



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS Y FORESTAL

PROGRAMA INSTITUCIONAL DE DOCTORADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
OPCIÓN EN CIENCIAS AGROPECUARIAS, FORESTALES Y AMBIENTALES

ECO-FISIOLOGÍA DE FABACEAS Y MAIZ (*Zea mays* L.) TOLERANTES A BAJOS
NUTRIMENTOS EN SUELOS ÁCIDOS DE LA SABANA DE HUIMANGUILLO,
TABASCO

T E S I S

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER
EL GRADO DE DOCTOR EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

P R E S E N T A

SAMUEL CÓRDOVA SÁNCHEZ

Morelia, Michoacán, México

Agosto de 2011





UNIVERSIDAD MICHOCANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS Y FORESTAL

PROGRAMA INSTITUCIONAL DE DOCTORADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
OPCIÓN EN CIENCIAS AGROPECUARIAS, FORESTALES Y AMBIENTALES

ECO-FISIOLOGÍA DE FABACEAS Y MAIZ (*Zea mays* L.) TOLERANTES A BAJOS
NUTRIMENTOS EN SUELOS ÁCIDOS DE LA SABANA DE HUIMANGUILLO,
TABASCO

T E S I S

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER
EL GRADO DE DOCTOR EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

P R E S E N T A

SAMUEL CÓRDOVA SÁNCHEZ

Morelia, Michoacán, México

Agosto de 2011

II





UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO



DR. JAVIER PONCE SAAVEDRA
COORDINADOR GENERAL DEL PROGRAMA INSTITUCIONAL DE
DOCTORADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
P R E S E N T E

Por este conducto nos permitimos comunicarle que después de haber revisado el manuscrito final de la Tesis Titulada: "ECO-FISIOLOGÍA DE FABACEAS Y MAÍZ (*Zea mays* L.) TOLERANTES A BAJOS NUTRIMENTOS EN SUELOS ÁCIDOS DE LA SABANA DE HUIMANGUILLO, TABASCO" presentado por el M.C. SAMUEL CÓRDOVA SÁNCHEZ, consideramos que reúne los requisitos suficientes para ser publicado y defendido en Examen de Grado de Doctor en Ciencias.

Sin otro particular por el momento, reiteramos a usted un cordial saludo.

ATENTAMENTE

Morelia, Michoacán, 5 de agosto de 2011

MIEMBROS DE LA COMISIÓN REVISORA

Dr. Raúl Cárdenas Navarro
 Director de Tesis

Dr. Juan José Peña Cabrales
 Co Director de Tesis

Dr. Sergio Salgado García
 Vocal

Dr. Philippe Lobit
 Vocal

Dr. Rodolfo Farías Rodríguez
 Vocal

c.c.p. Archivo de la OCAFYA.

RECIBIDO
 10/08/2011

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestal-Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo por las facilidades y oportunidad brindadas para la realización de mi programa de doctorado.

Al Colegio de Postgraduados *Campus* Tabasco por la por facilidades otorgadas en el uso del Laboratorio de Análisis de Suelo, Planta y Agua (LASPA).

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el financiamiento para realizar mis estudios Doctorado en Ciencias, y así culminar una meta más en mi vida.

Al CINVESTAV-IPN- Unidad Irapuato por las facilidades brindadas en el Laboratorio de Microbiología Ambiental para realizar parte de este trabajo.

Al Dr. Raúl Cárdenas Navarro, por participar como consejero, por la confianza, por sus sugerencias y por su amistad que me brindó.

Al Dr. Sergio Salgado García, por su amistad incondicional, disposición de tiempo y acertadas sugerencias en este trabajo.

Al Dr. Cristian Philip Lobit, por su paciencia, amistad y sugerencias en este trabajo.

Al Dr. Juan José Peña Cabriales, su linda amistad que me ha brindado, sugerencias y disposición de tiempo en la revisión de este trabajo.

Al Dr. Mepivosth Castelán Estrada, por su participación en mi formación académica y su amable disposición cuando le solicite su apoyo en revisión de algunos documentos.

