente relación como se indica en Snyder (1985):

$$UC = (T_{máx} + T_{mín} / 2) - TB$$

Donde: T_{máx} = Temperatura máxima diaria (°C), T_{mín} = Temperatura mínima diaria (°C) y TB = Temperatura base, considerada de 10 °C (Villalpando y Ruíz, 1993). La evapotranspiración del

cultivo (ETc) se calculó a partir de los datos de la evaporación (Ev) del tanque tipo “A”, utilizando 0.6 como coeficiente para el evaporímetro, k_c inicial = 0.35, k_c a mediados del periodo = 1.14 y k_c final = 0.6 (Doorenbos y Pruitt, 1986), a partir de la siguiente relación:

$$ETc = Ev \times 0.6 \times Kc$$

Para evaluar el crecimiento del cultivo, se hicieron muestreos destructivos de dos plantas en la parcela útil de cada unidad experimental a los 36, 54, 90 y 115 dds, en cada uno de los muestreos se contabilizó el número de hojas por m^2 (NH) y el área foliar se midió con un integrador electrónico (LI-COR 3100). Se calculó el índice de área foliar (IAF) y duración del área foliar total (DAFT), en base a la siguientes ecuaciones: $IAF = (AF/NP) \times DP/100 \text{ dm}^2$, donde AF = área foliar (dm^2), NP = número de plantas muestreadas y DP = número de plantas m^{-2} . $DAF = \Sigma (IAF_1 + IAF_2) (T_2 - T_1)/2$, donde: Σ = sumatoria de la duración del área foliar para cada periodo estudiado, IAF_1 = índice de área foliar en un tiempo inicial (T_1 , en días), IAF_2 = índice de área foliar en un tiempo final (T_2 , en días) (Escalante y Kohashi, 1993). También se evaluó la materia seca (MS, g m^{-2}); para lo cual las muestras se secaron a 80°C en una estufa de circulación de aire forzado hasta peso constante. Con estos datos se calcularon las tasas medias de: crecimiento del cultivo (\overline{TCC}) y asimilación neta (\overline{TAN}), mediante las ecuaciones: $\overline{TCC} = [(PS_2 - PS_1) / A(T_2 - T_1)]$ donde: PS_2 y PS_1 indican el peso de la materia seca de la planta en los tiempo T_2 y T_1 , respectivamente y A representa el área ocupada por la planta. $\overline{TAN} = [(PS_2 - PS_1) / (IAF_2 - IAF_1)] / [(\ln IAF_2 - \ln IAF_1) / (T_2 - T_1)]$, donde: PS_2 y PS_1 expresan el peso de MS de la planta, $\ln IAF_2$ y $\ln IAF_1$, logaritmo natural del índice de área foliar en el tiempo T_2 y T_1 , respectivamente (Escalante y Kohashi, 1993). A la madurez fisiológica se evaluó la materia seca total (MS, g m^2) y rendimiento de grano (RG, g m^2). A las variables en estudio, se les aplicó un análisis de varianza (ANDEVA) mediante el programa estadístico del SAS, Versión 9.0 (SAS, 2003), la prueba de comparación de medias Tukey ($\alpha = 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fenología, condiciones climáticas, unidades calor y evapotranspiración

En la Figura 1, se observa la media decenal de la temperatura máxima ($T_{\text{máx}}$, $^\circ\text{C}$) y mínima ($T_{\text{mín}}$, $^\circ\text{C}$) durante el desarrollo del cultivo que fluctuó entre 33 y 38°C , y entre 20 y 25°C , respectivamente. De siembra (S) a E, la $T_{\text{máx}}$ y $T_{\text{mín}}$ promedio fueron de 35°C y 20°C y de FL a MF de 38°C y 23°C , respectivamente. La $T_{\text{máx}}$ fue casi similar a la óptima, 30°C y 34°C (Kiniry y

Bonhomme, 1991). Por lo que estas no fueron limitantes para una mayor expresión del rendimiento en los genotipos estudiados, debido a que la $T_{m\acute{a}x}$ en la cual se afecta el desarrollo del maíz se encuentra entre 40 y 44°C (Kiniry y Bonhomme, 1991). La suma decenal de la precipitación (PP, mm) durante el cultivo fue de 60 mm. Al respecto, Pedrol *et al.* (2008) establece que los requerimientos hídricos del maíz durante su ciclo son alrededor de 550 a 575 mm, superior a lo reportado en el estudio. En base a lo anterior se aplicaron ocho riegos con lámina de 111 mm por riego durante el cultivo. El primer riego fue dos días antes de la siembra (21/01/2011), posteriormente a los 17, 34, 51, 66, 76, 89 y 102 días después de la siembra (dds). Respecto a la evapotranspiración del cultivo (ETc) se observó la más alta (61 mm) en la tercera decena de marzo (Figura 2). En los genotipos en estudio, la ocurrencia de las etapas fenológicas fueron de la siguiente forma: La emergencia ocurrió a los 5 dds en todos los tratamientos. Sin embargo, se observan diferencias genotípicas en la floración, al presentarse en el maíz “Vandeño”, a los 74 dds y a los 72 dds en H-562. La madurez fisiológica en ambos genotipos, ocurrió a los 115 dds (Figura 1).

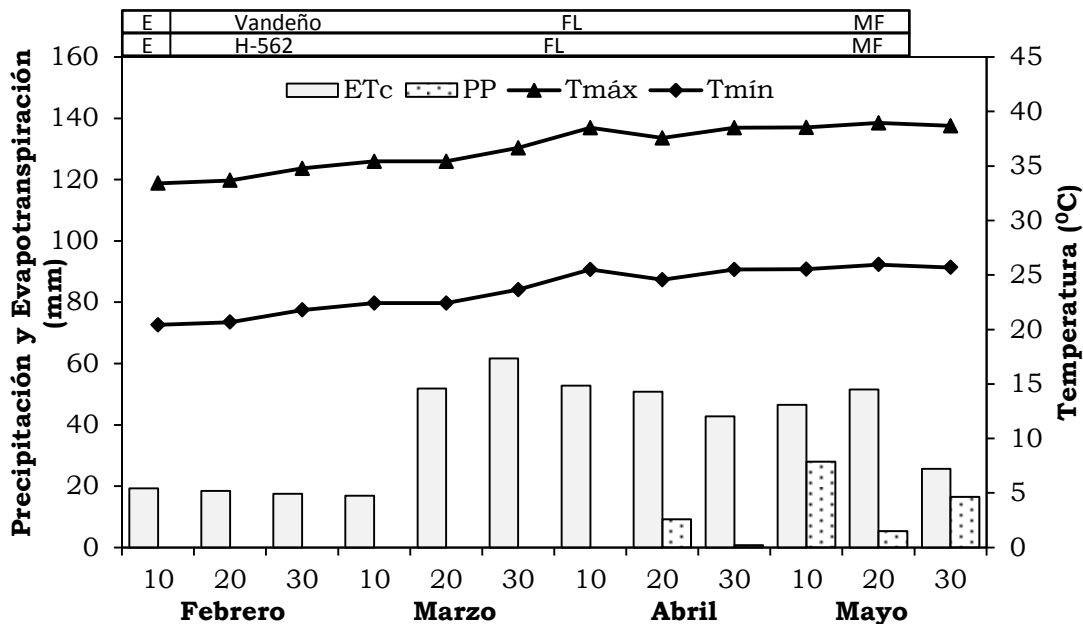


Figura 1. Medias decenales de la temperatura máxima ($T_{m\acute{a}x}$, °C), mínima ($T_{m\acute{i}n}$, °C) y suma decenal de la precipitación (PP, mm) y evapotranspiración (ETc, mm) durante el ciclo del cultivo de los maíces Vandeño y H-562. E = Emergencia, FL = Floración, MF = Madurez fisiológica. Iguala, Gro. 2011.

En la Figura 2 se observa que la acumulación de UC y la evapotranspiración (ETc) durante el ciclo del cultivo siguió una tendencia lineal que se ajustó al modelo $y = a + bx$. Así, para Vandeño y H-562 las UC fueron de 2110 °C d; de S a MF. En referencia, Nuñez *et al.* (2005) reportan en maíces híbridos, cultivados en clima semicálido árido, 1470 °C d a MF, valores inferiores a los obtenidos en el presente estudio. La ETc, acumulada de S a MF para ambos cultivares fue de 485 mm (Figura 2). Esto indica que las necesidades de agua del cultivo fueron similares para Vandeño y H-562.

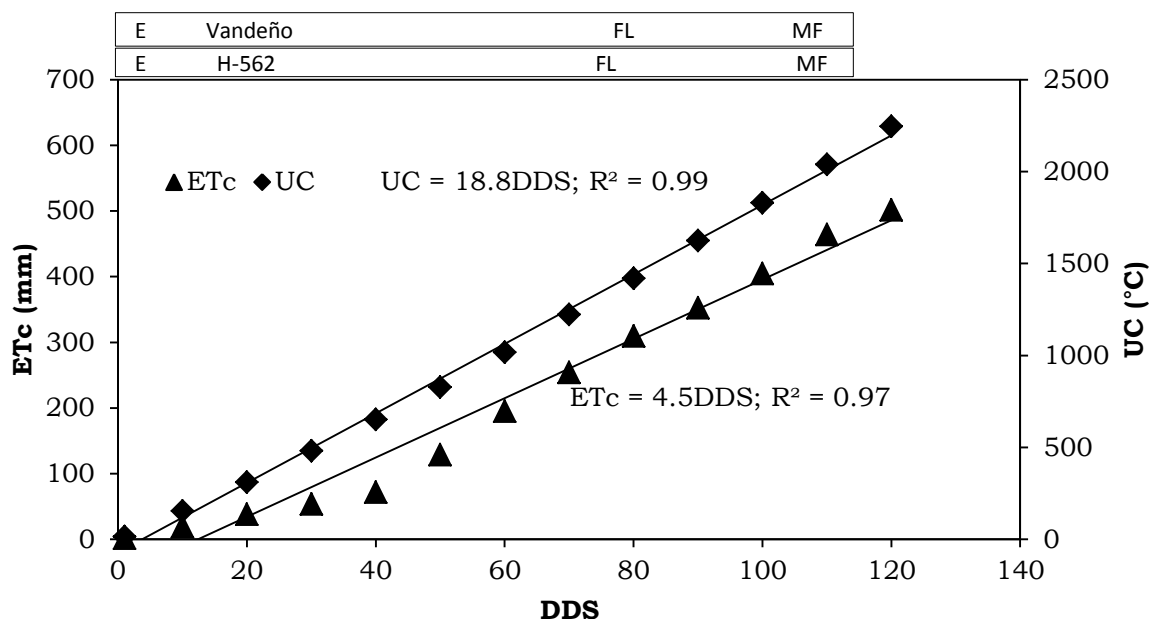


Figura 2. Unidades calor (UC), evapotranspiración (ETc) y fenología durante el ciclo del cultivo en los genotipos Vandeño y H-562. E = Emergencia, FL = Floración, MF = Madurez fisiológica. Iguala, Gro. 2011.

Número de hojas, índice de área foliar y duración del área foliar

El ANDEVA presentado en el Cuadro 1, para el NH, IAF y DAFT mostró cambios significativos debido a genotipos (G), nitrógeno (N) y las interacción genotipo * biofertilizante (G x Bio), biofertilizante x nitrógeno (Bio x N) y Genotipo x biofertilizante x nitrógeno (G x Bio x N). También, se observaron diferencias significativas en el IAF, a los 54, 90 y 115 dds, a excepción de la interacción G x N; a los 90 y 115 en Bio (Cuadro 1).

Cuadro 1. Análisis de varianza para número de hojas (NH), índice de área foliar (IAF) y duración de área foliar total (DAFT). Iguala, Gro. 2011.

Factor	NH m ²				IAF				DAFT
	36	54	90	115	36	54	90	115	Días
	Días después de la siembra								
G	**	*	*	*	**	**	**	**	**
Bio	**	**	**	**	**	*	NS	NS	*
G x Bio	*	*	*	*	*	*	*	*	*
N	**	**	**	**	**	**	**	**	**
G x N	**	*	*	**	**	NS	NS	NS	*
Bio x N	*	*	*	*	*	*	*	*	*
G x Bio x N	*	**	**	**	*	*	*	*	*

*,** = P≤0.05, 0.01, respectivamente; NS = No significativo a P≥0.05; G = Genotipo, Bio = Biofertilizante, N = Nitrógeno.

Genotipo

En el Cuadro 2, que presenta el NH, IAF y DAFT se observan cambios significativos entre genotipos. De los 54 a 115 dds el NH de Vandéño fue superior a H-562. Sin embargo, esto no se reflejó en el IAF y DAFT, debido a H-562 presentó una mayor expansión y duración de área foliar. Al respecto, Ortiz *et al.* (2005) encontró que el IAF del maíz fue de 6, superior a los genotipos del presente estudio, debido a que los materiales genéticos presentaron mayor área foliar total.

Biofertilizante

Desde los 36 hasta los 115 dds, el maíz con biofertilizante superó al testigo sin aplicación en el NH, IAF y DAFT (Cuadro 2). Así mismo, la aparición del NH por m² se incrementó con Bio en 4% y el IAF en 0.5 a los 54 dds. Dicho comportamiento puede deberse a que el Bio pudo haber estimulado el desarrollo de la raíz y en consecuencia una mayor tasa de absorción de agua y nutrimentos (Döbbelaera *et al.*, 2002), lo que promovió la aparición de hojas y un mayor IAF. Resultados similares reportaron Uribe y Dzib (2006) con incrementos del 4 % en el área foliar de V-539 con *Glomus* más *Azospirillum* para clima cálido subhúmedo en Muna, Yucatán. Para la

DAFT, la máxima se presentó con Bio, debido a que aumentó la producción y longevidad de las hojas, además presentó un mayor IAF.

Nitrógeno

En el Cuadro 2, se observa que el N ocasionó cambios significativos para el NH, IAF y DAFT. A los 36 dds, con 80 y 160 kg N ha⁻¹ se incrementó en 14 y 10% el NH, respectivamente. Estos resultados indican que el N promovió una mayor aparición en el NH desde los 36 hasta la máxima que fue a los 54 dds. Los valores más altos en el IAF fueron a los 90 dds, similar a lo reportado por Quiroz y Marín (2000) en clima semiárido, con 120 kg N ha⁻¹, el cual obtuvo un IAF de 4.8 a los 80 dds. En cuanto a la DAFT, la mayor se encontró con la aplicación de N, lo que indica que cuando se aplica N se incrementa la eficiencia de la planta para producir materia seca (Naresh y Singh, 2001; Boomsma *et al.*, 2009).

Cuadro 2. Número de hojas (NH), índice de área foliar (IAF) y duración del área foliar total (DAFT) en genotipos de maíz en función del biofertilizante (Bio) y nitrógeno. Iguala, Gro. 2011.

Factor	NH m ²				IAF				DAFT	
	36	54	90	115	36	54	90	115		
			Días después de la siembra						Días	
Genotipo	Vandeño	48b	74a	74a	46a	1.0b	4.1b	4.4b	2.5b	308b
	H-562	55a	71b	71b	41b	1.5a	4.6a	4.9a	3.0a	354a
	Tukey $\alpha = 0.05$	2.6	2.5	2.2	3.1	0.2	0.2	0.2	0.2	23
Bio	Sin	48b	71b	70b	41b	1.0b	4.3b	4.6a	2.7a	316b
	Con	56a	74a	74a	46a	1.5a	4.5a	4.8a	2.9a	345a
	Tukey $\alpha = 0.05$	2	1	1.5	1	0.1	0.3	0.3	0.3	24
Nitrógeno (kg ha ⁻¹)	0	48b	71b	71b	40b	1.0b	3.9b	4.2b	2.3b	293b
	80	55a	71b	71b	41b	1.3a	4.6a	4.9a	3.0a	350a
	160	53a	75a	75a	49a	1.4a	4.6a	4.9a	3.0a	349a
	Tukey $\alpha = 0.05$ (DMS)	2.3	2.4	2.3	2.3	0.1	0.4	0.4	0.4	33
	Media general	52	72	72	43	1.2	4.4	4.7	2.8	331
	CV. (%)	5	3	3	6	16	12	11	18	11

En columnas letras similares indican que valores son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha=0.05$).

Genotipo x Biofertilizante (G x Bio)

El ANDEVA para el NH, IAF y DAFT, mostró diferencias significativas por efecto de la interacción G * Bio (Cuadro 3); lo que demuestra que los genotipos presentaron respuestas diferentes a la aplicación del Bio. Así, Vandeen y H-562 presentó tendencia a incrementar la tasa de aparición de hojas e IAF, siendo el más alto a los 90 dds con Bio, en ambos genotipos. Esto indica que en los genotipos estudiados el biofertilizante acelero la formación de hojas por área sembrada, el cual aumentó el periodo de eficiencia del área foliar. El efecto positivo del Bio se puede atribuir posiblemente a un mejor desarrollo de la raíz (Döbbelaere *et al.*, 2002).

Cuadro 3. Número de hojas (NH), índice de área foliar (IAF) y duración del área foliar total (DAFT) en genotipos de maíz en función del biofertilizante (Bio). Iguala, Gro. 2011.

Genotipo	Bio	NH m ²				IAF				DAFT
		36	54	90	115	36	54	90	115	
		Días después de la siembra								Días
Vandeen	Sin	45c	72ab	73a	43b	0.6c	4.0b	4.3b	2.4b	286b
	Con	51b	76a	76a	48a	1.3b	4.3ab	4.3b	2.7ab	329ab
H-562	Sin	51b	69b	70b	38c	1.3b	4.6ab	4.9a	3.0a	345a
	Con	60a	73a	73a	44b	1.7a	4.9a	5.0a	3.1a	362a
Tukey $\alpha = 0.05$ (DMS)		2.3	2.4	2.3	2.3	0.1	0.4	0.4	0.4	33
Media general		52	72	72	43	1.2	4.4	4.7	2.8	331
CV. (%)		5	3	3	6	16	12	11	18	11

En columnas letras similares indican que los valores son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha=0.05$). *,** = $P \leq 0.05, 0.01$, respectivamente; NS = No significativo a $P \geq 0.05$.

Genotipo x Nitrógeno (G x N)

En el Cuadro 4, se observa que los genotipos presentaron respuesta diferente al N en el NH, IAF y DAFT. En los genotipos Vandeen y H-562, la respuesta más alta al N en el desarrollo de las hojas fue a los 54 dds y en el IAF a los 36 dds, con 160 kg N ha⁻¹, respectivamente. Al respecto Boomsma *et al.* (2009) encontraron que con la aplicación de 165 y 330 kg N ha⁻¹ se presentó el mayor IAF en diferentes genotipos de maíz. También se observó que con la aplicación de nitrógeno se incrementó la DAFT en ambos genotipos. Esto indica que el N aumentó la DAFT

que está relacionada con el crecimiento y depende de la cantidad de hojas que están fotosintetizando (Woo *et al.*, 2004). En general se observa que los genotipos presentaron mayor respuesta con 160 kg N ha⁻¹.

Cuadro 4. Número de hojas (NH), índice de área foliar (IAF) y duración del área foliar total (DAFT) en genotipos de maíz en función del nitrógeno (N). Iguala, Gro. 2011.

Genotipo	N	NH m ²				IAF				DAFT
		36	54	90	115	36	54	90	115	
		Días después de la siembra								
		kg ha ⁻¹								Días
Vandeño	0	46b	71b	71b	40c	0.82c	3.72a	4.05a	2.15a	271b
	80	51b	74ab	73ab	44b	1.07bc	4.40a	4.71a	2.81a	324ab
	160	48b	77a	77a	52a	1.17b	4.42a	4.72a	2.82a	328ab
H-562	0	49b	71b	71b	40c	1.30b	4.22a	4.53a	2.63a	316b
	80	59a	69b	73ab	38c	1.63a	4.92a	5.27a	3.36a	376a
	160	59a	73b	72b	46b	1.62a	4.86a	5.16a	3.26a	369ab
Tukey $\alpha = 0.05$ (DMS)		2.3	2.4	2.3	2.3	0.1	0.4	0.4	0.4	33
Media general		52	72	72	43	1.2	4.4	4.7	2.8	331
CV. (%)		5	3	3	6	16	12	11	18	11

En columnas letras similares indican que los valores son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha=0.05$). *,** = $P \leq 0.05$, 0.01, respectivamente; NS = No significativo a $P \geq 0.05$.

Biofertilizante x Nitrógeno (Bio x N)

El ADEVA mostró cambios significativos para el NH, IAF y DAFT debido a la interacción Bio x N (Cuadro 5). Se observó que el cultivo con Bio y 160 kg N ha⁻¹ presentó mayor respuesta en el NH, IAF y DAFT desde los 36 dds, lo que indica, que en la respuesta al suministro de N la influencia del Bio indujo un estímulo en el crecimiento vegetal (Roveda y Polo, 2007). En contraste, el maíz sin Bio presentó mayor IAF y DAFT, particularmente con 80 kg N ha⁻¹ y el NH con 160 kg N ha⁻¹. Lo observado sugiere que la inoculación con Bio eleva la respuesta al N. En contraste, Uribe y Dzib (2006) en clima cálido subhúmedo, no encontraron incremento en el área foliar con el N al inocular con Bio.

Cuadro 5. Número de hojas (NH), índice de área foliar (IAF) y duración del área foliar total (DAFT) del maíz en función del biofertilizante (Bio) y nitrógeno (N). Iguala, Gro. 2011.

Bio	N	NH m ²				IAF				DAFT
		36	54	90	115	36	54	90	115	
	kg ha ⁻¹	Días después de la siembra								Días
Sin	0	45c	70b	69b	39b	0.78b	4.17ab	4.48ab	2.58ab	300b
	80	50b	69b	69b	39b	1.10ab	4.46ab	4.77ab	2.86ab	328ab
	160	50b	73ab	73b	45b	1.15a	4.31ab	4.61ab	2.71ab	319ab
Con	0	50b	72b	72b	41b	1.33a	3.77b	4.10b	2.20b	286b
	80	60a	73ab	73b	44b	1.61a	4.90a	5.21a	3.31a	372a
	160	57a	77a	77a	53a	1.65a	4.97a	5.27a	3.37a	378a
Tukey $\alpha = 0.05$ (DMS)		2.3	2.4	2.3	2.3	0.1	0.4	0.4	0.4	33
Media general		52	72	72	43	1.2	4.4	4.7	2.8	331
CV. (%)		5	3	3	6	16	12	11	18	11

En columnas letras similares indican que los valores son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha=0.05$). *,** = $P \leq 0.05, 0.01$, respectivamente; NS = No significativo a $P \geq 0.05$.

Genotipo x Biofertilizante x Nitrógeno (G x Bio x N)

Se observaron diferencias significativas para NH, IAF y DAFT, con respecto a la interacción G x Bio x N (Cuadro 6). La combinación H-562, Bio con 80 y 160 kg N ha⁻¹ fue la que presentó mayor IAF y DAF. Sin embargo, con Bio y 160 kg N ha⁻¹ se favoreció más la aparición de hojas y redujo la senescencia de las mismas. En Vandeño, Bio con 80 y 160 kg N ha⁻¹ se obtuvo el más alto NH, IAF y DAFT. En general, se observó una respuesta positiva al Bio en el IAF y DAFT, debido a que promovió una mayor duración y producción de AF por m². Esto contrasta con lo reportado por Uribe y Dzib (2006) en clima cálido subhúmedo, ya que no encontraron respuesta en el AF con Bio y N. Los factores responsables de tales irregularidades son difíciles de identificar, pero se atribuye a la variabilidad del genotipo y niveles de N, así como la capacidad del Bio para establecerse (Pecina *et al.*, 2005).

Cuadro 6. Número de hojas (NH), índice de área foliar (IAF) y duración del área foliar total (DAFT) en genotipos (G) de maíz en función del biofertilizante (Bio) y nitrógeno (N). Iguala, Gro. 2011.

G	Bio	N	NH m ²				IAF				DAFT
			36	54	90	115	36	54	90	115	
		kg ha ⁻¹	Días después de la siembra								Días
Vandeño	Sin	0	44b	69b	68b	38b	0.6b	4.0b	4.3b	2.4b	281b
		80	49b	71b	70b	39b	0.7b	4.1b	4.4b	2.5b	289b
		160	49b	83a	83a	52a	0.8b	4.0b	4.3b	2.4b	290b
	Con	0	49b	74b	74b	42b	1.1ab	3.5b	3.8b	1.9b	261b
		80	56a	79a	79a	49ab	1.5ab	4.8a	5.1a	3.2a	360ab
		160	54a	80a	80a	45ab	1.5ab	4.9a	5.2a	3.3a	368ab
H-562	Sin	0	46b	69b	69b	40b	1.0b	4.4b	4.7b	2.8b	320b
		80	48b	68b	68b	38b	1.5ab	4.9a	5.2a	3.3a	368ab
		160	54a	68b	68b	39b	1.5ab	4.6a	4.9ab	3.0ab	349ab
	Con	0	60a	72b	72b	41b	1.6a	4.1b	4.4b	2.5b	313b
		80	64a	74b	74b	39b	1.7a	5.0a	5.3a	3.4a	384a
		160	64a	80a	80a	49ab	1.8a	5.1a	5.4a	3.5a	390a
Media general			53	73	73	42	1.2	4.4	4.7	2.8	331
Tukey $\alpha = 0.05$ (DMS)			7	6	6	8	0.5	1.2	1.2	1.2	90
C.V. (%)			5	4	4	7	17	12	11	18	11

En columnas letras similares indican que los valores son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha=0.05$). *,** = $P \leq 0.05, 0.01$, respectivamente; NS = No significativo a $P \geq 0.05$.

Materia seca total (MS)

En la Figura 3, se observaron diferencias significativas en la MS en función del N. La producción de MS en función del N se ajustó a un polinomio de segundo grado. La más alta producción de MS por día se presentó en Vandeño con 80 kg N ha⁻¹, lo que indica una mayor eficiencia de Vandeño en la producción de MS del dosel por efecto del N. Sin embargo, en H-562 con 160 kg N ha⁻¹ fue donde se obtuvo la mayor producción de MS durante el desarrollo del cultivo. Con respecto al Bio, en Vandeño con 160 kg N ha⁻¹ se observó un incremento significativo en la

producción de MS, respecto al testigo sin Bio, Esto demuestra que el Bio favorece la absorción del nitrógeno el cual repercute en el peso seco del dosel vegetal. Al respecto, García *et al.* (2007) observaron incrementos en la MS desde los 26 dds con Bio, similar a lo reportado en el presente estudio.

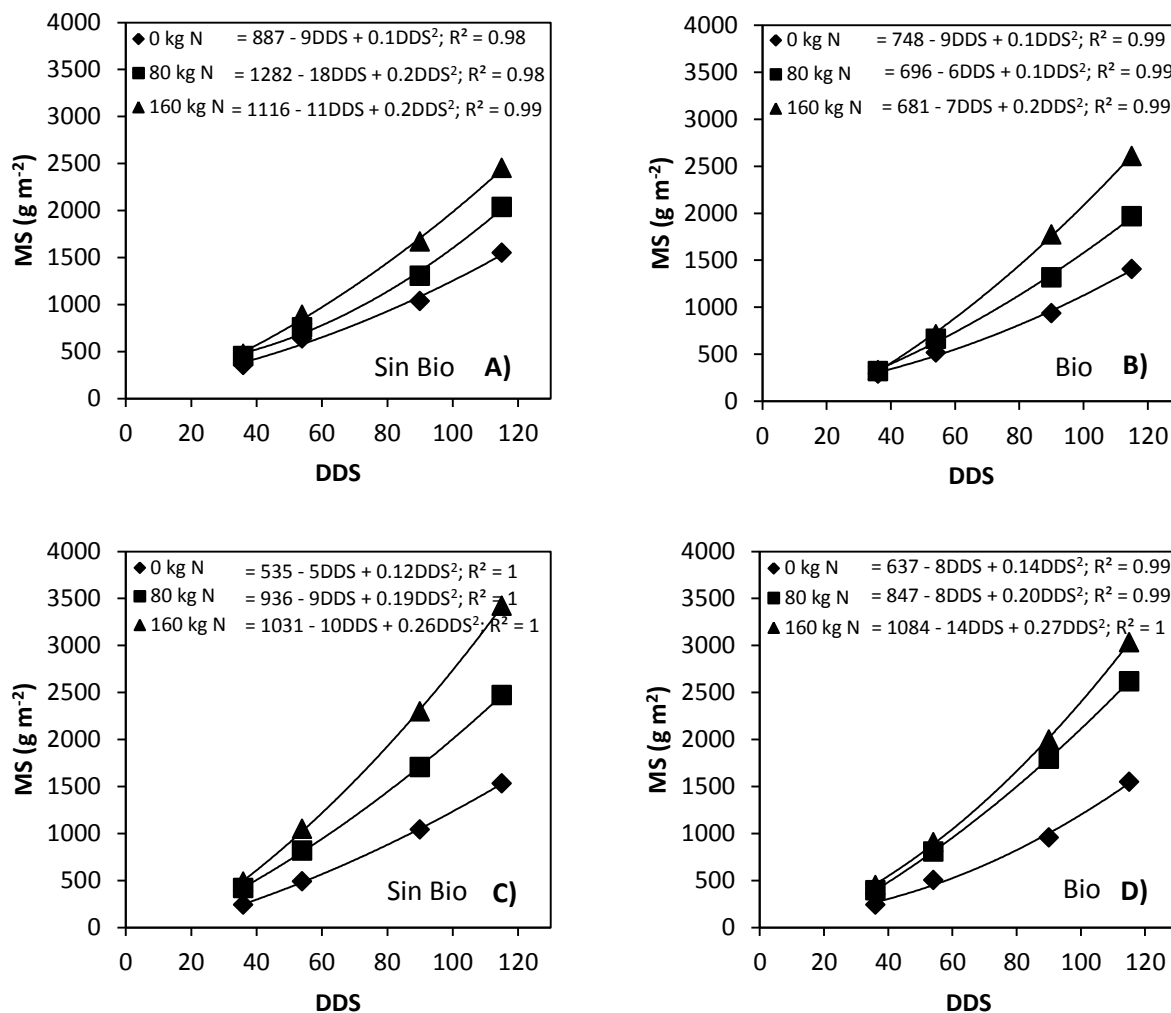


Figura 3. Dinámica de la materia seca total en maíz Vandeano (A y B) y H-562 (C y D) en función del nitrógeno y biofertilizante (Bio) (B y D) durante el ciclo del cultivo. Iguala, Gro. 2011.

Tasa de crecimiento del cultivo (TCC)

En la Figura 4 se observa que la \overline{TCC} más alta se presentó en H-562 con aplicación de 160 kg N ha^{-1} desde los 20 hasta los 102 dds, la tendencia se ajustó a un modelo cuadrático, el cual indica que la producción por día fue de $0.60 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, el nitrógeno logró incrementar la eficiencia de la planta en la producción de materia seca (Woo *et al.*, 2004). En el caso de Vandeano la mayor \overline{TCC}

se presentó con 160 kg N ha⁻¹ y Bio desde los 72 a los 102 dds. De acuerdo con el modelo de regresión cuadrática, la mayor producción de MS por día se obtuvo con 160 kg N ha⁻¹ y Bio. Lo que indica que la maquinaria fotosintética es más eficiente en la producción de materia seca durante el desarrollo del cultivo por efecto del nitrógeno (Naresh y Singh, 2001) y Bio.

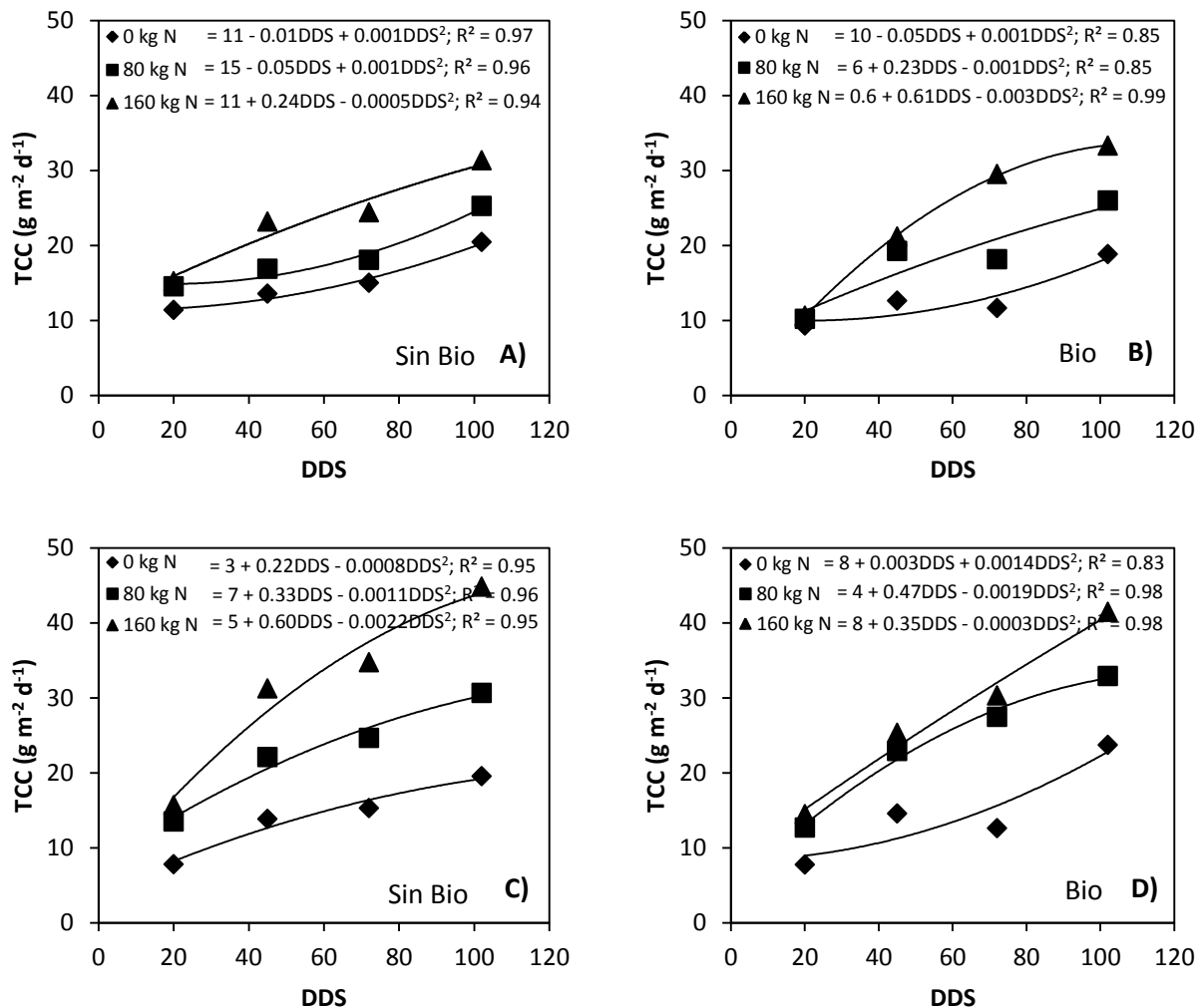


Figura 4. Dinámica de la tasa media de crecimiento del cultivo (\overline{TCC}) en maíz Vandeño (A y B) y H-562 (C y D) en función del nitrógeno y biofertilizante (Bio) (B y D). Iguala, Gro. 2011.

Tasa media de asimilación neta (\overline{TAN})

En la Figura 5, se observa que en general la \overline{TAN} más alta fue a los 20 dds y decreció durante el ciclo del cultivo hasta los 72 dds, después hubo un aumento hasta los 102 dds, el cual corresponde a la etapa de llenado de grano. Vandeño con 160 kg N ha⁻¹ presentó la \overline{TAN} más alta sin Bio a los 20 dds. De acuerdo con el modelo de regresión cuadrática, la mayor producción de

MS por día se obtuvo con 0 y 80 kg N ha⁻¹. En cuanto a H-562 la mayor \overline{TAN} fue con 160 kg N ha⁻¹ y en el polinomio de segundo grado se observa que por cada día se producen 1.4 g m⁻² d⁻¹. De acuerdo a los resultados obtenidos, la \overline{TAN} presentó diferencias entre genotipos (Díaz-López *et al.*, 2013), en función del nitrógeno. El aumento de la \overline{TAN} por efecto del nitrógeno, ha sido relacionado con la máxima acumulación de materia seca de hojas, tallos y mazorca (Naresh y Singh, 2001).

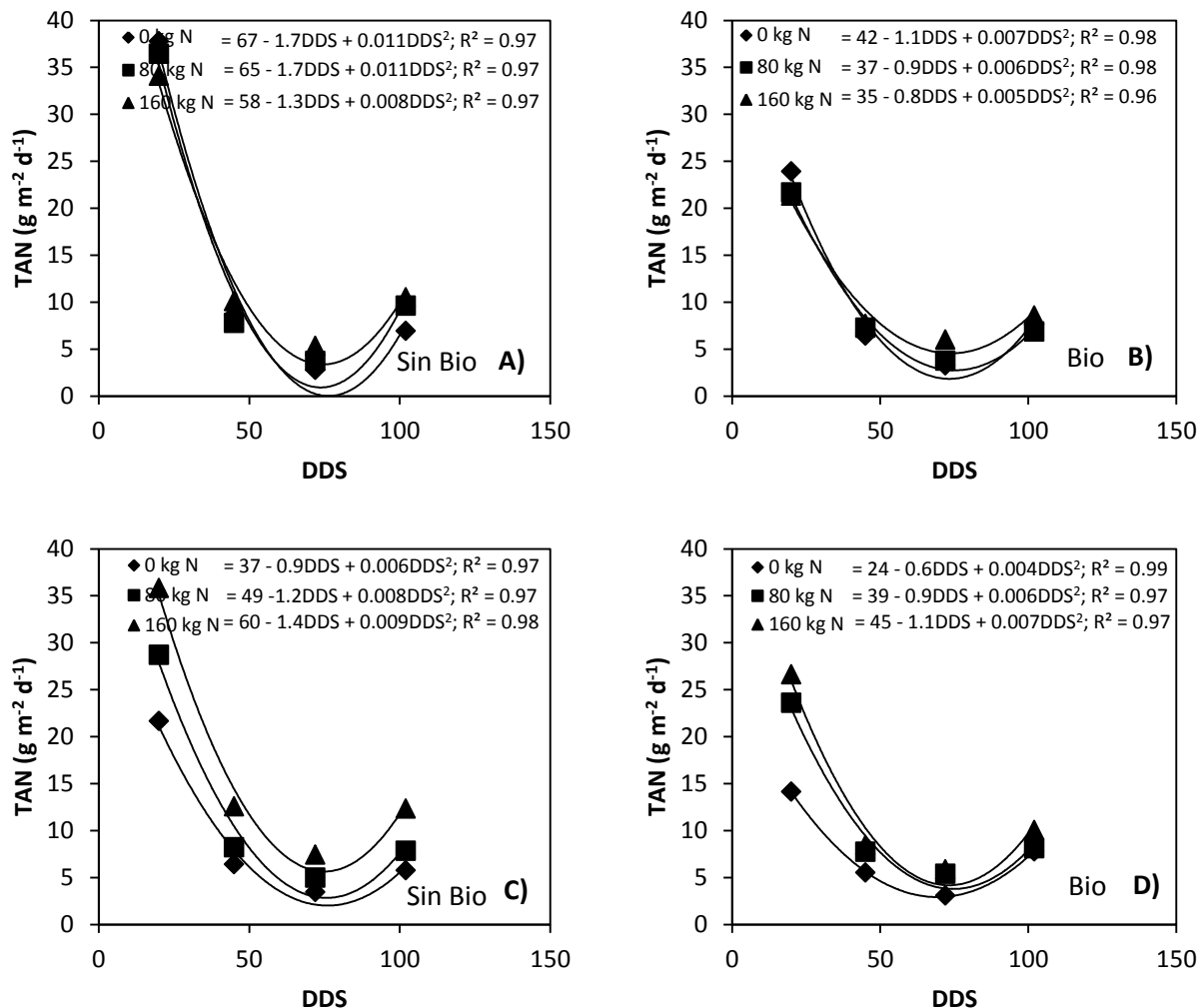


Figura 5. Dinámica de la tasa media de asimilación neta (\overline{TAN}) en maíz Vandeño (A y B) y H-562 (C y D) en función del nitrógeno y biofertilizante (Bio) (B y D). Iguala, Gro. 2011.

En síntesis, estos resultados indican que la materia seca durante el desarrollo del cultivo fue más altos en H-562 con la aplicación de 160 kg N ha⁻¹, esto se relacionó con el incremento del tamaño y duración del aparato fotosintético (IAF y DAFT), el cual generó la TCC y TAN más alta. En

cambio, con Vandeño la mayor respuesta se vio favorecida con el uso de biofertilizante y la aplicación de nitrógeno, el cual ocasionó un incremento en la materia seca total, producto de la mayor expansión, duración y velocidad de crecimiento del dosel vegetal (IAF, DAFT y TCC).

CONCLUSIONES

En Vandeño la aplicación del biofertilizante y 160 kg N ha^{-1} incrementó la materia seca total durante el desarrollo del cultivo, pero no fue significativo para el rendimiento de grano. En cuanto al índice y duración de área foliar, el más alto fue con 80 y 160 kg N ha^{-1} , lo que ocasiono la mayor tasa de crecimiento del cultivo, pero no así en la tasa de asimilación neta. En relación a H-562 la más alta producción de materia seca total y rendimiento de grano fue con 160 kg N ha^{-1} , al igual que incrementó el índice y duración de área foliar, que generó la más alta tasa de crecimiento del cultivo y asimilación neta.

LITERATURA CITADA

- Boomsma, C. R., J. B. Santini, M. Tollenaar and T. J. Vyn. 2009. Maize morphophysiological responses to intense crowding and low nitrogen availability: An analysis and review. *Agronomy Journal*. 101(6): 1246-1452.
- Díaz- López, E., J. M. Loeza-Corte, J. M. Campos-Pastelín, E. J. Morales-Rosales, A. Domínguez-López y O. Franco-Mora. 2013. Eficiencia en el uso de la radiación, tasa de asimilación neta e integral térmica en función del fósforo en maíz (*Zea mays* L.). *Agrociencia*. 47: 135-146.
- Döbbelaere, S., A. Croonenborghs, A. Thys, D. Ptacek, Y. Okon, J. Vanderleyden. 2002. Effect of inoculation with wild type *Azospirillum brasilense* and *A. irakense* strains on development and nitrogen uptake of spring wheat and grain maize. *Biol. Fertil. Soils* 36:284–297.
- Doorenbos, J. y W. O. Pruitt. 1986. Las necesidades de agua por los cultivos. Estudio FAO. Riego y Drenaje. Manual 24.
- Escalante, E. J. A. S., S. J. Kohashi. 1993. El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para la toma de datos. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 84 p.
- García E. 2005. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. 4ª Edición. Instituto de Geografía. Universidad Autónoma de México. 217 p.