Al M.C. José Antonio Vera Núñez, por apoyarme en los análisis isotópicos en la prestigiada institución en la que trabaja.

A todos los Doctores, maestros y personal administrativo, mis más profundos agradecimientos por sus enseñanzas, sugerencias, consejos y el tiempo que con paciencia dedicaron durante mi etapa de estudiante en el Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestal-Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

DEDICATORIA

A quién después de darme la vida, le debo todo lo que soy, lo que tengo, ha guiado mis pasos, me ha dado amor, salud y comprensión. **“Dios.”**

A mí madre Ma. Adelita Sánchez Sánchez, con amor y cariño por su apoyo moral e incondicional que me ha dado toda su vida.

A mí padre Alberto Córdova Flores, por haberme dado la vida.

A mi esposa y madre de mis hijos Sra. Isela del Carmen Pérez Jiménez, por su comprensión y apoyo que me ha brindado.

A mis hijos Eliana Citlaly, Edith Jazmín y Edward Ediel Córdova Pérez, por su cariño y amor que me han dado y por la dicha de ser padre.

A mis hermanos Erick, Madia, Alberto y Manuel Córdova Sánchez y Alicia Sánchez Sánchez, por el apoyo moral y sentimental que me dieron.

A los abuelos maternos de mis hijos los Sres. Juan Pérez Cadena y María Isabel Jiménez Olan, por el apoyo que me han brindado.

A mis cuñados Leuris, Leonor, Raquel, Beatriz Adriana, Alex Maury, Blanca Esmeralda, Ricardo y Guadalupe por su amistad y apoyo.

A mis sobrinos Yurisdiana, Josías, Lizbeth Citlaly, Jocabet, Ángel Alberto y Leuris Josué, por todo su cariño.

INDICE

	Pág.
AGRADECIMIENTOS	IV
LISTA DE CUADROS	IX
LISTA DE GRAFICAS	X
I. RESUMEN GENERAL	1
II. ABSTRACT GENERAL	3
III. INTRODUCCIÓN GENERAL	5
3.1. El cultivo de maíz.....	5
3.2. Interacción suelo-planta-microorganismos	6
3.3. La simbiosis fabácea- <i>Rhizobia</i>	7
3.4. Fijación biológica de nitrógeno.....	10
3.5. El nitrógeno en la fisiología	10
3.6. Los suelos ácidos.....	11
3.7. Influencia del aluminio en los suelos ácidos	12
3.8. Uso actual y tipo de suelos de Tabasco.....	12
3.9. Funcionalidad de fabáceas en suelos ácidos	15
3.9.1. <i>Cajanus cajan</i> L.	15
3.9.2. <i>Mucuna deeringiana</i> L.	15
3.9.3. <i>Phaseolus lunatus</i> L.	17
3.9.4. <i>Sesbania spp.</i>	17
IV. HIPÓTESIS	18
V. OBJETIVO	18
VI. RESULTADOS	19
CAPITULO I. USO DE ¹⁵ N-FERTILIZANTE POR GENOTIPOS DE MAÍZ (<i>Zea mays</i> L.) EN SUELOS ÁCIDOS DE LA SABANA DE HUIMANGUILLO, TABASCO, MÉXICO	19
RESUMEN.....	20
ABSTRACT	21
1.1. INTRODUCCIÓN	22
1.2. MATERIALES Y MÉTODOS	23