- García, O. J. G., V. R. M. Moreno, I. C. L. Rodríguez, A. H. Mendoza, N. P. Mayer. 2007. Efecto de cepas de *Azospirillum brasilense* en el crecimiento y rendimiento de grano del maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 30(003):305-310.
- Kiniry J. R. and Bonhomme R. 1991. Predicting maize phenology. P. 115 - 131. En T. Hodges (ed.), *Physiological aspects of predicting crop phenology*. CRC Press, Boca Raton, Fl.
- Naresh, K. S. and C. P. Singh. 2001. Growth analysis of maize during long and short duration crop seasons: influence of nitrogen source and dose. *Indian Journal Agriculture Res.* 35(1): 13-18.
- Núñez-Hernandez, G, R. Faz-Contreras, F. González-Castañeda, A. Peña-Ramos. 2005. Madurez de híbridos de maíz a la cosecha para mejorar la producción y calidad del forraje. *Téc. Pecu. Méx.* 43(1): 69-78.
- Ortiz, S. C. A., M. C. Gutiérrez C., J. Nieves F. 2005. Estimación de rendimiento de maíz con el método FAO en el ejido de Atenco, Edo. de Méx. *Revista Geografía Agrícola*. 035: 57-65.
- Pecina, Q. V., A. F. Díaz, H. A. Williams, E. R. Rosales, I. C. Garza. 2005. Influencia de fechas de siembra y biofertilizantes en sorgo. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 28:389-392.
- Pedrol, H. M., J.M. Castellarín, F. Ferraguti, O. Rosso. 2008. Respuesta a la fertilización nitrogenada y eficiencia en el uso del agua en el cultivo de maíz según nivel hídrico. En *Información Agronómica del ConoSur* N° 40. pp. 17-20.
- Quiroz, A. y D. Marín. 2000. Evaluación de la asociación maíz-quinchoncho, con siembra escalonada y dos niveles de fertilización. I. Fenología y crecimiento. *Agronomía Tropical*. 50(1): 99-122.
- Ritchie, S. W. and Hanway, J. J. 1982. How a corn plant develops. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service. Special report No. 48. Ames Iowa, EEUU. 21 p.
- Roveda, G. y Polo, C. 2007. Mecanismos de adaptación de maíz asociado a *Glomus* spp. En suelos con bajo fósforo disponible. *Agronomía colombiana*. 25(2): 349-356.
- Santos, C. M., M. Segura A. y C. E. Núñez L. 2010. Análisis de crecimiento y relación fuente demanda de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el municipio de Zipaquirá (Cundinamarca, Colombia). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*. 63(1): 5253-5266.

- Sistema de Información Agropecuaria (SIAP). 2012. Sistema de Información Agropecuaria de Consulta. SAGARPA. México. Disponible en: http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar_comanuar.html (Revisado: 12 septiembre de 2012).
- Snyder, R. L. 1985. Hand calculating degree days. *Agric. For. Meteorol.* 35: 353-358.
- Tekalign, T. and P. S: Hammes. 2005. Growth and productivity of potato as influenced by cultivar and productive growth II. Growth analysis, tuber yield and quality. *Scientia Horticulturae*. 105(1):29-44.
- Uribe, V. G. y E. R. Dzib. 2006. Micorriza arbuscular (*Glomus intraradices*), *Azospirillum brasilense* y Brassinoesteroide en la producción de maíz en suelo luvisol. En: *Agricultura Técnica en México*. 32: 68-72.
- Villalpando, I. J. F., Ruíz, C. J. A. 1993. Observaciones agrometeorológicas y su uso en la agricultura. Primera Ed. México; Editorial Limusa.
- Woo, R. J. L., R. Vázquez A., E. Olivares S., F. Zavala G., R. González G., R. Valdez C. y C. Gallegos V. 2004. Análisis de crecimiento en maíz (*Zea mays* L.) aplicando lodos activados y urea. *Sistema de producción agropecuaria. Agrofaz*. 4(1):437-441.

CAPÍTULO III. RENDIMIENTO Y RENTABILIDAD DE MAÍZ EN FUNCIÓN DEL GENOTIPO, BIOFERTILIZANTE Y NITRÓGENO, EN SIEMBRA DE TEMPORAL, EN CLIMA CÁLIDO

Cid Aguilar Carpio, Dr.
Colegio de Postgraduados, 2014

RESUMEN

El maíz (*Zea mays* L.) es el principal cultivo de México, tanto por su nivel de producción como por su importancia en la alimentación humana, en el cual el uso de fertilizantes es fundamental en la producción, sin embargo, representa el mayor costo de producción. El uso de microorganismos constituye una alternativa eficiente al uso de los fertilizantes químicos. Por lo que, el objetivo del presente estudio fue determinar la producción de materia seca (MS), índice de cosecha, rendimiento de grano (RG) y rentabilidad en los genotipos de maíz criollo Vandeño, variedad sintética VS-535 y el híbrido H-562 en función del biofertilizante y nitrógeno. El estudio se realizó en Iguala, Gro. el 3 de julio del 2011 en siembra de temporal. Los tratamientos consistieron en la siembra del maíz criollo Vandeño, una variedad sintética VS-535 y el híbrido H-562, con y sin biofertilizantes y 0, 80 y 160 kg N ha⁻¹. Las evaluaciones se realizaron en la cosecha. Los resultados más importantes fueron, que la aplicación de biofertilizante y nitrógeno ocasionó incrementos significativos en la producción de materia seca y en el rendimiento. En general, el mayor rendimiento se logra en Vandeño con biofertilizante y 160 kg de N ha⁻¹. Para la región de estudio y época de siembra, el rendimiento más alto se logra en H-562 con 80 y 160 kg N ha⁻¹. La producción de materia seca y rendimiento más bajo se logró con Vandeño, sin aplicación de nitrógeno y sin biofertilizante. El mayor ingreso neto se logra con H-562 y 160 kg N ha⁻¹ independientemente del uso del biofertilizante.

Palabras clave: *Glomus*, *Azospirillum*, grano, urea.

ABSTRACT

Maize (*Zea mays* L.) is the main crop in Mexico, so its production level and importance in human nutrition, in which fertilizer use is essential in the production, however, represents the higher cost production. The use of microorganisms is a chemical fertilizers alternative. The objective of this study was to determine the production of dry matter (DM), harvest index, grain

yield (GY) and profitability in native maize Vandeño, synthetic variety VS-535 and hybrid H-562 genotypes in function of biofertilizer and nitrogen. In Iguala, Guerrero on July 3, 2011, planting time, the study was conducted under rain fall condition. Treatments consisted of planting native maize Vandeño a synthetic variety VS-535 and H-562 Hybrid, with and without biofertilizers and 0, 80 and 160 kg N ha⁻¹. At harvest the evaluations was done. Application of biofertilizer and nitrogen caused significant increases in dry matter production and yield. In general, the best performance was achieved with Vandeño biofertilizer and 160 kg N ha⁻¹. For the study region and time of sowing, the highest performance was achieved with H-562 with 80 and 160 kg N ha⁻¹. The dry matter production and lower performance was achieved with Vandeño without nitrogen application without biofertilizer. The higher net income was achieved with H-562 and 160 kg N ha⁻¹ regardless of the use of biofertilizer.

Index words: *Glomus*, *Azospirillum*, grain, urea.

INTRODUCCIÓN

La mayor parte de la producción mundial de maíz se utiliza como alimento para animales o como materia prima industrial, y sólo aproximadamente el 20% se destina al consumo humano. En México el patrón de consumo difiere al de los países industrializados, ya que 68% del maíz se utiliza directamente para la alimentación humana con un consumo *per cápita* de 127 kg año⁻¹ (Nadal y Wise, 2005), donde constituye el principal cultivo y abarca ocho millones de hectáreas. No obstante, Estados Unidos exporta a México alrededor de seis millones de toneladas (CIMMYT, 2004).

El maíz es ampliamente cultivado por su aportación nutrimental en la dieta de la población, consumiéndose principalmente como grano seco procesado. Otra forma de consumo es en estado fresco o elote, acerca del cual existe poca información que permita mejorar tanto la producción como la calidad del mismo (Hernández *et al.*, 2001).

Smith y Paliwal, (1996) mencionan que la baja productividad del maíz en los trópicos se debe a varios factores: los días cortos, un período de crecimiento breve, una baja intensidad de la radiación debida a la nubosidad, temperaturas nocturnas altas, estrés biótico y abiótico más severo y bajo uso de tecnología (insumos, riego, etc).

En la región Sur-Sureste de México (Veracruz, Tabasco, Campeche, Yucatán, Quintana Roo, Chiapas, Oaxaca y Guerrero) más de un millón de hectáreas de tierras planas y de lomeríos

cultivadas en condiciones de temporal, permanecen ociosas durante el periodo de secas (Turrent *et al.*, 2004). La sequía afecta la producción agrícola en cerca del 60% de las tierras de los trópicos. Reduce los rendimientos del maíz en cerca de 15% anualmente en las tierras bajas tropicales y subtropicales, llegando a causar pérdidas estimadas en 16 millones de toneladas de grano (Edmeades *et al.*, 1992).

En la década de 1990 la política mexicana retiró el apoyo a los empresarios dedicados a la fabricación de fertilizantes, permitiendo el deterioro de esta industria. Esto se ha reflejado en los volúmenes de fertilizantes importados, así como en sus precios. Actualmente el país importa el 100% de los fertilizantes potásicos, el 80% de los fosfóricos y el 78% de los nitrogenados. Antes, el concepto de fertilizantes representaba del 10 al 15% del costo de producción de los cultivos, en la actualidad, llegan a representar hasta el 50% del costo de producción (SEDRU, 2008).

En el estado de Guerrero el maíz es el cultivo principal, tanto por la superficie cultivada, como por ser el alimento base de la población (Gallardo *et al.*, 2005). Para lograr una producción sostenible de maíz es necesario complementar la fertilización química con formas biológicas, para obtener en lo posible un impacto en la producción y en la conservación del medio (Uribe y Dzib, 2006). Paralelamente, se han desarrollado algunas empresas dentro y fuera del estado de Guerrero que producen diferentes tipos de biofertilizantes. Las biofábricas de la entidad producen principalmente el hongo vesículo arbuscular *Glomus intraradice*, mientras que algunas empresas producen tanto el hongo como la bacteria *Azospirillum brasilense*.

La situación anterior justifica cualquier estrategia que se implemente para disminuir el uso de fertilizantes químicos para solucionar el problema de fertilidad de los suelos en la nutrición de los cultivos, así como el impacto que estos han provocado en la contaminación ambiental. En este caso se trata de evaluar la eficiencia del biofertilizantes (*Azospirillum brasilense* y el hongo *Glomus intraradice*) para reducir los requerimientos de nitrógeno del maíz, sin disminuir sus rendimientos de grano. Por lo que, el objetivo del presente estudio fue determinar la ocurrencia de las fases fenológicas, producción de materia seca, rendimiento, sus componentes y rentabilidad en maíz en siembra temprana bajo riego, en función del genotipo, nitrógeno y el biofertilizante (*Azospirillum* + *Glomus*).

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se estableció bajo condiciones de temporal en Iguala, Gro., de clima cálido subhúmedo con lluvias en verano con precipitación anual de 1100 mm y altitud de 635 m (Aw_0 , García, 2005). Los tratamientos consistieron en la siembra del maíz criollo Vandeño, una variedad sintética VS-535 y el híbrido H-562, con y sin biofertilizantes que contiene bacterias fijadoras de nitrógeno *Azospirillum* y hongos micorrízico (*Glomus*) y 0, 80 y 160 kg N ha⁻¹ el 03 de julio de 2011. La densidad de población fue de 6.25 pl m⁻² y en distancia entre surcos de 80 cm. El diseño experimental fue bloques completamente al azar con arreglo de parcelas subdivididas y cuatro repeticiones. La unidad experimental fue de cuatro surcos de 0.8 m de ancho x 4 m de longitud. Durante el desarrollo del estudio se registró la temperatura máxima ($T_{m\acute{a}x}$) y mínima ($T_{m\acute{i}n}$) decenal y suma de la evaporación (Ev, mm) y precipitación (PP, mm) datos proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional (CONAGUA). También se registró la ocurrencia de las fases fenológicas como: días a emergencia (E), floración (FL) y a madurez fisiológica (MF). El criterio utilizado para estas variables fue presentado en Ritchie y Hanway (1982). También, para cada fase fenológica se determinó la acumulación de unidades calor para el cultivo (UC, °C), mediante el método residual, el cual es descrito por la siguiente ecuación como se indica en Snyder (1985):

$$UC = (T_{m\acute{a}x} + T_{m\acute{i}n} / 2) - TB$$

Donde: $T_{m\acute{a}x}$ y $T_{m\acute{i}n}$ son diarias (°C) y TB = Temperatura base, considerada como 10 °C (Villalpando y Ruíz, 1993). La evapotranspiración del cultivo (ETc) se calculó a partir de los datos de la evaporación (Ev) del tanque tipo "A", utilizando 0.6 como coeficiente para el evaporímetro, k_c inicial = 0.35, k_c a mediados del periodo = 1.14 y k_c final = 0.6 (Doorenbos y Pruitt, 1986), a partir de la siguiente ecuación:

$$ETc = Ev \times 0.6 \times Kc$$

A la MF se evaluó la materia seca (MS total, g m⁻²), índice de cosecha (IC, %), rendimiento de grano (RG, 10% de humedad, g m⁻²), peso de 100 granos (P100G, g), número de granos (NG, m²), número de hileras (NH) y número de granos por hilera (NGH). A las variables en estudio, se les aplicó un análisis de varianza (ANDEVA), con el programa estadístico de SAS (Statistical Analysis System, Versión 9.0), la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$) y un análisis de regresión entre RG y sus componentes.

Adicionalmente, se realizó un análisis económico para RG, utilizando las siguientes ecuaciones: $IN = YPy - (\sum XiPi + CF)$, donde IN = Ingreso neto, Y = Rendimiento (kg ha⁻¹), Py = precio por

kg, $\Sigma XiPi$ = suma de costos variables, CF = costos fijos (Volke, 1982). También se determinó la GPI con la ecuación: $GPI = (\Sigma XiPi + CF) / YPy$, donde: GPI = ganancia por peso invertido.

RESULTADOS Y DISCUSION

Fenología, condiciones climáticas, unidades calor y evapotranspiración

En la Figura 1, se observa la media decenal de la Tmáx y Tmín durante el desarrollo del cultivo que fluctuó entre 34 y 18 °C, respectivamente. De siembra (S) a FL, la Tmáx y Tmín promedio fue de 34 y 20 °C y de FL a MF fue de 34 y 18 °C, respectivamente. La Tmáx fue similar a la óptima, 30 °C y 34 °C (Kiniry y Bonhomme, 1991), lo cual no indica limitaciones por temperatura para una mayor expresión del rendimiento en los genotipos estudiados. La suma decenal de la PP fue de 692 mm durante el ciclo del cultivo. Lo que indica que el cultivo no sufrió restricción hídrica para su crecimiento.

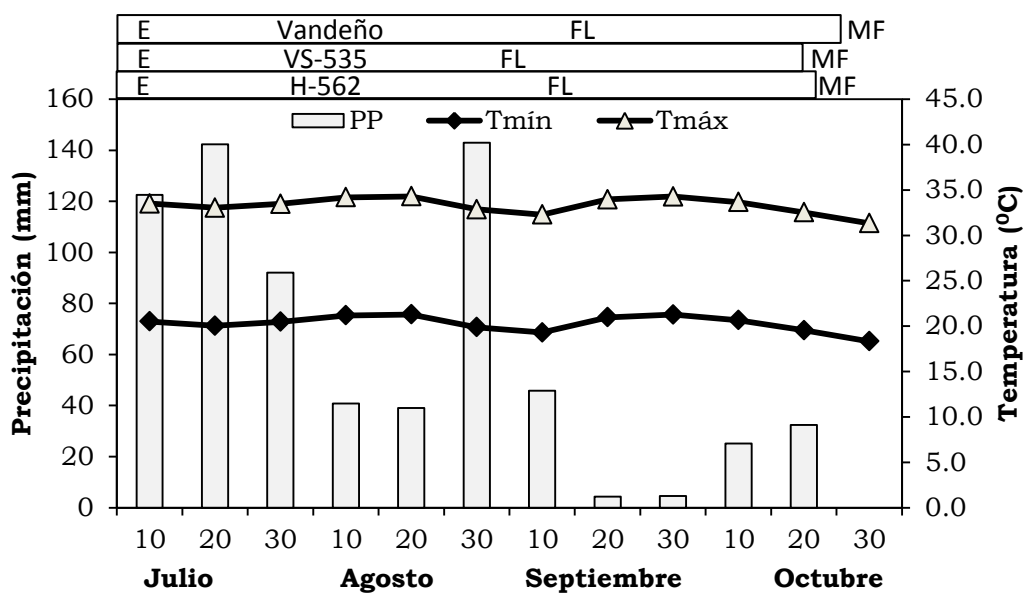


Figura 1. Medias decenales de la temperatura máxima (Tmáx, °C), mínima (Tmín, °C) y suma decenal de la precipitación (PP, mm) durante el ciclo del cultivo de los maíces Vandeño, VS-535 y H-562. E = Emergencia, FL = Floración, MF = Madurez fisiológica. Iguala, Gro. 2011.

Los genotipos en estudio, presentaron diferencias en las fechas a ocurrencia de las etapas fenológicas, a excepción de la emergencia donde fue similar (5 dds). En contraste, en la floración en Vandeño ocurrió a los 74 dds, en VS-535 a los 62 dds y en H-562 a los 72 dds. La MF en VS-535 a los 110 dds, en Vandeño fue a los 115 dds y en H-562 fue a los 112 dds (Figura 1).

En la Figura 2 se observa la acumulación de UC durante el ciclo del cultivo, el cual fue diferente entre genotipos; de siembra a emergencia para Vandeño, VS-535 y H-562 las UC fueron de 77 °C d; 947, 1060 y 1153 °C d de S a FL para VS-535, H-562 y Vandeño, respectivamente y de FL a MF de 767, 685 y 638 °C d para VS-535, H-562 y Vandeño. El total de las UC fue de 1714, 1745 y 1791 °C d, para VS-535, H-562 y Vandeño, respectivamente, cabe señalar que la acumulación total de UC d se relaciona con la duración del ciclo del cultivo (Figura 2). En referencia Núñez-Hernández *et al.* (2005) en maíces híbridos, reporta en promedio de 1470 °C d⁻¹ a MF, para un clima semicálido árido, valores más bajos a los obtenidos en el presente estudio. Posiblemente esta diferencia se deba a los diferentes genotipos utilizados y condiciones ambientales. Para la ETc, se observó que en el periodo de siembra a emergencia en cuatro genotipos fue de 9.7 mm. De E a FL fue de 184, 233 y 226 mm para VS-535, Vandeño y H-562, respectivamente. De FL a MF fue de 200, 169 y 155 mm para VS-535, Vandeño y H-562, respectivamente y la ETc total fue de 394, 411 y 390 mm para VS-535, Vandeño y H-562, respectivamente (Figura 2). Esto indica que las necesidades de agua del cultivo difieren entre genotipo y son más altos para Vandeño, por su mayor ciclo de crecimiento.

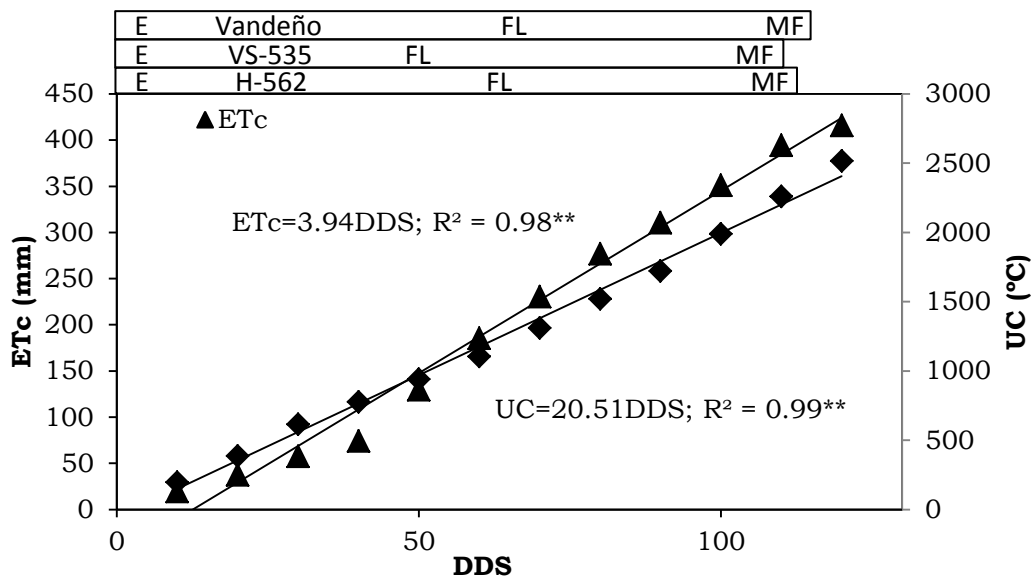


Figura 2. Unidades calor (UC), evapotranspiración (ETc) y fenología de los maíces Vandeño, VS-535 y H-562. E = Emergencia, FL = Floración, MF = Madurez fisiológica. Iguala, Gro. 2011.

Materia seca (MS), índice de cosecha (IC), rendimiento (RG) y sus componentes

El ANDEVA para la MS y RG mostró cambios significativos debido a genotipos (G), biofertilizante (Bio), nitrógeno (N) y las interacciones, genotipo x Biofertilizante (G x Bio), Genotipo x nitrógeno (G x N), biofertilizante x nitrógeno (Bio x N) y genotipo x biofertilizante x nitrógeno (G x Bio x N). Se observaron diferentes respuestas en el IC y en los componentes del RG en las interacciones (Cuadro 1).

Cuadro 1. Análisis de varianza para materia seca (MS), índice de cosecha (IC), rendimiento de grano (RG) y sus componentes. Iguala, Gro. 2011.

Factor	MS	IC	RG	P100G	NH	NGH	NG
	g m ⁻²	%	g m ⁻²	g			m ⁻²
G	**	**	**	**	**	**	**
Bio	**	**	**	**	**	NS	**
G x Bio	**	**	**	*	**	*	**
N	**	**	**	*	**	**	**
G x N	*	NS	**	**	**	**	**
Bio x N	NS	NS	NS	NS	NS	**	**
G x Bio x N	*	*	*	**	NS	NS	NS

*, ** = P ≤ 0.05, 0.01, respectivamente; NS = No significativo a P ≥ 0.05; P100G = Peso de 100 granos, NH = Número de hileras, NGH = Número de granos por hilera. NG = Número de granos. G = Genotipo, Bio = Biofertilizante, N = Nitrógeno.

Genotipo

En el Cuadro 2, se observa que el maíz H-562 superó a Vandeño y VS-535 en 6 y 21%, respectivamente, en cuanto a MS. El genotipo H-562 por sus características genéticas, generó un incremento del 21% en MS con respecto a VS-535. En relación al IC el genotipo VS-535 presentó la más alta distribución de MS hacia el grano. Esto indica una mayor eficiencia en cuanto a la acumulación de MS en el grano. Con respecto al RG, H-562 presentó el más alto (465 g m⁻²), debido al mayor NG, seguido de VS-535 (459 g m⁻²) y Vandeño (384 g m⁻²). Dichas diferencias se relacionan con las características genéticas de los genotipos y condiciones ambientales en las que se desarrollaron.

Biofertilizante

El maíz con Bio presentó la mayor producción de MS total (17%) respecto al testigo (Cuadro 2). Sin embargo el IC no fue afectado, lo que indica, que el Bio no ocasiono incrementos en la producción de MS hacia el grano. Dicho aumento en la MS pudo deberse a que el Bio logró producir una mayor área radical e incremento en actividad de la misma y en consecuencia una mayor tasa de absorción de agua y nutrimentos (González *et al.*, 2011). Esto indica que el Bio ocasionó incrementos en MS. Contrario a lo observado en el RG, debido a que el más alto se observó sin Bio y fue consecuencia de incrementos en el NG (Cuadro 2).

Cuadro 2. Materia seca (MS), índice de cosecha (IC), rendimiento (RG) y sus componentes de genotipos de maíz en función biofertilizante (Sin y Con Bio) y nitrógeno (N). Iguala, Gro. 2011.

Factor		MS g m ⁻²	IC %	RG g m ⁻²	P100G g	NH	NGH	NG m ²
Genotipo	Vandño	1,259b	28c	384c	30b	21a	31c	4,256a
	VS-535	1,053c	42a	459a	31b	15b	35b	3,286b
	H-562	1,338a	31b	465a	37a	15b	37a	3,532b
Tukey $\alpha = 0.05$		100	5	24	2.3	1.2	1.3	257
Bio	Sin	1,224b	34a	423a	35a	16b	35a	3,476b
	Con	1,433a	27b	396b	34b	18a	35a	3,907a
Tukey $\alpha = 0.05$		105	4	11	0.7	1	1	299
N (kg ha ⁻¹)	0	941b	33a	357c	33c	16b	33b	3,278c
	80	1,405b	32b	464b	34b	18a	36a	4,098a
	160	1,640a	31b	487a	35a	16b	35a	3,699b
	Tukey $\alpha = 0.05$		124	1	22	1.2	1	2
Media general		1315	33	436	35	17	35	3,692
CV. (%)		8	13	7	5	7	7	11

En columnas para cada factor principal letras similares indican que los valores son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha=0.05$).

Nitrógeno

En el Cuadro 2 se observa que a excepción del IC el N ocasionó cambios significativos para la MS, RG y sus componentes. La aplicación de 160 kg N ha⁻¹ incrementó en 74% la MS, en tanto con 80 kg N ha⁻¹ el incremento fue de 49%, con respecto a sin fertilización (Cuadro 2), lo que indica que con N se promovió una mayor acumulación de MS en la estructura de la planta. Con respecto al RG con 160 kg N ha⁻¹ se aumentó en 36%, en comparación con la nula fertilización

Otros estudios reportan incrementos en el RG del maíz con la aplicación de 90 y 60 kg N ha⁻¹ para la zona norte del estado de Guerrero (González *et al.*, 2011). Esto sugiere que con el suministro de N se logran incrementos en el RG.

Genotipo x Biofertilizante (G x Bio)

El ANDEVA para la MS y RG, mostró diferencias significativas por efecto de la interacción G x Bio (Figura 2); lo que demuestra que los genotipos presentaron respuestas diferentes a la aplicación del Bio. Así, los genotipos mejorados presentaron incremento del 2% en MS con la aplicación de Bio, para VS-535 y H-562, contrario a Vandeño donde dicho comportamiento fue nulo. No está bien definido el mecanismo de respuesta en cuanto a la afinidad de los genotipos estudiados. Con respecto al Bio en el RG de Vandeño se incrementó en 20%. Esto indica que Vandeño con Bio fue más eficiente en acumular mayor MS hacia el grano; debido posiblemente a un aumento en la superficie de absorción radical que pudo influir sobre la duración del área foliar y en consecuencia mayor oportunidad para el llenado de grano. Como también se deduce de los estudios realizados por García-Olivares *et al.* (2007).

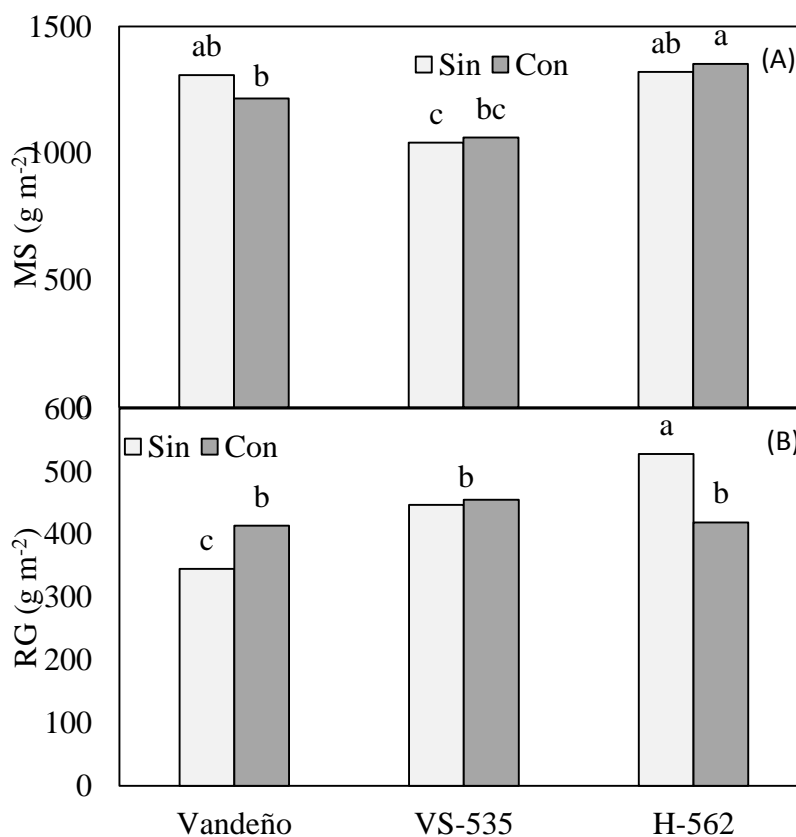


Figura 3. (A) Materia seca (MS) y (B) rendimiento (RG) en genotipos de maíz en función del biofertilizante. Iguala, Gro. 2011.

Genotipo x Nitrógeno (G x N)

En la Figura 4 se observa que los genotipos presentaron respuesta diferente al N. En general dicha respuesta se ajustó al modelo de un polinomio de segundo grado. El genotipo Vandeano mostró respuesta más alta al N en una producción de MS de 14 g m^{-2} por unidad de N aplicado, seguido de H-562 y VS-535 que produjo la respuesta más baja (5 g m^{-2} por unidad de N). La máxima producción de MS se logró con 160 kg N ha^{-1} , en los genotipos utilizados, principalmente en Vandeano. Esto puede deberse a la eficiencia en el uso del N, debido a las características genéticas de cada genotipo. En relación al RG, también se observó variabilidad entre genotipos en respuesta al N (Figura 4B). Vandeano presentó mayor RG (1.8 g m^{-2}) por unidad de N aplicado, seguido de H-562 y VS-535 que presentó la respuesta más baja (1.3 g m^{-2} por kg N aplicado). El RG más alto se obtuvo con la combinación de VS-535 y 160 kg N ha^{-1} . En general se observa que los genotipos mejorados presentaron mayor respuesta al N. Tendencias similares han sido reportadas por De la Cruz-Lázaro *et al.* (2009) y Mani-Pati *et al.* (2010).

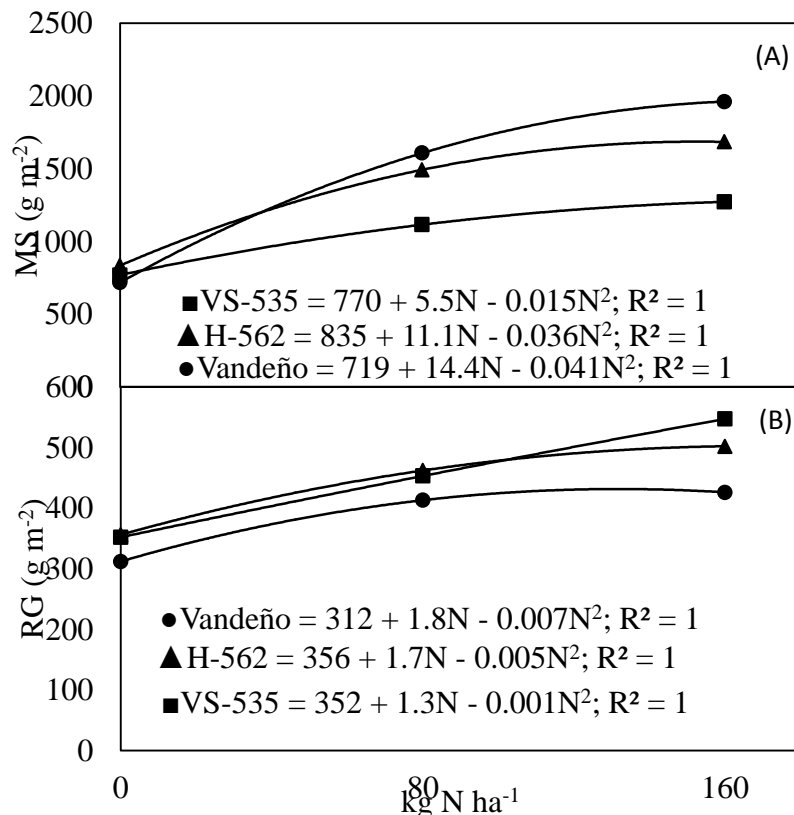


Figura 4. (A) Materia seca (MS) y (B) rendimiento (RG) en genotipos de maíz en función del nitrógeno (N). Igualda, Gro. 2011.

Biofertilizante x Nitrógeno (Bio x N)

El ADEVA no mostró cambios significativos para la MS y RG debido a la interacción Bio x N (Cuadro 1). En la Figura 5A, se observa que el cultivo con Bio y 160 kg N ha⁻¹ presentó la más alta producción de MS. Sin embargo, la mayor eficiencia de N en la producción de MS fue sin Bio (9.9 g m⁻² por kg N⁻¹), lo que indica, que en la respuesta al suministro de N la influencia del Bio es limitado. En contraste, el maíz sin Bio presentó mayor RG con N; particularmente con 160 kg N ha⁻¹ (Figura 5B) y con una tasa de incremento de 2.2 g m⁻² por kg de N. Resultados similares reportaron Uribe y Dzib (2006) en clima cálido subhúmedo, no encontraron incremento en el RG con el N al inocular con Bio.

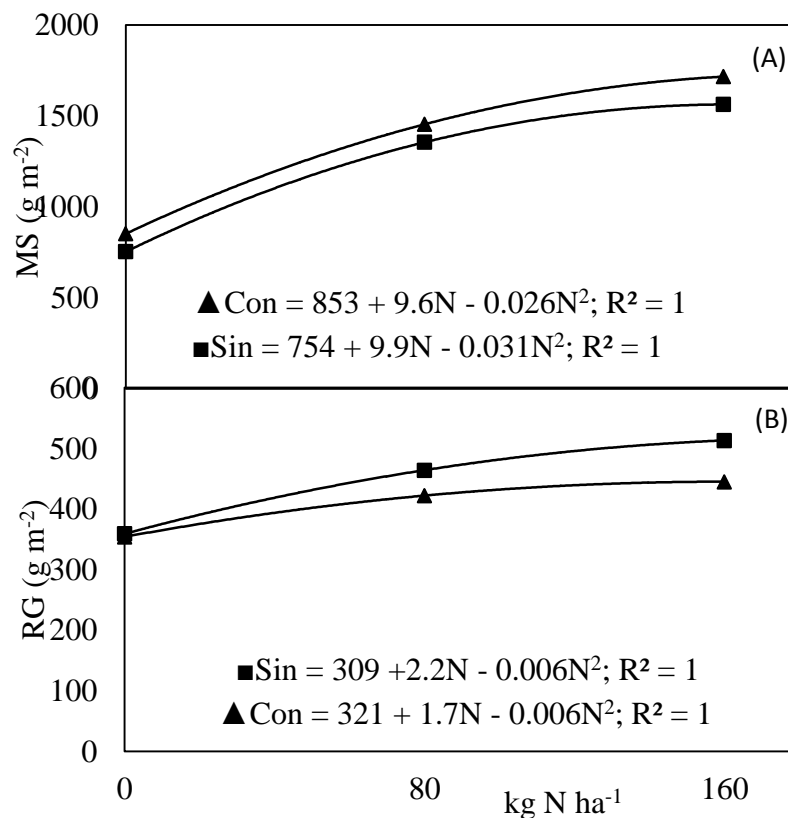


Figura 5. (A) Materia seca (MS) y (B) rendimiento (RG) en función del biofertilizante y nitrógeno (N). Iguala, Gro. 2011. Sin y con significa, no aplicación de biofertilizante y aplicación, respectivamente.

Genotipo x Biofertilizante x Nitrógeno (G x Bio x N)

El ANDEVA mostró cambios significativos para la MS y RG por efecto de la interacción G x Bio x N (Cuadro 1). Con respecto a la interacción G x Bio x N (Figura 6A), se observa que la

mayor respuesta en MS se encontró con Bio y 160 kg N ha⁻¹ para Vandeño, seguido de H-562 y VS-535. El RG más alto correspondió a sin Bio con 80 y 160 kg N ha⁻¹ para H-562, seguido de VS-535 y Vandeño con Bio. En términos generales, se observó una respuesta positiva al Bio en el maíz criollo Vandeño y fue en menor media para VS-535. Los factores responsables de tales irregularidades son difíciles de identificar, pero se atribuye a la variabilidad del genotipo y niveles de N, así como la capacidad del biofertilizante para establecerse y estimular el crecimiento de la raíz (Pecina-Quintero *et al.*, 2005).

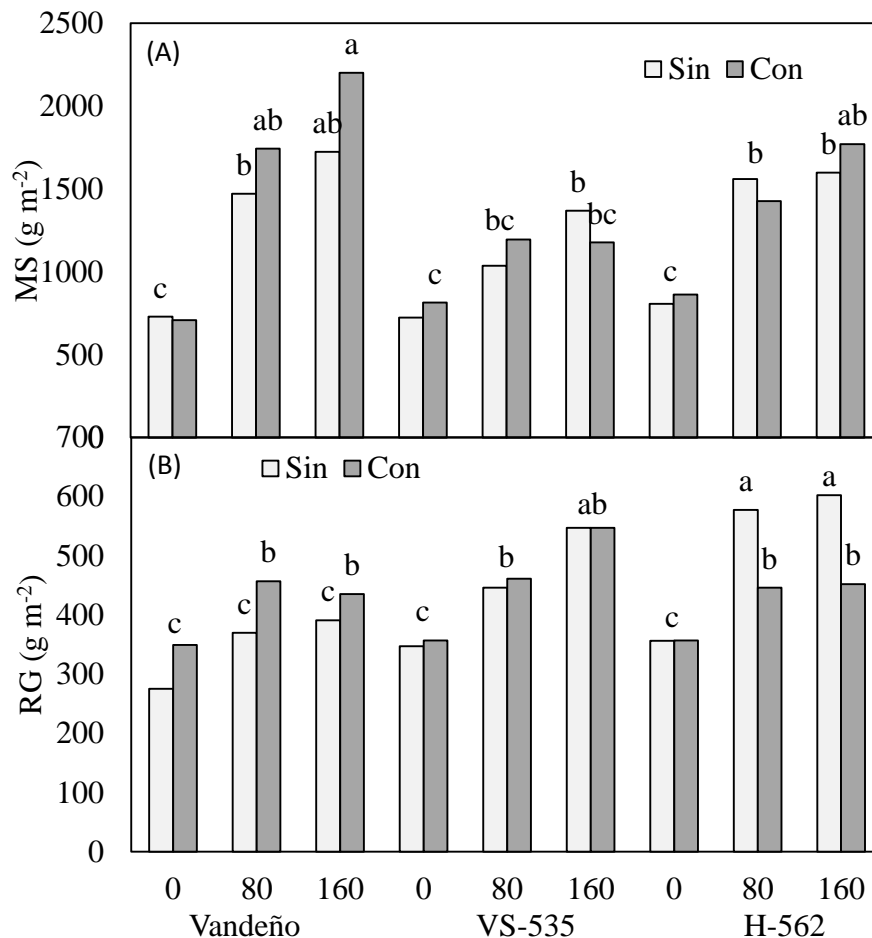


Figura 6. (A) Materia seca (MS) y (B) rendimiento de grano (RG) en función del genotipo (G), biofertilizante (Con y Sin Biofertilizante), y nitrógeno (N). Iguala, Gro. 2011.

Análisis económico

En cuanto al análisis económico, el mayor RG se presentó en el híbrido H-562 más la aplicación de 160 kg N ha⁻¹, el cual generó el mayor ingreso total (IT), sin embargo, en H-562 con 80 kg N ha⁻¹, se obtuvo el más alto ingreso neto (IN), con una ganancia por peso invertido (GPI), debido a

que por cada peso invertido, se recuperó \$ 2.10. Por lo que para agricultores de capital limitado se recomienda el uso de H-562, debido a que genera el mayor IN sin el uso de Bio y N.

Cuadro 3. Rendimiento (RG), ingresos totales (IT), costos fijos (CF), costos variables (CV) y costos totales (CT), ingresos netos (IN) y ganancia por peso invertido (GPI) en genotipos de maíz en función del biofertilizante (Sin y Con Bio) y nitrógeno (N). Iguala, Gro. 2011.

Genotipo	Bio	N (kg ha ⁻¹)	RG (kg ha ⁻¹)	IT \$	CF \$	CV \$	CT \$	IN \$	GPI \$
Vandeño	Sin	0	2752	12,384	5,693	560.00	6253.60	6130.40	0.98
		80	3705	16,672	5,693	2275.00	7968.60	8703.90	1.09
		160	3912	17,604	5,693	3710.00	9403.60	8200.40	0.87
	Con	0	3492	15,714	5,693	1152.00	6845.60	8868.40	1.30
		80	4575	20,587	5,693	2867.00	8560.60	12026.90	1.40
		160	4355	19,597	5,693	4302.00	9995.60	9601.90	0.96
VS-535	Sin	0	3467	15,601	5,693	1150.00	6843.60	8757.90	1.28
		80	4465	20,092	5,693	2865.00	8558.60	11533.90	1.35
		160	5475	24,637	5,693	4300.00	9993.60	14643.90	1.47
	Con	0	3575	16,087	5,693	1742.00	7435.60	8651.90	1.16
		80	4610	20,745	5,693	3457.00	9150.60	11594.40	1.27
		160	5475	24,637	5,693	4892.00	10585.60	14051.90	1.33
H-562	Sin	0	3562	16,029	5,693	980.00	6673.60	9355.40	1.40
		80	5772	25,974	5,693	2695.00	8388.60	17285.40	2.10
		160	6020	27,090	5,693	4130.00	9823.60	17566.40	1.76
	Con	0	3572	16,074	5,693	1572.00	7265.60	8808.40	1.21
		80	4467	20,101	5,693	3287.00	8980.60	11120.90	1.24
		160	4527	20,371	5,693	4722.00	10415.60	9955.90	0.96

IT = RG * precio por kg de maíz (\$ 4.50). CF = incluye costo de preparación del terreno, siembra, riego, manejo de maleza y plagas. CV = incluye el costo del biofertilizante, fertilización y cosecha de maíz. CT = CF + CV. IN = IT - CT. GPI = IN / CT.

En síntesis, para condiciones ambientales registradas durante el estudio, se observó que la temperatura osciló entre los 34 y 18°C, sin embargo, la más baja precipitación se presentó durante el llenado de grano, lo que pudo ocasionar disminución en el rendimiento. En los genotipos utilizados se pudo observar un incremento en la MS con el uso del biofertilizante y una fertilización de 80 y 160 kg N ha⁻¹, principalmente en Vandeño. En cuanto al RG la mayor respuesta se obtuvo en Vandeño con biofertilizante en los diferentes niveles de fertilización, esto

se relaciona con el incremento en el P100G y NG; lo anterior representa la posibilidad de ahorro en insumos para el productor y una disminución en la contaminación de los suelos y del agua por fertilizantes químicos, ya que en Vandeño con 80 kg N ha⁻¹ se aumentó el RG en 23% cuando se utilizó biofertilizante. Sin embargo, la interacción de H-562 y 80 kg N ha⁻¹ logró la mayor ganancia por peso invertido (GPI = \$4.33) e ingreso neto (\$ 17,585). En los genotipos de maíz en estudio, el uso de la fertilización nitrogenada en asociación con biofertilizantes logró un efecto positivo en el crecimiento y rendimiento, sin embargo, es necesario seguir estudiando el efecto que estos tienen en la fenología y calidad de la semilla en los genotipos de maíz que existen, para poder determinar su comportamiento en la planta.

CONCLUSIONES

La aplicación de biofertilizante y nitrógeno ocasionó incrementos significativos en la producción de materia seca y en el rendimiento. En general, el mayor rendimiento se logra en Vandeño con biofertilizante y 160 kg de N ha⁻¹. Para la región de estudio y época de siembra, el rendimiento más alto se logra en H-562 con 80 y 160 kg N ha⁻¹. La producción de materia seca y rendimiento más bajo se logró con Vandeño, sin aplicación de nitrógeno y sin biofertilizante. El mayor ingreso neto se logra con H-562 y 160 kg N ha⁻¹ independientemente del uso del biofertilizante.

AGRADECIMIENTOS

A CONACYT por el apoyo económico recibido para llevar a cabo esta trabajo de investigación.

LITERATURA CITADA

- CIMMYT (Centro Internacional para el Mejoramiento del Maíz y Trigo) 2004. Draft Consensus Document on the Biology of *Zea mays* subsp. *mays* (maize). OECD Program of Work on Harmonization of Regulatory Oversight in Biotechnology.
- De la Cruz-Lazaro, E., H. Córdova-Orellana, M. A. Estrada-Botello, J. D. Mendoza-Palacios, A. Gómez-Vázquez, N. P. Brito-Manzano. 2009. Rendimiento de grano de genotipos de maíz sembrados bajo tres densidades de población. Universidad y Ciencia. Trópico Húmedo. 25(1): 93-98.
- Doorenbos, J. y W. O. Pruitt. 1986. Las necesidades de agua por los cultivos. Estudio FAO. Riego y Drenaje. Manual 24.

- Edmeades, G.O., Bolaños, J. & Lafitte, H.R. 1992. Progress in breeding for drought tolerance in maize. *In* D. Wilkinson, ed. Proc. 47th Ann. Corn and Sorghum Ind. Res. Conf., Chicago, Illinois, Dec. 1992, p. 93-111. Washington, DC, ASTA.
- Gallardo, V. M., Vallejo, D. H.; Caballero, H. F.; Vidales, F. I.; Arreola, Z. M.; y Tapia, V. L. M. 2005. Agenda de manejo técnico para el productor de maíz de humedad residual en la meseta Purépecha del estado de Michoacán. Agenda técnica No. 3. INIFAP. Antúnez, Michoacán, México. pp.9
- García-Olivares. J. G., V. R. Moreno-Medina, I. C. Rodríguez-Luna, A. Mendoza-Herrera, N. Mayek-Pérez. 2007. Efecto de cepas de *Azospirillum basilense* en el crecimiento y rendimiento de grano del maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 30(003):305-310.
- González, M. R.; Noriega, C. D.; Pereyda, H. J.; Domínguez, M. V. M.; López, E. M. E. y E. R. Garrido. 2011. Fertilización química con y sin biofertilizante en maíz de temporal en Guerrero. XVI Foro de estudios sobre Guerrero. Acapulco, Gro. 69-73 pp.
- Hernández, A.J.A.; Ramiro, C.A.; Maya, H.V.; Chaverría, C.J y Martínez, G.M. 2001. El cultivo de maíz para elote en la zona media de San Luis Potosí. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Centro de Investigación Regional del Noreste (CIRN) Campo Experimental las Palmas. Folleto Núm. 26:5-13.
- Kiniry J. R. and Bonhomme R. 1991. Predicting maize phenology. P. 115 - 131. *En* T. Hodges (ed.), *Physiological aspects of predicting crop phenology*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Mani-Pati, F., D. E. Clay, C. G. Carlson, S. A. Clay, G. Reicks and K. Kim. 2010. Nitrogen rate, landscape position and harvesting of corn stover impacts on energy gains and sustainability of corn production systems in South Dakota. *Agronomy Journal*. 102:1535-1541.
- Nadal, A. y T.A. Wise. 2005. Los costos ambientales de la liberalización agrícola: el comercio de maíz entre México y Estados Unidos en el marco del NAFTA. *In*: Blanco, H., L. Togueiro de A. y K.P. Gallagher (editores): *Globalización y Medio Ambiente, Lecciones desde las Américas*. RIDES-GDAE. Santiago, Chile. pp. 49-92.
- Núñez-Hernández, G, R. Faz-Contreras, F. González-Castañeda, A. Peña-Ramos. 2005. Madurez de híbridos de maíz a la cosecha para mejorar la producción y calidad del forraje. *Téc. Pecu. Méx.* 43(1): 69-78.

- Pecina-Quintero, V., A. Díaz-Franco, H. Williams-Alanís, E. Rosales-Robles, I. Garza-Cano. 2005. Influencia de fechas de siembra y biofertilizantes en sorgo. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 28:389-392.
- Ritchie, S. W. and Hanway, J. J. 1982. How a corn plant develops. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service. Special report No. 48. Ames Iowa, EEUU. 21 p.
- SEDRU. Secretaría de Desarrollo Rural. 2008. Guía técnica del programa Cruzada Estatal del Maíz. Morelia, Michoacán, México. Sistema de Información Agropecuaria (SIAP). 2011. Sistema de Información Agropecuaria de Consulta. SAGARPA. México. Disponible en: http://www.siap.sagarpa.gob/mx/ar_comanuar.html (Revisado: 12 de septiembre de 2012).
- Smith, M.E. y Paliwal, R.L. 1996. Contributions of genetic resources and biotechnology to sustainable productivity increases in maize. In: K. Watanabe & E. Pehu, eds. *Plant biotechnology and plant genetic resources for sustainability and productivity*. Austin, TX, USA, R.G. Landes and Academic Press. (in press)
- Snyder, R. L. 1985. Hand calculating degree-days. *Agric. For. Meteorol.* 35: 353-358.
- Turrent-Fernández, A., R. Camas-Gómez, A. López-Luna, M. Cantú-Almaguer, J. Ramírez-Silva, J. Medina-Méndez, A. Palafox-Caballero. 2004. Producción de maíz bajo riesgo en el Sur-Sureste de México: II. Desempeño financiero y primera aproximación tecnológica. *Agricultura Técnica en México*. 30 (2): 205-221.
- Uribe-Valle, G., R. Dzib-Echeverría. 2006. Micorriza arbuscular (*Glomus intraradices*), *Azospirillum brasilense* y Brassinoesteroide en la producción de maíz en suelo luvisol. *Agricultura Técnica en México*. 32: 68-72.
- Villalpando, I. J. F., Ruíz, C. J. A. 1993. Observaciones agrometeorológicas y su uso en la agricultura. Primera Ed. México; Editorial Limusa.
- Volke, H. V. 1982. Optimización de insumos de la producción en la agricultura. Colegio de Postgraduados, Chapingo. Méx. 61 p.

CAPÍTULO IV. EFICIENCIA AGRONÓMICA, ANALISIS DE CRECIMIENTO, RENDIMIENTO Y RENTABILIDAD DEL MAÍZ VS-535 EN FUNCIÓN DEL BIOFERTILIZANTE Y NITRÓGENO, EN SIEMBRA DE TEMPORAL, CLIMA CALIDO

Cid Aguilar-Carpio, Dr.
Colegio de Postgraduados, 2014

RESUMEN

En la agricultura es imprescindible ser eficiente en el uso del agua (EUA) y nitrógeno (N), ya que estos son los insumos más importantes para la producción, deben estar bien provistos en cantidad y oportunidad en floración, que es cuando se determina el rendimiento. Por otra parte, prácticas como la inoculación de hongos y bacterias representan una alternativa que promueve el crecimiento y nutrición de la planta. La respuesta sobre el crecimiento y rendimiento del grano de maíz a la fertilización nitrogenada puede variar en función del nivel inicial de N en el suelo, biofertilizante y el ambiente de desarrollo. El objetivo del estudio fue determinar el efecto del Bio y N en el maíz VS-535 sobre: a) la ocurrencia de las fases fenológicas; b) análisis de crecimiento, rendimiento y sus componentes; c) eficiencia en el uso del agua y nitrógeno; y d) la rentabilidad en maíz en siembra de lluvia estacional. El 10 julio 2012 se sembró el maíz VS-535, los tratamientos consistieron en la inoculación de biofertilizante, con 0, 80 y 160 kg N ha⁻¹. Se contabilizó el número de hojas y el área foliar, con lo cual se calculó el índice (IAF) y duración de área foliar (DAFT). También se evaluó la materia seca (MS) y las tasas de crecimiento del cultivo (\overline{TCC}) y asimilación neta (\overline{TAN}). A la madurez fisiológica se evaluó la materia seca total (MS), índice de cosecha (IC), rendimiento de grano (RG) y sus componentes. Se calculó la eficiencia en el uso del agua y nitrógeno. Además, se realizó un análisis económico. Con las condiciones ambientales en que se desarrolló el cultivo, se observó que el cultivo con 160 kg N ha⁻¹ presentó la más alta respuesta en el IAF y DAFT. En cuanto a la MS, \overline{TCC} y \overline{TAN} más alta se presentó en Bio con 80 y 160 kg N ha⁻¹, durante el ciclo del cultivo. Para RG la mayor respuesta se encontró con Bio y 160 kg N ha⁻¹. La aplicación de biofertilizante con 80 y 160 kg N ha⁻¹ incrementó la eficiencia en el uso del agua, eficiencia agronómica de nitrógeno, producción de materia seca y rendimiento de grano. El mayor ingreso neto se logra con Bio y 160 kg N ha⁻¹.

Palabras clave: Grano, biofertilizante, nitrógeno.

ABSTRACT

In agriculture it is essential to be efficient in water use (EWU) and nitrogen (N), because these are the most important inputs for production, must be well provide in quantity and opportunity in anthesis, it is when the yield is determinate. Furthermore, practices such as fungi and bacteria inoculation represent an alternative that promotes growth and plant nutrition. The response on growth and grain yield of corn to nitrogen fertilization can vary depending on the initial level of N in the soil, biofertilizer and the development environment. The objective of the study was to determine the effect of Bio and N in maize VS-535 about: a) the occurrence of phenological phases; b) analysis of growth, yield and its components; c) efficient use of water and nitrogen; d) profitability in corn planting under rainfall condition. The 10 of July 2012 the VS-535 maize was sown, treatments consisted of inoculation of biofertilizer with 0, 80 and 160 kg N ha⁻¹. The number of leaves and leaf area were counted, whereby the index (LAI) and leaf area duration (LAD) was calculated. Dry matter (DM), crop growth rate (CGR) and net assimilation rate (NAR) was also evaluated. At physiological maturity the total dry matter (DM), harvest index (HI), grain yield (GY) and its components were evaluated. The efficiency of the water and nitrogen was calculated. In addition, an economic analysis was performed. It was observed that the crop with 160 kg N ha⁻¹ had the highest response in the LAI and LAD. As for MS, TAN and TCC the highest were observed in Bio with 80 and 160 kg N ha⁻¹, during the crop cycle. The greatest response to RG was found with Bio and 160 kg N ha⁻¹. The application of biofertilizer with 80 and 160 kg N ha⁻¹ increase the efficiency of water, nitrogen agronomic efficiency, dry matter production and grain yield. The higher net income was achieved with biofertilizer and 160 kg N ha⁻¹.

Key words: Grain, biofertilizer, nitrogen.

INTRODUCCIÓN

El maíz es uno de los cultivos más importantes a nivel mundial, que constituye la base de la alimentación de los mexicanos, siendo la principal fuente tanto de energía como de proteínas de la población (Domínguez *et al.*, 2014). Los principales estados productores de maíz en México son; Sinaloa, Jalisco, Michoacán, Edo. de Méx, Chiapas y Guerrero, que ocupa el sexto lugar, con producción de 1,304,132 t, con rendimiento promedio de 2.84 t ha⁻¹ (SIAP, 2012). Sin embargo, a pesar de ser de los principales productores, sus rendimientos promedios son bajos,

debido al uso de genotipos criollos, aunado a superficies con menor potencial productivo. Por lo que, el uso de semilla mejorada como las variedades sintéticas son elementos claves que conviene sembrar para explotar al máximo las áreas agrícolas (Espinosa *et al.*, 2003). En la agricultura es imprescindible ser eficiente en el uso del agua (EUA) y nitrógeno (N), ya que estos son los insumos más importantes para la producción, deben estar bien provistos en cantidad y oportunidad para asegurar un estado fisiológico óptimo al momento de la floración, que es cuando se determina el rendimiento (Andrade *et al.*, 2002).

Por otro lado, la disponibilidad de nitrógeno en el suelo influye en las tasas de crecimiento del maíz y son herramientas que permiten analizar el comportamiento de distintos cultivares, niveles de fertilización y condiciones ambientales (D'Andrea *et al.*, 2008). La incorporación de N en el suelo es muy importante, debido a que la mayoría de los suelos agrícolas presentan niveles bajos de este nutriente (por ejemplo 5.54 ppm, para Iguala, Gro.) Se ha demostrado que la aplicación fraccionada de nitrógeno, induce una recuperación del nutriente por la planta y permite obtener rendimientos más altos (Villafaña, *et al.*, 2014). Al respecto, Barraco y Díaz-Zorita (2005), observo la más alta fertilización con la aplicación de 150 kg N ha⁻¹, con respecto a 0, 35 y 37 kg N ha⁻¹. En investigaciones realizadas en el cultivo de maíz con la aplicación de N, se ha demostrado incrementó en el crecimiento, rendimiento de grano, así como en la eficiencia agronómica de los insumos como el N y el agua (Hernández *et al.*, 2003; Echeverría y Sainz, 2001; Cruz-Flores *et al.*, 2002; Yu-Kui *et al.*, 2009; Barbieri *et al.*, 2003; Álvarez *et al.*, 2003; Mamani-Pati *et al.*, 2010; Domínguez *et al.*, 2001).

Por otra parte, prácticas como la inoculación de hongos y bacterias (biofertilizante) representan una alternativa que promueve el crecimiento, nutrición y sanidad de la planta (Smith y Read, 2008; Barea *et al.*, 2002). Las ventajas que tiene el HMA en el contexto de sostenibilidad agrícola, se deben al bajo costo del insumo, y a que no impacta la contaminación de suelo y agua como lo hace la fertilización inorgánica (Aguirre, 2006; Olalde y Serratos, 2008). Múltiples trabajos han mostrado como los microorganismos influyen en el desarrollo y crecimiento de varios cultivos, así como también en el rendimiento de grano (Sánchez, 2002; Díaz *et al.*, 2008; Aguirre, 2006; Irizar *et al.*, 2003). Al respecto Díaz *et al.* (2008), al inocular semilla de maíz con *G. intraradices* resultó igual que el testigo (60N-20P-0K) en el rendimiento de grano. En maíz esta misma cepa del HMA ha promovido significativamente mayor producción de forraje fresco y de grano, comparado con el testigo sin fertilizante químico (Aguirre, 2006; Díaz *et al.*, 2005;

Loredo *et al.*, 2007). La respuesta sobre el crecimiento y rendimiento del grano de maíz a la fertilización nitrogenada puede variar en función del nivel inicial de N en el suelo, biofertilizante y el ambiente de desarrollo (López *et al.*, 2007). Por lo que, el objetivo del presente estudio fue determinar el efecto del N en VS-535 sobre: a) la ocurrencia de las fases fenológicas; b) análisis de crecimiento, rendimiento y sus componentes; c) eficiencia en el uso del agua y nitrógeno; y d) la rentabilidad en maíz en siembra de lluvia estacional.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se estableció bajo condiciones de temporal en Iguala, Gro., de clima cálido subhúmedo con lluvias en verano con precipitación anual de 1100 mm y altitud de 635 m (Aw₀, García, 2005). El 10 de julio de 2012 bajo condiciones de temporal se sembró la variedad sintética VS-535, los tratamientos consistieron en la inoculación a la semilla de biofertilizante (*Azospirillum* sp. y *Glomus* sp.), con la aplicación de 0, 80 y 160 kg N ha⁻¹, el cual se aplicó de forma fraccionada, la mitad de N al momento de la siembra y el resto a los 30 dds. La densidad de población fue de 6.25 pl m⁻² y en distancia entre surcos de 80 cm. El diseño experimental fue bloques completamente al azar con arreglo de parcelas subdivididas y cuatro repeticiones. La unidad experimental fue de cuatro surcos de 0.8 m de ancho x 4 m de longitud. Para conocer las características iniciales del suelo en los primeros 30 cm de profundidad, se realizó un análisis físico y químico en el Laboratorio de Nutrición Vegetal S. C., Fertilab. Los resultados indican que es un suelo de textura arcillosa, densidad aparente de 1.07 g cm⁻³, pH 7.8, conductividad eléctrica 0.83 dS m⁻¹, materia orgánica de 1.57 % y nitrógeno inorgánico 5.54 ppm. Durante el desarrollo del estudio se registró la temperatura máxima (T_{máx}) y mínima (T_{mín}) decenal y precipitación (PP, mm), datos proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional (CONAGUA). También se registró la ocurrencia de las fases fenológicas como: días a emergencia (E), floración (FL) y a madurez fisiológica (MF). El criterio utilizado para estas variables fue presentado en Ritchie y Hanway (1982). También, para cada fase fenológica se determinó la acumulación de unidades calor para el cultivo (UC, °C d), mediante el método residual, el cual es descrito por la siguiente ecuación como se indica en Snyder (1985):

$$UC = (T_{máx} + T_{mín} / 2) - TB$$

Dónde: T_{máx} y T_{mín} son diarias (°C) y TB = Temperatura base, considerada como 10 °C (Iñiguez-Covarrubias *et al.*, 2014). La evapotranspiración del cultivo (ET_c) se calculó a partir de

los datos de la evaporación (E_v) del tanque tipo “A”, utilizando 0.6 como coeficiente para el evaporímetro, k_c inicial = 0.35, k_c a mediados del periodo = 1.14 y k_c final = 0.6 (Doorenbos y Pruitt, 1986), a partir de la siguiente ecuación:

$$ET_c = E_v \times 0.6 \times K_c$$

Para evaluar el crecimiento del cultivo, se hicieron muestreos destructivos de dos plantas en la parcela útil de cada unidad experimental a los 31, 65 y 105 dds, en cada uno de los muestreos se contabilizó el número de hojas por m^2 (NH) y el área foliar se midió con un integrador electrónico (LI-COR 3100). Se calculó el índice de área foliar (IAF) y duración del área foliar total (DAFT), en base a la siguientes ecuaciones: $IAF = (AF/NP) \times DP/100 \text{ dm}^2$, donde AF = área foliar (dm^2), NP = número de plantas muestreadas y DP = número de plantas m^{-2} . $DAF = \Sigma (IAF_1 + IAF_2) (T_2 - T_1)/2$, donde: Σ = sumatoria de la duración del área foliar para cada periodo estudiado, IAF_1 = índice de área foliar en un tiempo inicial (T_1 , en días), IAF_2 = índice de área foliar en un tiempo final (T_2 , en días) (Escalante y Kohashi, 1993). También se evaluó la materia seca (MS, g m^{-2}); para lo cual las muestras se secaron a 80°C en una estufa de circulación de aire forzado hasta peso constante. Con estos datos se calcularon las tasas medias de: crecimiento del cultivo (\overline{TCC}) y asimilación neta (\overline{TAN}), mediante las ecuaciones: $\overline{TCC} = [(PS_2 - PS_1) / A(T_2 - T_1)]$ donde: PS_2 y PS_1 indican el peso de la materia seca de la planta en los tiempo T_2 y T_1 , respectivamente y A representa el área ocupada por la planta. $\overline{TAN} = [(PS_2 - PS_1) / (IAF_2 - IAF_1)] / [(\ln IAF_2 - \ln IAF_1) / (T_2 - T_1)]$, donde: PS_2 y PS_1 expresan el peso de MS de la planta, $\ln IAF_2$ y $\ln IAF_1$, logaritmo natural del índice de área foliar en el tiempo T_2 y T_1 , respectivamente (Escalante y Kohashi, 1993). A la MF se evaluó la biomasa con base a materia seca total (MS total, g m^{-2}), índice de cosecha (IC, %), rendimiento de grano (RG, 10% de humedad, g m^{-2}), peso de 100 granos (P100G, g), número de granos (NG, m^2), número de hileras (NH) y número de granos por hilera (NGH). Se calculó la eficiencia en el uso del agua del RG (EUARG, $\text{g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$) y MS (EUAMS, $\text{g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$) con la ecuación, $EUA = RG \text{ o MS } (\text{g m}^{-2}) / ET_c$ (mm) ocurrida durante el ciclo del cultivo (Escalante, 1995) y la eficiencia agronómica del N (EAN, g g^{-1} de N aplicado), considerado como el incremento en el rendimiento por unidad de fertilizante aplicado, se calculó a través de la siguiente ecuación: $EAN = RGN - RGSN / NA$. Dónde: RGN = rendimiento de grano con nitrógeno (g m^{-2}), RGSN = rendimiento de grano sin nitrógeno (g m^{-2}) y NA = cantidad de nitrógeno aplicado (g m^{-2}) (Fageria y Baligar, 2005).

A las variables en estudio, se les aplicó un análisis de varianza (ANDEVA), con el programa estadístico de SAS Versión 9.0 (SAS, 2003), la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$) y un análisis de regresión entre RG y sus componentes. Adicionalmente, se realizó un análisis económico para rendimiento, utilizando las siguientes ecuaciones: $IN = YPy - (\sum XiPi + CF)$, donde IN = Ingreso neto, Y = Rendimiento ($kg\ ha^{-1}$), Py = precio por kg, $\sum XiPi$ = suma de costos variables, CF = costos fijos (Volke, 1982). También se determinó la GPI con la relación: $GPI = (\sum XiPi + CF) / YPy$, donde: GPI = ganancia por peso invertido.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fenología, condiciones climáticas, unidades calor y evapotranspiración

En el Cuadro 1, se observa la media decenal de la T_{máx} y T_{mín} durante el desarrollo del cultivo que fluctuó entre 34 y 24 °C, respectivamente. Durante la etapa de siembra (S) a FL, la T_{máx} y T_{mín} promedio fue de 33 y 24 °C y de FL a MF fue de 34 y 24 °C, respectivamente. Dichos valores se encuentran dentro del umbral térmico en promedio de 30 a 34°C apropiado para cultivares de maíz (Castellarín *et al.*, 2010). La suma de la PP durante el ciclo del cultivo fue de 558 mm. Valor similar al señalado por Rivetti (2006) quien menciona que las necesidades de agua para el ciclo del maíz son de 575 mm aproximadamente. La mayor PP (417 mm) ocurrió en la etapa de S a FL, en los meses de julio, agosto y septiembre. Sin embargo, de FL a MF la PP fue más baja (157 mm). Esto no limitó la expresión del RG (Faraldo *et al.*, 2011).

El genotipo en estudio, presentó la E a los 5 dds con un requerimiento de calor de 60°C d, la floración ocurrió a los 65 dds con 1952°C d y la MF fue a los 105 dds (3096°C d) (Cuadro 1). En contraste, Díaz *et al.* (2013) reportaron un requerimiento térmico de 1158 UC para el ciclo del cultivo de maíz en clima templado, valor inferior al encontrado en el presente estudio, debido a que en climas tropicales las temperaturas son superiores. En cuanto a la ET_c, del periodo de S a E fue de 18 mm, de E a FL fue de 231 y de FL a MF fue de 178 mm. La ET_c total fue de 409 mm.

Cuadro 1. Medias decenales de la temperatura máxima (Tmáx), mínima (Tmín), suma decenal de la precipitación (PP), evapotranspiración (ETc) y unidades calor (UC), durante el ciclo del cultivo del maíz VS-535. S = Siembra, E = Emergencia, FL = Floración, MF = Madurez fisiológica.

Meses	10 días	Tmáx (°C)	Tmín(°C)	PP (mm)	UC (°C)	ETc (mm)	Fenología
Julio	1	34	26	29	262	19	
Julio	2	33	25	60	512	37	S-E
Julio	3	33	25	84	794	55	
Agosto	4	33	25	46	1050	72	
Agosto	5	32	24	43	1298	121	
Agosto	6	32	24	168	1570	177	
Septiembre	7	33	25	16	1827	224	
Septiembre	8	33	25	37	2078	268	FL
Septiembre	9	33	25	24	2332	305	
Octubre	10	32	24	55	2575	345	
Octubre	11	34	26	1	2836	388	
Octubre	12	34	26	24	3096	409	MF

Número de hojas, índice de área foliar y duración del área foliar

El ANDEVA presentado en el Cuadro 1, para el IAF y DAFT mostró cambios significativos debido al biofertilizante (Bio), nitrógeno (N) y la interacción biofertilizante x nitrógeno (Bio x N). También, se observaron diferencias significativas en el NH a los 31 dds, en Bio (Cuadro 2).

Cuadro 2. Análisis de varianza para número de hojas (NH), índice de área foliar (IAF) y duración de área foliar total (DAFT) en función del biofertilizante (Bio) y nitrógeno (N). Iguala, Gro.2012.

Factor	NH (m ²)			IAF			DAFT	
	31	75	105	31	75	105		
	Días después de la siembra							Días
Bio	**	NS	NS	**	*	*	*	
N	NS	NS	NS	**	**	**	**	
Bio x N	NS	NS	NS	**	*	**	*	

*, ** = P ≤ 0.05, 0.01, respectivamente; NS = No significativo a P ≥ 0.05.

Biofertilizante

En general, durante el ciclo del cultivo de maíz el Bio fue inferior a la nula aplicación de Bio en el IAF y DAFT (Cuadro 3). Así mismo, la aparición del NH por m² e IAF fue más alto desde los 75 dds, que es cuando se alcanza el máximo desarrollo del cultivo. Esto repercutió en la DAFT, la más alta se presentó sin Bio, debido a que presentó la mayor producción y longevidad de las hojas. Esto indica que el uso de Bio puede promover el crecimiento de la planta de maíz (Loredo *et al.* 2004).

Nitrógeno

En el Cuadro 3, se observa que el N ocasionó cambios significativos en el IAF y DAFT. En el NH no se observó respuesta en la aparición durante el ciclo del cultivo. Sin embargo, los valores más altos en el IAF durante el crecimiento del cultivo fueron con la aplicación de 160 kg N ha⁻¹, similar a lo reportado por Quiroz y Marín (2000) en clima semiárido, con 120 kg N ha⁻¹, el cual obtuvo un IAF de 4.8 a los 80 dds. En cuanto a la DAFT, la mayor se encontró con la aplicación de 160 kg N ha⁻¹, lo que indica que cuando se aplica N se incrementa la eficiencia de la planta para producir fotosintatos (Naresh y Singh, 2001; Boomsma *et al.*, 2009).

Cuadro 3. Número de hojas (NH), índice de área foliar (IAF) y duración del área foliar total (DAFT) en maíz VS-535 en función del biofertilizante (Bio) y nitrógeno (N). Iguala, Gro. 2012.

Factor	NH (m ²)			IAF			DAFT	
	31	75	105	31	75	105		
		Días después de la siembra						Días
Bio	Sin	56b	92a	87a	1.6b	4.5a	3.0a	270a
	Con	63a	93a	84a	1.7a	3.9b	2.6b	248b
Tukey $\alpha = 0.05$ (DMS)		3	10	17	0.06	0.3	0.3	20
N (kg ha ⁻¹)	0	55a	93a	89a	1.4c	3.9b	2.2c	228c
	80	60a	95a	89a	1.7b	4.1b	2.8b	257b
	160	63a	90a	88a	1.9a	4.6a	3.4a	293a
Tukey $\alpha = 0.05$ (DMS)		12	8	8	0.06	0.4	0.3	21
Media general		72	72	43	1.7	4.2	2.8	259
CV. (%)		3	3	6	3	7	9	6

En columnas letras similares indican que los valores son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha=0.05$).

Biofertilizante x Nitrógeno (Bio x N)

El ADEVA mostró cambios significativos para el IAF y DAFT debido a la interacción Bio x N (Cuadro 4). En general, se observó que el cultivo sin Bio y 160 kg N ha⁻¹ presentó la más alta respuesta en el IAF y DAFT a los 75 dds, lo que indica que el suministro de N indujo un estímulo en el crecimiento vegetal (Roveda y Polo, 2007). En contraste, el maíz con Bio presentó mayor IAF y DAFT, particularmente con 160 kg N ha⁻¹. Lo observado sugiere que la inoculación con Bio eleva la respuesta al N. Al respecto, Loredó *et al.* (2004) mencionan que con la asociación de Azospirillum y nitrógeno, se incrementa la acumulación de minerales en hojas y tallos.

Cuadro 4. Número de hojas (NH), índice de área foliar (IAF) y duración del área foliar total (DAFT) del maíz en función del biofertilizante (Bio) y nitrógeno (N). Iguala, Gro. 2012.

Bio	N	NH (m ²)			IAF			DAFT
		31	75	105	31	75	105	
		Días después de la siembra						Días
		kg ha ⁻¹						
Sin	0	53a	87a	81a	1.4d	4.2b	2.4bc	253b
	80	56a	94a	90a	1.6c	4.4a	2.8b	258b
	160	59a	95a	91a	1.8b	4.8a	3.7a	299a
Con	0	54a	91a	78a	1.4d	3.3c	1.9c	203c
	80	67a	93a	87a	1.8b	4.0b	2.8b	255b
	160	67a	97a	87a	2.1a	4.4a	3.1b	286ab
Tukey $\alpha = 0.05$ (DMS)		15	10	10	0.2	0.4	0.9	33
Media general		72	72	43	1.7	4.2	2.8	259
CV. (%)		3	3	6	3	7	9	6

En columnas letras similares indican que los valores son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha=0.05$). *,** = $P \leq 0.05, 0.01$, respectivamente; NS = No significativo a $P \geq 0.05$.

Tasa de crecimiento del cultivo (TCC), asimilación neta (TAN) y materia seca total (MS)

El ANDEVA presentado en el Cuadro 5, para la MS mostró cambios significativos debido al biofertilizante (Bio), nitrógeno (N) y la interacción biofertilizante x nitrógeno (Bio x N). También, se observaron diferencias significativas en la TCC a los 31 y 105 dds, en la TAN a los 105 dds en Bio, N y la interacción Bio x N.

Cuadro 5. Análisis de varianza para la tasa de crecimiento del cultivo (TCC), tasa de asimilación neta (TAN) y materia seca total (MS). Iguala, Gro. 2012.

Factor	TCC (g m ⁻² d ⁻¹)			TAN (g m ⁻² d ⁻¹)			MS (g m ⁻²)		
	31	75	105	31	75	105	31	75	105
Días después de la siembra									
Bio	**	NS	**	**	NS	**	**	**	**
N	**	*	**	NS	NS	**	**	**	**
Bio x N	*	*	**	**	NS	**	*	**	**

*, ** = P ≤ 0.05, 0.01, respectivamente; NS = No significativo a P ≥ 0.05; Bio = Biofertilizante, N = Nitrógeno.

Biofertilizante

En el Cuadro 6 se observa que la \overline{TCC} más alta se presentó con la inoculación del Bio durante el ciclo de cultivo, el cual indica que el Bio logró incrementar la eficiencia de la planta en la producción de materia (Woo *et al.*, 2004). Con respecto a la \overline{TAN} el más alta fue con Bio a los 31 dds y decreció durante el ciclo del cultivo hasta los 75 dds, después hubo un aumento hasta los 105 dds, el cual corresponde a la etapa de llenado de grano. El aumento de la \overline{TAN} por efecto del nitrógeno, ha sido relacionado con la máxima acumulación de materia seca de hojas, tallos y mazorca (Naresh y Singh, 2001). La más alta producción de MS durante el desarrollo de cultivo se presentó con la inoculación del Bio, lo que indica una mayor eficiencia en la producción de MS del dosel por efecto del Bio. Esto demuestra que el Bio repercute en el peso seco del dosel vegetal. Al respecto, García *et al.* (2007) observaron incrementos en la MS desde los 26 dds con Bio, similar a lo reportado en el presente estudio.

Nitrógeno

En el Cuadro 6, se observaron diferencias significativas en la TCC, TAN y MS en función del N. La \overline{TCC} más alta se presentó con aplicación de 160 kg N ha⁻¹ desde los 20 hasta los 105 dds. Lo que indica que la maquinaria fotosintética es más eficiente en la producción de materia seca durante el desarrollo del cultivo por efecto del nitrógeno (Naresh y Singh, 2001; Woo *et al.*, 2004). En cuanto a la \overline{TAN} , en general la más alta fue a los 31 dds y decreció durante el ciclo del cultivo hasta los 105 dds. Lo anterior indica, que en etapa vegetativa es cuando se presenta el

mayor incremento en la elaboración de fotosintatos, para la producción de materia seca (Díaz *et al.*, 2013). En cuanto a la producción de MS, la más alta durante el ciclo del cultivo se presentó con 160 kg N ha⁻¹, lo que indica una mayor eficiencia en la producción de MS del dosel por efecto del N (Woo *et al.*, 2004).

Cuadro 6. Tasa de crecimiento del cultivo (\overline{TCC}), asimilación neta (TAN) y materia seca total (MS) en el maíz VS-535 en función del biofertilizante (Bio) y nitrógeno (N). Iguala, Gro. 2012.

Factor		\overline{TCC} (g m ⁻² d ⁻¹)			TAN (g m ⁻² d ⁻¹)			MS (g m ⁻²)		
		31	75	105	31	75	105	31	75	105
Días después de la siembra										
Bio	Sin	8b	9a	8b	28b	3.5a	2.2b	222b	653b	903b
	Con	11a	9a	18 ^a	37a	3.6a	5.4a	309a	734a	1,278a
Tukey $\alpha = 0.05$		1.8	1.9	0.7	7.1	0.5	0.6	50	52	56
N (kg ha ⁻¹)	0	8c	9b	10b	32a	3.5a	3.5b	226c	630c	934c
	80	9b	9b	14a	32a	3.5a	4.3a	262b	676b	1,126b
	160	11a	10a	15a	34a	3.8a	3.6b	308a	774a	1,212a
Tukey $\alpha = 0.05$ (DMS)		0.8	1.0	1.2	3	0.7	0.5	21	34	45
Media general		10	9	13	33	3.6	3.8	265	693	1091
CV. (%)		6	8	7	7	14	10	6	4	3

En columnas letras similares indican que los valores son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha=0.05$).

Biofertilizante x nitrógeno (Bio x N)

En el Cuadro 7, se observaron diferencias significativas en la \overline{TCC} , \overline{TAN} y MS en la interacción Bio x N. La \overline{TCC} más alta se presentó con la aplicación de Bio con 80 y 160 kg N ha⁻¹ desde los 20 hasta los 105 dds. Lo que indica que la maquinaria fotosintética es más eficiente en la producción de materia seca durante el desarrollo de cultivo por efecto del biofertilizante en asociación con nitrógeno (Naresh y Singh, 2001). En cuanto a la \overline{TAN} más alta fue a los 20 dds y decreció durante el ciclo de cultivo hasta los 105 dds. La aplicación de Bio con 80 y 160 kg N ha⁻¹, se presentó la \overline{TAN} más alta durante el ciclo de cultivo. El aumento de la \overline{TAN} por efecto del Bio y nitrógeno, ha sido relacionado con la eficiencia del dosel vegetal para producir materia seca

(Naresh y Singh, 2001). Con respecto a la mayor producción de MS, esta se presentó en la inoculación del Bio con 80 y 160 kg N ha⁻¹. Esto demuestra que el Bio favorece la absorción de nitrógeno el cual repercute en el peso seco del dosel vegetal. Al respecto, García *et al.* (2007) observaron incrementos en la MS desde los 26 dds con Bio, similar a lo reportado en el presente estudio.

Cuadro 7 Tasa de crecimiento del cultivo (\overline{TCC}), asimilación neta (TAN) y materia seca total (MS) en el maíz VS-535 en función del biofertilizante (Bio) y nitrógeno (N). Iguala, Gro. 2012.

Bio	N	TCC (g m ⁻² d ⁻¹)			TAN (g m ⁻² d ⁻¹)			MS (g m ⁻²)		
		31	75	105	31	75	105	31	75	105
	kg ha ⁻¹	Días después de la siembra								
Sin	0	6c	9ab	8c	25c	4.0a	2.5c	181c	618c	885c
	80	7c	9ab	7c	26c	3.5a	2.2c	206c	613c	840c
	160	10b	10ab	8c	33b	3.2a	2.0c	278b	729b	985b
Con	0	10b	8b	11b	35b	3.7a	4.5b	270b	643c	983b
	80	12a	9ab	22a	38ab	3.5a	6.5a	317a	740b	1,412a
	160	12a	10a	20a	39a	3.7a	5.2b	339a	819a	1,440a
Tukey $\alpha = 0.05$ (DMS)		1.4	1.3	2.3	3	0.9	1.1	51	69	445
Media general		10	9	13	33	3.6	3.8	265	693	1091
CV. (%)		6	8	7	7	14	10	6	4	3

En columnas letras similares indican que los valores son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha=0.05$). *,** = $P \leq 0.05, 0.01$, respectivamente; NS = No significativo a $P \geq 0.05$.

Materia seca (MS), índice de cosecha (IC), rendimiento (RG) y sus componentes

El ANDEVA presentado en el Cuadro 8, para MS, IC, RG y sus componentes mostró cambios significativos debido al biofertilizante (Bio) y nitrógeno (N). En cuanto a la interacción biofertilizante x nitrógeno (Bio x N) no se observaron diferencias en el P100G y NGH.

Cuadro 8. Análisis de varianza para materia seca total (MS), índice de cosecha (IC), rendimiento de grano (RG) y sus componentes. Iguala, Gro. 2012.

Factor	MS	IC	RG	P100G	NH	NGH	NG
	g m ⁻²	%	g m ⁻²	g			m ⁻²
Bio	**	**	**	**	**	**	**
N	**	**	**	*	**	*	**
Bio x N	**	**	**	NS	*	NS	*

*,** = P≤0.05, 0.01, respectivamente; NS = No significativo a P≥0.05; P100G = Peso de 100 granos, NH = Número de hileras, NGH = Número de granos hilera⁻¹, NG = Número de granos. N = Nitrógeno, Bio = Biofertilizante.

Biofertilizante

En el Cuadro 9, se observa que las diferencias en la producción de MS fueron significativas en el factor Bio. El uso de Bio incrementó la MS en 41%, con respecto a sin aplicación. En el RG y sus componentes (P100G, NH, NGH y NG), la mayor respuesta se observó con el uso de Bio. Por lo tanto, la inoculación con Bio incrementó la producción de MS, RG y sus componentes (Bressan *et al.*, 2001). Debido probablemente a una mayor actividad biológica en el suelo (Díaz *et al.*, 2014), lo que favorece una mayor captación de agua y nutrimentos (Grageda y González, 2010), que repercutió en el crecimiento y rendimiento del maíz. En relación al IC no se observó un aumento en la acumulación de materia seca hacia el grano con relación al total de la planta con el uso de Bio. Al respecto Díaz *et al.* (2008), inocularon semilla de maíz con micorrizas (biofertilizante) y encontraron respuesta positiva en el rendimiento de grano, similar al presente estudio.

Nitrógeno

En el Cuadro 9 se observa que el N ocasionó incrementos significativos en la MS, IC, RG y sus componentes. La aplicación de 160 kg N ha⁻¹ incrementó en 30% (278 g m⁻²) la MS y en el IC en 16%, en tanto con 80 kg N ha⁻¹ el incremento fue de 20% (192 g m⁻²) y 6%, con respecto al testigo sin fertilizar (Cuadro 2), lo que indica que con 160 kg N ha⁻¹ se promovió la mayor acumulación de MS hacia el grano respecto al resto de las estructuras de la planta, generado esto por un mayor tamaño de la demanda. Con respecto al RG con 160 kg N ha⁻¹ se logró aumentar en

promedio 194 g m⁻², esto fue atribuible al NG que se incrementaron en 306 granos por m², con respecto al testigo (0 kg N ha⁻¹). Esto se relaciona con la disponibilidad de N inicial en el suelo, así como durante el llenado de grano (D'Andrea *et al.*, 2008). Otros estudios reportan incrementos en el RG de maíz con 160 kg N ha⁻¹ (Arrieché y Ruiz, 2010; Martínez- Rueda *et al.*, 2010). Estos resultados indican que el suministro de N al suelo, es necesario para incrementar la producción de MS, IC, RG y sus componentes.

Cuadro 9. Materia seca (MS), índice de cosecha (IC), rendimiento de grano (RG) y sus componentes del maíz VS-535 en función del biofertilizante (Bio) y nitrógeno (N). Iguala, Gro. 2012.

Factor		MS (g m ⁻²)	IC (%)	RG (g m ⁻²)	P100G (g)	NH	NGH	NG (m ²)
Bio	Sin	903b	50a	454b	34b	19b	10b	1,307b
	Con	1,278a	42b	547a	37a	21a	12a	1,581a
Tukey $\alpha = 0.05$		56	2	39	0.9	0.5	0.5	52
N (kg ha ⁻¹)	0	934c	43c	401c	34b	19b	10b	1,303b
	80	1,126b	46b	505b	36a	20a	11a	1,420ab
	160	1,212a	50a	595a	36a	21a	11a	1,609a
Tukey $\alpha = 0.05$		45	2.8	26	2.1	1.3	0.8	200
Media general		1091	46	500	35	20	11	1,444
CV. (%)		3	4	4	4	5	6	10

En columnas para cada factor principal letras similares indican que los valores son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha=0.05$).