1.2.1.	Localización del sitio de estudio	23
1.2.2.	Material biológico	23
1.2.3.	Manejo del experimento.....	25
1.2.4.	VARIABLES DE ESTUDIO	25
1.3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	27
1.3.1.	Biomasa seca (BS)	27
1.3.2.	Rendimiento de grano (RG).....	27
1.3.3.	Rendimiento de nitrógeno total (RNt).....	27
1.3.4.	Eficiencia de uso del nitrógeno fertilizante (EUNF).....	28
1.4.	CONCLUSIONES	30
1.5.	BIBLIOGRAFÍA.....	31
CAPITULO II. FIJACIÓN BIOLÓGICA DE NITRÓGENO DE FABÁCEAS EN SUELOS ÁCIDOS DE HUIMANGUILLO, TABASCO, MÉXICO		33
RESUMEN.....		34
ABSTRACT		35
2.1.	INTRODUCCIÓN	36
2.2.	MATERIALES Y MÉTODOS	37
2.3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
2.3.1.	Producción de AV y MS	40
2.3.2.	Nodulación.....	41
2.3.3.	Contenido de Nt y NF	42
2.4.	CONCLUSIONES	44
2.5.	BIBLIOGRAFÍA.....	45
CAPITULO III. MAÍZ EN ASOCIACIÓN Y ROTACIÓN CON FABÁCEAS EN SUELOS ÁCIDOS DE LA SABANA DE HUIMANGUILLO, TABASCO, MÉXICO		47
RESUMEN.....		48
ABSTRACT.....		49
3.1.	INTRODUCCIÓN	50
3.2.	MATERIALES Y MÉTODOS	51
3.2.1.	Ubicación del experimento	51

3.2.2.	Condiciones climatológicas	51
3.2.3.	Manejo del experimento.....	52
3.2.4.	Diseño experimental y tratamientos.....	52
3.2.5.	Muestreo y variables de estudio	53
3.2.6.	Análisis estadístico.....	54
3.3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	55
3.3.1.	Precipitación pluvial (mm).....	55
3.3.2.	Temperatura (°C)	55
3.3.3.	Producción de materia seca del cultivo de maíz.....	56
3.3.4.	Rendimiento de grano (RG)	57
3.3.5.	Materia seca total (MSt).....	58
3.3.6.	Nitrógeno total de maíz.....	60
3.3.7.	Abono verde de fabáceas (AV)	63
3.3.8.	Materia seca de fabáceas (MS).....	63
3.3.9.	Producción de nódulos en fabáceas.....	64
3.3.10.	Masa seca de nódulos de fabáceas	64
3.3.11.	Nitrógeno total de fabáceas	65
3.3.12.	Fijación biológica de nitrógeno (FBN)	65
3.4.	CONCLUSIONES	67
3.5.	BIBLIOGRAFÍA.....	68
VII.	CONCLUSION GENERAL	71
VIII.	BIBLOGRAFIA	73

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Uso actual de los suelos de Tabasco. -----	13
Cuadro 2. Características químicas y físicas del suelo de la parcela experimental (Agosto, 2006). -----	23
Cuadro 3. Tipo y origen de maíces experimentales EUNF (Agosto, 2006) -----	24
Cuadro 4. Biomasa y eficiencia de uso de N-fertilizante en genotipos de maíz cultivados en la sabana de Huimanguillo, Tabasco. -----	29
Cuadro 5. Características químicas y físicas del suelo de la parcela donde se estableció el experimento. -----	37
Cuadro 6. Producción de abono verde (AV) y materia seca (MS) por fabáceas sembradas en un suelo ácido de la sabana de Huimanguillo. -----	41
Cuadro 7. Nodulación (NN) y materia seca de nódulos (MSN) por fabáceas sembradas en un suelo ácido de la sabana de Huimanguillo. -----	42
Cuadro 8. Acumulación de nitrógeno total (Nt) y fijado (FN) por fabáceas sembradas en un suelo ácido de la sabana de Huimanguillo. -----	43
Cuadro 9. Características químicas y físicas del suelo de la parcela experimental -----	51
Cuadro 10. Tratamientos experimentales para la evaluación de dos sistemas de producción fabácea-maíz sembrados en un suelo ácido de la sabana de Huimanguillo, Tabasco. -----	53
Cuadro 11. Producción de materia seca y grano de maíz en asociación y rotación con fabáceas sembradas en un suelo ácido de la sabana de Huimanguillo, Tabasco. -----	59
Cuadro 12. Nitrógeno total de genotipos de maíz en asociación y rotación con fabáceas sembradas en un suelo ácido de la sabana de Huimanguillo, Tabasco. -----	62
Cuadro 13. Producción de biomasa, número y masa seca de nódulos, Nt y N fijado de fabáceas en asociación y rotación con maíces en un suelo ácido de la sabana de Huimanguillo, Tabasco. -----	66