Biofertilizante x Nitrógeno (Bio x N)

En el Cuadro 10 se observa que la respuesta al N en MS y RG fue en función del biofertilizante. Así, la máxima producción de MS se logró con 80 y 160 kg N ha⁻¹; con la aplicación de Bio. Esto indica una mayor eficiencia en el uso del N por el Bio. Para RG la mayor respuesta al N se encontró con la aplicación de 160 kg N ha⁻¹, más el Bio, lo cual se relaciona con el mayor NG. Esto demuestra la eficiencia en el uso del nitrógeno, por efecto del biofertilizante. Respuestas positivas en el cultivo de maíz también han sido reportadas por Díaz *et al.* (2008).

Cuadro 10. Materia seca (MS), índice de cosecha (IC), rendimiento de grano (RG) y sus componentes del maíz VS-535 en función del biofertilizante (Bio) y nitrógeno (N). Iguala, Gro. 2012.

Bio	N	MS (g m ⁻²)	IC (%)	RG (g m ⁻²)	P100G (g)	NH	NGH	NG (m ²)
	0	885c	43b	386c	33a	18b	10a	1,182b
Sin	80	840c	53a	443c	35a	20ab	10a	1,342b
	160	985b	54a	533b	35a	20ab	11a	1,397b
Con	0	983b	42b	417c	35a	19b	11a	1,425b
	80	1,412a	40b	567b	38a	20ab	11a	1,498ab
	160	1,440a	46b	657a	37a	22a	12a	1,820a
Tukey $\alpha = 0.05$		445	7	80	6	2	2	385
Media general		1091	46	500	35	20	11	1,444
CV. (%)		3	4	4	4	5	6	10

En columnas para cada factor principal letras similares indican que los valores son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha=0.05$).

Eficiencia en el uso del agua (EUA)

En cuanto a la eficiencia en el uso del agua para la producción de MS (EUAMS) y RG (EUARG) en el Cuadro 11, se observa que con la aplicación de biofertilizante, se incrementó la eficiencia del agua. También se observa que el factor N ocasionó incrementos significativos en el EUAMS y EUARG que fueron más alto con 160 kg N ha⁻¹, respecto al testigo sin aplicar (0 kg N ha⁻¹). Respuestas semejantes fueron reportadas por López *et al.* (2001). La EUAMS y EUARG también mostró diferencias significativas debido a la interacción G x N. La EUAMS más alta se encontró en Bio con 80 y 160 kg N ha⁻¹. Esto indica que la EUA más alta es consecuencia de un mayor tamaño de dosel y cobertura del suelo (Caviglia y Sadras, 2001), debido al N aplicado. En cuanto a la EUARG, la más alta se observó con Bio y 160 kg N ha⁻¹. Esto indica que el Bio asociado a una fertilización nitrogenada, incrementan la eficiencia en el uso del agua (Howell, 2001).

Cuadro 11. Eficiencia en el uso del agua (EUA) en el maíz VS-535 en función del biofertilizante y nitrógeno. Iguala, Gro. 2012.

Biofertilizante	Nitrógeno (kg N ha ⁻¹)	EUAMS (g m ⁻² mm ⁻¹)	EUARG (g m ⁻² mm ⁻¹)
Sin		2.2b	1.1b
Con		3.1a	1.3a
	Tukey $\alpha = 0.05$	0.1	0.09
	0	2.2c	0.9c
	80	2.7b	1.2b
	160	2.9a	1.4a
	Tukey $\alpha = 0.05$	0.1	0.06
	0	2.1c	0.9c
Sin	80	2.1c	1.0c
	160	2.4b	1.3b
	0	2.4b	1.0c
Con	80	3.4a	1.3b
	160	3.5a	1.6a
	Tukey $\alpha = 0.05$	0.1	0.07
	Media general	2.6	1.2
	CV. (%)	3.1	3.9

En columnas para cada factor principal letras similares indican que los valores son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha=0.05$).

Eficiencia agronómica del nitrógeno (EAN)

Para la EAN en el Cuadro 12, se observaron diferencias significativas con respecto al factor biofertilizante. La mayor eficiencia en el uso del N, se presentó con la aplicación del Bio. Esto indica el potencial del genotipo en la asimilación del N (Hernández *et al.*, 2003), por efecto del biofertilizante. Por otra parte, en el factor N también se observaron incrementos significativos en la EAN. Con 80 y 160 kg N ha⁻¹ se logra la más alta EAN, lo que indica que con N se promovió una mayor EAN. Dicha respuesta se relaciona con lo mencionado en Álvarez *et al.* (2003), el cual observo alta eficiencia con bajo contenido de nitrógeno.

En cuanto a la interacción Bio x N, en el Cuadro 12 se observa que la EAN más alta correspondió a Bio con 80 y 160 kg N ha⁻¹. La EAN más baja correspondió a la nula aplicación de nitrógeno, independiente del Bio. Esto indica que el Bio en asociación con N incrementa la eficiencia de los insumos en el crecimiento de la planta. Una EAN superior a la encontrada en el presente estudio

fue reportada por Barbieri *et al.* (2003). Dicha diferencia puede deberse al diferente genotipo y prácticas de manejo utilizadas.

Cuadro 12. Eficiencia agronómica de nitrógeno (EAN) en el maíz VS-535 en función del biofertilizante y nitrógeno. Iguala, Gro. 2012.

Biofertilizante	Nitrógeno (kg N ha ⁻¹)	EAN (g g ⁻¹)
Sin		5b
Con		11a
	Tukey $\alpha = 0.05$	2.8
	0	0b
	80	13a
	160	12a
	Tukey $\alpha = 0.05$	2.6
	0	0c
Sin	80	7b
	160	9b
	0	0c
Con	80	18a
	160	15a
	Tukey $\alpha = 0.05$	2.7
	Media general	8.3
	CV. (%)	23

En columnas para cada factor letras similares indican que son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha=0.05$).

Análisis económico

En cuanto al análisis económico para el RG presentado en el Cuadro 13 se observa que con Bio y 160 kg N ha⁻¹ generó el mayor ingreso neto (IN), al igual que el costo total (CT) y la ganancia por peso invertido (GPI). Así, por cada peso invertido, se recuperó \$ 1.73. Para agricultores de capital limitado, que recurran a utilizar el maíz VS-535 se recomienda el uso de Bio, debido a que genera el mayor IN sin aplicación de N (\$9,904.40). Estos resultados concuerdan con los mencionado por Díaz *et al.* (2005), Uribe y Dzib (2006), García *et al.* (2007), López *et al.* (2008), Díaz *et al.* (2008), Armenta *et al.* (2010), que el uso del biofertilizante asociados con nitrógeno, incrementa la rentabilidad del cultivo.

Cuadro 13. Rendimiento de grano (RG), ingresos totales (IT), costos fijos (CF), costos variables (CV) y costos totales (CT), ingresos netos (IN) y ganancia por peso invertido (GPI) en el maíz VS-535 en función del biofertilizante (Bio) y nitrógeno (N). Iguala, Gro. 2012.

Bio	N	RG	IT	CF	CV	CT	IN	GPI
	(kg ha⁻¹)	(kg ha⁻¹)	\$	\$	\$	\$	\$	\$
Sin	0	3860c	15440.00	5033.60	1150.00	6183.60	9256.40	1.50
	80	4430c	17720.00	5033.60	2673.00	7706.60	10013.40	1.30
	160	5330b	21320.00	5033.60	4096.00	9129.60	12190.40	1.34
Con	0	4170c	16680.00	5033.60	1742.00	6775.60	9904.40	1.46
	80	5670b	22680.00	5033.60	3265.00	8298.60	14381.40	1.70
	160	6570a	26280.00	5033.60	4688.00	9721.60	16558.40	1.73

IT = RG * precio por kg de maíz (\$ 4.00). CF = incluye costo de preparación del terreno, siembra, riego, manejo de maleza y plagas. CV = incluye el costo de la fertilización y cosecha de maíz. CT = CF + CV. IN = IT – CT. GPI = IN / CT.

En síntesis, para las condiciones ambientales en que se desarrolló el cultivo, se observó que el cultivo con 160 kg N ha⁻¹ presentó la más alta respuesta en el IAF y DAFT a los 75 dds. En cuanto a la MS, \overline{TCC} y \overline{TAN} más alta se presentó con la aplicación de Bio con 80 y 160 kg N ha⁻¹, durante el ciclo del cultivo. Estos resultados indican que con el uso de biofertilizante en asociación con N se logra incrementar la velocidad y eficiencia del dosel vegetal para producir materia seca, sin embargo, no afecta el área foliar. Para RG la mayor respuesta al N se encontró con la aplicación de 160 kg N ha⁻¹, más el Bio, lo cual se relaciona con el mayor NG. En cuanto a la EAN, EUAMS y EUARG también mostraron diferencias significativas siendo las más alta en Bio con 80 y 160 kg N ha⁻¹. Por lo que, la aplicación de biofertilizante incremento la eficiencia de los insumos nitrógeno y agua para producir materia seca. En cuanto al análisis económico para el RG se observa que con Bio y 160 kg N ha⁻¹ generó el mayor ingreso neto (IN), al igual que el costo total (CT) y la ganancia por peso invertido (GPI). Así, por cada peso invertido, se recuperó \$ 1.73. Para agricultores de capital limitado, que recurran a utilizar el maíz VS-535 se recomienda el uso de Bio, debido a que genera el mayor IN sin aplicación de N (\$9,904.40).

CONCLUSIONES

Con las condiciones ambientales en que se desarrolló el cultivo, se observó que el cultivo con 160 kg N ha⁻¹ presentó la más alta respuesta en el IAF y DAFT a los 75 dds. En cuanto a la MS,

\overline{TCC} y \overline{TAN} más alta se presentó con la aplicación de Bio con 80 y 160 kg N ha⁻¹, durante el ciclo del cultivo. Para RG la mayor respuesta al N se encontró con la aplicación de 160 kg N ha⁻¹, más el Bio. La aplicación de biofertilizante con 80 y 160 kg N ha⁻¹ incrementó la eficiencia en el uso del agua, eficiencia agronómica de nitrógeno, producción de materia seca y rendimiento de grano. El mayor ingreso neto se logra con biofertilizante y 160 kg N ha⁻¹.

AGRADECIMIENTOS

Al pueblo de México que mediante CONACYT se otorgó el apoyo económico para llevar a cabo esta trabajo de investigación.

LITERATURA CITADA

- Aguirre, J. L. 2006. Biofertilizantes Microbianos: Experiencias Agronómicas del Programa Nacional del INIFAP en México. INIFAP. Libro Técnico No. 2. 206 p.
- Andrade, F., L. Echarte, R. Rizzalli, A. Della Maggiora y M. Casanovas. 2002. Kernel number prediction in maize under nitrogen or water stress. *Crop Science*. 42: 1173-1179.
- Álvarez, R., H. S. Steinbach, C. R. Alvarez y S. Grigera. 2003. Recomendaciones para la fertilización nitrogenada de trigo y maíz en la Pampa Ondulada. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*. 18: 1-12.
- Armenta, B. A. D., C. Garcia G., J. R. Camacho B., M. A. Apodaca S., L. G. Montoya y E. Nava P. 2010. Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. *Ra Ximhai*. 6(1): 51-56.
- Arrieché, L. E. y M. Ruiz D. 2010. Influencia de la fertilización química y orgánica sobre el carbono de la biomasa microbiana y rendimiento del maíz en suelos de pH contrastantes. *Agrociencias*. 44: 249-260.
- Barbieri, P., H. E. Echeverría, H. R. Sainz Rozas. 2003. Respuesta del cultivo de maíz bajo siembra directa a la fuente y al método de aplicación de nitrógeno. *Ciencia del suelo*. 21(1): 18-23.
- Barea, J. M., R. Azcón, C. Azcón-Aguilar. 2002. Mycorrhizosphere interactions to improve plant fitness and soil quality. *Antonie Van Leeuwenhoek International Journal of General and Molecular Microbiology*. 81(1-4): 434-351.
- Barraco, M. y Díaz-Zorita, M. 2005. Momento de fertilización nitrogenada de cultivos de maíz en hapludoles típicos. *Ci. Suelo*. 23(2): 197-203.

- Bressan, W., Siqueira, J., Vasconcellos, C., and Purcino, A. 2001. Mycorrhizal fungi and phosphorus on growth, yield and nutrition of intercropped grain sorghum and soybean. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 36:315-323.
- Boomsma, C. R., J. B. Santini, M. Tollenaar and T. J. Vyn. 2009. Maize morphophysiological responses to intense crowding and low nitrogen availability: An analysis and review. *Agronomy Journal*. 101(6): 1246-1452.
- Castellarín, J., F. Ferraguti y J. Andriani. 2010. Caracterización del ambiente y determinación del rendimiento del maíz durante la campaña 2009/2010 en Oliveros (Santa Fe). Para mejorar la producción 44. INTA. 35-40.
- Caviglia, O. P. y V. O. Sadras. 2001. Effect of nitrogen supply on crop conductance, water- and radiation-use efficiency of wheat. *Field Crops Research*. 69: 259-266.
- Díaz, F. A., M. Alvarado C., M. Cantú A., I. Garza C. 2005. Fertilización biológica y producción de maíz en la región semiárida del norte de Tamaulipas, México. *Agricultura Técnica en Méx.* 31:153-163.
- Díaz, F. A., J. R. Salinas G., I. Garza C., N. Mayek P. 2008. Impacto de labranza e inoculación micorrízica arbuscular sobre la pudrición carbonosa y rendimiento de maíz en condiciones semiáridas. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 31(003): 257-263.
- Díaz, L. E., J. M. Loeza-Corte, J. M. Campos-Pastelín, E. J. Morales-Rosales, A. Domínguez-López, O. Franco-Mora. 2013. Eficiencia en el uso de la radiación, tasa de asimilación neta e integral térmica en función del fósforo en maíz (*Zea mays* L.) *Agro*. 47:135-146.
- Díaz, F. A., J. R. Salinas G., F. Espinosa S., M. Á. Peña R., F. R. Garza R. y O. A. Grageda C. 2014. Características de planta, suelo y productividad entre sorgo fertilizado e inoculado con micorriza arbuscular. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 5(3): 379-390.
- Domínguez, G. F., G. A. Studdert, H. E. Echeverría y F. H. Andrade. 2001. Sistemas de cultivo y nutrición nitrogenada en maíz. *Ciencia del suelo*. 19(1): 47-56.
- Domínguez, M. C. A., Brambila, P. J. J., Carballo, C. A. y Quero, C. A. R. 2014. Red de valor para maíz con alta calidad de proteína. *Revista Mexicana Ciencias Agrí.* 5 (3): 391-403.
- D'Andrea, K. E., M. E. Otegui, A. G. Cirilo. 2008. Kernel number determination differs among maize hybrids in response to nitrogen. *Field Crops Research*. 105: 228-239.
- Doorenbos, J. y W. O. Pruitt. 1986. Las necesidades de agua por los cultivos. Estudio FAO. Riego y Drenaje. Manual 24.

- Cruz-Flore, G., D. Flores R., G. Alcántar G., S. Trinidad A. y E. Vivanco R. 2002. Eficiencia de uso de nitrógeno y fosforo en genotipos de trigo, triticale y maíz. *Terra* 20: 411-422.
- Echeverria, H. E. y H. R. Sainz R. 2001. Eficiencia de recuperación del nitrógeno aplicado al estadio de seis hojas del maíz bajo riego en siembra directa y labranza convencional. *Ciencia del Suelo*. 19:57-66.
- Escalante, E. J. A. S., S. J. Kohashi. 1993. El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para la toma de datos. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 84 p.
- Escalante, E. J. A. 1995. Aprovechamiento del recurso agua en cultivos de secano. *Agroproductividad*. 12: 28-32.
- Espinosa, A., M. Sierra, N. Gómez. 2003. Producción y tecnología de semillas mejoradas de maíz por el INIFAP en el escenario sin la PRONASE. *Agron. Mesoame*. 14(001):117-121.
- Fageria, N. K. y V. C. Baligar. 2005. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. *Adv. Agron*. 88: 97-185.
- Faraldo, L. M., G. T. Vergara, G. A. Casagrande, J. P. Arnaiz, H. Mirasson y C. Ferrero. 2011. Eficiencia en el uso del agua y radiación en maíz, girasol y soja, en la región oriental de la Pampa, Argentina. *Agronomía Tropical*. 61(1): 47-57.
- García, O. J. G., V. R. M. Moreno, I. C. L. Rodríguez, A. H. Mendoza, N. P. Mayer. 2007. Efecto de cepas de *Azospirillum brasilense* en el crecimiento y rendimiento de grano del maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 30(003):305-310.
- Grageda, C. O. A. y S. S. González F. 2010. Micorriza. INIFAP. Todo lo que usted desea saber. Desplegable para productores No. 21. INIFAP. Celaya, Gto., México.
- Hernandez, A., V. Barrientos, A. Chassaigne y J. Alezones. 2003. Evaluación y selección de poblaciones y líneas de maíz (*Zea mays* L.) eficientes en la asimilación de nitrógeno. *Biagro*. 15(2): 115-120.
- Howell, T. A. 2001. Enhancing water use efficiency in irrigated agriculture. *Agron*. J.93:281-289.
- Íñiguez-Covarrubias, M., W. Ojeda-Bustamante, C. Díaz-Delgado y E. Sifuentes-Ibarra. 2014. Análisis de cuatro variables del período de lluvias asociadas al cultivo maíz de temporal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 5(1): 101-114.
- Irizar, G. M., P. Vargas, D. Garza, C. Tut, M. Rojas, A. Trujillo, R. García, D. Aguirre, J. Martínez, S. Alvarado, O. Grageda, J. Valero, J. Aguirre. 2003. Respuesta de cultivos agrícolas a los biofertilizantes en la región central de México. *Agri. Téc. Méx*. 29:213-225.

- López, S. E. Guevara, M. Maturano, M. Melaj, J. P. Bonetto, S. Meira, O. Martín y N. Bárbaro. 2001. Absorción de nitrógeno en trigo en relación con la disponibilidad hídrica. *Terra Latinoamericana*. 20: 7-15.
- López, P. P., P. F. Prieto G., M. Gaytán M., A. D. Román G. 2007. Caracterización fisicoquímica de diferentes variedades de cebada cultivadas en la Region Centro de México. *Revista Chilena de Nutrición*. 34(1): 1-12.
- López, M., R. Martínez V., M. Brossard F., A. Bolívar, N. Alfonso, A. Alba y H. Pereira A. 2008. Efecto de biofertilizantes bacterianos sobre el crecimiento de un cultivar de maíz en dos suelos contrastantes venezolanos. *Agronomía tropical*. 58(4): 391-401.
- Loredo, O. C., L. López R. y D. Espinosa V. 2004. Bacterias promotoras del crecimiento vegetal asociadas con gramíneas: una revisión. *Terra Latinoamericana*. 22(2): 225-239.
- Loredo, O. C., S. Beltrán L., M. Peña del R. 2007. Uso de biofertilizantes para la producción de maíz forrajero en condiciones de temporal. *Campo Experimental San Luis, INIFAP. Folleto Científico No. 2. México*. 60 p.
- Mamani-Pati, F., D. E. Clay, C. G. Carlson, S. A. Clay, G. Reicks and K. Kim. 2010. Nitrogen rate, landscape position and harvesting of corn stover impacts on energy gains and sustainability of corn production systems in South Dakota. *Agro. Journal*. 102:1535-1541.
- Martínez-Rueda, C. G., G. Estrada-Campuzano, V. V. Beltrán-Guzmán, G. Ortega-Rojas y A. Contreras-Rendón. 2010. Contenido de agua en el grano y capacidad potencial de demanda en híbridos de maíz para Valles Altos. *Revista Fitotecnia Mex*. 33(4): 95-100.
- Naresh, K. S. and C. P. Singh. 2001. Growth analysis of maize during long and short duration crop seasons: influence of nitrogen source and dose. *Indian J. Agri. Res*. 35(1): 13-18.
- Olalde P V, R Serratos (2008) Biofertilizantes: Micorrizas y bacterias promotoras de crecimiento. *In: Biofertilización como Tecnología Sostenible*. A. Díaz F., N. Mayek P. (eds). Plaza y Valdés/CONACYT. 55-66 pp.
- Quiroz, A. y D. Marín. 2000. Evaluación de la asociación maíz-quinchoncho, con siembra escalonada y dos niveles de fertilización. I. Fenología y crecimiento. *Agronomía Tropical*. 50(1): 99-122.
- Ritchie, S. W. and Hanway, J. J. 1982. How a corn plant develops. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service. No. 48. Ames Iowa, USA. 21 p.

- Rivetti, A. 2006. Producción de maíz bajo diferentes regímenes de riego complementario en Rio Cuarto, Córdoba, Argentina. I. Rendimiento en grano de maíz y sus componentes. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*. 38 (2): 25-36.
- Roveda, G. y Polo, C. 2007. Mecanismos de adaptación de maíz asociado a *Glomus* spp. En suelos con bajo fósforo disponible. *Agronomía colombiana*. 25(2): 349-356.
- Sánchez, C. M. 2002. Experiencias en la investigación con hongos micorrízicos arbusculares en los suelos de Ando. *In: J. Pérez M., J. Alvarado L., R. Ferrera-Cerrato (eds). Comité Mexicano de Inoculantes Agrícolas y Forestales, CP, INIFAP y SMCS. Texcoco, Edo. Méx. 15-25 p.*
- SAS Institute. 2003. SAS/STAT user's guide Release 9.1. SAS Institute. Cary, NC, USA.
- Sistema de Información Agropecuaria (SIAP). 2012. Sistema de Información Agropecuaria de Consulta. SAGARPA. México. Disponible en: http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar_comanuar.html (Revisado: 12 de mayo de 2014).
- Snyder, R. L. 1985. Hand calculating degree days. *Agric. For. Meteorol.* 35: 353-358.
- Smith, S. E. y D. J. Read. 2008. *Mycorrhizal Symbiosis*. 3th Ed. Academic Press, NY, USA. 605 p.
- Uribe, V. G. y E. R. Dzib. 2006. Micorriza arbuscular (*Glomus intraradices*), *Azospirillum brasilense* y Brassinoesteroide en la producción de maíz en suelo luvisol. *Agricultura Técnica en México*. 32: 68-72.
- Villafaña, A. T. L., E. J. Morales R., G. Estrada C. y C. G. Martínez R. 2014. Determinantes ecofisiológicos del rendimiento en tres cultivares de trigo en función y fraccionamiento del nitrógeno. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 5 (3): 405-419.
- Volke, H. V. 1982. Optimización de insumos de la producción en la agricultura. Colegio de Postgraduados, Chapingo. Méx. 61 p.
- Woo, R. J. L., R. Vázquez A., E. Olivares S., F. Zavala G., R. González G., R. Valdez C. y C. Gallegos V. 2004. Análisis de crecimiento en maíz (*Zea mays* L.) aplicando lodos activados y urea. *Sistema de producción agropecuaria. Agrofaz*. 4(1):437-441.
- Yu-kui, R. J. Shi-ling, Z. Fu-Sou, S. Jian-Bo. 2009. Efectos de la aplicación de fertilizantes nitrogenado en la composición de los elementos en los granos de maíz. *Agro*. 43: 21-27.

CAPÍTULO V. EFICIENCIA AGRONÓMICA, RENDIMIENTO Y RENTABILIDAD DE GENOTIPOS DE MAÍZ EN FUNCIÓN DEL NITRÓGENO, EN CLIMA TEMPLADO

Aguilar Carpio Cid, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2014

RESUMEN

En el cultivo de maíz, la fertilización nitrogenada es una alta inversión e incrementa el rendimiento. Sin embargo, es imprescindible la eficiencia en el uso del agua y nitrógeno (N), para la producción. Por otra parte, el N mejora la composición de proteínas en el grano, pero de forma excesiva es perjudicial a la salud humana. El objetivo del estudio fue determinar el efecto del N en genotipos de maíz sobre: a) Las fases fenológicas; b) Producción de materia seca y rendimiento; c) Eficiencia en el uso del agua y nitrógeno; d) Contenido de nitrógeno y proteína del grano; y e) Rentabilidad en maíz. La siembra de los genotipos Michoacán-21, HS-2 y Promesa con 0, 80 y 160 kg N ha⁻¹, se realizó en Montecillo, Edo. Méx. en junio d 2011. Se registró, las fases fenológicas; y a madurez fisiológica la materia seca (MS), rendimiento de grano (RG), contenido de N, proteína, eficiencia en el uso de agua (EUA), nitrógeno (EAN) y rentabilidad económica. Se observaron diferencias entre genotipos en las fases fenológicas. La respuesta al N entre genotipos fue variable. Así, la MS y RG más alta se logró en Promesa con 80 kg N ha⁻¹ y 160 kg N ha⁻¹, respectivamente. La EUA y EAN más alta, correspondió a Promesa con 80 kg N ha⁻¹; mientras que el contenido de nitrógeno y proteína más alto fue para HS-2 con 160 kg N ha⁻¹. El mayor ingreso neto se logra con Promesa y 80 kg N ha⁻¹.

Palabras clave: *Zea mays* L., grano, urea.

ABSTRACT

On the cultivation of maize, nitrogen fertilization is a high investment and increases performance. However, it is imperative to be efficient in the use of water and nitrogen (N), for the production. On the other hand, N improves the composition of proteins in grain, but excessively is harmful to human health. The objective of the study was to determine the effect of N on maize genotypes: to) phenological phases; (b) production of dry matter and yield; (c) efficient use of water and nitrogen; (d) nitrogen content and grain protein; (and e) profitability in corn. Michoacan-21, HS-2 and Promesa genotypes were planted with 0, 80, and 160 kg N ha⁻¹, at Montecillo, Edo. MEX. in

June 2011. During phenological phases; and to physiological maturity was recorded, dry matter (DM), grain yield (GY), content of N, protein, efficiency in the use of water (EUA), nitrogen (EAN) and economic profitability. Differences among genotypes in phenological phases. The response to the N among genotypes was variable. Thus, the higher DM was achieved with Promesa and 80 kg N ha⁻¹ for the GY was undertaken with 160 kg N ha⁻¹. EUA and highest EAN, was achieved in Promesa with 80 kg N ha⁻¹. The higher content of nitrogen and protein was in HS-2 with 160 kg N ha⁻¹. The higher net income is achieved with Promesa and 80 kg N ha⁻¹.

Key words: *Zea mays* L., grain yield, urea.

INTRODUCCIÓN

En México, el maíz es el cultivo más importante desde el punto de vista alimentario, industrial, político y social, el consumo *per capita* de maíz es de 330 g d⁻¹ (Hartcamp *et al.* 2000), con un contenido de proteína que puede oscilar entre 8 y 11% del peso del grano, que en su mayor parte se encuentran en el endospermo (Benítez y Pfeiffer, 2006). El maíz se cultiva en diferentes zonas edafoclimáticas, además de formar parte de los usos y costumbres de diversas regiones étnicas. Los principales estados productores de maíz en México son; Sinaloa, Jalisco, Michoacán, Edo. de Méx y Chiapas. El Edo. de México ocupa el cuarto lugar, con producción de 1,575,300 t, donde el 84% (467,578 ha) de la superficie sembrada es bajo condiciones de lluvia estacional (LLE), la precipitación media del estado es de 558 mm con rendimiento promedio de 2.97 t ha⁻¹ (SIAP, 2011). Los agricultores de riego prefieren el uso de semillas híbridas, por su potencial alto de producción y sus características agronómicas favorables, como: tolerancia a enfermedades, resistencia al acame y ciclo vegetativo corto (Espinosa *et al.*, 2003), y los de LLE prefieren los criollos que seleccionan ciclo tras ciclo. Por lo cual, se debe explorar el tipo de variedades que conviene sembrar en cada agrosistema y el manejo más apropiado para una mayor producción. En la agricultura es imprescindible ser eficiente en el uso del agua (EUA) y nitrógeno (N), ya que estos son los insumos más importantes para la producción, deben estar bien provistos en cantidad y oportunidad para asegurar un estado fisiológico óptimo al momento de la floración, que es cuando se determina el rendimiento (Andrade *et al.*, 2002). La EUA se incrementa con la aplicación de N. En un estudio realizado por Faraldo *et al.* (2011) en tres híbridos de maíz obtuvo una EUA de 0.89 en el 2009 y para el 2010 se incrementó a 2.28 g m⁻² mm⁻¹. El N en las plantas

estimula el crecimiento de las raíces, permitiendo que el cultivo aproveche la humedad del subsuelo y a su vez el crecimiento del dosel vegetal (Morales y Escalante, 2007), que cubre el suelo, con el cual se reduce la evaporación (Parker, 2000). La fertilización nitrogenada es determinante para incrementar el rendimiento de maíz (Borrás, 2001). Sin embargo, representa una inversión de alto costo y riesgo ambiental. Al respecto, Turrent *et al.* (2004) al realizar un análisis económico en maíces de Chiapas, Guerrero y Quintana Roo, con 0, 80 y 160 kg N ha⁻¹ observó que a medida que se incrementan los insumos, aumenta el costo de producción y disminuye el ingreso neto. La incorporación de N en el suelo es muy importante, debido a que la mayoría de los suelos agrícolas presentan niveles bajos de este nutrimento (por ejemplo 3.46 ppm, para Montecillo, Edo. México, Cruz-Flores *et al.*, 2002). Al respecto, Pecina *et al.* (2011), al evaluar cuatro variedades de maíz de los Valles Altos en Texcoco, Edo de México, con una fertilización de 120 kg N ha⁻¹, encontró diferentes respuestas genotípicas en el rendimiento de grano (RG), desde 5.5 hasta 8.5 t ha⁻¹. Antuna *et al.* (2003) evaluó seis líneas endogámicas de maíz en los estados de Durango y Coahuila, los cuales presentaron variabilidad desde 1.94 hasta 5.04 t ha⁻¹ en el RG. Domínguez *et al.* (2001) reportó incrementos en el rendimiento del maíz de 1770, 2250 y 1200 kg ha⁻¹, con aplicación de 60, 120 y 180 kg N ha⁻¹, con respecto al testigo (0N aplicado). Por otra parte, la aplicación de N puede aumentar el RG, pero también elevar el contenido de proteínas y aminoácidos en los productos agrícolas (Yu-kui *et al.*, 2009). La composición química del grano, está definida por el factor genético, pero también depende de las prácticas de cultivo, condiciones climáticas y tipo de suelo (Agama *et al.*, 2011). Por ejemplo, Agama *et al.* (2011), en cuatro maíces de la raza Chalqueño en el Edo. de México, encontraron que no hubo diferencias significativas en el contenido de proteína y nitrógeno, en el grano. La proteína del grano de maíz han sido estudiadas ampliamente, su función es servir como fuente de N para el germinado de la semilla (Benítez y Pfeiffer, 2006), pero excesivo e inapropiado uso de la fertilización nitrogenada, puede causar una alta acumulación de este insumo en el grano, lo cual puede ser perjudicial a la salud humana, además de contaminación y pérdidas económicas (Stagnari *et al.*, 2007). Álvarez *et al.* (2003) menciona, que cuando se incrementa el N existe un máximo a partir del cual no se observa respuesta en el RG. La respuesta sobre el rendimiento, contenido de N y proteína en el grano de maíz a la fertilización nitrogenada puede variar en función del genotipo, nivel inicial de N en el suelo y el ambiente de desarrollo (López *et al.*, 2007). Los reportes sobre el tema en clima templado no son abundantes. El objetivo del presente

estudio fue determinar el efecto del N en genotipos de maíz sobre: a) la ocurrencia de las fases fenológicas; b) la producción de materia seca, rendimiento y sus componentes; c) eficiencia en el uso del agua y nitrógeno; d) el contenido de nitrógeno y proteína del grano; y e) la rentabilidad en maíz en siembra de lluvia estacional.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se estableció bajo lluvia estacional en Montecillo, Edo. de México., de clima templado con lluvias en verano (precipitación anual de 558 mm) y altitud de 2240 m (BS₁, García, 2005). Los tratamientos consistieron en sembrar el 01 de junio de 2011 el maíz criollo Michoacán 21, una variedad sintética HS-2 y el híbrido Promesa con 0, 80 y 160 kg N ha⁻¹. La densidad de población fue de 6.25 pl m⁻² y en distancia entre surcos de 80 cm. El diseño experimental fue bloques completamente al azar con arreglo de parcelas divididas y cuatro repeticiones. La unidad experimental fue de cuatro surcos de 0.8 m de ancho x 4 m de longitud. Para conocer las características iniciales del suelo en los primeros 30 cm de profundidad, se realizó un análisis físico y químico en el Laboratorio de Nutrición Vegetal S. C., Fertilab. Los resultados indican que es un suelo de textura franco arcillo arenosos, densidad aparente de 1.22 g cm⁻³, pH 8.2, conductividad eléctrica 0.41 dS m⁻¹, materia orgánica de 1.70 % y nitrógeno total de 3.46 ppm. Durante el desarrollo del estudio se registró la temperatura máxima (T_{máx}) y mínima (T_{mín}) decenal y la suma de la evaporación (Ev, mm) y precipitación (PP, mm), datos proporcionados por la estación Agrometeorológica del Colegio de postgraduados. También se registró la ocurrencia de las fases fenológicas como: días a emergencia (E), floración (FL) y a madurez fisiológica (MF). El criterio utilizado para el registró fue presentado por Ritchie y Hanway (1982). También, para cada fase fenológica se determinó la acumulación de unidades calor para el cultivo (UC, °C d), mediante el método residual, el cual es descrito por la siguiente ecuación como se indica en Snyder (1985):

$$UC = (T_{máx} + T_{mín} / 2) - TB$$

Dónde: T_{máx} y T_{mín} son diarias (°C) y TB = Temperatura base, considerada como 7 °C (García y López, 2002). La evapotranspiración del cultivo (ET_c) se calculó a partir de los datos de la evaporación (Ev) del tanque tipo “A”, utilizando 0.6 como coeficiente para el evaporímetro, kc inicial = 0.35, kc a mediados del periodo = 1.14 y kc final = 0.6 (Doorenbos y Pruitt, 1986), a partir de la siguiente ecuación:

$$ETc = Ev \times 0.6 \times Kc$$

A la MF se evaluó la biomasa con base a materia seca total (MS total, $g\ m^{-2}$), índice de cosecha (IC, %), rendimiento de grano (RG, 10% de humedad, $g\ m^{-2}$), peso de 100 granos (P100G, g), número de granos (NG, m^2), número de hileras (NH) y número de granos por hilera (NGH). Se calculó la eficiencia en el uso del agua del RG (EUARG, $g\ m^{-2}\ mm^{-1}$) y MS (EUAMS, $g\ m^{-2}\ mm^{-1}$) con la ecuación, $EUA = RG\ o\ MS\ (g\ m^{-2}) / ETc\ (mm)$ ocurrida durante el ciclo de cultivo (Escalante, 1995) y la eficiencia agronómica del N (EAN, $g\ g^{-1}$ de N aplicado), considerado como el incremento en el rendimiento por unidad de fertilizante aplicado, se calculó a través de la siguiente ecuación: $EAN = RGN - RGSN / NA$. Dónde: RGN = rendimiento de grano con nitrógeno ($g\ m^{-2}$), RGSN = rendimiento de grano sin nitrógeno ($g\ m^{-2}$) y NA = cantidad de nitrógeno aplicado ($g\ m^{-2}$) (Fageria y Baligar, 2005).

Adicionalmente, posterior a la cosecha de grano, se determinó el contenido de nitrógeno total en las semillas de maíz, mediante el método de semimicro Kjeldahl, modificado para incluir nitratos (Chapman y Pratt, 1979) en el laboratorio de Análisis de suelo del programa de Edafología, del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. En total, se analizaron 454 muestras de material vegetal (grano). Para calcular el porcentaje de nitrógeno en la muestra se determinó según la siguiente fórmula.

$$\text{Nitrógeno (\%)} = ((V\ \text{muestra} - V\ \text{Blanco}) \times N\ \text{ácido} \times 14) / \text{muestra} \times 10$$

Dónde: V muestra = volumen del H_2SO_4 empleado para titular la muestra (mL); V blanco = volumen del H_2SO_4 empleado para titular el blanco (mL); N = normalidad exacta del H_2SO_4 ; 14 = peso mili-equivalente del N (mg). 10 = factor para convertir en porcentaje (1000/100).

A las variables en estudio, se les aplicó un análisis de varianza (ANDEVA), con el programa estadístico de SAS (Statistical Analysis System, Versión 9.0), la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$) y un análisis de regresión entre RG y sus componentes.

Adicionalmente, se realizó un análisis económico para rendimiento, utilizando las siguientes ecuaciones: $IN = YPy - (\sum XiPi + CF)$, donde IN = Ingreso neto, Y = Rendimiento ($kg\ ha^{-1}$), Py = precio por kg, $\sum XiPi$ = suma de costos variables, CF = costos fijos (Volke, 1982). También se determinó la GPI con la relación: $GPI = (\sum XiPi + CF) / YPy$, donde: GPI = ganancia por peso invertido.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fenología, condiciones climáticas, unidades calor y evapotranspiración

En la Figura 1, se observa la media decenal de la $T_{m\acute{a}x}$ y $T_{m\acute{i}n}$ durante el desarrollo del cultivo que fluctuó entre 31 °C y 21 °C, y entre 13 °C y 8 °C, respectivamente. Durante la etapa de siembra (S) a FL, la $T_{m\acute{a}x}$ y $T_{m\acute{i}n}$ promedio fue de 31 °C y 8 °C y de FL a MF fue de 25 °C y 8 °C, respectivamente. Dichos valores se encuentran dentro del umbral térmico en promedio de 18 a 22 °C apropiado para cultivares de maíz adaptados a los valles altos de México (Pecina *et al.*, 2011), lo cual indica que en los genotipos estudiados la temperatura no fue limitante para una mayor expresión del rendimiento. La suma de la PP durante el ciclo del cultivo fue de 504 mm. Valor ligeramente inferior al señalado por Rivetti (2006) quien menciona que las necesidades de agua para el ciclo del maíz son de 575 mm aproximadamente. La mayor PP (374 mm) ocurrió en la etapa de S a FL de los genotipos, en los meses de junio y julio. Sin embargo, de FL a MF la PP fue más baja (129 mm). Esto limitó una mayor expresión del RG (Faraldo *et al.*, 2011).

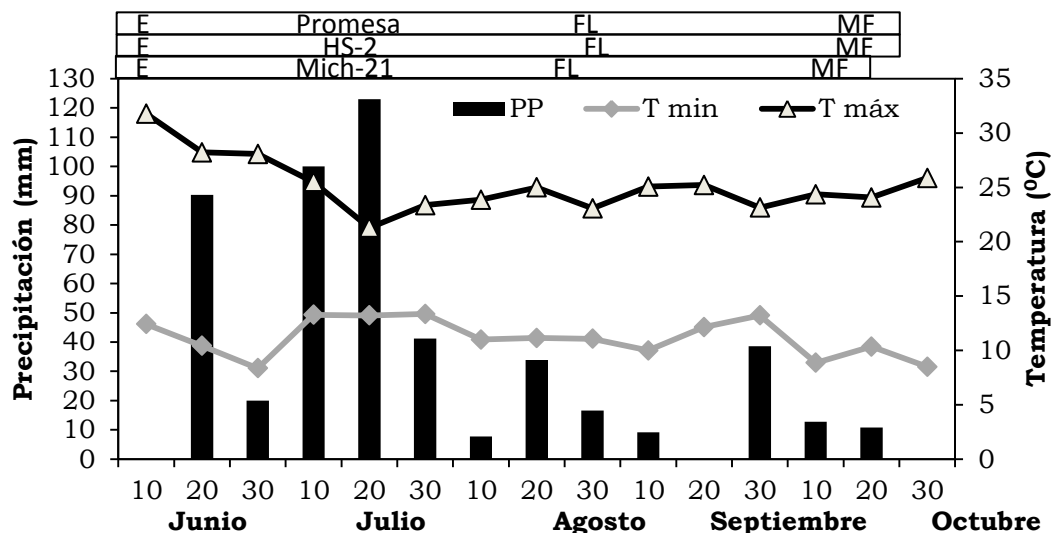


Figura 1. Medias decenales de la temperatura máxima ($T_{m\acute{a}x}$, °C), mínima ($T_{m\acute{i}n}$, °C) y suma decenal de la precipitación (PP, mm) durante el ciclo del cultivo de los maíces Michoacan-21, HS-2 y Promesa. E = Emergencia, FL = Floración, MF = Madurez fisiológica. Montecillo, Edo. de México. 2011.

Los genotipos en estudio, presentaron diferencias en las fechas a ocurrencia de las etapas fenológicas, a excepción de la E donde fue similar (6 dds) con un requerimiento de calor de 69°C d. En contraste, la floración de Michoacan-21 ocurrió a los 84 dds con 866°C d, en HS-2 a los 92

dds con 953°C d y en Promesa a los 90 dds con 1003°C d. La MF en Michoacan-21 fue a los 140 dds (1452°C d), en HS-2 y en Promesa a los 146 dds con 1490°C d (Figura 1). En referencia, Díaz-López *et al.* (2013) reportaron un requerimiento térmico de 1158 UC para el ciclo de cultivo de maíz, valor inferior al encontrado en el presente estudio. Esto resultados indican la existencia de variabilidad genotípica en el requerimiento térmico de S a MF.

En la Figura 2 se observa que la relación entre la acumulación de UC y la ETc con el tiempo respondió al modelo $y = a + bx$. En cuanto a la ETc, del periodo de S a E fue de 12 mm, para todos los genotipos. De S a FL fue de 218, 241 y 231 mm para Michoacan-21, HS-2 y Promesa, respectivamente. De FL a MF fue de, 179, 171 y 181 mm para Michoacan-21, HS-2 y Promesa, respectivamente. La ETc total fue de 397 mm para Michoacan-21, en HS-2 y Promesa, fue de 412 mm, respectivamente. Esto indica que las necesidades de agua del cultivo difieren entre genotipo y por su ciclo de crecimiento, son más altos para HS-2 y Promesa.

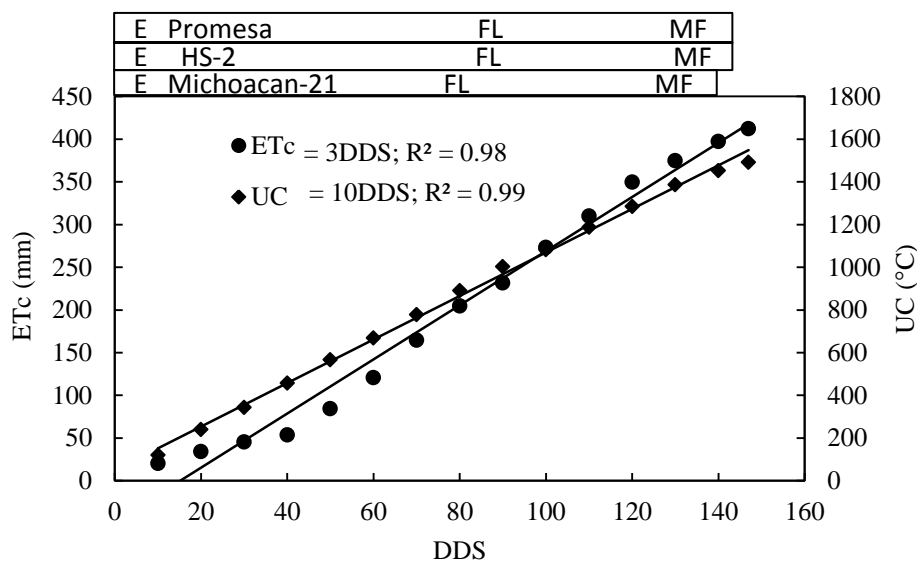


Figura 2. Unidades calor (UC), evapotranspiración (ETc) y fenología durante el ciclo del cultivo en los cultivares de maíz Michoacan-21, HS-2 y Promesa. E = Emergencia, FL = Floración, MF = Madurez fisiológica. Montecillo, Edo. de México. 2011.

Materia seca total (MS), índice de cosecha (IC), rendimiento (RG) y sus componentes

El ANDEVA presentado en el Cuadro 1, para MS, IC, RG y NGH mostró cambios significativos debido a genotipos (G), nitrógeno (N) y la interacción, genotipo x nitrógeno (G x N). Diferencias en el P100G, entre G y N; en el NH y NG debido a N y la interacción G x N (Cuadro 1).

Cuadro 1. Análisis de varianza para materia seca total (MS), índice de cosecha (IC), rendimiento de grano (RG) y sus componentes. Montecillo, Edo. de México. 2011.

Factor	MS	IC	RG	P100G	NH	NGH	NG
	g m ⁻²	%	g m ⁻²	g			m ⁻²
G	**	**	**	**	NS	**	NS
N	**	**	**	**	**	**	**
G x N	*	**	**	NS	**	**	**

*,** = P≤0.05, 0.01, respectivamente; NS = No significativo a P≥0.05; P100G = Peso de 100 granos, NH = Número de hileras, NGH = Número de granos hilera⁻¹, NG = Número de granos. G = Genotipo, N = Nitrógeno.

Genotipo

En cuanto a la MS, en el Cuadro 2, se observa que los cultivares mejorados superaron en 30 y 41% al criollo. Promesa por su ciclo de crecimiento más largo tuvo oportunidad de interceptar mayor cantidad de radiación, lo que generó un incremento del 41% en MS con respecto a Michoacan-21 de ciclo más corto (Figura 1). En relación al IC los genotipos presentaron similar distribución de MS hacia el grano. Esto indica que las diferencias en MS total y el RG entre genotipos, son en la misma proporción. Promesa presentó el RG más alto (288 g m⁻²), mayor P100G, seguido de HS-2 y Michoacan-21 (209 g m⁻²) que fue el más bajo.

Nitrógeno

En el Cuadro 2 se observa que el N ocasionó incrementos significativos en la MS, IC, RG y sus componentes. La aplicación de 160 kg N ha⁻¹ incrementó en 239 g m⁻² la MS y en el IC en 25%, en tanto con 80 kg N ha⁻¹ el incremento fue de 206 g m⁻² y 35%, con respecto al testigo sin fertilizar (Cuadro 2), lo que indica que con N se promovió una mayor acumulación de MS hacia el grano respecto al resto de las estructuras de la planta, generado esto por un mayor tamaño de la demanda. Con 160 kg N ha⁻¹ el RG aumentó en promedio 104 g m⁻², esto fue atribuible al P100G y NG que se incrementaron en 8 g y 812 granos por m², con respecto al testigo (0 kg N ha⁻¹). Esto se relaciona con la disponibilidad de N inicial en el suelo, así como durante el llenado de grano (D'Andrea *et al.*, 2008). Otros estudios reportan incrementos en el RG del maíz con 160 kg N ha⁻¹ (Arrieché y Ruiz, 2010; Martínez- Rueda *et al.*, 2010). Estos resultados indican que el

suministro de N al suelo, es necesario para incrementar la producción de MS, IC, NH, NGH, NG y P100G en la mazorca y en consecuencia el RG. Dicha respuesta se ha encontrado en otros casos donde se aplicó N, por O'Neil, *et al.* (2004), Rasheed *et al.* (2004), Khaliq *et al.* (2009).

Cuadro 2. Materia seca (MS), índice de cosecha (IC), rendimiento (RG) y sus componentes de genotipos de maíz en función del nitrógeno (N). Montecillo, Edo. de México. 2011.

Factor		MS (g m ⁻²)	IC (%)	RG (g m ⁻²)	P100G (g)	NH	NGH	NG (m ²)
Genotipo	Mich-21	860 c	27 a	236 b	27 a	16.3 a	22 b	2,281 a
	HS-2	1,076 b	22 b	240 b	22 b	14.8 a	26 a	2,468 a
	Promesa	1,250 a	25 a	323 a	28 a	15.1 a	25 a	2,437 a
	Tukey $\alpha = 0.05$	120	3	4.8	2.5	1.6	2.5	450
N (kg ha ⁻¹)	0	895 b	22 b	198 b	20 c	14 b	22 c	2,000 b
	80	1,146 a	26 a	298 a	27 b	16 a	24 b	2,468 a
	160	1,146 a	26 a	303 a	29 a	16 a	27 a	2,718 a
	Tukey $\alpha = 0.05$	77	2.1	5.1	1.1	1.6	1.7	250
Media general		1062	25	266	25	15	24	2,393
CV. (%)		6	6	0.9	8	6	4	10

En columnas para cada factor principal letras similares indican que los valores son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha=0.05$).

Genotipo x Nitrógeno (G x N)

En la Figura 3 se observa que la respuesta al N en MS y RG fue en función del genotipo de maíz. Así, para Promesa y HS-2 la respuesta al N se ajustó a un polinomio de segundo grado. En Promesa el incremento en MS por unidad de N (7.9 g m⁻² por kg de N) fue superior al de HS-2 (3.8 g m⁻² por kg de N ha⁻¹) y en Michoacan-21 (2.3 g m⁻² por unidad de N) que fue la más baja. En Promesa, la máxima producción de MS se logró con 80 kg N ha⁻¹; mientras que para HS-2 y Michoacan-21 se encontró con 160 kg N ha⁻¹. Esto indica una mayor eficiencia en el uso del N para Promesa. Para RG la respuesta al N en los genotipos en estudio mostró una tendencia cuadrática (Figura 3B). Así, la mayor respuesta al N se encontró con la aplicación de 80 kg N ha⁻¹. El RG de Promesa superó al de Michoacan-21 y HS-2 en cualquier nivel de N aplicado. Esto demuestra el potencial de Promesa y para la eficiencia en el uso del nitrógeno. Respuestas variables al N entre genotipos de maíz también han sido reportadas por De la Cruz-Lázaro *et al.* (2009), Mani-Pati *et al.* (2010), en Villahermosa, Tabasco.

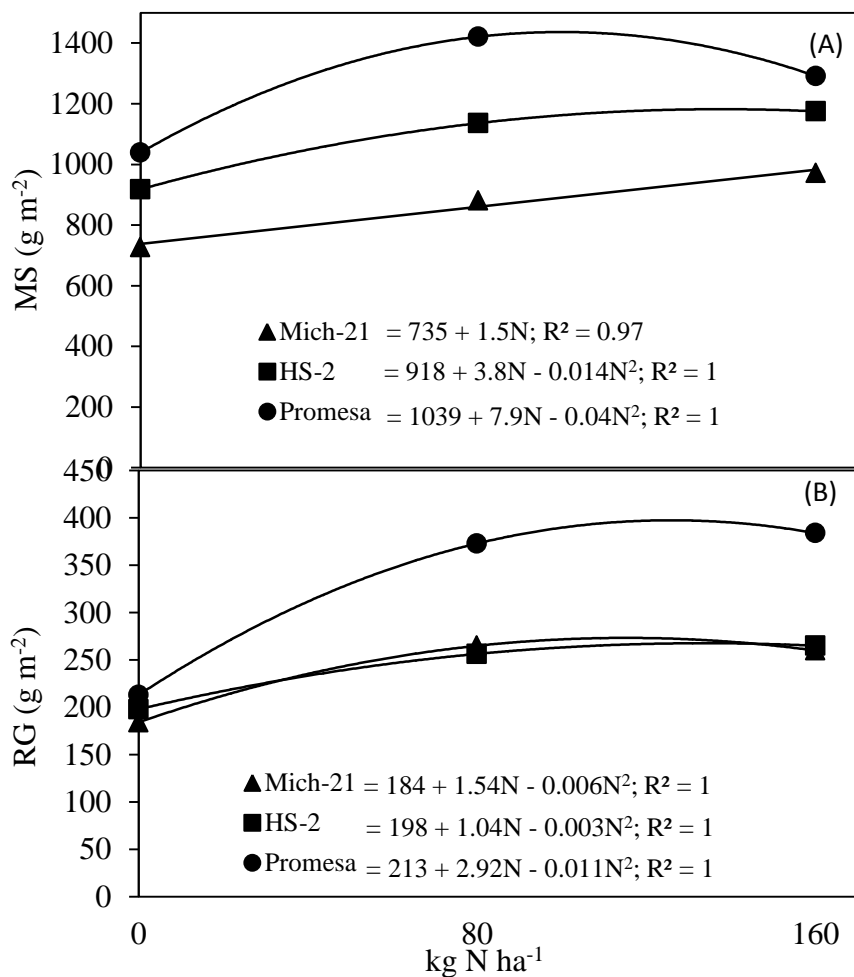


Figura 3. (A) Materia seca total (MS) y (B) rendimiento de grano (RG) en genotipos de maíz en función del nitrógeno (N). Montecillo, Edo. de México. 2011.

Eficiencia en el uso del agua (EUA)

En cuanto a la eficiencia en el uso del agua para la producción de MS (EUAMS) en el Cuadro 3, se observa que los cultivares mejorados fueron más eficientes que el criollo. Promesa mostró la EUAMS más alta, con respecto a HS-2 y Michoacan-21. En relación a la eficiencia en el uso del agua para RG (EUARG), Promesa mostró la más alta, debido a sus características genéticas (Faraldo *et al.*, 2011), seguido de HS-2 y Michoacan-21, que presentó la EUARG más baja. En el Cuadro 3, también se observa que el factor N ocasionó incrementos significativos en el EUAMS y EUARG que fueron similares con 80 y 160 kg N ha⁻¹. Respuestas semejantes fueron reportadas por López *et al.* (2001). La EUAMS y EUARG mostró diferencias significativas debido a la interacción G x N (Cuadro 3). La EUAMS más alta se encontró con Promesa con 80 y 160 kg N

ha⁻¹ seguido de HS-2 con 80 y 160 kg N ha⁻¹. La EUAMS más baja se encontró con Michoacan-21 y HS-2 sin aplicación de N. Esto indica que la EUA más alta es consecuencia de un mayor tamaño de dosel y cobertura del suelo (Caviglia y Sadras, 2001), debido a diferencias genotípicas y N aplicado. La EUARG más alta se observó en Promesa con 80 y 160 kg N ha⁻¹ (Cuadro 3), seguido de Michoacan-21 con 80 y 160 kg N ha⁻¹. La EUARG más baja correspondió a Michoacan-21 y HS-2 sin aplicación de N. Esto indica que aun con el nivel inicial de N del suelo, Promesa presenta una eficiencia más alta en el uso del agua (Howell, 2001).

Cuadro 3. Eficiencia en el uso del agua (EUA) en genotipos de maíz en función del nitrógeno. Montecillos, Edo. de México. 2011.

Genotipo	Nitrógeno (kg N ha ⁻¹)	EUAMS (g m ⁻² mm ⁻¹)	EUARG (g m ⁻² mm ⁻¹)
Michoacan-21		2.16 c	0.59 b
HS-2		2.61 b	0.58 c
Promesa		3.03 a	0.78 a
	Tukey $\alpha = 0.05$	0.29	0.01
	0	2.19 b	0.48 b
	80	2.80 a	0.73 a
	160	2.81 a	0.74 a
	Tukey $\alpha = 0.05$	0.18	0.01
	0	1.83 c	0.46 f
Michoacan-21	80	2.21 c	0.67 c
	160	2.45 bc	0.65 c
	0	2.23 c	0.48 f
HS-2	80	2.75 b	0.62 d
	160	2.85 b	0.64 d
	0	2.52 bc	0.51 e
Promesa	80	3.45 a	0.90 b
	160	3.13 ab	0.93 a
	Tukey $\alpha = 0.05$	0.29	0.01
	Media general	2.60	0.65
	CV. (%)	6.4	1.2

En columnas para cada factor principal letras similares indican que los valores son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha=0.05$).

Eficiencia agronómica del nitrógeno (EAN)

En cuanto a la EAN, en el Cuadro 4, se observaron diferencias significativas con respecto al factor genotipo. El genotipo Promesa demostró ser más eficiente en el uso del N, respecto de HS-2 y Michoacan-21. Al respecto, Hernández *et al.* (2003) también encontró diferencias genotípicas en la eficiencia en el uso del N en maíz. Por otra parte, en el factor N también se observaron incrementos significativos en la EAN. Con 80 kg N ha⁻¹ se logra la más alta EAN, seguido de 160 kg N ha⁻¹, lo que indica que con N se promovió una mayor EAN hasta cierto nivel después del cual dicha eficiencia disminuye. Dicha respuesta se relaciona con lo mencionado por Álvarez *et al.* (2003), el cual observo alta eficiencia con bajo contenido de nitrógeno.

Cuadro 4. Eficiencia agronómica de nitrógeno (EAN) en genotipos de maíz en función del nitrógeno. Montecillos, Edo. de México. 2011.

Genotipo	Nitrógeno (kg N ha ⁻¹)	EAN (g g ⁻¹)
Michoacan-21		4.98 b
HS-2		3.78 c
Promesa		10.27 a
	Tukey $\alpha = 0.05$	0.22
	0	-
	80	12.4 a
	160	6.5 b
	Tukey $\alpha = 0.05$	0.40
	0	-
Michoacan-21	80	10.18 b
	160	4.76 d
	0	-
HS-2	80	7.21 c
	160	4.15 e
	0	-
Promesa	80	20.07 a
	160	10.73 b
	Tukey $\alpha = 0.05$	0.22
	Media general	6.34
	CV. (%)	3.46

En columnas para cada factor letras similares indican que son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha=0.05$).

En el Cuadro 4 se observa que la EAN más alta correspondió a Promesa y 80 kg N ha^{-1} ; seguido de la aplicación de 160 kg N ha^{-1} . La EAN más baja correspondió a Michoacan-21 y HS-2 con 160 kg N ha^{-1} . Esto indica que Promesa presenta ventajas fisiológicas sobre Michoacan-21 y HS-2 por su uso más eficiente de los insumos en su crecimiento. Una EAN superior a la encontrada en el presente estudio fue reportada por Barbieri *et al.* (2003). Dicha diferencia puede deberse al diferente genotipo y prácticas de manejo utilizadas.

Contenido de nitrógeno, proteína y carbohidratos

En el Cuadro 5, se observa que el contenido de N y proteína, presentó diferencias significativas entre genotipos. El maíz HS-2 mostró el contenido de N y proteína más alto seguido de Michoacan-21 y Promesa el más bajo. Respuestas semejantes han sido reportadas por Mendoza *et al.* (2006) y Hernández *et al.* (2003).

Con la aplicación de N, se incrementó el contenido de N y proteína en el grano (Cuadro 5). Resultados similares han sido reportadas por López *et al.* (2007), Rasheed y Mahmood (2004) y Shapiro y Wortmann (2006), también en maíz.

En cuanto a la interacción G x N se observaron diferencias significativas para el contenido de N y proteína del grano (Cuadro 5). Esto indica que por lo menos un híbrido tuvo contenido de N y proteína diferente al resto, debido a sus características genéticas particulares y que el efecto de la fertilización con N favoreció su absorción y asimilación por la planta para finalmente concentrarse en el grano (Zepeda *et al.*, 2007). El genotipo HS-2 con 160 kg N ha^{-1} presentó la mayor acumulación de N y proteína en el grano (1.76 y 11 %, respectivamente), Promesa presentó una tendencia similar, no así para Michoacan-21. Esto demuestra que los híbridos en estudio responden de manera distinta a la fertilización nitrogenada. Al respecto Yu-kui *et al.* (2009) y Zepeda-Bautista *et al.* (2009), señalan que la aplicación de N puede incrementar el contenido de proteína del grano de maíz. El contenido de nitrógeno y proteína del grano encontrado en el presente estudio fue superior al reportado por Agama *et al.* (2011), para cuatro cultivares de maíz de la raza Chalqueño cultivados en el Edo. de México (N 1.49% y proteína 9.36%).

Cuadro 5. Contenido de nitrógeno, proteína y carbohidratos en genotipos de maíz en función del nitrógeno. Montecillo, Edo. de México. 2011.

Genotipo	Nitrógeno (kg N ha ⁻¹)	% Nitrógeno	% Proteína	% Carbohidratos
Michoacan-21		1.63 ab	10 a	0.07 a
HS-2		1.65 a	10 a	0.06 b
Promesa		1.59 b	9 b	0.06 b
	Tukey $\alpha = 0.05$	0.05	0.3	0.005
	0	1.60 b	9 b	0.05 b
	160	1.64 a	10 a	0.07 a
	Tukey $\alpha = 0.05$	0.07	0.5	0.004
	0	1.63 b	10 b	0.05 b
Michoacan-21	160	1.63 b	10 b	0.07 a
	0	1.54 c	10 b	0.05 b
HS-2	160	1.76 a	11 a	0.07 a
	0	1.54 c	9 c	0.05 b
Promesa	160	1.63 b	10 b	0.07 a
	Tukey $\alpha = 0.05$	0.08	0.5	0.006
	Media general	1.62	10	0.06
	C. V. (%)	1.8	1.8	8

En columnas para cada factor principal letras similares indican que los valores son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha=0.05$).

Análisis económico

En cuanto al análisis económico para RG presentado en el Cuadro 6 se observa que la siembra del maíz Promesa con 80 kg N ha⁻¹ generó el mayor ingreso neto (IN), al igual que la ganancia por peso invertido (GPI). Así, por cada peso invertido, se recuperó \$ 1.61. Para agricultores de capital limitado se recomienda el uso de Promesa, debido a que genera el mayor IN sin aplicación de N (\$0.85 peso por peso invertido). Al respecto Turrent-Fernández *et al.* (2004) en Chiapas, Quintana Roo, Veracruz y Guerrero en siembras de riego, observaron el más alto IN con los híbrido H-516 y H-515, con la más alta fertilización (160 kg N ha⁻¹). Esto contrasta con los

resultados de este estudio, ya que se presentó el mayor IN con 80 kg N ha⁻¹ en Promesa, HS-2 y Michoacan-21. Dichas diferencias pueden deberse a los diferentes genotipos utilizados, suministro de agua y condiciones ambientales.

Cuadro 6. Rendimiento (RG), ingresos totales (IT), costos fijos (CF), costos variables (CV) y costos totales (CT), ingresos netos (IN) y ganancia por peso invertido (GPI) en genotipos de maíz en función del nitrógeno (N). Montecillo, Edo. de México. 2011.

Genotipo	N	RG	IT	CF	CV	CT	IN	GPI
	(kg ha⁻¹)	(kg ha⁻¹)	\$	\$	\$	\$	\$	\$
Mich-21	0	1842	10131.00	5033.60	340.00	5373.60	4757.40	0.89
	80	2652	14586.00	5033.60	1863.00	6896.60	7689.40	1.11
	160	2605	14327.50	5033.60	3286.00	8319.60	6007.90	0.72
HS-2	0	1987	10928.50	5033.60	1300.00	6333.60	4594.90	0.73
	80	2565	14107.50	5033.60	2823.00	7856.60	6250.90	0.80
	160	2650	14575.00	5033.60	4246.00	9279.60	5295.40	0.57
Promesa	0	2130	11715.00	5033.60	1300.00	6333.60	5381.40	0.85
	80	3735	20542.50	5033.60	2823.00	7856.60	12685.90	1.61
	160	3847	21158.50	5033.60	4246.00	9279.60	11878.90	1.28

IT = RG * precio por kg de maíz (\$ 5.50). CF = incluye costo de preparación del terreno, siembra, riego, manejo de maleza y plagas. CV = incluye el costo de la fertilización y cosecha de maíz. CT = CF + CV. IN = IT – CT. GPI = IN / CT.

En síntesis, para las condiciones ambientales en que se desarrolló el cultivo, los genotipos presentaron diferencias en la producción de materia seca y rendimiento de grano, se observó que la respuesta al nitrógeno fue diferente en los genotipos de maíz. En general la eficiencia en el uso del agua, eficiencia agronómica del nitrógeno, materia seca y rendimiento de grano más alto se encontró con Promesa con 80 kg N ha⁻¹. En contraste el contenido de nitrógeno y proteína más alta correspondió a HS-2. Con respecto al IC no se observaron diferencias entre Promesa y Michoacan-21, debido a que presentaron similar distribución de MS hacia el grano. El aumento en el RG por el nitrógeno se relacionó con el incremento en el P100G, NG; lo que indica que dichos componentes son objeto de atención por lograr una mayor eficiencia en el uso del agua y

del nitrógeno. Con Promesa y 80 kg N ha⁻¹ se logró el ingreso neto y ganancia por peso invertido más alto y el más bajo correspondió a HS-2 con 160 kg N ha⁻¹. Para agricultores de capital limitado, la fertilización nitrogenada resulta costosa por lo que se recomienda la siembra de Promesa sin fertilización debido a que su rentabilidad es superior a Michoacan-21 y HS-2.

CONCLUSIONES

Los genotipos en estudio presentan diferencias en la ocurrencia de las fases fenológicas. En la producción de materia seca y rendimiento de grano, Promesa presentó mayor respuesta al nitrógeno que HS-2 y Michoacan-21. La aplicación de nitrógeno incrementó la eficiencia en el uso del agua, eficiencia agronómica de nitrógeno, producción de materia seca y rendimiento de grano. Dicho incremento fue en función del genotipo utilizado. El contenido de nitrógeno y proteína del grano fue más alto en el maíz HS-2 con 160 kg N ha⁻¹. El mayor ingreso neto se logra con Promesa y 80 kg N ha⁻¹.

AGRADECIMIENTOS

Al pueblo de México que mediante CONACYT se otorgó el apoyo económico para llevar a cabo esta trabajo de investigación.

LITERATURA CITADA

- Agama- Acevedo, E., Y. Salinas-Moreno, G. Pacheco-Vargas y L. A. Bello-Pérez. 2011. Características físicas y químicas de dos razas de maíz azul: Morfología del almidón. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 2(3): 317-329.
- Antuna, O., F. Rincón, E. Gutiérrez, N. A. Ruíz y L. Bustamante. 2003. Componentes genéticos de características agronómicas y de calidad fisiológica de semillas en líneas de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 26(1): 11-17.
- Andrade, F., L. Echarte, R. Rizzalli, A. Della Maggiora y M. Casanovas. 2002. Kernel number prediction in maize under nitrogen or water stress. *Crop Science*. 42: 1173-1179.
- Álvarez, R., H. S. Steinbach, C. R. Alvarez y S. Grigera. 2003. Recomendaciones para la fertilización nitrogenada de trigo y maíz en la Pampa Ondulada. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*. 18: 1-12.

- Arrieche, L. E. y M. Ruiz D. 2010. Influencia de la fertilización química y orgánica sobre el carbono de la biomasa microbiana y rendimiento del maíz en suelos de pH contrastantes. *Agrociencias*. 44: 249-260.
- Barbieri, P., H. E. Echeverría, H. R. Sainz Rozas. 2003. Respuesta del cultivo de maíz bajo siembra directa a la fuente y al método de aplicación de nitrógeno. *Ciencia del suelo*. 21(1): 18-23.
- Benítez, C. C. G. y H. P. Pfeiffer. 2006. El maíz: origen, composición química y morfología. *Materiales Avanzados*. 7: 15-20.
- Borrás, L. and M. E. Otegui. 2001. Maize kernel weight response to postflowering source-sink ratio. *Crop Sci*. 49: 1816-1822.
- Caviglia, O. P. and V. O. Sadras. 2001. Effect of nitrogen supply on crop conductance, water- and radiation-use efficiency of wheat. *Field Crops Research*. 69: 259-266.
- Chapman, H. D. y P. F. Pratt. 1979. *Métodos de análisis para suelos, plantas*. Editorial Trillas. México.
- De la Cruz-Lazaro, E., H. Códova-Orellana, M. A. Estrada-Botello, J. D. Mendoza-Palacios, A. Gómez-Vázquez, N. P. Brito-Manzano. 2009. Rendimiento de grano de genotipos de maíz sembrados bajo tres densidades de población. *Universidad y Ciencia. Trópico Húmedo*. 25(1): 93-98.
- Díaz-López, E., J. M. Loeza-Corte, J. M. Campos-Pastelín, E. J. Morales-Rosales, A. Domínguez-López, O. Franco-Mora. 2013. Eficiencia en el uso de la radiación, tasa de asimilación neta e integral térmica en función del fósforo en maíz (*Zea mays* L.) *Agrociencia*. 47:135-146.
- Domínguez, G. F., G. A. Studdert, H. E. Echeverría y F. H. Andrade. 2001. Sistemas de cultivo y nutrición nitrogenada en maíz. *Ciencia del suelo*. 19(1): 47-56.
- D'Andrea, K. E., M. E. Otegui, A. G. Cirilo. 2008. Kernel number determination differs among maize hybrids in response to nitrogen. *Field Crops Research*. 105: 228-239.
- Doorenbos, J. y W. O. Pruitt. 1986. *Las necesidades de agua por los cultivos*. Estudio FAO. Riego y Drenaje. Manual 24.
- Cruz-Flore, G. D. Flores R., G. Alcántar G., A. Trinidad S. y R. Vivanco E. 2002. Eficiencia de uso de nitrógeno y fosforo en genotipos de trigo, triticale y maíz. *Terra* 20: 411-422.

- Escalante, E. J. A. 1995. Aprovechamiento del recurso agua en cultivos de secano. *Agroproductividad*. 12: 28-32.
- Espinosa, A., Sierra, M., Gómez, N. 2003. Producción y tecnología de semillas mejoradas de maíz por el INIFAP en el escenario sin la PRONASE. *Agronomía Mesoamericana*. 14(001):117-121.
- Fageria, N. K. and V. C. Baligar. 2005. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. *Adv. Agron.* 88: 97-185.
- Faraldo, L. M., G. T. Vergara, G. A. Casagrande, J. P. Arnaiz, H. Mirasson y C. Ferrero. 2011. Eficiencia en el uso del agua y radiación en maíz, girasol y soja, en la región oriental de la Pampa, Argentina. *Agronomía Tropical*. 61(1): 47-57.
- García E. 2005. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. 4ª Edición. Instituto de Geografía. Universidad Autónoma de México. 217 p.
- García, P. A. D. y C. López C. 2002. Temperatura base y tasa de expansión foliar del maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 25(4): 381-386.
- Hartcamp, A. D., J. W. White., A. Rodríguez, M. Bänzinger, G. Hernández, L. A. Bates. 2000. Modified method for rapid tryptophan analysis in maize. *CIMMYT Research Bulletin* 13: 3-6.
- Hernandez, A., V. Barrientos, A. Chassaigne y J. Alezones. 2003. Evaluación y selección de poblaciones y líneas de maíz (*Zea mays* L.) eficientes en la asimilación de nitrógeno. *Biagro*. 15(2): 115-120.
- Howell, T. A. 2001. Enhancing water use efficiency in irrigated agriculture. *Agronomy Journal*. 93: 281-289.
- Khaliq, T., A. Ahmad, A. Hussain and M. A. Ali. 2009. Maize hybrids response to nitrogen rates at multiple locations in semiarid environment. *Pakistan Journal of Biological*. 41(1): 207-224.
- López, S. E. Guevara, M. Maturano, M. Melaj, J. P. Bonetto, S. Meira, O. Martin y N. Bárbaro. 2001. Absorción de nitrógeno en trigo en relación con la disponibilidad hídrica. *Terra* 20: 7-15.
- López, P. P., P. F. Prieto G., M. Gaytán M., A. D. Román G. 2007. Caracterización fisicoquímica de diferentes variedades de cebada cultivadas en la Region Centro de México. *Revista Chilena de Nutrición*. 34(1): 1-12.

- Mani-Pati, F., D. E. Clay, C. G. Carlson, S. A. Clay, G. Reicks and K. Kim. 2010. Nitrogen rate, landscape position and harvesting of corn stover impacts on energy gains and sustainability of corn production systems in South Dakota. *Agronomy Journal*. 102:1535-1541.
- Martínez-Rueda, C. G., G. Estrada-Campuzano, V. V. Beltrán-Guzmán, G. Ortega-Rojas y A. Contreras-Rendón. 2010. Contenido de agua en el grano y capacidad potencial de demanda en híbridos de maíz para Valles Altos. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 33(4): 95-100.
- Mendoza, M. E., E. Andrio Enríquez, J. M. Juárez Goiz, C. Mosqueda Villagómez, L. Latournerie Moreno, G. Castañón Nájera, A. López Benítez, E. Moreno Martínez. 2006. Contenido de lisina y triptófano en genotipos de maíz de alta calidad proteica y normal. *Universidad y Ciencia*. 22(002): 153-161.
- Morales, R. E. J. y J. A. S. Escalante E. 2007. Eficiencia en el uso de los insumos agrícolas en la producción de biomasa y el rendimiento del sistema combinado girasol-frijol en función del nitrógeno. *Terra Latinoamericana*. 25(4): 373-381.
- O'Neil, P. M., J. F. Shanahan, J. S. Schepers, B. Caldwell. 2004. Agronomic responses of corn hybrids from different eras to deficit and adequate levels of water and nitrogen. *Agronomy Journal*. 96: 1660-1667.
- Parker, R. 2000. *La ciencia de las plantas*. Paraninfo. Madrid, España.
- Pecina, M. J. A., M. C. Mendoza- Castillo, J. A. López-Santillán, F. Castillo-González, M. Mendoza-Rodríguez y J. Ortiz-Cereceres. 2011. Rendimiento de grano y sus componentes en maíces nativos de Tamaulipas evaluados en ambientes contrastantes. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 34(2): 85-92.
- Rasheed, M. and T. Mahmood. 2004. Effect of different planting methods and nutrient management on quality traits of hybrid maize. *Internacional Journal of Agriculture and Biology*. 6(1): 162-164.
- Rasheed, M., W. M. Bhutta, M. Anwar-ul-Haq and A. Ghaffar. 2004. Genotypic response of maize hybrids to NP applications. *Internacional Journal of Agriculture and Biology*. 6(4): 721-722.

- Ritchie, S. W. and Hanway, J. J. 1982. How a corn plant develops. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service. Special report No. 48. Ames Iowa, EEUU. 21 p.
- Rivetti, A. 2006. Producción de maíz bajo diferentes regímenes de riego complementario en Rio Cuarto, Córdoba, Argentina. I. Rendimiento en grano de maíz y sus componentes. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. 38 (2): 25-36.
- Shapiro, C. A. and C. S. Wortmann. 2006. Corn response to nitrogen rate, row spacing and plant density in Eastern Nebraska. *Agronomy Journal*. 98: 529-535.
- Sistema de Información Agropecuaria (SIAP). 2011. Sistema de Información Agropecuaria de Consulta. SAGARPA. México. Disponible en: http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar_comanuar.html (Revisado: 12 de septiembre de 2012).
- Snyder, R. L. 1985. Hand calculating degree days. *Agric. For. Meteorol.* 35: 353-358.
- Stagnari, F., V. Di Bitetto and M. Pisante. 2007. Effects of N fertilizers and rates on yield, safety and nutrients in processing spinach genotypes. *Scientia Horticulturae*. 114: 225-233.
- Turrent-Fernández, A., R. Camas-Gómez, A. López-Luna, M. Cantú-Almaguer, J. Ramírez-Silva, J. Medina-Méndez, A. Palafox-Caballero. 2004. Producción de maíz bajo riesgo en el Sur-Sureste de México: II. Desempeño financiero y primera aproximación tecnológica. *Agricultura Técnica en México*. 30 (2): 205-221.
- Volke, H. V. 1982. Optimización de insumos de la producción en la agricultura. Colegio de Postgraduados, Chapingo. Méx. 61 p.
- Yu-kui, R. J. Shi-ling, Z. Fu-Sou, S. Jian-Bo. 2009. Efectos de la aplicación de fertilizantes nitrogenado en la composición de los elementos en los granos de maíz. *Agrociencia*. 43: 21-27.
- Zepeda B., R., A. Carballo C., A. Muñoz O., J. A. Mejía C., B. Figueroa S., y F. V. González C. 2007. Fertilización nitrogenada y características físicas, estructurales y calidad del nixtamaltortilla del grano de híbridos de maíz. *Agric. Téc. Méx.* 33(1):17-24.
- Zepeda, B. R., A. Carballo C., A. Muñoz O., J. A. Mejía C., B. Figueroa S., F. V. González C. y C. Hernández A. 2009. Proteína, triptófano y componentes estructurales del grano en híbridos de maíz (*Zea mays* L.) producidos bajo fertirrigación. *Agrociencia*. 43: 143-152.

CAPÍTULO VI. ANÁLISIS DE CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE MAÍZ EN FUNCIÓN DEL GENOTIPO Y NITRÓGENO, EN CLIMA TEMPLADO

Aguilar Carpio Cid, Dr.
Colegio de Postgraduados, 2014

RESUMEN

En México, el maíz es el cultivo más estudiado, por ser el alimento básico de los mexicanos. Por lo cual, se debe explorar el tipo de variedades que conviene sembrar en cada agrosistema y el manejo más apropiado para una mayor producción del mismo. El análisis de crecimiento ha sido usado ampliamente para el estudio de los factores (nitrógeno y condiciones ambientales) que influyen en el desarrollo de la planta y el rendimiento. El objetivo fue determinar el número de hojas, índice y duración de área foliar, producción de materia seca, tasa de asimilación neta, tasa de crecimiento del cultivo y rendimiento de grano en maíz mejorado y criollo en clima templado, en función a la aplicación de nitrógeno. El estudio se estableció en Montecillo, Edo. de Méx. Los tratamientos consistieron en sembrar el 01 de junio de 2011 el maíz criollo Michoacán 21 y el híbrido Promesa con la aplicación de 0, 80 y 160 kg N ha⁻¹. Para evaluar el crecimiento del cultivo, se contabilizó el número de hojas por m² (NH) y el área foliar. Además, se calculó el índice de área foliar (IAF) y duración del área foliar total (DAFT). Con estos datos se calcularon las tasas medias de crecimiento del cultivo (\overline{TCC}) y asimilación neta (\overline{TAN}). A la madurez fisiológica se evaluó la materia seca total (MS, g m²) y rendimiento de grano (RG, g m²). En Promesa la aplicación de 160 kg N ha⁻¹ incrementó la materia seca total, índice y duración de área foliar, lo que ocasiono la mayor tasa de crecimiento del cultivo y tasa de asimilación neta durante el desarrollo del cultivo, así como rendimiento de grano. En relación a Michoacan-21 la más alta producción de materia seca fue con 160 kg N ha⁻¹, lo cual incrementó el número de hojas, índice y duración de área foliar, que generó la más alta tasa de crecimiento del cultivo, no así rendimiento de grano.

Palabras claves: *Zea mays*, nitrógeno, materia seca.

ABSTRACT

In Mexico, corn is the most studied crop, being the staple food of Mexicans. Therefore, you should explore the type of varieties should be planted in each agro-ecosystem and the most

appropriate management for increased production thereof. Growth analysis has been widely used to study the factors (nitrogen and environmental conditions) that influence plant growth and yield. The objective was to determine the number of sheets, index and leaf area duration, dry matter production, net assimilation rate, crop growth rate and improved grain yield in maize and Creole in temperate climate, depending on the application nitrogen. The study was established in Montecillo, Edo. of Mex. Treatments consisted of sow June 1, 2011 Michoacán 21 landraces and hybrid Promise with the application of 0, 80 and 160 kg N ha⁻¹. To evaluate crop growth, number of leaves per m² (NH) and leaf area was recorded. In addition, the leaf area index (LAI) and total leaf area duration (DAFT) was calculated. With these data the average rates of growth of the culture (CBT) and net assimilation rate (NAR) were calculated. At physiological maturity the total dry matter (DM, g m²) and grain yield (GY, g m²) was evaluated. In Promise applying 160 kg N ha⁻¹ increased the total dry matter, index and leaf area duration, what caused the higher rate of crop growth and net assimilation rate during crop development and yield grain. Regarding Michoacan-21 the highest dry matter yield was 160 kg N ha⁻¹, which increased the number of leaves, rate and duration of leaf area, which generated the highest growth rate of the culture, not grain yield.

Key words: *Zea mays*, nitrogen, dry matter.

INTRODUCCIÓN

En México, el maíz es el cultivo más estudiado, por ser el alimento básico de los mexicanos. Se siembran alrededor de 7,372,218 ha con un rendimiento promedio de 3.19 t ha⁻¹ (SIAP, 2012). En el Edo. de México, la producción es de 1,575,300 t y rendimiento de 2.97 t ha⁻¹ (SIAP, 2012). Sin embargo, en estas áreas agrícolas, los agricultores prefieren el uso de poblaciones nativas de maíz, lo cual genera variabilidad en el rendimiento de grano de maíz. En algunas áreas, las empresas productoras de maíz han introducido híbridos que muestran amplia adaptación a las condiciones ambientales de la localidad. Por lo cual, se debe explorar el tipo de variedades que conviene sembrar en cada agrosistema y el manejo más apropiado para una mayor producción del mismo. Dentro de los fertilizantes utilizados en la agricultura, el más usado es el nitrógeno, por ser determinante en el incremento del rendimiento en maíz. Sin embargo, representa una inversión de alto costo y riesgo ambiental. El crecimiento del cultivo está influenciado principalmente por el clima y los nutrimentos (Naresh y Singh, 2001). En base a lo anterior, el

análisis de crecimiento ha sido usado ampliamente para el estudio de los factores (nitrógeno y condiciones ambientales) que influyen en el desarrollo de la planta y el rendimiento, a través del seguimiento de la acumulación de materia seca durante el ciclo del cultivo (Santos *et al.*, 2010), así como para comparar el rendimiento de diferentes cultivares y especies en condiciones similares de crecimiento (Woo *et al.*, 2004). El análisis de crecimiento usa medidas directas como el peso de la materia seca, la cual depende del tamaño del área foliar, de la tasa a la cual funcionan las hojas y el tiempo que el follaje persiste (Tekalign y Hammes, 2005). De esta forma se tienen índices relacionados con cada uno de estos aspectos, por un lado el índice de área foliar (IAF) representa la relación entre el área foliar o superficie fotosintetizadora y el área de suelo ocupada por el cultivo. La tasa de asimilación neta (TAN) es un indicador de la eficiencia fotosintética promedio, ya que mide la ganancia neta de asimilados por unidad de área foliar y por unidad de tiempo y la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) que es considerado un índice de la productividad agrícola, mide la ganancia en peso de un cultivo por unidad de área de suelo y por unidad de tiempo. En cuanto al tiempo que el follaje persiste, se tiene la duración de área foliar (DAF) como índice que representa la producción de hojas en el periodo de crecimiento del cultivo (Santos *et al.*, 2010). Estudios en maíz, indican que con la aplicación de nitrógeno se ha logrado incrementar la producción de materia seca mediante sus índices de crecimiento y rendimiento de grano. Al respecto, Díaz- López *et al.* (2013) observaron diferencias entre genotipos de maíz en la TAN siendo el más alto a los 34 dds. Con la incorporación de nitrógeno en el suelo en el cultivo de maíz se puede lograr incrementar la MS, IAF, DAF, TCC y TAN (Quiroz y Marín, 2000; Woo *et al.*, 2004; Naresh y Singh, 2001). En general, los antecedentes indican que con el uso de nitrógeno, se logra incrementar la materia seca total, así como los índices de crecimiento y el rendimiento de grano tanto en maíz criollo como híbrido. No obstante, los reportes sobre el tema en clima templado y con los genotipos utilizados en el estudio no son abundantes por lo que, el objetivo del presente fue determinar el número de hojas, índice y duración de área foliar, producción de materia seca, tasa de asimilación neta, tasa de crecimiento del cultivo y rendimiento de grano en maíz mejorado y criollo en siembra de temporal, en función a la aplicación de nitrógeno.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se estableció bajo lluvia estacional en Montecillo, Edo. de México., de clima templado con lluvias en verano (precipitación anual de 558 mm) y altitud de 2240 m (BS₁, García, 2005). Los tratamientos consistieron en sembrar el 01 de junio de 2011 el maíz criollo Michoacán 21 y el híbrido Promesa y 0, 80 y 160 kg N ha⁻¹, el cual se aplicó de forma fraccionada, la mitad de N a los 10 días después de la siembra (dds) y el resto a los 40 dds. La densidad de población fue de 6.25 pl m⁻² y en distancia entre surcos de 80 cm. El diseño experimental fue bloques completamente al azar con arreglo en parcelas divididas con cuatro repeticiones. La unidad experimental fue de cuatro surcos de 0.8 m de ancho x 4 m de longitud. Para conocer las características iniciales del suelo en los primeros 30 cm de profundidad, se realizó un análisis físico y químico en el Laboratorio de Nutrición Vegetal S. C., Fertilab. Los resultados indican que es un suelo de textura franco arcillo arenosos, densidad aparente de 1.22 g cm⁻³, pH 8.2, conductividad eléctrica 0.41 dS m⁻¹, materia orgánica de 1.70 % y nitrógeno total de 3.46 ppm. Durante el desarrollo del estudio se registró la temperatura máxima (T_{máx}), mínima (T_{mín}) decenal y la suma de la evaporación (Ev, mm) y precipitación (PP, mm), datos proporcionados por la estación Agrometeorológica del Colegio de postgraduados. También se registró la ocurrencia de las fases fenológicas como: días a emergencia, floración y a madurez fisiológica. El criterio utilizado es el presentado por Ritchie y Hanway (1982). También, para cada fase fenológica se determinó la acumulación de unidades calor para el cultivo (UC, °C d), mediante el método residual, el cual es descrito por la siguiente relación como se indica en Snyder (1985):

$$UC = (T_{máx} + T_{mín} / 2) - TB$$

Donde: T_{máx} = Temperatura máxima diaria (°C), T_{mín} = Temperatura mínima diaria (°C) y TB = Temperatura base, considerada de 10 °C (Villalpando y Ruíz, 1993). La evapotranspiración del cultivo (ET_c) se calculó a partir de los datos de la evaporación (Ev) del tanque tipo "A", utilizando 0.6 como coeficiente para el evaporímetro, kc inicial = 0.35, kc a mediados del periodo = 1.14 y kc final = 0.6 (Doorenbos y Pruitt, 1986), a partir de la siguiente ecuación:

$$ET_c = Ev \times 0.6 \times K_c$$

Para evaluar el crecimiento del cultivo, se hicieron muestreos destructivos de dos plantas en la parcela útil de cada unidad experimental a los 36, 54, 90 y 115 dds, en cada uno de los muestreos se contabilizó el número de hojas por m² (NH) y el área foliar se midió con un integrador electrónico (LI-COR 3100). Se calculó el índice de área foliar (IAF) y duración del área foliar

total (DAFT), en base a la siguientes ecuaciones: $IAF = (AF/NP) \times DP/100 \text{ dm}^2$, donde AF = área foliar (dm^2), NP = número de plantas muestreadas y DP = número de plantas m^{-2} . $DAF = \Sigma ((IAF_1 + IAF_2) (T_2 - T_1))/2$, donde: Σ = sumatoria de la duración del área foliar para cada periodo estudiado, IAF_1 = índice de área foliar en un tiempo inicial (T_1 , en días), IAF_2 = índice de área foliar en un tiempo final (T_2 , en días) (Escalante y Kohashi, 1993). También se evaluó la materia seca total (MS, g m^{-2}); para lo cual las muestras se secaron a $80 \text{ }^\circ\text{C}$ en una estufa de circulación de aire forzado hasta peso constante. Con estos datos se calcularon las tasas medias de: crecimiento del cultivo (\overline{TCC}) y asimilación neta (\overline{TAN}), mediante las ecuaciones: $\overline{TCC} = [(PS_2 - PS_1) / A(T_2 - T_1)]$ donde: PS_2 y PS_1 indican el peso de la materia seca de la planta en los tiempo T_2 y T_1 , respectivamente y A representa el área ocupada por la planta. $\overline{TAN} = [(PS_2 - PS_1) / (IAF_2 - IAF_1)] / [(\ln IAF_2 - \ln IAF_1) / (T_2 - T_1)]$, donde: PS_2 y PS_1 expresan el peso de la materia seca de la planta, $\ln IAF_2$ y $\ln IAF_1$, logaritmo natural del índice de área foliar en el tiempo T_2 y T_1 , respectivamente (Escalante y Kohashi, 1993). A la madurez fisiológica se evaluó la materia seca total (MS, g m^{-2}) y rendimiento de grano (RG, g m^{-2}). A las variables en estudio, se les aplicó un análisis de varianza (ANDEVA) mediante el programa estadístico del SAS Versión 9.0 (SAS, 2003), la prueba de comparación de medias Tukey ($\alpha = 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fenología, condiciones climáticas, unidades calor y evapotranspiración

En la Figura 1, se observa la media decenal de la $T_{\text{máx}}$ y $T_{\text{mín}}$ durante el desarrollo del cultivo que fluctuó entre 31 y $21 \text{ }^\circ\text{C}$, y entre 13 y $8 \text{ }^\circ\text{C}$, respectivamente. Durante la etapa de siembra (S) a FL, la $T_{\text{máx}}$ y $T_{\text{mín}}$ promedio fueron de 31 y $8 \text{ }^\circ\text{C}$ y de FL a MF de 25 y $8 \text{ }^\circ\text{C}$, respectivamente. Dichos valores se encuentran dentro del umbral térmico en promedio de 18 a $22 \text{ }^\circ\text{C}$ apropiado para cultivares de maíz adaptados a los valles altos de México (Pecina *et al.*, 2011), lo cual indica que la temperatura no fue limitante para una mayor expresión del rendimiento. La suma de la PP durante el ciclo del cultivo fue de 504 mm , considerando que durante el desarrollo del cultivo de maíz requiere de al menos 500 mm de agua (Lafitte, 2002). La mayor PP (374 mm) ocurrió en la etapa de S a FL de los genotipos, en los meses de junio y julio. Sin embargo, de FL a MF la PP fue más baja (129 mm). Esto limitó una mayor expresión del RG (Faraldo *et al.*, 2011).

Los genotipos en estudio, presentaron diferencias en las fechas a ocurrencia de las etapas fenológicas, a excepción de la emergencia donde fue similar (6 dds) con un requerimiento de

calor de 69°C d. En contraste, la floración de Michoacan-21 ocurrió a los 84 dds con 866°C d y en Promesa a los 90 dds con 1003°C d. La MF en Michoacan-21 fue a los 140 dds (1452°C d) y en Promesa a los 146 dds con 1490°C d (Figura 1 y 2). En referencia, Díaz-López *et al.* (2013) reportaron en el ciclo del cultivo de maíz, requerimiento térmico de 1158 UC, valor inferior al encontrado en el presente estudio.

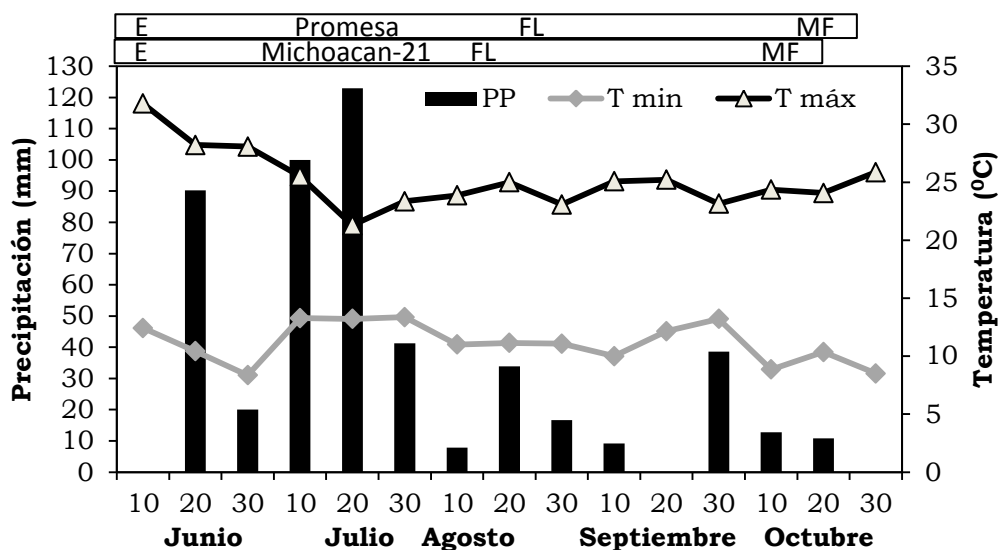


Figura 1. Medias decenales de la temperatura máxima (Tmáx, °C), mínima (Tmín, °C) y suma decenal de la precipitación (PP, mm) durante el ciclo del cultivo de los maíces Michoacan-21 y Promesa. E = Emergencia, FL = Floración, MF = Madurez fisiológica. Montecillo, Edo. de Méx. 2011.

En la Figura 2 se observa que la acumulación de UC y la ETc durante el ciclo del cultivo, mostró una relación lineal con el tiempo que respondió al modelo $y = a + bx$. En cuanto a la ETc, del periodo de S a E fue de 12 mm, para los genotipos. De S a FL fue de 218 y 231 mm en Michoacan-21 y Promesa, respectivamente. De FL a MF fue de, 179 y 181 mm en Michoacan-21 y Promesa, respectivamente. La ETc total fue de 397 mm en Michoacan-21 y de 412 mm en Promesa. Esto indica que las necesidades hídricas del cultivo difieren entre genotipo; por su mayor ciclo de crecimiento, son más altos en Promesa.

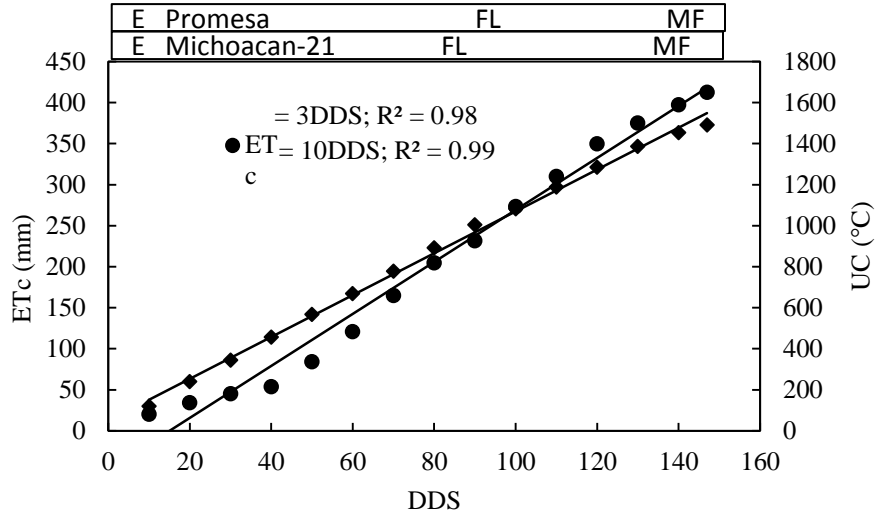


Figura 2. Unidades calor (UC), evapotranspiración (ETc) y fenología durante el ciclo del cultivo en los cultivares de maíz Michoacan-21 y Promesa. E = Emergencia, FL = Floración, MF = Madurez fisiológica. Montecillo, Edo. de México. 2011.

Número de hojas, índice de área foliar y duración del área foliar

El ANDEVA presentado en el Cuadro 1, para la DAFT mostró cambios significativos debido a genotipos (G), nitrógeno (N) y las interacción genotipo x nitrógeno (G x N). También, se observaron diferencias significativas en el IAF, a los 40, 100 y 146 dds: En el NH a los 146 dds.

Cuadro 1. Análisis de varianza para número de hojas (NH), índice de área foliar (IAF) y duración de área foliar total (DAFT). Montecillos, Edo. de México. 2011.

Factor	NH m ²				IAF				DAFT
	40	62	100	146	40	62	100	146	Días
	Días después de la siembra								
G	NS	NS	**	**	*	NS	**	**	**
N	**	NS	NS	*	**	**	**	**	**
G x N	*	NS	*	*	**	*	*	*	*

*,** = P<0.05, 0.01, respectivamente; NS = No significativo a P≥0.05; G = Genotipo, N = Nitrógeno.

Genotipo

En el Cuadro 2, que presenta el NH, IAF y DAFT se observan cambios significativos entre genotipos. Hasta los 100 dds el NH e IAF de Promesa fue superior a Michoacan-21. Esto indica

que Promesa mostró el más alto NH y dosel vegetal, el cual coincidió con el desarrollo reproductivo de la planta, momento en el cual necesita de su máxima capacidad fotosintética para acumular carbohidratos y ser utilizados en la formación de la mazorca (Lafitte, 2002). También se reflejó en la DAFT, debido a que Promesa presentó una mayor expansión y duración de área foliar. Al respecto, Ortiz *et al.* (2005) entre genotipos de maíz, encontró que el IAF fue de 6, superior a los genotipos del presente estudio, debido a que los materiales genéticos presentaron mayor área foliar total.

Nitrógeno

En el Cuadro 2, se observa que el N ocasionó cambios significativos para el NH, IAF y DAFT. Así, con 80 y 160 kg N ha⁻¹ no se observaron diferencias en la aparición del NH. Sin embargo, el IAF y DAFT más alto se presentó con 160 kg N ha⁻¹. Estos resultados indican que con la aplicación de N se incrementa el área de la hoja y en consecuencia el periodo de actividad fotosintética (Boomsma *et al.*, 2009). Al respecto, Rasheed (2003) con 250 kg N ha⁻¹, obtuvo un IAF de 4.8 a los 75 dds, con respecto al testigo (IAF = 3.4), superior a lo encontrado en el presente estudio. Dichas diferencias son en base al genotipo y nivel de fertilización utilizado.

Cuadro 2. Número de hojas (NH), índice de área foliar (IAF) y duración del área foliar total (DAFT) en genotipos de maíz en función del nitrógeno (N). Montecillos, Edo. de México. 2011.

Factor	NH m ²				IAF				DAFT	
	42	62	100	146	42	62	100	146		
			Días después de la siembra						Días	
Genotipo	Michoacan-21	29a	46a	52b	47b	0.7a	1.9a	1.7b	1.5b	171b
	Promesa	29a	45a	63a	58a	0.6b	1.8a	2.2a	2.0a	210a
	Tukey $\alpha = 0.05$	4.5	3.4	6.3	6.3	0.06	0.1	0.1	0.1	10
N (kg ha⁻¹)	0	26b	45a	55a	40b	0.5c	1.5c	1.6c	1.4c	152c
	80	32a	45a	56a	41b	0.7b	1.9b	2.0b	1.8b	200b
	160	31a	45a	61a	49a	0.8a	2.1a	2.2a	2.0a	220a
	Tukey $\alpha = 0.05$	3.3	2.5	6.5	6.5	0.07	0.1	0.1	0.1	11
	Media general	29	45	57	52	0.6	1.8	1.9	1.7	191
	CV. (%)	12	6	12	13	12	8	8	9	7

En columnas letras similares indican que los valores son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha=0.05$).

Genotipo x Nitrógeno (G x N)

En el Cuadro 3, se observa que los genotipos presentaron respuesta diferente en el NH, IAF y DAFT con la aplicación de N. En Michoacan-21, la respuesta más alta en el número de hojas fue a los 100 dds y en el IAF a los 62 dds con 160 kg N ha⁻¹. Para Promesa la mayor tasa de aparición de hojas e IAF se presentó con la aplicación de N durante el ciclo del cultivo. Al respecto Boomsma *et al.* (2009) encontraron que con la aplicación de 165 y 330 kg N ha⁻¹ se presentó el mayor IAF en diferentes genotipos de maíz. También se observó que con la aplicación de 160 kg N ha⁻¹, se incrementó la DAFT en ambos genotipos. Esto indica que el N aumentó la DAFT que está relacionada con el crecimiento de las hojas (Woo *et al.*, 2004). En general se observa que los genotipos presentaron mayor respuesta con 160 kg N ha⁻¹, principalmente en Promesa. Debido a que este genotipo presento una mayor expansión foliar por efecto del nitrógeno.

Cuadro 3. Número de hojas (NH), índice de área foliar (IAF) y duración del área foliar total (DAFT) en genotipos de maíz en función del nitrógeno (N). Montecillos, Edo. de México. 2011.

Genotipo	N	NH m ²				IAF				DAFT
		40	62	100	146	40	62	100	146	
		Días después de la siembra								Días
Michoacan-21	0	26b	45a	51b	46b	0.5d	1.4c	1.3c	1.1c	129d
	80	32a	47a	47b	42b	0.8b	1.8b	1.9b	1.7b	180c
	160	31a	46a	58a	53a	0.9a	2.2a	2.0b	1.8b	205b
Promesa	0	25b	46a	59b	54b	0.5d	1.6c	1.9b	1.7b	176c
	80	32a	44a	65a	60a	0.6c	2.0a	2.3a	2.1a	219b
	160	31a	45a	64a	59a	0.6c	2.1a	2.5a	2.3a	235a
Tukey $\alpha = 0.05$		2.3	2.4	2.3	2.3	0.1	0.4	0.4	0.4	33
Media general		52	72	72	43	1.2	4.4	4.7	2.8	331
CV. (%)		5	3	3	6	16	12	11	18	11

En columnas letras similares indican que los valores son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha=0.05$). *, ** = $P \leq 0.05, 0.01$, respectivamente; NS = No significativo a $P \geq 0.05$.

Materia seca total (MS)

Se observaron diferencias significativas en la MS en función del N (Figura 3). El patrón de producción de MS en función del N se ajustó a un polinomio de segundo grado. La más alta producción de MS correspondió a Michoacan-21 con 80 kg N ha⁻¹, lo que indica que el N generó una mayor eficiencia en la producción de MS del dosel para Michoacan-21. Sin embargo, en

Promesa con 160 kg N ha⁻¹ fue donde se obtuvo la mayor producción de MS durante el desarrollo del cultivo, respecto al testigo sin N. Esto demuestra que el N incrementa el peso seco del dosel vegetal.

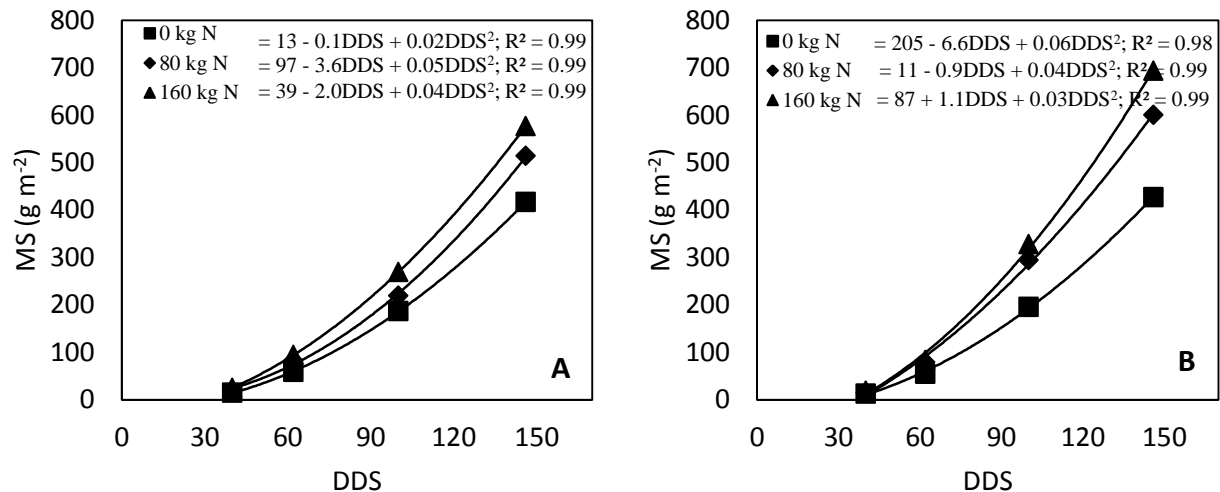


Figura 3. Dinámica de la materia seca total en el maíz Michoacan-21 (A) y Promesa (B) en función del nitrógeno durante el ciclo del cultivo. Montecillo, Edo. de México. 2011.

Tasa de crecimiento del cultivo (TCC)

En la Figura 4 se observa que la \overline{TCC} más alta se presentó en Promesa con aplicación de 160 kg N ha⁻¹; desde los 22 hasta los 123 dds la tendencia se ajustó a un modelo cuadrático, que indica que la producción por día fue de 0.17 g m⁻² d⁻¹, el nitrógeno logró incrementar la eficiencia de la planta en la producción de materia seca (Woo *et al.*, 2004). En el caso de Michoacan-21 la mayor \overline{TCC} se presentó con 160 kg N ha⁻¹ desde los 51 a los 123 dds. De acuerdo con el modelo de regresión cuadrática, la mayor producción de MS por día se obtuvo con 160 kg N ha⁻¹. Lo que indica que la maquinaria fotosintética es más eficiente en la producción de materia seca durante el desarrollo del cultivo por efecto del N (Naresh y Singh, 2001).

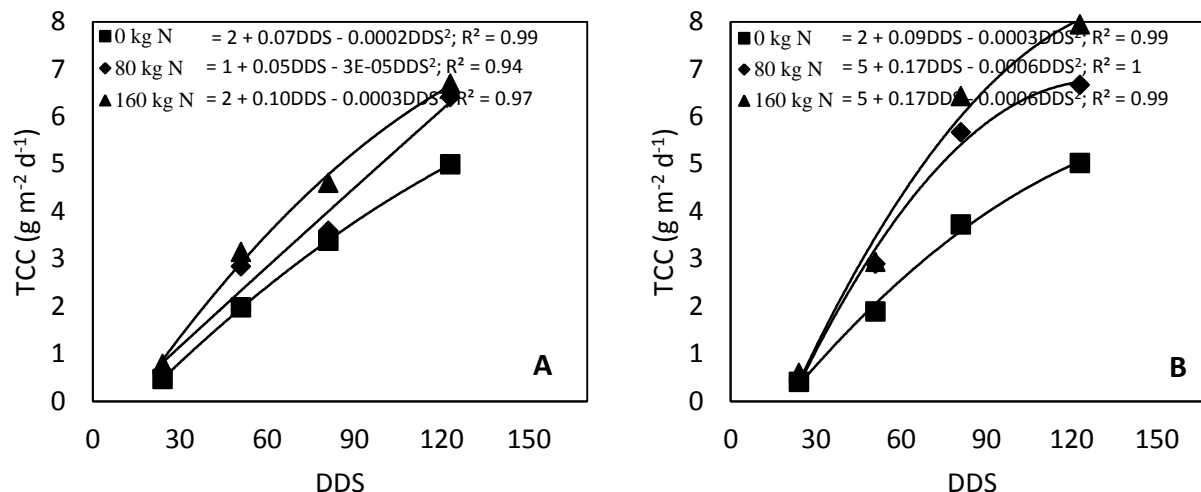


Figura 4. Dinámica de la tasa media de crecimiento del cultivo (\overline{TCC}) en maíz Michoacan-21 (A) y Promesa (B) en función del nitrógeno. Montecillo, Edo. de México. 2011.

Tasa media de asimilación neta (\overline{TAN})

En la Figura 5, se observa que en general la \overline{TAN} más alta fue a los 24 dds y decreció durante el ciclo del cultivo hasta los 81 dds, después hubo un aumento hasta los 123 dds, el cual corresponde a la etapa de llenado de grano. Al respecto, Rincón *et al.* (2007) presentaron un comportamiento semejando siendo la mayor \overline{TAN} a los 30 dds, similar al presente estudio. Por otro lado, Michoacan-21 presentó la \overline{TAN} más alta a los 24 dds. De acuerdo con el modelo de regresión cuadrática, no hubo diferencias en la producción de MS por día entre los tratamientos. En cuanto a Promesa la mayor \overline{TAN} fue con 160 kg N ha⁻¹ y en el polinomio de segundo grado se observa que por cada día se producen 0.12 g m⁻² d⁻¹. De acuerdo a los resultados obtenidos, la \overline{TAN} presentó diferencias entre genotipos, en función del nitrógeno. El aumento de la \overline{TAN} por efecto del nitrógeno, ha sido relacionado con la máxima acumulación de materia seca de hojas, tallos y mazorca (Naresh y Singh, 2001).

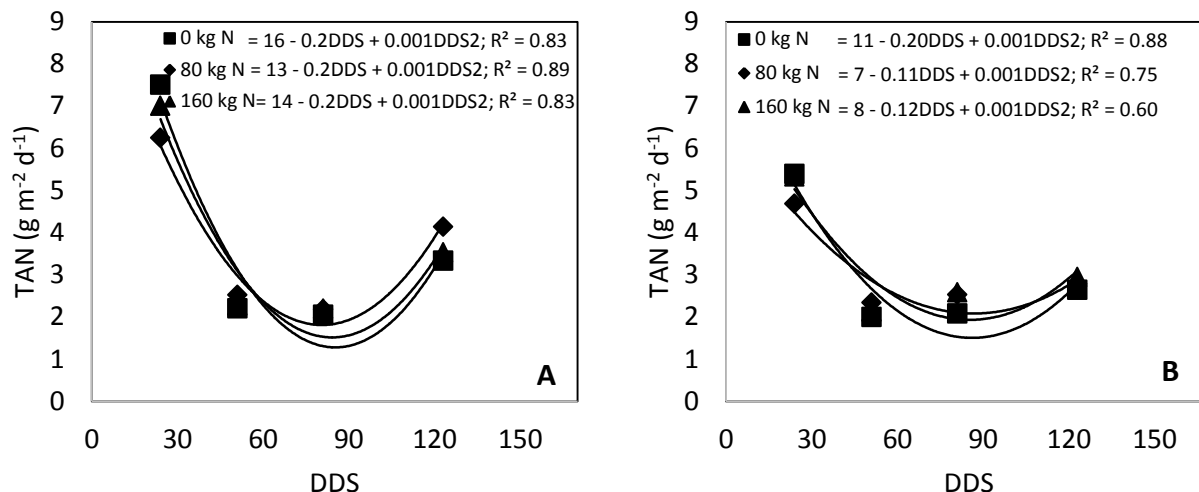


Figura 5. Dinámica de la tasa media de asimilación neta (\overline{TAN}) en maíz Michoacan-21 (A) y Promesa (B) en función del nitrógeno. Montecillo, Edo. de México. 2011.

Rendimiento de grano

El ANDEVA mostró cambios significativos en el RG por efecto de la interacción G x N (Figura 6). El RG más alto se presentó en Promesa con 160 kg N ha⁻¹ y en Michoacan-21 fue con 80 kg N ha⁻¹. Esto indica que los genotipos mostraron respuesta diferente a la aplicación de N. Siendo más eficiente Michoacan-21 en el uso del N. El alto RG en Promesa al aplicar 160 kg N ha⁻¹, se relacionó con el mayor NH, IAF, DAFT, MS y TCC. Relaciones similares observaron Rincón *et al.* (2007), en el RG con un alto IAF, TCC y TAN.

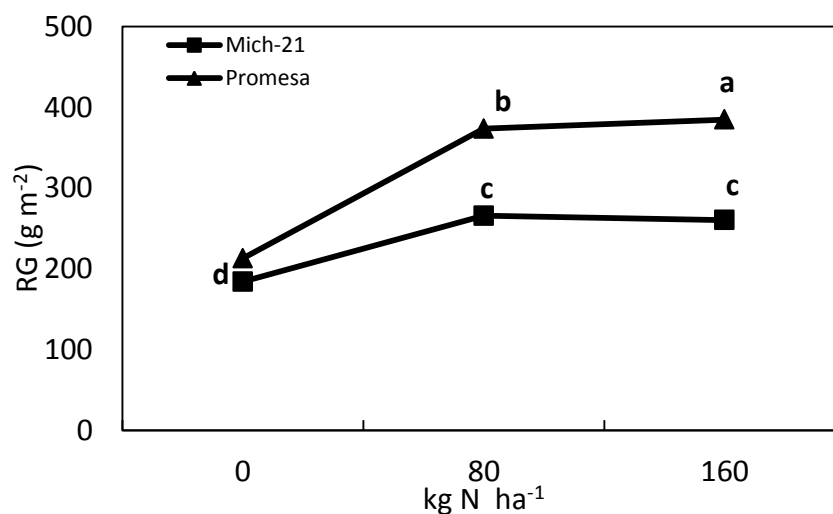


Figura 6. Rendimiento de grano (RG) en genotipos de maíz en función del nitrógeno. Montecillo, Edo. de México. 2011.

En síntesis, estos resultados indican que la materia seca durante el desarrollo del cultivo y el rendimiento de grano a madurez fisiológica fueron más altos en Promesa con la aplicación de 160 kg N ha⁻¹, esto se relacionó con el incremento del tamaño y duración del aparato biomolecular fotosintético (NH, IAF y DAFT), el cual generó la TCC más alta. En cambio, con Michoacan-21 la mayor respuesta se vio favorecida con la aplicación de 160 kg N ha⁻¹, el cual ocasionó un incremento en la materia seca total, producto del mayor número de hojas, expansión, duración y velocidad de crecimiento del dosel vegetal (IAF, DAFT y TCC) y no así para el rendimiento de grano el cual fue con 80 kg N ha⁻¹.

CONCLUSIONES

En Promesa la aplicación de 160 kg N ha⁻¹ incrementó la materia seca, índice y duración de área foliar, lo que ocasionó la mayor tasa de crecimiento del cultivo y tasa de asimilación neta durante el desarrollo del cultivo, así como el rendimiento de grano. En relación a Michoacan-21 la más alta producción de materia seca total fue con 160 kg N ha⁻¹, lo cual incrementó el número de hojas, índice y duración de área foliar, que generó la más alta tasa de crecimiento del cultivo, no así el rendimiento de grano.

LITERATURA CITADA

- Boomsma, C. R., J. B. Santini, M. Tollenaar and T. J. Vyn. 2009. Maize morphophysiological responses to intense crowding and low nitrogen availability: An analysis and review. *Agronomy Journal*. 101(6): 1246-1452.
- Díaz- López, E., J. M. Loeza-Corte, J. M. Campos-Pastelín, E. J. Morales-Rosales, A. Domínguez-López y O. Franco-Mora. 2013. Eficiencia en el uso de la radiación, tasa de asimilación neta e integral térmica en función del fósforo en maíz (*Zea mays* L.). *Agrociencia*. 47: 135-146.
- Doorenbos, J. y W. O. Pruitt. 1986. Las necesidades de agua por los cultivos. Estudio FAO. Riego y Drenaje. Manual 24.
- Escalante, E. J. A. S., S. J. Kohashi. 1993. El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para la toma de datos. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 84 p.

- Faraldo, L. M., G. T. Vergara, G. A. Casagrande, J. P. Arnaiz, H. Mirasson y C. Ferrero. 2011. Eficiencia en el uso del agua y radiación en maíz, girasol y soja, en la región oriental de la Pampa, Argentina. *Agronomía Tropical*. 61(1): 47-57.
- García E. 2005. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. 4ª Edición. Instituto de Geografía. Universidad Autónoma de México. 217 p.
- Laffite, H. R. 2002. Fisiología del maíz tropical. Programa de maíz CIMMT. *Tecnifenalce* 2(7): 4-5.
- Naresh, K. S. and C. P. Singh. 2001. Growth analysis of maize during long and short duration crop seasons: influence of nitrogen source and dose. *Indian Journal Agriculture Res.* 35(1): 13-18.
- Ortiz, S. C. A., M. C. Gutiérrez C., J. Nieves F. 2005. Estimación de rendimiento de maíz con el método FAO en el ejido de Atenco, Edo. de Méx. *Revista Geografía Agrícola*. 035: 57-65.
- Pecina, M. J. A., M. C. Mendoza- Castillo, J. A. López-Santillán, F. Castillo-González, M. Mendoza-Rodríguez y J. Ortiz-Cereceres. 2011. Rendimiento de grano y sus componentes en maíces nativos de Tamaulipas evaluados en ambientes contrastantes. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 34(2): 85-92.
- Quiroz, A. y D. Marín. 2000. Evaluación de la asociación maíz-quinchoncho, con siembra escalonada y dos niveles de fertilización. I. Fenología y crecimiento. *Agronomía Tropical*. 50(1): 99-122.
- Rincón, A., G. A. Ligarreto y D. Sanjuanelo. 2007. Crecimiento del maíz y los pastos (*Brachiaria* sp.) establecidos en monocultivo y asociados en suelos ácidos del piedemonte llanero colombiano. *Agronomía Colombiana*. 25(2): 264-272.
- Ritchie, S. W. and Hanway, J. J. 1982. How a corn plant develops. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service. Special report No. 48. Ames Iowa, EEUU. 21 p.
- Rivetti, A. 2006. Producción de maíz bajo diferentes regímenes de riego complementario en Rio Cuarto, Córdoba, Argentina. I. Rendimiento en grano de maíz y sus componentes. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*. 38 (2): 25-36.
- Santos, C. M., M. Segura A. y C. E. Núñez L. 2010. Análisis de crecimiento y relación fuente demanda de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el municipio de

- Zipaquirá (Cundinamarca, Colombia). Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín. 63(1): 5253-5266.
- SAS Institute. 2003. SAS/STAT user's guide Release 9.1. SAS Institute. Cary, NC, USA.
- Sistema de Información Agropecuaria (SIAP). 2012. Sistema de Información Agropecuaria de Consulta. SAGARPA. México. Disponible en: http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar_comanuar.html (Revisado: 12 de septiembre de 2012).
- Snyder, R. L. 1985. Hand calculating degree days. Agric. For. Meteorol. 35: 353-358.
- Tekalign, T. and P. S: Hammes. 2005. Growth and productivity of potato as influenced by cultivar and productive growth II. Growth analysis, tuber yield and quality. Scientia Horticulturae. 105(1):29-44.
- Villalpando, I. J. F., Ruíz, C. J. A. 1993. Observaciones agrometeorológicas y su uso en la agricultura. Primera Ed. México; Editorial Limusa.
- Woo, R. J. L., R. Vázquez A., E. Olivares S., F. Zavala G., R. González G., R. Valdez C. y C. Gallegos V. 2004. Análisis de crecimiento en maíz (*Zea mays* L.) aplicando lodos activados y urea. Sistema de producción agropecuaria. Agrofaz. 4(1):437-441.

CAPÍTULO VII. RENTABILIDAD Y RENDIMIENTO DE MAÍZ EN FUNCIÓN DEL GENOTIPO, BIOFERTILIZANTE Y NITRÓGENO, EN CLIMA TEMPLADO

Cid Aguilar Carpio, Dr.
Colegio de Postgraduados, 2014

RESUMEN

Los agricultores optan por cultivar variedades criollas; sin embargo, el uso de variedades mejoradas es una alternativa, para incrementar la producción de maíz. Por otro lado, la fertilización nitrogenada es determinante para incrementar el rendimiento de maíz. Sin embargo, la representa una inversión de alto costo y muchas veces utilizado ineficientemente. Una alternativa a este problema es el uso del biofertilizante. Por lo que, el objetivo del presente estudio fue determinar la ocurrencia de las fases fenológicas, producción de materia seca, rendimiento, sus componentes y rentabilidad en maíz en siembra de temporal, en función del genotipo, nitrógeno y el biofertilizante. El estudio se estableció en Montecillo, Edo. de México. Los tratamientos consistieron en la siembra del maíz criollo Michoacán 21, una variedad sintética HS-2 y el híbrido Promesa con y sin biofertilizantes y 0, 80 y 160 kg N ha⁻¹ el 04 de mayo de 2012. También se registró la ocurrencia de las fases fenológicas como: días a emergencia (E), floración (FL) y a madurez fisiológica (MF). A la MF se evaluó la materia seca, índice de cosecha, rendimiento de grano y sus componentes. Adicionalmente, se realizó un análisis económico para rendimiento. Los genotipos en estudio, presentaron diferencias a ocurrencia de las etapas fenológicas: la E fue a 8 dds. La FL de Michoacan-21 ocurrió a los 80 dds, en HS-2 a los 90 dds y en Promesa a los 87 dds. La MF en Michoacan-21 a los 135 dds, en HS-2 y Promesa a los 141 dds. La aplicación de biofertilizante y nitrógeno ocasionó incrementos significativos en la producción de materia seca y en el rendimiento. En general, el mayor rendimiento y materia seca se logra con 160 kg de N ha⁻¹. La producción de materia seca más alta se logra en HS-2 con 160 kg N ha⁻¹ y para el rendimiento de grano en Promesa con 160 kg N ha⁻¹. La producción de materia seca y rendimiento más bajo se logró con Michoacan-21, sin aplicación de nitrógeno y sin biofertilizante. El mayor ingreso neto se logra con Promesa y 160 kg N ha⁻¹ independientemente del uso del biofertilizante.

Palabras claves: Maiz, biofertilizante, nitrógeno.

ABSTRACT

Farmers choose to grow landraces; however, improved varieties using an alternative, to increase production of corn. On the other hand, nitrogen fertilization is crucial to increase the yield of corn. However, the investment represents a high cost and often used inefficiently. An alternative to this problem is the use of a biofertilizer. So, the objective of this study was to determine the occurrence of phenological stages, dry matter production, yield components and yield in corn planting time, depending on the genotype, nitrogen and biofertilizer. The study was established in Montecillo, Edo. of Mexico. Treatments consisted of planting 21 native maize Michoacán, a synthetic variety HS-2 and hybrid Promise with and without biofertilizers and 0, 80 and 160 kg N ha⁻¹ on 04 May 2012 also recorded the occurrence of phenological phases as days to emergence (E), flowering (FL) and physiological maturity (MF). The MF dry matter, harvest index, grain yield and its components were evaluated. In addition, an economic analysis was performed for yield. The genotypes under study differed in occurrence of phenological stages: E was 8 dds. The Michoacan FL-21 occurred at 80 dap in HS-2 at 90 dds and dds Promise at 87. The MF-21 in Michoacan dds 135 in HS-2 and 141 Promise to dds. The application of bio-fertilizer and nitrogen caused significant increases in dry matter production and yield. In general, the higher yield and dry matter is obtained with 160 kg N ha⁻¹. For the study region and time of planting, producing higher dry matter is achieved in HS-2 with 160 kg N ha⁻¹ and grain yield in Promise 160 kg N ha⁻¹. The dry matter production and lower performance was achieved with Michoacan-21 without nitrogen application without biofertilizer. The higher net income was achieved with 160 kg N Promise ha⁻¹ regardless of the use of biofertilizer.

Key words: Maize, biofertilizer, nitrogen.

INTRODUCCIÓN

En el Edo. de México, se siembran alrededor de 467,578 ha bajo condiciones de lluvia estacional, con rendimiento promedio de 2.97 t ha⁻¹ (SIAP, 2012). Los agricultores de lluvia estacional optan por cultivar variedades criollas (Preciado *et al.*, 2004); sin embargo, estas razas presentan características agronómicas que no son del agrado del productor y que afectan significativamente el rendimiento del grano, como son: acame, un alto porcentaje de plantas improductivas y la pudrición de grano (Gómez *et al.*, 2014). El uso de variedades mejoradas es una alternativa, para incrementar la producción de maíz (Espinosa *et al.*, 2003). Por lo cual, se requiere evaluar

variedades para obtener información sobre el manejo agronómico, áreas de adaptación óptimas, fertilización convencional, respuesta a biofertilizantes, además de otra información que permita elevar el rendimiento. Dentro del manejo, la fertilización nitrogenada (FN) es determinante para incrementar el rendimiento de maíz (Borrás, 2001). El nitrógeno es el nutrimento más importante para la producción, tanto el agua como el nitrógeno deben estar bien provistos en cantidad y oportunidad para asegurar un estado fisiológico óptimo al momento de la floración, que es cuando se determina el rendimiento (Hernández *et al.*, 2003). Al respecto, en maíz se recomienda aplicar 146 kg N ha⁻¹ (Barraco y Díaz-Zorita, 2005), 168 kg N ha⁻¹ (Shapiro y Wortmann, 2006), 210 kg N ha⁻¹ (Rasheed *et al.*, 2004), 300 kg N ha⁻¹ (Khaliq *et al.*, 2009). Sin embargo, la FN representa una inversión de alto costo y muchas veces utilizado ineficientemente, que causa riesgo ambiental. Una alternativa a este problema es el uso del biofertilizante. Su importancia en la agricultura es debido a la asociación de los microorganismos con las raíces de las plantas (Díaz-Franco *et al.*, 2005). Sin embargo, la respuesta del cultivo al biofertilizante puede ser variable debido a la precipitación pluvial, temperatura, características físicas y químicas del suelo de cada región y el genotipo utilizado (Irizar-Garza *et al.*, 2003; García-Olivares *et al.*, 2007).

Estudios en maíz, indican que con la inoculación de *Azospirillum brasilense* o *Glomus intrarradice* en la semilla de forma individual, incrementa significativamente la producción del grano, e inclusive igualaron o superaron al testigo con fertilización química (Díaz-Franco *et al.*, 2005). García-Olivares *et al.* (2007) al evaluar en campo, la cepa de *A. brasilense* (CBG-497) reportan un incremento de 0.3 t ha⁻¹ en el rendimiento del maíz ‘Asgrow-Tigre’, mientras que en ‘Dekalb-2003’ y ‘Garst-8222’ el rendimiento se incrementó en 1.3 y 0.3 t ha⁻¹ (8%), respectivamente. Por otra parte, algunos estudios no han encontrado respuesta al *Azospirillum* sp. y al hongo micorrízico como reportan Irizar-Garza *et al.* (2003) en Guanajuato, Tlaxcala y Puebla. En contraste, en Puebla, la inoculación con *Azospirillum* sp. produjo mayor rendimiento para el maíz híbrido (6.4 t ha⁻¹) y criollo (4.0 t ha⁻¹). Roveda y Polo (2007) en maíz con *Glomus* sp. encontraron incrementos en la producción de MS. En general, los antecedentes indican que la inoculación basada en *Azospirillum brasilense* y la asociación con *Glomus* incrementan el rendimiento tanto en maíz criollo como híbrido. No obstante, los reportes sobre el tema en clima templado no son abundantes por lo que, el objetivo del presente estudio fue determinar la ocurrencia de las fases fenológicas, producción de materia seca, rendimiento, sus componentes y rentabilidad en maíz en siembra de temporal, en función del genotipo, nitrógeno y biofertilizante.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se estableció bajo condiciones de temporal en Montecillo, Edo. de México., de clima templado con régimen de lluvias en verano con precipitación anual de 558 mm y altitud de 2240 m (BS₁, García, 2005). El 04 de mayo de 2012 se sembró Michoacán 21, HS-2 y Promesa, los tratamientos consistieron en la inoculación a la semilla del biofertilizante que contiene bacterias fijadoras de nitrógeno *Azospirillum* y hongos micorrízico (*Glomus* sp.), y 0, 80 y 160 kg N ha⁻¹, el cual se aplicó de forma fraccionada, la mitad de N a los 10 días después de la siembra (dds) y el resto a los 40 dds. La densidad de población fue de 6.25 pl m⁻² y distancia entre surcos de 80 cm. El diseño experimental fue bloques completamente al azar con arreglo de parcelas subdivididas y cuatro repeticiones. La unidad experimental fue de cuatro surcos de 0.8 m de ancho x 4 m de longitud. Para conocer las características iniciales del suelo en los primeros 30 cm de profundidad, se realizó un análisis físico y químico en el Laboratorio de Nutrición Vegetal S. C., Fertilab. Los resultados indican que es un suelo de textura franco arcillo arenoso, densidad aparente de 1.22 g cm⁻³, pH 8.2, conductividad eléctrica 0.41 dS m⁻¹, materia orgánica de 1.70 % y nitrógeno inorgánico 3.46 ppm. Durante el desarrollo del estudio se registró la temperatura máxima (T_{máx}) y mínima (T_{mín}) decenal y la suma de la evaporación (Ev, mm) y precipitación (PP, mm), datos proporcionados por la estación Agrometeorológica del Colegio de postgraduados. También se registró la ocurrencia de las fases fenológicas como: días a emergencia (E), floración (FL) y a madurez fisiológica (MF). El criterio utilizado para estas variables fue presentado por Ritchie y Hanway (1982). También, para cada fase fenológica se determinó la acumulación de unidades calor para el cultivo (UC, °C d), mediante el método residual, el cual es descrito por la siguiente ecuación como se indica por Snyder (1985):

$$UC = (T_{máx} + T_{mín} / 2) - TB$$

Donde: T_{máx} y T_{mín} son diarias (°C) y TB = Temperatura base, considerada como 7 °C (Villalpando y Ruíz, 1993). La evapotranspiración del cultivo (ET_c) se calculó a partir de los datos de la evaporación (Ev) del tanque tipo "A", utilizando 0.6 como coeficiente para el evaporímetro, kc inicial = 0.35, kc a mediados del periodo = 1.14 y kc final = 0.6 (Doorenbos y Pruitt, 1986), a partir de la siguiente ecuación:

$$ET_c = Ev \times 0.6 \times K_c$$

A la MF se evaluó la materia seca (MS total, g m⁻²), índice de cosecha (IC, %), rendimiento de grano (RG, 10% de humedad, g m⁻²), peso de 100 granos (P100G, g), número de granos (NG,

m²), número de hileras (NH) y número de granos por hilera (NGH). A las variables en estudio, se les aplicó un análisis de varianza (ANDEVA), con el programa estadístico de SAS, Versión 9.0 (SAS, 2003), la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$) y un análisis de regresión entre RG y sus componentes.

Adicionalmente, se realizó un análisis económico para rendimiento, utilizando las siguientes ecuaciones: $IN = YPy - (\sum XiPi + CF)$, donde IN = Ingreso neto, Y = Rendimiento (kg ha⁻¹), Py = precio por kg, $\sum XiPi$ = suma de costos variables, CF = costos fijos (Volke, 1982). También se determinó la GPI con la relación: $GPI = (\sum XiPi + CF) / YPy$, donde: GPI = ganancia por peso invertido.

RESULTADOS Y DISCUSION

Fenología, condiciones climáticas, unidades calor y evapotranspiración

En la Figura 1, se observa la media decenal de la T_{máx} y T_{mín} durante el desarrollo del cultivo que fluctuó entre 34 °C y 22 °C, y entre 12 °C y 3 °C, respectivamente. Durante la etapa de S a FL, la T_{máx} y T_{mín} promedio fue de 34 °C y 3 °C y en la etapa de FL a MF fue de 28 °C y 5 °C, respectivamente. Sin embargo, estos umbrales térmicos varían en función del genotipo. La suma decenal de la PP fue de 344 mm durante el ciclo de cultivo. En el estudio, se aplicó un riego después de la siembra para lograr una emergencia homogénea del cultivo. La mayor PP (273 mm) se presentó en los meses de julio y agosto, en la etapa de FL a MF, sin embargo, de S a FL la PP fue de 71 mm, esto indica que el cultivo pudo afectarse y no completar sus necesidades hídricas. Al respecto, Pedrol *et al.* (2008) establecen que los requerimientos hídricos del maíz durante su desarrollo es alrededor de los 575 mm.

Los genotipos en estudio, presentaron diferencias en las fechas a ocurrencia de las etapas fenológicas, a excepción de la emergencia donde fue similar (8 dds). En contraste, la floración de Michoacan-21 ocurrió a los 80 dds, en HS-2 a los 90 dds y en Promesa a los 87 dds. La MF en Michoacan-21 a los 135 dds, en HS-2 y Promesa a los 141 dds (Figura 1).

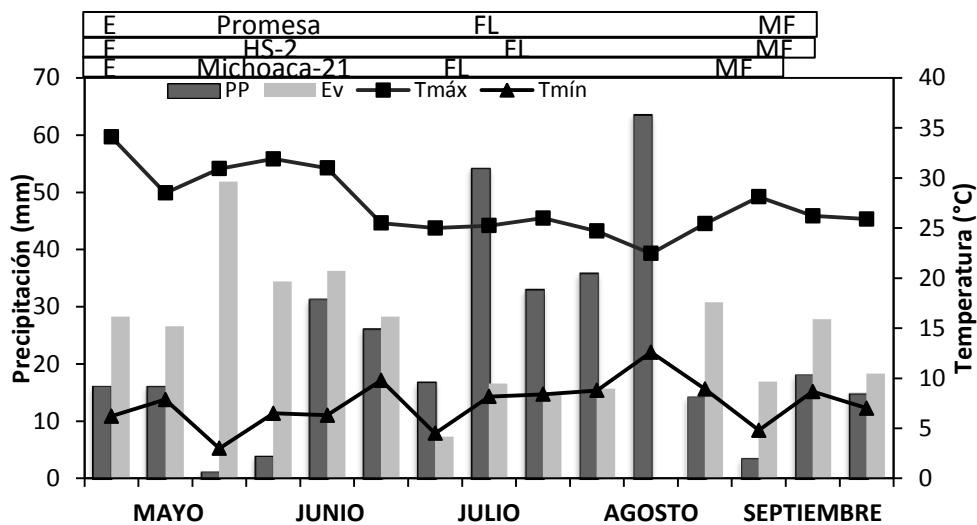


Figura 1. Medias decenales de la temperatura máxima (Tmáx, °C), mínima (Tmín, °C), suma decenal de la precipitación (PP, mm) y evaporación (Ev) durante el ciclo del cultivo de los maíces Michoacan-21, HS-2 y Promesa. E=Emergencia, FL=Floración, MF=Madurez fisiológica. Montecillo, Edo. de México. 2012.

En la Figura 2 se observa la acumulación de UC durante el ciclo de cultivo, el cual fue diferente entre genotipos; de siembra a emergencia para Michoacan-21, HS-2 y Promesa las UC fueron de 120 °C d; 785, 899 y 830 °C d; de S a FL para Michoacan-21, HS-2 y Promesa, respectivamente y de FL a MF de 595, 532 y 601 °C d para Michoacan-21, HS-2 y Promesa. El total de las UC fue de 1500 °C d para Michoacan-21 y 1551 °C d, para HS-2 y Promesa, posiblemente estas diferencias se deban a los diferentes genotipos utilizados, además cabe señalar que la acumulación total de UC d se relaciona con la duración del ciclo de cultivo (Figura 2). En referencia, Díaz-López *et al.* (2013) reportaron en el ciclo de cultivo de maíz, requerimiento térmico de 1158 UC, valor inferior a los datos del presente estudio. Para la ETc, se observó que en el periodo de siembra a emergencia en los tres genotipos fue de 12 mm. De E a FL fue de 165, 190 y 177 mm para Michoacan-21, HS-2 y Promesa, respectivamente. De FL a MF fue de 184, 178 y 191 mm para Michoacan-21, HS-2 y Promesa, respectivamente y la ETc total fue de 361 mm para Michoacan-21, en HS-2 y Promesa, fue de 380 mm (Figura 2). Esto indica que las necesidades de agua del cultivo difieren entre genotipo y son más altas para HS-2 y Promesa, por su mayor ciclo de crecimiento.

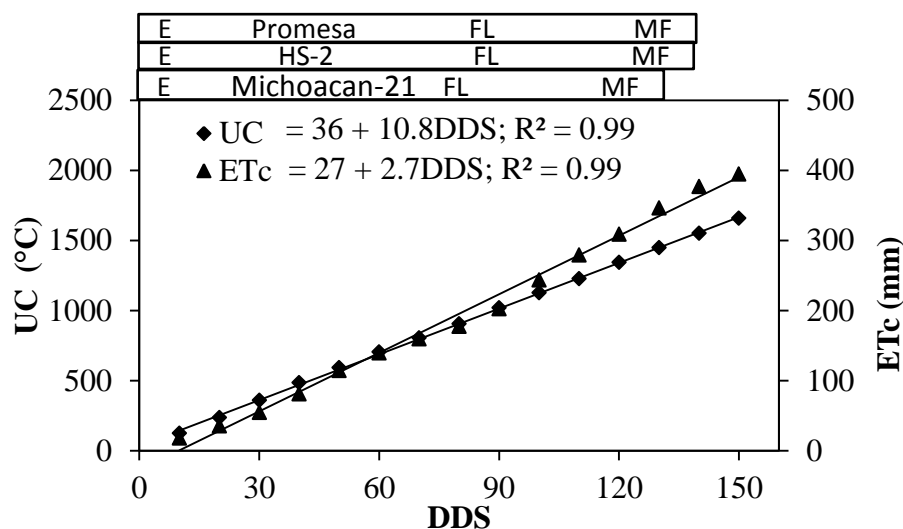


Figura 2. Unidades calor (UC), evapotranspiración (ETc) y fenología durante el ciclo del cultivo en los maíces Michoacan-21, HS-2 y Promesa. E = Emergencia, FL = Floración, MF = Madurez fisiológica. Montecillo, Edo. de México. 2012.

Materia seca (MS), índice de cosecha (IC), rendimiento (RG) y sus componentes

El ANDEVA para MS, IC y RG mostró cambios significativos debido a genotipos (G), nitrógeno (N) y las interacciones, genotipo x biofertilizante (G x Bio), genotipo x nitrógeno (G x N) y genotipo x biofertilizante x Nitrógeno (G x Bio x N). Se observaron diferentes respuestas en los componentes del RG en las interacciones, así como en factores principales (Cuadro 1).

Cuadro 1. Análisis de varianza para materia seca (MS), índice de cosecha (IC), rendimiento de grano (RG) y sus componentes. Montecillo, Edo. de México. 2012.

Factor	MS	IC	RG	P100G	NH	NGH	NG
	g m ⁻²	%	g m ⁻²	g			m ²
G	**	**	**	**	NS	*	*
Bio	**	**	NS	NS	*	NS	NS
G x Bio	**	*	*	NS	NS	*	NS
N	**	**	**	**	*	NS	*
G x N	*	*	*	*	*	NS	NS
Bio x N	NS	*	**	*	*	NS	NS
G x Bio x N	*	*	*	**	*	*	**

*,** = P≤0.05, 0.01, respectivamente; NS = No significativo a P≥0.05; P100G = Peso de 100 granos, NH = Número de hileras, NGH = Número de granos por hilera. NG = Número de granos. G = Genotipo, Bio = Biofertilizante, N = Nitrógeno.

Genotipo

En el Cuadro 2, se observa que en la MS los cultivares mejorados superaron en 29 y 22% al criollo. El genotipo HS-2 por su ciclo de crecimiento más largo tuvo oportunidad de interceptar mayor cantidad de radiación, lo que generó un incremento del 55% en MS con respecto a Michoacan-21 (Figura 1). En cuanto al IC, se observaron diferencias entre genotipos, siendo el más alto en Promesa, debido a que presentó la mayor distribución de MS hacia el grano. Esto indica que Promesa, es más eficiente en la translocación de fotoasimilados hacia el grano. En cuanto al RG, HS-2 presentó el más alto (556 g m^{-2}), debido al mayor NG, seguido de Promesa (518 g m^{-2}) y Michoacan-21 (385 g m^{-2}). Esto corrobora las características agronómicas de los genotipos mejorados, los cuales poseen alto potencial productivo (Espinosa *et al.*, 2003).

Biofertilizante

El maíz con el Bio presentó incremento en la MS total y RG, respecto al testigo, no así en el IC, lo que indica, un incremento en la producción de MS hacia el grano sin el Bio. Con respecto al RG el más alto fue con Bio, debido a que se incrementó el NH y P100G (Cuadro 2). Dicho aumento en el RG y sus componentes puede deberse a una mayor área radical e incremento en actividad de la misma y en consecuencia una mayor tasa de absorción de agua y nutrimentos (Dobbelaere *et al.*, 2002). Al respecto, González *et al.* (2012) y Dobbelaere *et al.* (2002) reportaron incrementos del 5 y 12% en el RG de maíz con biofertilizante, mayores a los observados en el presente estudio.

Nitrógeno

En el Cuadro 2 se observa que el N ocasionó cambios significativos en la MS, IC, RG y sus componentes. La aplicación de 160 kg N ha^{-1} incrementó en 9% la MS y en el IC en 39%, en tanto con 80 kg N ha^{-1} el incremento fue de 2% y en el IC 32%, con respecto a sin fertilización (Cuadro 2), lo que indica que con 160 kg N ha^{-1} se promovió la mayor acumulación de MS hacia el grano respecto al resto de las estructuras de la planta, generado esto por un mayor tamaño de la demanda. En cuanto, al RG con 160 kg N ha^{-1} se aumentó en 194 g m^{-2} , el P100G en 2 g, NH en 2, NGH en 1 y el NG en 333 granos por m^2 , con respecto al testigo sin fertilizar. Esto indica que el suministro de N es importante en el desarrollo del grano (Gallais y Coque, 2005). Otros estudios reportan incrementos en el RG con 140 kg N ha^{-1} (Hecheverria y Sainz, 2001).

Cuadro 2. Materia seca (MS), índice de cosecha (IC), rendimiento (RG) y sus componentes de genotipos de maíz en función biofertilizante (Sin y Con Bio) y nitrógeno (N). Montecillo, Edo. de México. 2012.

Factor		MS	IC	RG	P100G	NH	NGH	NG
		g m ⁻²	%	g m ⁻²	g			m ²
Genotipo	Mich-21	1,090 c	35 a	385 b	41 b	15 a	27 b	2,598 b
	HS-2	1,698 a	32 b	556 a	43 a	15 a	29 a	2,964 a
	Promesa	1,387 a	37 a	518 a	43 a	15 a	29 a	2,818 a
	Tukey $\alpha = 0.05$	85	5	38	1.0	0.9	1.3	203
Bio	Sin	1,320 b	43 a	577 a	42 a	14 b	29 a	2,694 a
	Con	1,463 a	40 b	595 a	42 a	15 a	29 a	2,893 a
	Tukey $\alpha = 0.05$	93	2.9	48	1.8	0.9	1.3	273
N (kg ha⁻¹)	0	1,343 b	28 b	379 c	41 b	14 c	28 a	2,593 b
	80	1,365 ab	37 b	507 b	43 a	15 b	29 a	2,861 a
	160	1,466 a	39 a	573 a	43 a	16 a	29 a	2,926 a
	Tukey $\alpha = 0.05$	114	3.7	55	1.8	1.0	1.4	225
	Media general	1392	31	486	42	15	29	2793
	CV. (%)	11	15	11	6	9	7	11

En columnas para cada factor principal letras similares indican que los valores son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha=0.05$).

Genotipo x Biofertilizante (G x Bio)

El ANDEVA para la MS y RG, mostró diferencias significativas por efecto de la interacción G x Bio (Figura 3); lo que demuestra que los genotipos presentaron respuestas diferentes a la aplicación del Bio. Así, Michoacan-21 presentó incremento del 40% (362 g m⁻²) en MS con la aplicación de Bio y en Promesa fue del 14% (182 g m⁻²), en contraste a HS-2 donde dicho comportamiento no se observa. Al respecto, Dobbelaere et al. (2002), encontró incremento en la materia seca con el uso del biofertilizante en el genotipo LG 21.83. Contrario a Uribe y Dzib (2006) quienes no observaron respuesta significativa con el uso debiofertilizante, en la altura de la planta y área foliar, en el genotipo V-539. Lo anterior indica que el mecanismo de respuesta en cuanto a la afinidad de los genotipos estudiados no está bien definido.

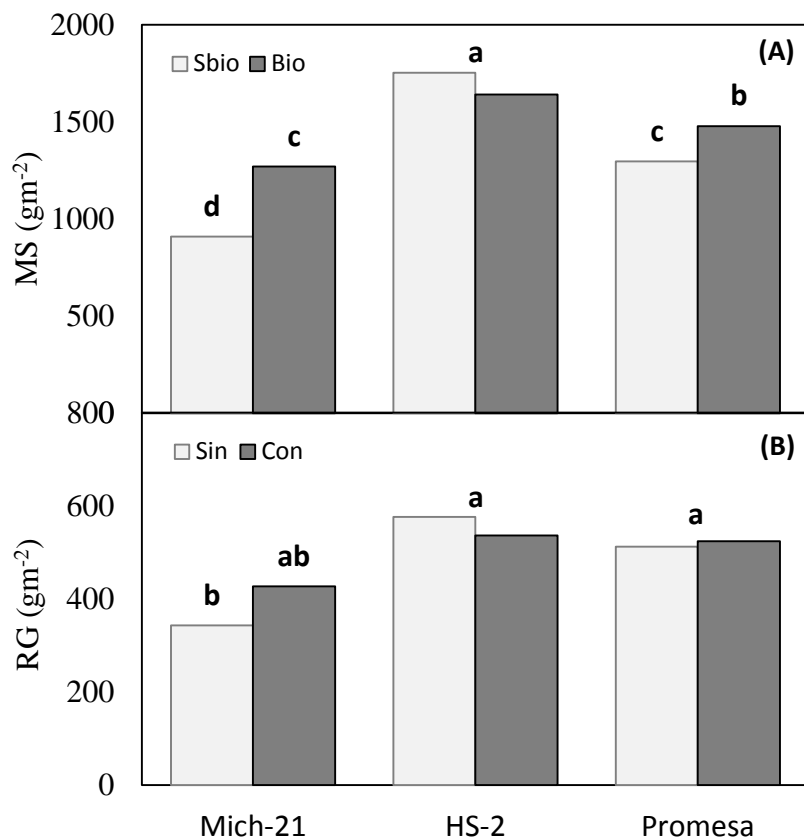


Figura 3. (A) Materia seca (MS) y (B) rendimiento de grano (RG) en genotipos de maíz en función del biofertilizante (Sbio = sin biofertilizante, Bio = con biofertilizante). Montecillo, Edo. de México. 2012.

En cuanto, al RG se incrementó en 15% con Bio en Michoacan-21. Esto indica que el cultivo con Bio fue más eficiente en la producción de MS hacia el grano; debido posiblemente a un mayor desarrollo de la raíz, que pudo influir sobre la duración del dosel vegetal, que es un factor importante en el llenado de grano. Como también se deduce de los estudios realizados por Díaz-Franco *et al.* (2005) y Pecina-Quintero *et al.* (2005).

Genotipo x Nitrógeno (G x N)

En la Figura 4 se observa que los genotipos presentaron respuesta diferente al N en la MS y RG. En general dicha respuesta se ajustó al modelo de un polinomio de segundo grado. El genotipo Promesa mostró la respuesta más alta al N con una producción de MS de 3.81 g m^{-2} por unidad de N aplicado, seguido de Michoacan-21 y HS-2 que produjo la respuesta más baja (0.78 g m^{-2} por unidad de N). A excepción de Michoacan-21, la máxima producción de MS se logró con 160

kg N ha⁻¹. Esto puede deberse a la eficiencia en el uso del N, debido a que las variedades mejoradas fueron elaboradas para ese fin. En relación al RG, también se observó diferencia entre genotipos en respuesta al N (Figura 4B). Michoacan-21 presentó mayor RG por unidad de N aplicado (2.27 g m⁻²), seguido de HS-2 y Promesa que presentó la respuesta más baja (1.48 g m⁻² por kg N aplicado). Esto indica que Michoacan-21 es más eficiente en el uso de nitrógeno, para la producción de MS en el grano. El RG más alto se obtuvo con la combinación de HS-2 y 160 kg N ha⁻¹. En general el N incrementó la producción de los genotipos. Tendencias similares han sido reportadas por De la Cruz-Lázaro *et al.* (2009) y Mani-Pati *et al.* (2010).

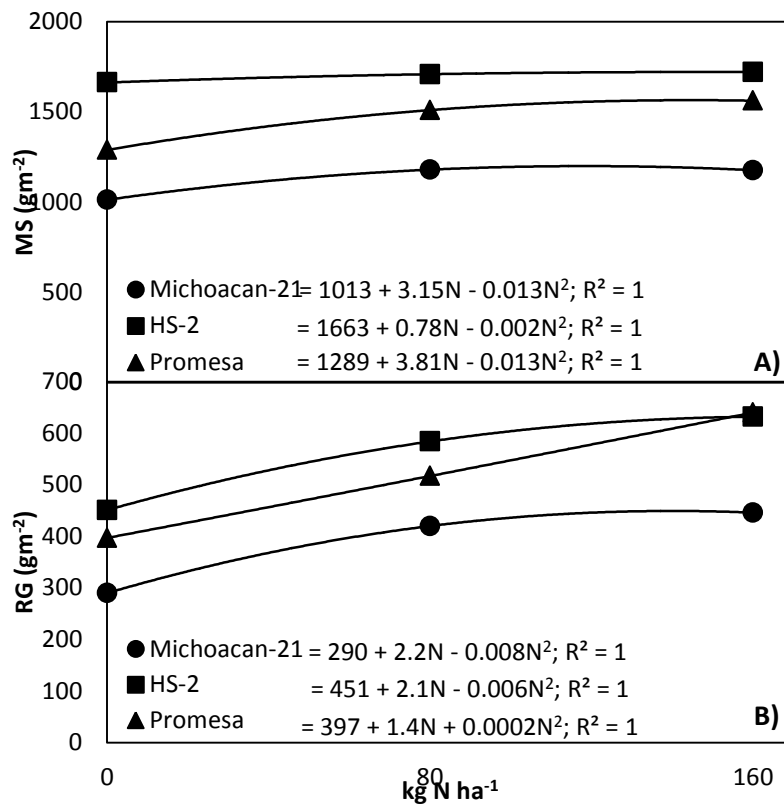


Figura 4. (A) Materia seca (MS) y (B) rendimiento de grano (RG) en genotipos de maíz en función del nitrógeno (N). Montecillo, Edo. de México. 2012.

Biofertilizante x Nitrógeno (Bio x N)

El ADEVA mostró cambios significativos para la MS y RG debido a la interacción Bio x N (Figura 5). En la Figura 5A, se observa que el cultivo con Bio presentó mayor respuesta en MS (2.1 g m⁻² por kg N⁻¹), esto indica, que en la respuesta al suministro de N fue favorecido por el Bio. Con respecto al RG, el mayor fue sin Bio con 160 kg N ha⁻¹ (Figura 5B) y con una tasa de

incremento de 2.8 g m⁻² por kg de N, lo que indica que el Bio no tuvo efecto sobre el RG. Contrario a lo reportado por Díaz-Franco *et al.* (2005) quienes registraron incrementos en el rendimiento de maíz con N y Bio.

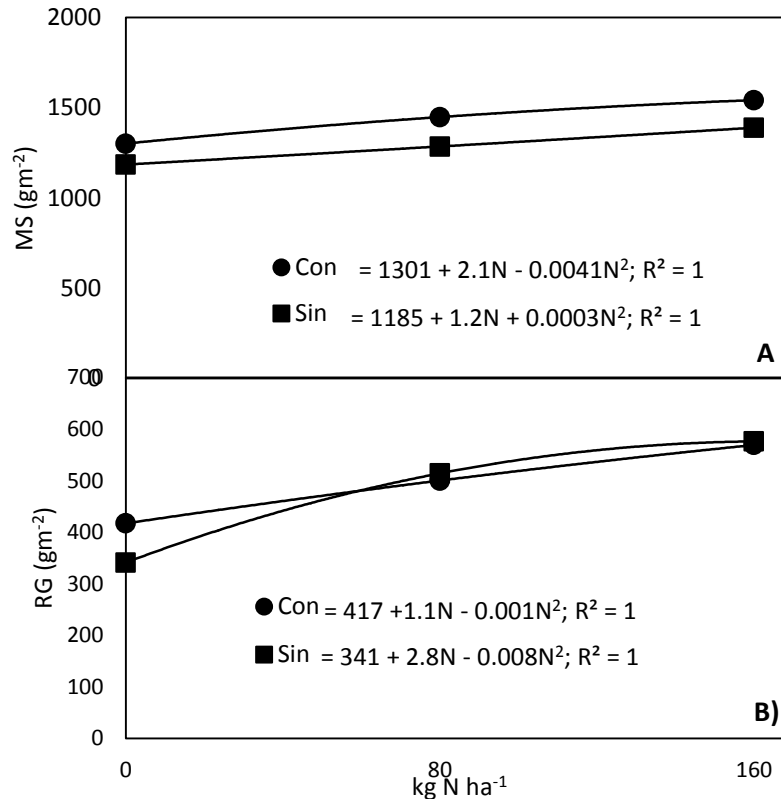


Figura 5. (A) Materia seca (MS) y (B) rendimiento de grano (RG) en función del biofertilizante y nitrógeno (N). Montecillo, Edo. de México. 2012. Sin y con significa, no aplicación de biofertilizante y aplicación, respectivamente.

Genotipo x Biofertilizante x Nitrógeno (G x Bio x N)

El ANDEVA mostró cambios significativos para la MS y RG por efecto de la interacción G x Bio x N (Cuadro 1). En la Figura 6A, se observa que la mayor respuesta en MS se encontró sin Bio para HS-2, seguido de Promesa y Michoacan-21. Esto indica que el biofertilizante no influyó en el crecimiento de la planta. Con respecto al RG el más alto correspondió a sin Bio y 160 kg N ha⁻¹ para Promesa, seguido de HS-2 y Michoacan-21. En términos generales, el efecto benéfico del Bio solo se observó en Michoacan-21 tanto en la MS como en el RG. Los factores responsables de dicha respuesta son difíciles de identificar, pero se atribuye a la variabilidad del genotipo y niveles de N, así como a las condiciones ambientales (Pecina-Quintero *et al.*, 2005).

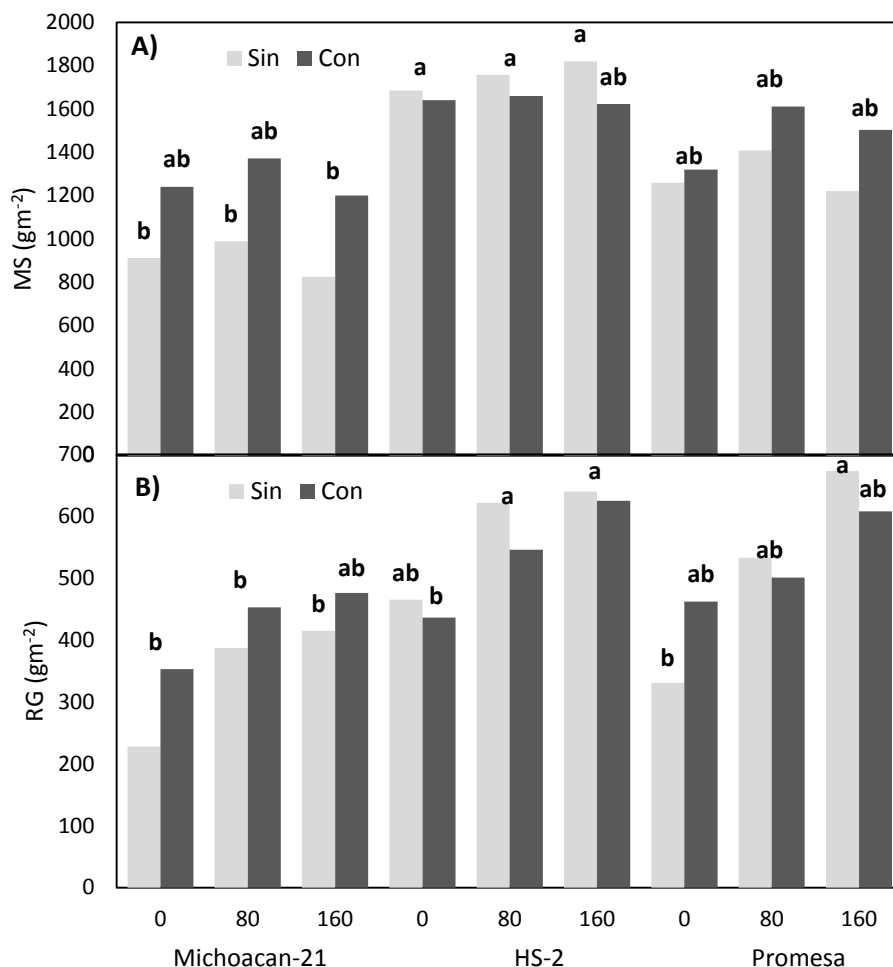


Figura 6. (A) Materia seca (MS) y (B) rendimiento de grano (RG) en función del genotipo (G), biofertilizante (Con y Sin Biofertilizante), y nitrógeno (N). Montecillo, Edo. de México. 2012.

Análisis económico

En cuanto al análisis económico (Cuadro 3), el mayor RG se observó en Promesa sin Bio con la aplicación de 160 kg N ha⁻¹, lo cual generó el más alto IN (\$ 21,005), sin embargo, la mayor GPI, se presentó en HS-2, sin Bio y 80 kg N ha⁻¹, debido a que por cada peso invertido, se recuperó \$ 2.56. El más alto costo total en la producción de maíz fue con Promesa y HS-2, Bio y 160 kg N ha⁻¹. Por lo que para agricultores de capital limitado se recomienda el uso de HS-2, debido a que genera el mayor IN sin el uso de Bio y N. Al respecto Martínez *et al.* (2005) al realizar un análisis financiero entre genotipos de maíz encontró diferente respuesta en el IN. Por otro lado Rasheed *et al.* (2004) realizaron un análisis económico con diferentes niveles de fertilización y observaron que cuando se aumenta el N, se incrementa el RG lo que ocasiona un aumento en el

IT e IN. En base a lo anterior se puede inferir que el IN está en función del genotipo e insumos utilizados

Cuadro 3. Rendimiento de grano (RG), ingresos totales (IT), costos fijos (CF), costos variables (CV) y costos totales (CT), ingresos netos (IN) y ganancia por peso invertido (GPI) en genotipos de maíz en función del biofertilizante (Sin y Con Bio) y nitrógeno (N). Montecillo, Edo. de México. 2012.

Genotipo	Bio	N	RG	IT	CF	CV	CT	IN	GPI
		(kg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	\$	\$	\$	\$	\$	\$
Mich-21	Sin	0	2282	10269.00	5033	340.00	5373.60	4895.40	0.91
		80	3870	17415.00	5033	1863.00	6896.60	10518.40	1.53
		160	4157	18706.50	5033	3286.00	8319.60	10386.90	1.25
	Con	0	3532	15894.00	5033	932.00	5965.60	9928.40	1.66
		80	4532	20394.00	5033	2455.00	7488.60	12905.40	1.72
		160	4762	21429.00	5033	3878.00	8911.60	12517.40	1.40
HS-2	Sin	0	4657	20956.50	5033	1300.00	6333.60	14622.90	2.31
		80	6220	27990.00	5033	2823.00	7856.60	20133.40	2.56
		160	6402	28809.00	5033	4246.00	9279.60	19529.40	2.10
	Con	0	4365	19642.50	5033	1892.00	6925.60	12716.90	1.84
		80	5467	24601.50	5033	3415.00	8448.60	16152.90	1.91
		160	6250	28125.00	5033	4838.00	9871.60	18253.40	1.85
Promesa	Sin	0	3315	14917.50	5033	1300.00	6333.60	8583.90	1.36
		80	5332	23994.00	5033	2823.00	7856.60	16137.40	2.05
		160	6730	30285.00	5033	4246.00	9279.60	21005.40	2.26
	Con	0	4627	20821.50	5033	1892.00	6925.60	13895.90	2.01
		80	5017	22576.50	5033	3415.00	8448.60	14127.90	1.67
		160	6080	27360.00	5033	4838.00	9871.60	17488.40	1.77

IT = RG * precio por kg de maíz (\$ 4.50). CF = incluye costo de preparación del terreno, siembra, riego, manejo de maleza y plagas. CV = incluye el costo del biofertilizante, fertilización y cosecha de maíz. CT = CF + CV. IN = IT – CT. GPI = IN / CT.

CONCLUSIONES

La aplicación de biofertilizante y nitrógeno ocasionó incrementos significativos en la producción de materia seca y en el rendimiento. Dicho incremento fue en función del genotipo utilizado. Michoacan-21 presenta incrementos en materia seca y en el rendimiento con el uso de biofertilizante. Los genotipos de maíz incrementan la producción de materia seca y rendimiento

en grano con el nitrógeno. En general, el mayor rendimiento y materia seca se logra con 160 kg de N ha⁻¹. Para la región de estudio y época de siembra, la producción de materia seca más alta se logra en HS-2 con 160 kg N ha⁻¹ y para el rendimiento de grano en Promesa con 160 kg N ha⁻¹. La producción de materia seca y rendimiento más bajo se logró con Michoacan-21, sin aplicación de nitrógeno y sin biofertilizante. El mayor ingreso neto se logra con Promesa y 160 kg N ha⁻¹ independientemente del uso del biofertilizante.

AGRADECIMIENTOS

A CONACYT por el apoyo económico recibido para llevar a cabo esta trabajo de investigación.

LITERATURA CITADA

- Barraco, M. y M. Díaz-Zorita. 2005. Momento de fertilización nitrogenada de cultivos de maíz en hapludoles típicos. *Cl. Suelo*. 23(2): 197-203.
- Borrás, L. and M. E. Otegui. 2001. Maize kernel weight response to postflowering source-sink ratio. *Crop Science* 49: 1816-1822.
- De la Cruz-Lazaro, E., H. Córdova-Orellana, M. A. Estrada-Botello, J. D. Mendoza-Palacios, A. Gómez-Vázquez, N. P. Brito-Manzano. 2009. Rendimiento de grano de genotipos de maíz sembrados bajo tres densidades de población. *Universidad y Ciencia. Trópico Húmedo*. 25(1): 93-98.
- Díaz-Franco, A., M. Alvarado C., M. A. Cantú A. e I. Garza. C. 2005. Fertilización biológica y producción de maíz en la región semiárida del norte de Tamaulipas, México. *Agricultura Técnica en México*. 31(2): 153-163.
- Díaz-López, E., J. M. Loeza-Corte, J. M. Campos-Pastelín, E. J. Morales-Rosales, A. Domínguez-López, O. Franco-Mora. 2013. Eficiencia en el uso de la radiación, tasa de asimilación neta e integral térmica en función del fósforo en maíz (*Zea mays* L.) *Agrociencia*. 47:135-146.
- Dobbelaere, S., A. Croonenborghs, A. Thys, D. Ptacek, Y. Okon, J. Vanderleyden. 2002. Effect of inoculation with wild type *Azospirillum brasilense* and *A. irakense* strains on development and nitrogen uptake of spring wheat and grain maize. *Biol. Fertil. Soils* 36:284–297.

- Doorenbos, J. y W. O. Pruitt. 1986. Las necesidades de agua por los cultivos. Estudio FAO. Riego y Drenaje. Manual 24.
- Espinosa, A., Sierra, M., Gómez, N. 2003. Producción y tecnología de semillas mejoradas de maíz por el INIFAP en el escenario sin la PRONASE. *Agronomía Mesoamericana*. 14(001):117-121.
- García E. 2005. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. 4ª Edición. Instituto de Geografía. Universidad Autónoma de México. 217 p.
- García-Olivares. J. G., V. R. Moreno-Medina, I. C. Rodríguez-Luna, A. Mendoza-Herrera, N. Mayek-Pérez. 2007. Efecto de cepas de *Azospirillum brasilense* en el crecimiento y rendimiento de grano del maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 30(003):305-310.
- Gallais, A. and M. Coque. 2005. Genetic variation and selection for nitrogen use efficiency in maize: a synthesis. *Maydica*. 50: 531-547.
- Gómez, M. N. O., M. A. Cantú A., C. A. Hernández G., M. G. Vázquez C., F. Aragón C., A. Espinosa C. y F. Palemón A. 2014. V-237 AN, cultivar mejorado de maíz “Ancho Pozolero” para la región semicálida de Guerrero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 7: 1315-1319.
- González, M. R.; Noriega, C. D.; Pereyda, H. J.; Domínguez, M. V. M.; López, E. M. E. y E. R. Garrido. 2012. Fertilización química con y sin biofertilizante en maíz de temporal en Guerrero. XVI Foro de estudios sobre Guerrero. Acapulco, Gro. 69-73 pp.
- Hecheverría H. E., H. R. Sainz-Rozas. 2001. Eficiencia de recuperación del nitrógeno aplicado al estadio de seis hojas del maíz bajo riego en siembra directa y labranza convencional. *Ciencia del suelo*. 19(1): 57-66.
- Hernández, A., V. Barrientos, A. Chassaigne y J. Alezones. 2003. Evaluación y selección de poblaciones y líneas de maíz (*Zea mays* L.) eficientes en la asimilación de nitrógeno. *Bioagro*. 15(2): 115-120.
- Irizar-Garza. M. B., P. Vargas-Vargas, D. Garza-García, C. Tut-Couoh, I. Rojas-Martínez, A. Trujillo-Campos, R. García-Silva, D. Aguirre-Montoya, J. C. Martínez-González, S. Alvarado-Mendoza, O. Grageda-Cabrera, J. Valero-Garza, J. F. Aguirre-Medina. 2003. Respuesta de cultivos agrícolas a los biofertilizantes en la región central de México. *Agricultura Técnica en México*. 29(002): 213-225.

- Khaliq, T., A. Ahmad, A. Hussain and M. A. Ali. 2009. Maize hybrids response to nitrogen rates at multiple locations in semiarid environment. *Pakistan Journal of Biological*. 41(1): 207-224.
- Mani-Pati, F., D. E. Clay, C. G. Carlson, S. A. Clay, G. Reicks and K. Kim. 2010. Nitrogen rate, landscape position and harvesting of corn stover impacts on energy gains and sustainability of corn production systems in South Dakota. *Agronomy Journal*. 102:1535-1541.
- Martinez, G. M. I., R. Gaytán B., L. Reyes M., N. Mayek P., J. S. Padilla R. y M. Luna F. 2005. Rentabilidad de las generaciones F₁, F₂, y F₃ de híbridos de maíz. *Agrociencia*. 40: 677-685.
- Pecina-Quintero, V., A. Díaz-Franco, H. Williams-Alanís, E. Rosales-Robles, I. Garza-Cano. 2005. Influencia de fechas de siembra y biofertilizantes en sorgo. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 28:389-392.
- Pedrol, H. M., J.M. Castellarín, F. Ferraguti, O. Rosso. 2008. Respuesta a la fertilización nitrogenada y eficiencia en el uso del agua en el cultivo de maíz según nivel hídrico. En *Información Agronómica del ConoSur* N° 40. pp. 17-20.
- Preciado, O. R. E., C. A. Ortega, M. E. Betanzos, D. J. L. Ramírez, R. A. Peña, N. O. Gómez M. y C. G. Velázquez. 2004. Acciones para la reorganización del programa nacional de mejoramiento genético en maíz. Celaya, Gto. CEBAJ-CIRGOC-INIFAP. 41 p.
- Rasheed, M., W. M. Bhutta, M. Anwar-ul-Haq and A. Ghaffar. 2004. Genotypic response of maize hybrids to NP applications. *Internacional Journal of Agriculture and Biology*. 6(4): 721-722.
- Ritchie, S. W. and Hanway, J. J. 1982. How a corn plant develops. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service. Special report No. 48. Ames Iowa, EEUU. 21 p.
- Roveda, G. y Polo, C. 2007. Mecanismos de adaptación de maíz asociado a *Glomus* spp. En suelos con bajo fósforo disponible. *Agronomía colombiana*. 25(2): 349-356.
- SAS Institute. 2003. SAS/STAT user's guide Release 9.1. SAS Institute. Cary, NC, USA.
- Shapiro, C. A. and C. S. Wortmann. 2006. Corn response to nitrogen rate, row spacing and plant density in Eastern Nebraska. *Agronomy Journal*. 98: 529-535.

- Sistema de Información Agropecuaria (SIAP). 2012. Sistema de Información Agropecuaria de Consulta. SAGARPA. México. Disponible en: http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar_comanuar.html (Revisado: 12 septiembre de 2012).
- Snyder, R. L. 1985. Hand calculating degree-days. *Agric. For. Meteorological* 35: 353-358.
- Uribe, V. G., R. Dzib E. 2006. Micorriza arbuscular (*Glomus intraradices*), *Azospirillum brasilense* y Brassinoesteroide en la producción de maíz en suelo luvisol. *Agricultura Técnica en México*. 32: 68-72.
- Villalpando, I. J. F., Ruíz, C. J. A. 1993. Observaciones agrometeorológicas y su uso en la agricultura. Primera Ed. México; Editorial Limusa.
- Volke, H. V. 1982. Optimización de insumos de la producción en la agricultura. Colegio de Postgraduados, Chapingo. Méx. 61 p.

CAPÍTULO VIII. RENTABILIDAD Y RENDIMIENTO DE MAÍZ EN FUNCIÓN DEL GENOTIPO Y NITRÓGENO, EN DOS AÑOS

Cid Aguilar Carpio, Dr.
Colegio de Postgraduados, 2014

RESUMEN

En México, el rendimiento de los cultivares de maíz de reciente liberación se ha incrementado significativamente en los últimos años, reportándose a principios de los 80's una media nacional de 1.8 t ha⁻¹ y en el 2012 de 3.1 t ha⁻¹. Este aumento significativo en el rendimiento de grano, se debe en parte a la utilización de nuevas variedades y mejores técnicas de manejo que determinan el rendimiento del maíz. El uso de variedades mejoradas es una alternativa, para incrementar la producción de maíz. Por lo cual, se requiere evaluar variedades para obtener información sobre el manejo agronómico, fertilización convencional, que permita elevar el rendimiento. El nitrógeno es el nutrimento más importante para la producción, tanto el agua como el nitrógeno deben estar bien provistos en cantidad y oportunidad para asegurar un estado fisiológico óptimo al momento de la floración, que es cuando se determina el rendimiento. Por lo que, el objetivo del presente estudio fue determinar en el año 2011 y 2012, producción de materia seca, rendimiento y rentabilidad en genotipos de maíz en siembra de temporal, en función nitrógeno. El estudio se estableció en Montecillo, Edo. de México en el 2011 y 2012. Los tratamientos consistieron en la siembra de Michoacán-21, HS-2 y Promesa con la aplicación de 0, 80 y 160 kg N ha⁻¹. A la madurez fisiológica se evaluó la materia seca y rendimiento de grano. Adicionalmente, se realizó un análisis económico para rendimiento. En el año 2012 y 2011 con la aplicación de nitrógeno los genotipos de maíz incrementan la producción de materia seca y rendimiento en grano. En general, en el año 2012, el mayor rendimiento de grano y materia seca se logra con 160 kg de N ha⁻¹ en HS-2. La producción de materia seca y rendimiento más bajo se logró en el 2011 en Michoacan-21 y sin aplicación de nitrógeno. El mayor ingreso neto se logró con Promesa y 160 kg N ha⁻¹ en el año 2012. El más alto costo total en la producción de maíz fue en el año 2011 y 2012 en Promesa y HS-2 con la aplicación de 160 kg N ha⁻¹.

Palabras claves: Maíz, nitrógeno, rendimiento de grano.

ABSTRACT

In Mexico, the yield of maize cultivars of recent release has increased significantly in recent years, reporting in the early 80's a national average of 1.8 t ha⁻¹ and in 2012 of 3.1 t ha⁻¹. This significant grain yield increase is due in part to the use of new varieties and better management techniques that determine maize yield. The use of improved varieties is an alternative to increase maize production. Therefore, it is required to evaluate varieties to get information on crop management, conventional fertilization, that will raise performance. Nitrogen is the most important nutrient for the production, both water and nitrogen should be well equipped in amount and timing to ensure optimum physiological state at anthesis time, when the performance is determined. The objective of this study was to determine in 2011 and 2012, dry matter production, yield and profitability in maize genotypes and nitrogen function. The study was established in Montecillo, Mexico in 2011 and 2012. The treatments consisted of planting Michoacán-21, HS-2 and Promesa with the application of 0, 80 and 160 kg N ha⁻¹. Dry matter and grain yield were evaluated at physiological maturity. In addition, an economic analysis was performed for grain yield. In the year 2012 and 2011 nitrogen application to maize genotypes increase dry matter production and grain yield. Overall, in 2012, the highest grain yield and dry matter is achieved with 160 kg N ha⁻¹ in HS-2. The dry matter production and lower performance was achieved in 2011 in Michoacan-21 without nitrogen application. The higher net income was achieved with Promesa and 160 kg N ha⁻¹ in 2012. The highest total cost in maize production was in 2011 and 2012 in Promesa and HS-2 with the application of 160 kg N ha⁻¹.

Key words: Maize, nitrogen, grain yield.

INTRODUCCIÓN

La diversidad genética que existe en el estado de México está representada por las razas de maíz (*Zea mays* L.) que se cultivan en altitudes superiores a 2 000 m, como Palomero Toluqueño, Arrocillo Amarillo, Cónico, Chalqueño y Cacahuacintle; las dos primeras son maíces reventadores, Cónico y Chalqueño son semidentados y la última es un maíz blanco, harinoso y de semillas grandes (Reynoso *et al.*, 2014). El maíz es la base de la alimentación de los mexicanos, debido a que 57% de su producción se destina a este rubro, con un consumo per capita de 122 kg. Aun cuando se siembran 8.5 millones de ha se tiene un déficit en la producción de 5 776 000 t (SAGAR, 2000). Para lograr su autosuficiencia es más viable aumentar el rendimiento por ha que

ampliar su superficie de cultivo. En el Edo. de México, se siembran alrededor de 467,578 ha bajo condiciones de lluvia estacional, con rendimiento promedio de 2.97 t ha⁻¹ (SIAP, 2013). En estudios experimentales, los rendimientos de grano varían de 4 a 8.7 t ha (González *et al.*, 2008). En México, el rendimiento de los cultivares de maíz de reciente liberación se ha incrementado significativamente en los últimos años, reportándose a principios de los 80's una media nacional de 1.8 t ha⁻¹ y en el 2012 de 3.1 t ha⁻¹ (SIAP, 2013). Este aumento significativo en el rendimiento de grano, se debe en parte a la utilización de nuevas variedades y mejores técnicas de manejo, aunado a una mayor comprensión de los componentes fisiológicos que determinan el crecimiento y rendimiento del maíz (D'Andrea *et al.*, 2008).

La mayoría de los agricultores cultivan variedades criollas (Preciado *et al.*, 2004). El uso de variedades mejoradas es una alternativa, para incrementar la producción de maíz (Espinosa *et al.*, 2003). Por lo cual, se requiere evaluar variedades para obtener información sobre el manejo agronómico, áreas de adaptación óptimas, fertilización convencional, además de otra información que permita elevar el rendimiento. Dentro del manejo, la fertilización nitrogenada es determinante para incrementar el rendimiento de maíz (Borrás, 2001). El nitrógeno es el nutrimento más importante para la producción, tanto el agua como el nitrógeno deben estar bien provistos en cantidad y oportunidad para asegurar un estado fisiológico óptimo al momento de la floración, que es cuando se determina el rendimiento (Hernández *et al.*, 2003). Al respecto, en maíz se recomienda aplicar 146 kg N ha⁻¹ (Barraco y Díaz-Zorita, 2005), 168 kg N ha⁻¹ (Shapiro y Wortmann, 2006), 210 kg N ha⁻¹ (Rasheed *et al.*, 2004), 300 kg N ha⁻¹ (Khaliq *et al.*, 2009). No obstante, los reportes sobre el tema en clima templado no son abundantes por lo que, el objetivo del presente estudio fue determinar en el año 2011 y 2012, la ocurrencia de las fases fenológicas, producción de materia seca, rendimiento y rentabilidad en genotipos de maíz en siembra de temporal, en función del nitrógeno.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se estableció bajo condiciones de temporal en Montecillo, Edo. de México., de clima templado con régimen de lluvias en verano con precipitación anual de 558 mm y altitud de 2240 m (BS₁, García, 2005). El 01 de junio de 2011 y el 04 de mayo de 2012 se sembró Michoacán 21, HS-2 y Promesa, los tratamientos consistieron en la aplicación de 0, 80 y 160 kg N ha⁻¹, el cual se aplicó de forma fraccionada, la mitad de N a los 10 días después de la siembra (dds) y el resto a

los 40 dds. La densidad de población fue de 6.25 pl m^{-2} y distancia entre surcos de 80 cm. El diseño experimental fue bloques completamente al azar con arreglo de parcelas subdivididas y cuatro repeticiones. La unidad experimental fue de cuatro surcos de 0.8 m de ancho x 4 m de longitud. Para conocer las características iniciales del suelo en los primeros 30 cm de profundidad, se realizó un análisis físico y químico en el Laboratorio de Nutrición Vegetal S. C., Fertilab. Los resultados indican que es un suelo de textura franco arcillo arenoso, densidad aparente de 1.22 g cm^{-3} , pH 8.2, conductividad eléctrica 0.41 dS m^{-1} , materia orgánica de 1.70 % y nitrógeno inorgánico 3.46 ppm. En ambos años se registró la temperatura máxima ($T_{\text{máx}}$) y mínima ($T_{\text{mín}}$) decenal y la suma de la evaporación (Ev , mm) y precipitación (PP , mm), datos proporcionados por la estación Agrometeorológica del Colegio de postgraduados. También se registró la ocurrencia de las fases fenológicas como: días a emergencia (E), floración (FL) y a madurez fisiológica (MF). El criterio utilizado para estas variables fue presentado por Ritchie y Hanway (1982).

A la MF se evaluó la materia seca (MS total, g m^{-2}) y rendimiento de grano (RG, 10% de humedad, g m^{-2}). A las variables en estudio, se les aplicó un análisis de varianza (ANDEVA), con el programa estadístico de SAS, Versión 9.0 (SAS, 2003), la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$).

Adicionalmente, se realizó un análisis económico para rendimiento en ambos años, utilizando las siguientes ecuaciones: $IN = YPy - (\sum XiPi + CF)$, donde $IN =$ Ingreso neto, $Y =$ Rendimiento (kg ha^{-1}), $Py =$ precio por kg, $\sum XiPi =$ suma de costos variables, $CF =$ costos fijos (Volke, 1982). También se determinó la GPI con la relación: $GPI = (\sum XiPi + CF) / YPy$, donde: GPI = ganancia por peso invertido.

RESULTADOS Y DISCUSION

Fenología y condiciones climáticas.

En la Figura 1A, se observa la media decenal de la $T_{\text{máx}}$ y $T_{\text{mín}}$ durante el desarrollo del cultivo en el 2011 fluctuó entre $31 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y $21 \text{ }^{\circ}\text{C}$, y entre $13 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y $8 \text{ }^{\circ}\text{C}$, respectivamente. Durante la etapa de siembra (S) a FL, la $T_{\text{máx}}$ y $T_{\text{mín}}$ promedio fue de $31 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y $8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y de FL a MF fue de $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y $8 \text{ }^{\circ}\text{C}$, respectivamente. Con respecto a la Figura 1B, la media decenal de la $T_{\text{máx}}$ y $T_{\text{mín}}$ durante el desarrollo del cultivo en el 2012 fluctuó entre $34 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y $22 \text{ }^{\circ}\text{C}$, y entre $12 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y $3 \text{ }^{\circ}\text{C}$, respectivamente. Durante la etapa de S a FL, la $T_{\text{máx}}$ y $T_{\text{mín}}$ promedio fue de $34 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y $3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y en

la etapa de FL a MF fue de 28 °C y 5 °C, respectivamente. Los valores en ambos años se encuentran dentro del umbral térmico en promedio de 18 a 22 °C apropiado para cultivares de maíz adaptados a los valles altos de México (Pecina *et al.*, 2011), lo cual indica que en los genotipos estudiados la temperatura no fue limitante para una mayor expresión del rendimiento. En cuanto, a la suma de la PP durante el ciclo del cultivo en el 2011 (Figura 1A) fue de 504 mm. La mayor PP (374 mm) ocurrió en la etapa de S a FL de los genotipos, en los meses de junio y julio. Sin embargo, de FL a MF la PP fue más baja (129 mm). Esto limitó una mayor expresión del RG (Faraldo *et al.*, 2011). Por otra parte, la suma decenal de la PP en el 2012 (Figura 1B) fue de 344 mm durante el ciclo del cultivo. En el estudio, se aplicaron dos riego después de la siembra para lograr una emergencia homogénea y mejor desarrollo del cultivo. La mayor PP (273 mm) se presentó en los meses de julio y agosto, en la etapa de FL a MF, sin embargo, de S a FL la PP fue de 71 mm. Al respecto, Rivetti (2006) y Pedrol *et al.* (2008) establecen que los requerimientos hídricos del maíz durante su desarrollo son alrededor de los 575 mm. Esto indica que en el 2012 se presentaron las mejores condiciones para el crecimiento y desarrollo del cultivo, lo que repercutió en un mayor rendimiento de grano.

Los genotipos en estudio en el 2011, presentaron diferencias en las fechas a ocurrencia de las etapas fenológicas, a excepción de la E donde fue similar (6 dds). En contraste, la floración de Michoacan-21 ocurrió a los 84 dds, en HS-2 a los 92 dds y en Promesa a los 90 dds. La MF en Michoacan-21 fue a los 140 dds, en HS-2 y en Promesa a los 146 dds (Figura 1A). En el 2012, los genotipos en estudio, presentaron la emergencia a los 8 dds. La floración de Michoacan-21 ocurrió a los 80 dds, en HS-2 a los 90 dds y en Promesa a los 87 dds. La MF en Michoacan-21 a los 135 dds, en HS-2 y Promesa a los 141 dds (Figura 1B).

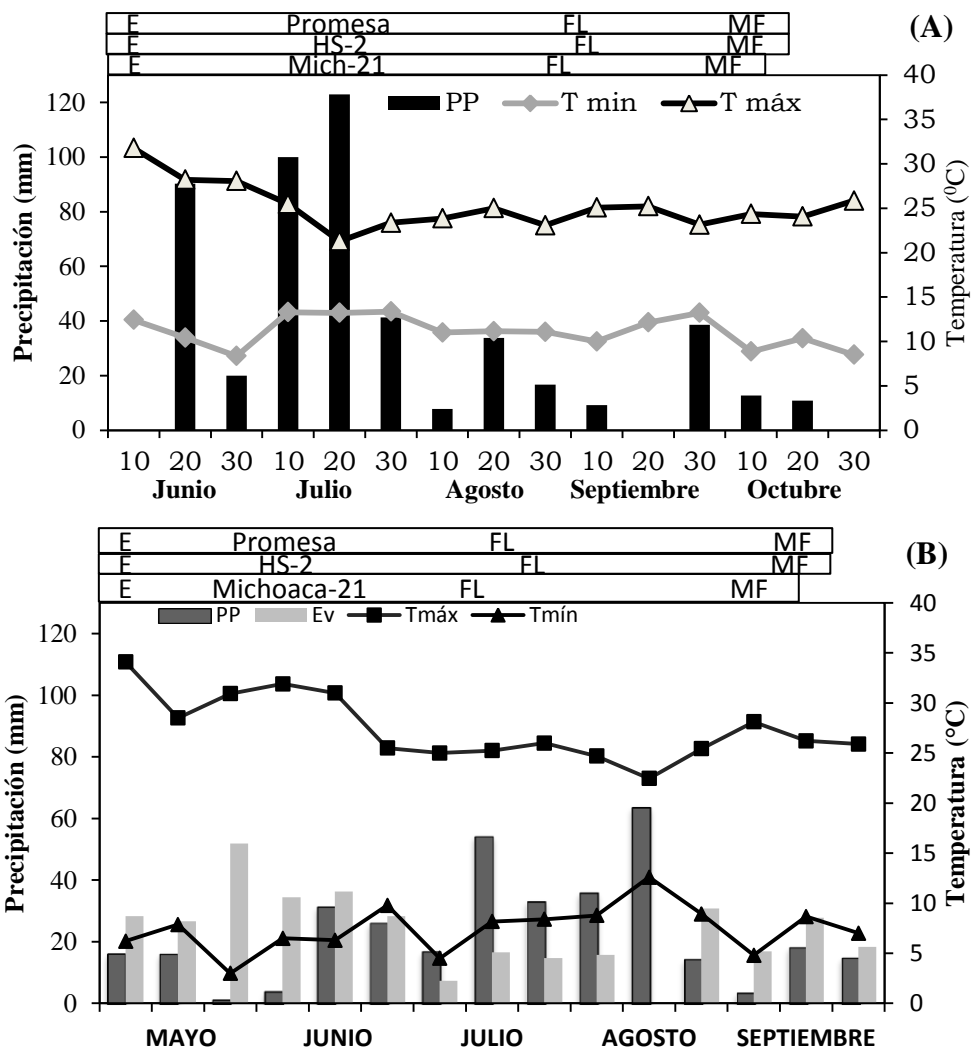


Figura 1. Medias decenales de la temperatura máxima (Tmáx, °C), mínima (Tmín, °C) y suma decenal de la precipitación (PP, mm) durante el ciclo del cultivo de los maíces Michoacan-21, HS-2 y Promesa en los años 2011 (A) y 2012 (B). E = Emergencia, FL = Floración, MF = Madurez fisiológica. Montecillo, Edo. de México.

Materia seca (MS) y rendimiento de grano (RG)

El ANDEVA para MS y RG mostró cambios significativos debido al año (A), genotipo (G), nitrógeno (N) y las interacciones, año x genotipo (A x G), año x nitrógeno (A x N). No se observaron diferencias significativas en la MS, en las interacción año x genotipo x nitrógeno (A x G x N) y genotipo x nitrógeno (G x N) y para el RG en la interacción A x G x N (Cuadro 1).

Cuadro 1. Análisis de varianza para materia seca (MS) y rendimiento de grano (RG). Montecillo, Edo. de México. 2011 y 2012.

Factor	MS	RG
	g m ⁻²	g m ⁻²
Año	**	**
Genotipo	**	**
Año x Genotipo	**	*
Nitrógeno	**	**
Año x Nitrógeno	**	*
Genotipo x Nitrógeno	NS	**
Año x Genotipo x Nitrógeno	NS	NS

*,** = P≤0.05, 0.01, respectivamente; NS = No significativo a P≥0.05.

Genotipo

En el Cuadro 2, se observa que en la MS los cultivares mejorados superaron en 60 y 44% al criollo. El genotipo HS-2 por su ciclo de crecimiento más largo tuvo oportunidad de interceptar mayor cantidad de radiación, lo que generó un incremento del 60%, seguido de Promesa con 44% en MS con respecto a Michoacan-21 (Figura 1). En cuanto al RG, Promesa presentó el más alto (518 g m⁻²), seguido de HS-2 (508 g m⁻²) y Michoacan-21 (390 g m⁻²). Esto corrobora las características agronómicas de los genotipos mejorados, los cuales poseen alto potencial productivo (Espinosa *et al.*, 2003).

Año

En el Cuadro 2, se observaron diferencias con respecto a los años en la MS y RG. Siendo, en el 2012 donde se presentó la más alta MS y fue superior en 24%, con respecto al año 2011. En relación al RG, también se observaron diferencias significativas, el más alto se presentó en el 2012, con respecto al año 2011. Estas diferencias se relacionaron con las condiciones ambientales en las que se desarrolló el cultivo. Dichas respuesta también fue observada por Delgado *et al.* (2014).

Nitrógeno

En el Cuadro 2 se observa que el N ocasionó cambios significativos en la MS y RG. La aplicación de 160 kg N ha⁻¹ incrementó en 11% la MS, en tanto con 80 kg N ha⁻¹ el incremento fue de 16%, con respecto a sin fertilización (Cuadro 2), lo que indica que con 80 kg N ha⁻¹ se promovió la mayor acumulación de MS en las estructuras de la planta. En cuanto al RG, con 160 kg N ha⁻¹ se aumentó en 45%, seguido de 80 kg N ha⁻¹ con un incremento del 36%, con respecto al testigo sin fertilizar. Esto indica que el suministro de N es importante en el desarrollo del grano (Gallais y Coque, 2005).

Cuadro 2. Materia seca (MS) y rendimiento de grano (RG) de genotipos de maíz en función del nitrógeno (N) en el 2011 y 2012. Montecillo, Edo. de México.

Factor		MS (g m ⁻²)	RG (g m ⁻²)
Año	2011	1062 b	266 b
	2012	1320 a	677 a
	Tukey $\alpha = 0.05$	82	45
Genotipo	Mich-21	884 c	390 b
	HS-2	1,415 a	508 a
	Promesa	1,273 b	518 a
	Tukey $\alpha = 0.05$	104	38
Nitrógeno	0	1,090 b	370 c
	80	1,266 a	506 b
	160	1,217 a	539 a
	Tukey $\alpha = 0.05$	80	28
Media general		1191	472
CV. (%)		9	8

En columnas para cada factor principal letras similares indican que los valores son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha=0.05$).

Año x Genotipo (A x G)

El ANDEVA para la MS y RG, mostró diferencias significativas por efecto de la interacción A x G (Figura 2); lo que demuestra que los genotipos presentaron respuestas diferentes entre los años.

Así, debido a la mayor disponibilidad de agua durante el llenado de grano en el 2012 de HS-2 presentó incremento del 63% en MS, en Promesa fue del 4% y en Michoacan-21 fue de 5%, con respecto al 2011. En cuanto, al RG se incrementó en 223% en HS-2 para el 2012, seguido de 120% en Promesa y 130% en Michoacan-21, con respecto al año 2011. Como también se deduce de los estudios realizados por Delgado *et al.* (2014). Esto indica que en cada años se presentaron condiciones ambientales diferentes, lo que afecto el comportamiento de los genotipos.

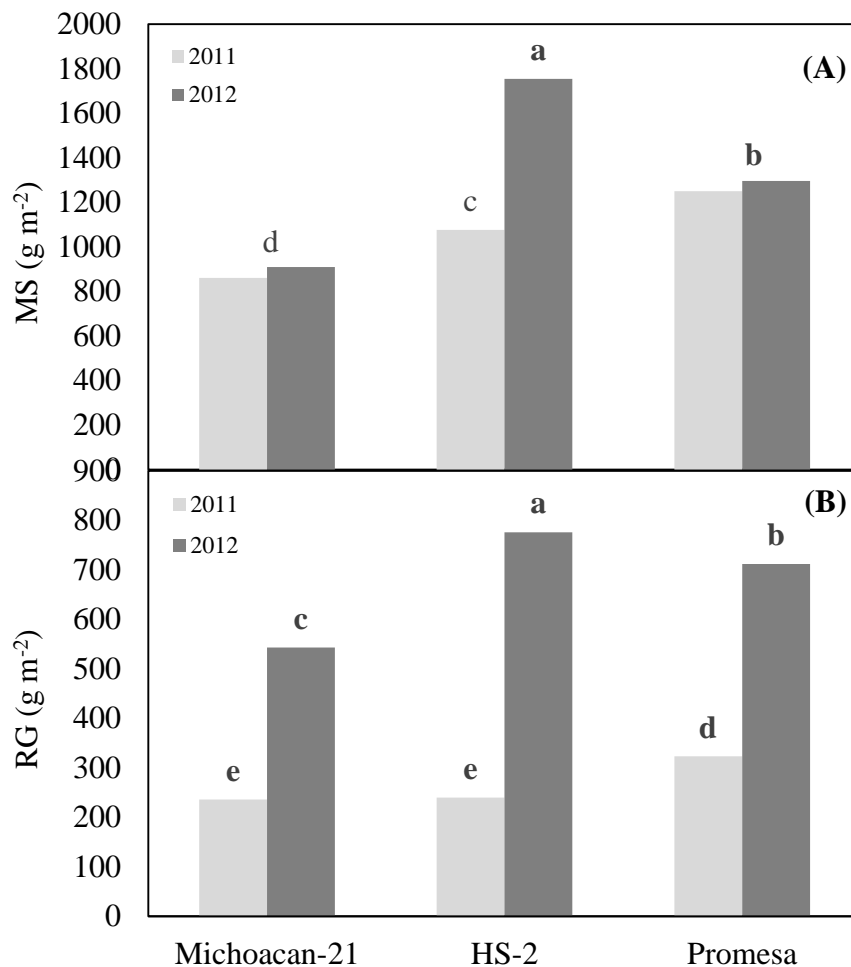


Figura 2. (A) Materia seca (MS) y (B) rendimiento de grano (RG) en genotipos de maíz en el 2011 y 2012. Montecillo, Edo. de México.

Año x Nitrógeno (G x N)

En la Figura 3 se observa que entre los años 2011 y 2012 se observaron respuesta diferente al N en la MS y RG. En general dicha respuesta se ajustó al modelo de un polinomio de segundo grado.

En el año 2012 se observó que la respuesta más alta al N en la producción de MS fue de 4.7 g m^{-2} por unidad de N aplicado, superior al año 2011 donde se produjo la respuesta más baja (2.5 g m^{-2} por unidad de N). La máxima producción de MS se logró con 80 kg N ha^{-1} . Lo anterior indica que el nitrógeno fue más eficiente en las condiciones de humedad que se presentaron en el 2012. En relación al RG, también se observó diferencia entre años en respuesta al N (Figura 3B). En el 2012 presentó mayor RG por unidad de N aplicado (2.8 g m^{-2}), seguido del 2011 que presentó la respuesta más baja (1.8 g m^{-2} por kg N aplicado). El RG más alto se obtuvo en el 2012 con 160 kg N ha^{-1} . En general en el año 2012 el N incrementó la producción de MS y RG.

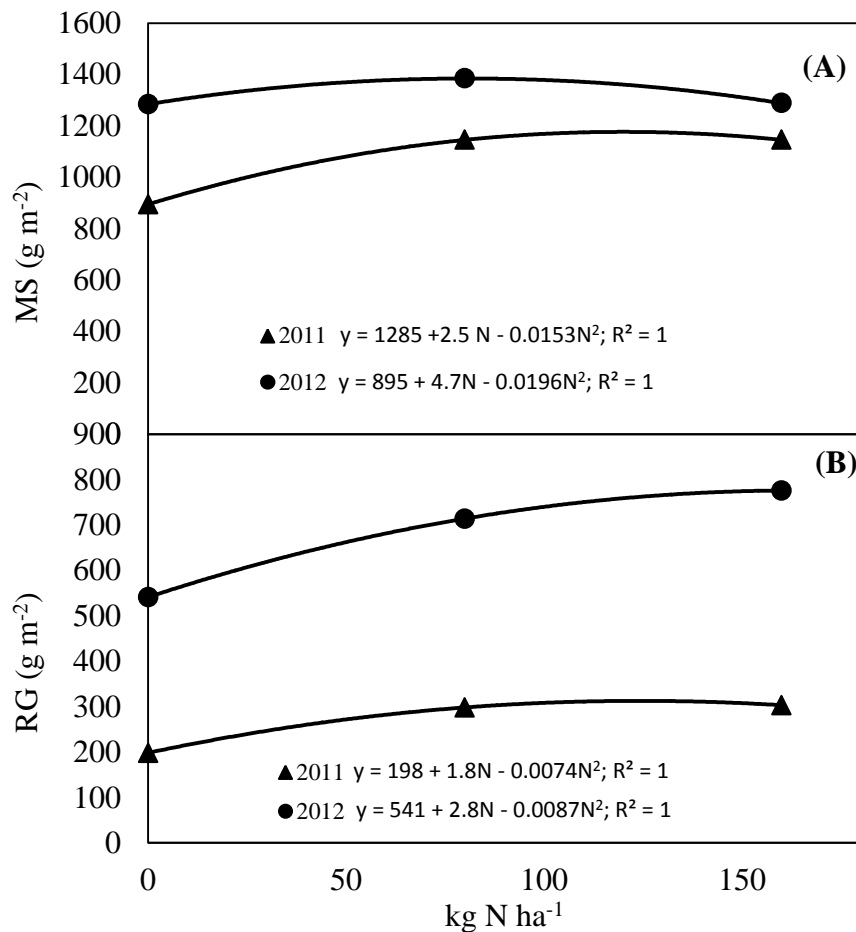


Figura 3. (A) Materia seca (MS) y (B) rendimiento de grano (RG) en función del nitrógeno (N). Montecillo, Edo. de México. 2011 y 2012.

Genotipo x Nitrógeno (G x N)

El ADEVA mostró cambios significativos para la MS y RG debido a la interacción G x N (Figura 4).

En la Figura 4A, se observa que Promesa con nitrógeno presentó mayor respuesta en MS (5.9 g m^{-2} por kg N^{-1}), esto indica, que el genotipo Promesa es más eficiente en el uso de nitrógeno, con respecto HS-2 y Michoacan-21. En cuanto al RG, el mayor fue en Promesa con 160 kg N ha^{-1} (Figura 4B) y con una tasa de incremento de 2.9 g m^{-2} por kg de N, lo que indica que el suministro de nitrógeno en el suelo tuvo un efecto positivo sobre el RG.

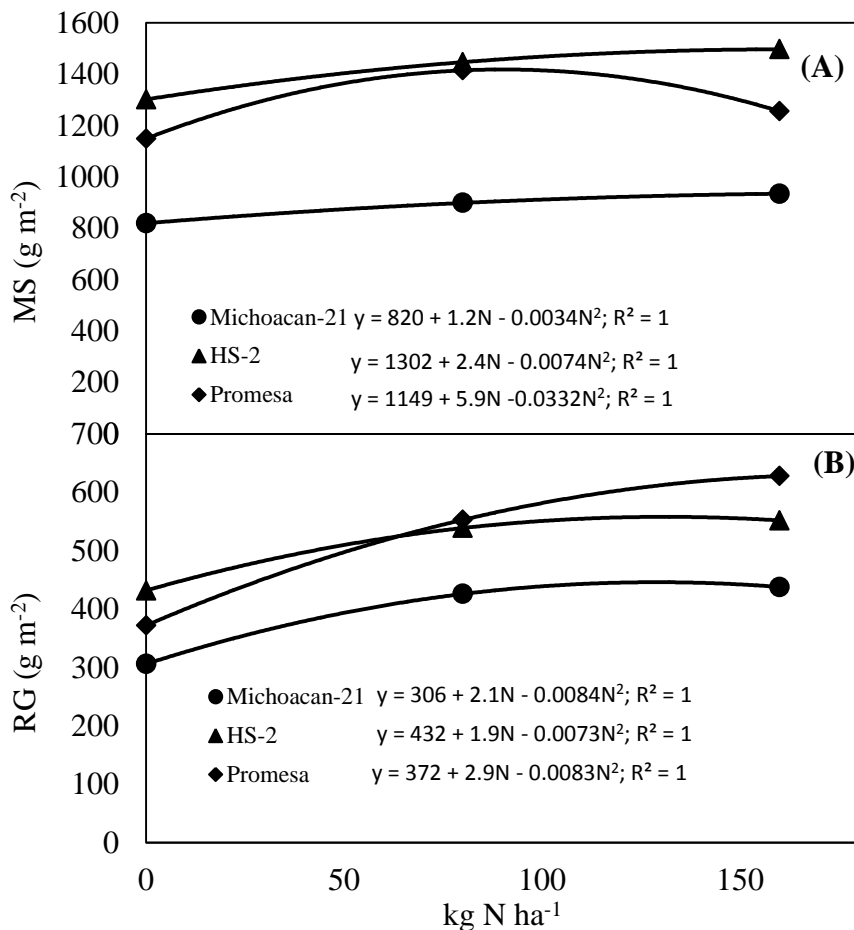


Figura 4. (A) Materia seca (MS) y (B) rendimiento de grano (RG) en genotipos de maíz en función del nitrógeno (N). Montecillo, Edo. de México. 2011 y 2012.

Año x Genotipo x Nitrógeno (A x G x N)

El ANDEVA mostró cambios significativos para la MS y RG por efecto de la interacción A x G x N (Cuadro 1). En la Figura 5A, se observa que la mayor respuesta en MS se encontró en el año 2012 para HS-2 con 160 kg N ha^{-1} , seguido de Promesa y Michoacan-21. Esta misma tendencia se presentó en el 2011, siendo el más alto en Promesa, seguido de HS-2 y Michoacan-21. Esto indica que las condiciones ambientales que se presentaron en el 2012, influyeron en el

crecimiento de la planta. Con respecto al RG el más alto correspondió a Promesa con 160 kg N ha⁻¹, seguido de HS-2 y Michoacan-21. En términos generales, los factores responsables de dicha respuesta, son las condiciones de nitrógeno y humedad en el suelo, que fueron favorables en el 2012, para un mayor rendimiento de grano.

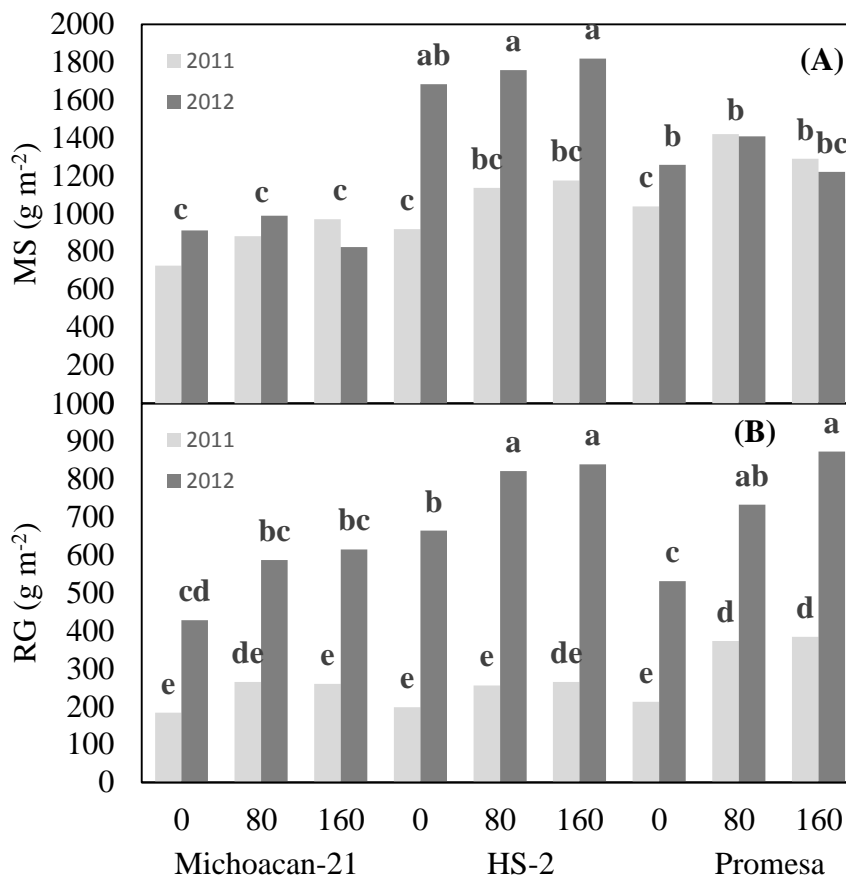


Figura 5. (A) Materia seca (MS) y (B) rendimiento de grano (RG) en función del genotipo (G) y nitrógeno (N) en el 2011 y 2012. Montecillo, Edo. de México.

Análisis económico

En cuanto al análisis económico (Cuadro 3), el mayor RG se observó en el 2012 con Promesa y con la aplicación de 160 kg N ha⁻¹, lo cual generó el más alto IN (\$ 25,640), sin embargo, la mayor GPI, se presentó en HS-2 con 0 y 80 kg N ha⁻¹, debido a que por cada peso invertido, se recuperó \$ 3.20 y 3.19. El más alto costo total en la producción de maíz fue con Promesa y HS-2, con 160 kg N ha⁻¹. Sin embargo, en el 2011 el mayor IN fue con Promesa y 80 kg N ha⁻¹ lo cual ocasionó la más alta GPI. En el 2011 se observaron los valores más bajos, esto debió a que en el 2012 se obtuvo una mayor producción de grano, lo que generó el más alto IN y GPI.

Cuadro 3. Rendimiento de grano (RG), ingresos totales (IT), costos fijos (CF), costos variables (CV), costos totales (CT), ingresos netos (IN) y ganancia por peso invertido (GPI) en genotipos de maíz en función del nitrógeno (N) en el 2011 y 2012. Montecillo, Edo. de México.

Año	G	N (kg ha ⁻¹)	RG (kg ha ⁻¹)	IT \$	CF \$	CV \$	CT \$	IN \$	GPI \$
2011	Mich-21	0	1840	8280	5033	340.00	5373.60	2906.40	0.54
		80	2650	11925	5033	1863.00	6896.60	5028.40	0.73
		160	2600	11700	5033	3286.00	8319.60	3380.40	0.41
	HS-2	0	1980	8910	5033	1300.00	6333.60	2576.40	0.41
		80	2560	11520	5033	2823.00	7856.60	3663.40	0.47
		160	2650	11925	5033	4246.00	9279.60	2645.40	0.29
	Promesa	0	2130	9585	5033	1300.00	6333.60	3251.40	0.51
		80	3730	16785	5033	2823.00	7856.60	8928.40	1.14
		160	3840	17280	5033	4246.00	9279.60	8000.40	0.86
	Mich-21	0	4280	17120	5033	340.00	5373.60	11746.40	2.19
		80	5870	23480	5033	1863.00	6896.60	16583.40	2.40
		160	6150	24600	5033	3286.00	8319.60	16280.40	1.96
2012	HS-2	0	6650	26600	5033	1300.00	6333.60	20266.40	3.20
		80	8220	32880	5033	2823.00	7856.60	25023.40	3.19
		160	8400	33600	5033	4246.00	9279.60	24320.40	2.62
	Promesa	0	5310	21240	5033	1300.00	6333.60	14906.40	2.35
		80	7330	29320	5033	2823.00	7856.60	21463.40	2.73
		160	8730	34920	5033	4246.00	9279.60	25640.40	2.76

IT = RG * precio por kg de maíz en el 2011 (\$ 4.50) y en el 2012 (\$4.00). CF = incluye costo de preparación del terreno, siembra, riego, manejo de maleza y plagas. CV = incluye el costo del biofertilizante, fertilización y cosecha de maíz. CT = CF + CV. IN = IT – CT. GPI = IN / CT.

CONCLUSIONES

En el año 2012 y 2011 con la aplicación de nitrógeno los genotipos de maíz incrementan la producción de materia seca y rendimiento de grano. En general, en el año 2012, el mayor rendimiento de grano y materia seca se logra con 160 kg de N ha⁻¹ en HS-2. La producción de materia seca y rendimiento más bajo se logró en el 2011 en Michoacan-21 y sin aplicación de nitrógeno. El mayor ingreso neto se logró con Promesa y 160 kg N ha⁻¹ en el año 2012. El más alto costo total en la producción de maíz fue en el año 2011 y 2012 en Promesa y HS-2 con la aplicación de 160 kg N ha⁻¹.

AGRADECIMIENTOS

A CONACYT por el apoyo económico recibido para llevar a cabo esta trabajo de investigación.

LITERATURA CITADA

- Barraco, M. y M. Díaz-Zorita. 2005. Momento de fertilización nitrogenada de cultivos de maíz en hapludoles típicos. *Cl. Suelo*. 23(2): 197-203.
- Borrás, L. y M. E. Otegui. 2001. Maize kernel weight response to postflowering source-sink ratio. *Crop Sci*. 49: 1816-1822.
- D'Andrea, E. K.; Otegui, E. M. and Cirilo, G. A. 2008. Kernel number determination differs among maize hybrids in response to nitrogen. *Netherlands. Field Crops Res*. 105:228-239.
- Delgado, M. R., J. A. S. Escalante E., R. Díaz R., A. Trinidad S., E. J. Morales R. y E. Sosa Montes. 2014. Defoliación en maíz y su efecto sobre el rendimiento de frijol-maíz en asociación. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 5(6): 1015-1027.
- Espinosa, A., Sierra, M., Gómez, N. 2003. Producción y tecnología de semillas mejoradas de maíz por el INIFAP en el escenario sin la PRONASE. *Agronomía Mesoamericana*. 14(001):117-121.
- Faraldo, L. M., G. T. Vergara, G. A. Casagrande, J. P. Arnaiz, H. Mirasson y C. Ferrero. 2011. Eficiencia en el uso del agua y radiación en maíz, girasol y soja, en la región oriental de la Pampa, Argentina. *Agronomia Tropical*. 61(1): 47-57.
- Gallais, A. and M. Coque. 2005. Genetic variation and selection for nitrogen use efficiency in maize: a synthesis. *Maydica*. 50: 531-547.
- García E. 2005. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. 4ª Edición. Instituto de Geografía. Universidad Autónoma de México. 217 p.
- González, H. A.; Vázquez, G. L. M.; Sahagún, C. J. y Rodríguez, P. J. E. 2008. Diversidad fenotípica de variedades e híbridos de maíz en el Valle Toluca-Atlacomulco, México. *Rev. Fitotec. Mex*. 31(1):67-76.
- Hernández, A., V. Barrientos, A. Chassaigne y J. Alezones. 2003. Evaluación y selección de poblaciones y líneas de maíz (*Zea mays* L.) eficientes en la asimilación de nitrógeno. *Bioagro*. 15(2): 115-120.
- Khaliq, T., A. Ahmad, A. Hussain and M. A. Ali. 2009. Maize hybrids response to nitrogen rates at multiple locations in semiarid environment. *Pakistan Journal of Biol*. 41(1): 207-224.

- Pecina, M. J. A., M. C. Mendoza C., J. A. López S., F. Castillo G., M. Mendoza R. y J. Ortiz-C. 2011. Rendimiento de grano y sus componentes en maíces nativos de Tamaulipas evaluados en ambientes contrastantes. *Rev. Fito. Mex.* 34(2): 85-92.
- Pedrol, H. M., J.M. Castellarín, F. Ferraguti, O. Rosso. 2008. Respuesta a la fertilización nitrogenada y eficiencia en el uso del agua en el cultivo de maíz según nivel hídrico. En *Información Agronómica del ConoSur* N° 40. pp. 17-20.
- Preciado, O. R. E., C. A. Ortega, M. E. Betanzos, D. J. L. Ramírez, R. A. Peña, N. O. Gómez M. y C. G. Velázquez. 2004. Acciones para la reorganización del programa nacional de mejoramiento genético en maíz. Celaya, Gto. CEBAJ-CIRGOC-INIFAP. 41 p.
- Rasheed, M., W. M. Bhutta, M. Anwar-ul-Haq and A. Ghaffar. 2004. Genotypic response of maize hybrids to NP applications. *Internacional Journal of Agri. and Biol.* 6(4): 721-722.
- Reynoso, Q. C. A., A. Gonzalez H., D. de J. Perez L., O. Franco M., J. L. Torres F., G. A. Velázquez C., C. Breton L., A. Balbuena M. y O. Mercado V. 2014. Análisis de 17 híbridos de maíz sembrados en 17 ambientes de los Valles Altos del centro de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.* 5(5):871-882.
- Ritchie, S. W. and Hanway, J. J. 1982. How a corn plant develops. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service. Special report No. 48. Ames Iowa, EEUU. 21 p.
- Rivetti, A. 2006. Producción de maíz bajo diferentes regímenes de riego complementario en Rio Cuarto, Córdoba, Argentina. I. Rendimiento en grano de maíz y sus componentes. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias.* 38 (2): 25-36.
- SAS Institute. 2003. SAS/STAT user's guide Release 9.1. SAS Institute. Cary, NC, USA.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (SAGAR). 2000. Situación actual y perspectivas de la producción de maíz en México. SAGAR. México, D. F., 75 p.
- Shapiro, C. A. and C. S. Wortmann. 2006. Corn response to nitrogen rate, row spacing and plant density in Eastern Nebraska. *Agronomy Journal.* 98: 529-535.
- Sistema de Información Agropecuaria (SIAP). 2013. Sistema de Información Agropecuaria de Consulta. SAGARPA. México. Disponible en: http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar_comanuar.html (Revisado: 1 de agosto de 2013).
- Volke, H. V. 1982. Optimización de insumos de la producción en la agricultura. Colegio de Postgraduados, Chapingo. Méx. 61 p.

CONCLUSIONES GENERALES

En Iguala, Guerrero, para el 2011 en condiciones de riego, el maíz criollo Vandeño con la aplicación del biofertilizante y 160 kg N ha⁻¹ incrementó la materia seca total durante el desarrollo del cultivo, no fue significativo para el rendimiento de grano. En cuanto al índice y duración de área foliar, el más alto fue con 80 y 160 kg N ha⁻¹, lo que ocasiono la mayor tasa de crecimiento del cultivo, no así en la tasa de asimilación neta. En relación a H-562 la más alta producción de materia seca total y rendimiento de grano fue con biofertilizante y 160 kg N ha⁻¹, al igual se incrementó el índice y duración de área foliar, que generó la más alta tasa de crecimiento del cultivo y asimilación neta. El mayor ingreso neto se logra con H-562 y 160 kg N ha⁻¹ independientemente del uso del biofertilizante. En el 2011, en temporal, la aplicación de biofertilizante y nitrógeno ocasionó incrementos significativos en la producción de materia seca y en rendimiento. En general, solo se observó un efecto positivo sobre la MS y RG en Vandeño con el uso de biofertilizante y nitrógeno. Pero, el RG más alto se logra en H-562 con 80 y 160 kg N ha⁻¹. El mayor ingreso neto se logra con H-562 y 160 kg N ha⁻¹. En el 2012, en temporal, al evaluar el genotipo VS-535, se observó que el cultivo con 160 kg N ha⁻¹ presentó la más alta respuesta en el IAF y DAFT a los 75 dds. En cuanto a la MS, \overline{TCC} y \overline{TAN} más alta se presentó con la aplicación de biofertilizante con 80 y 160 kg N ha⁻¹. Para RG la mayor respuesta se encontró con la aplicación de 160 kg N ha⁻¹, más biofertilizante. La aplicación de biofertilizante con 80 y 160 kg N ha⁻¹ incrementó la eficiencia en el uso del agua, eficiencia agronómica de nitrógeno, producción de MS y RG. El mayor ingreso neto se logra con biofertilizante y 160 kg N ha⁻¹. En el 2011, en Montecillo, Edo. de México, los genotipos en estudio presentan diferencias en la ocurrencia de las fases fenológicas. Siendo, Promesa el que logró incrementar la mayor eficiencia en el uso del agua y nitrógeno con la aplicación de 160 kg N ha⁻¹, este tratamiento logró la más alta materia seca total, índice y duración de área foliar, lo que ocasiono la mayor TCC y TAN durante el desarrollo del cultivo, esto a su vez repercutió en el más alto rendimiento de grano. Sin embargo, en el contenido de nitrógeno y proteína del grano fue más alto en el maíz HS-2 con 160 kg N ha⁻¹. Sin embargo, el mayor ingreso neto se logra con Promesa y 80 kg N ha⁻¹. En el 2012, el uso de biofertilizante logró incrementar de manera significativa la materia seca y rendimiento de grano solo en Michoacan-21. En general, el mayor RG y MS se logra con 160 kg de N ha⁻¹. La producción de MS más alto se logra en HS-2 con 160 kg N ha⁻¹ y para el RG en Promesa con 160 kg N ha⁻¹. El mayor ingreso neto se logra con Promesa y 160 kg N ha⁻¹.