LISTA DE GRAFICAS

	Pág.
Fig. 1. Precipitación durante el ensayo asociación y rotación maíz-fabácea sembrado en un suelo ácido de la sabana de Hui manguillo, Tabasco (208 – 2009).	55
Fig. 2. Temperatura media mensual durante la asociación y rotación fabácea-maíz en suelo ácido de la sabana (2008 – 2009).	56

I. RESUMEN GENERAL

La asociación de cultivos es una alternativa para mantener y mejorar la fertilidad de los suelos, ya que la fijación biológica de nitrógeno es la fuente de N más barata y viable para los suelos ácidos de áreas agrícolas del trópico húmedo. Como objetivo general de esta investigación fue cuantificar la fijación biológica de nitrógeno por las fabáceas y su aportación de N al cultivo de maíz. Los objetivos específicos fueron evaluar el comportamiento agronómico de 32 genotipos de maíz (*Zea mays* L.) y la respuesta a la fertilización nitrogenada, medir la cantidad de N fijado en cuatro especies de fabáceas a través de la técnica de dilución isotópica del ^{15}N y medir el comportamiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en asociación y rotación con fabáceas en suelos ácidos de la sabana de Huimanguillo, Tabasco. El primer experimento se estableció con un diseño de bloques completos al azar, donde los tratamientos fueron los diferentes genotipos de maíz con cuatro repeticiones, los tratamientos del segundo experimento se establecieron en un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones y el tercer experimento se estableció con un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Se evaluó para el primer experimento producción de materia seca (MS), el rendimiento de grano (RG) y la eficiencia de utilización de ^{15}N -fertilizante (EUNF), las variables evaluadas para el segundo experimento fueron producción abono verde (AV), producción de materia seca (MS), número de nódulos (NN), producción de masa seca de nódulos (MSN), Nt y NF, y las variables en el tercer experimento en asociación y rotación, las cuales para maíz (CML269, HQ4-C, Criollo y S03): MS, RG y Nt; y para las fabáceas (*M. deerengiana* L., y *C. cajan* L.) fueron AV, MS, NN y MSN Nt y NF. Se aplicó la dosis de N de 90 kg ha^{-1} y el 50% de la dosis al cultivo de maíz. Para medir la EUNF se aplicó urea enriquecida con 1% de ^{15}N a.e. y para medir el NF de la atmósfera por las fabáceas se aplicó urea enriquecida al 10% a.e de ^{15}N . El mayor rendimiento de grano (3.9 Mg ha^{-1}) se cuantificó en el cultivo CML-269X el cual presentó una EUNF baja (5.88%) en comparación con el promedio experimental (7.68%) y con los maíces S03TLWQ-A.B 02C, colorado, CML-144C y totomoxtle morado que presentaron 13.9, 13.4, 13.2 y 12.1 % de EUNF. Dentro de los maíces criollos utilizados, el “Mejen” presentó la mayor producción de MS (2.8 Mg ha^{-1}), N total (31.1 kg ha^{-1}) y EUNF (25.3 %). *M. deerengiana* L., presentó mayor producción de AV y MS con 17.50 y 5.47 Mg ha^{-1} , así como MSN con $58.79 \text{ mg planta}^{-1}$ y también mayor contenido de Nt y NF con 526.94 y $522.11 \text{ kg ha}^{-1}$, en comparación con las otras tres fabáceas.

Sin embargo *C. cajan* L., presentó el mayor NN con 88.11 nódulos planta⁻¹. Por lo contrario las fabáceas *P. lunatus* L., y *S. emerus* L., presentaron los más bajos promedios en todas las variables. En asociación los maíces presentaron lo mayor rendimiento de MS, así mismo, el mayor contenido de Nt en olote, grano y total, y el mayor contenido de Nt en totomoxtle se presentó en el sistema de rotación. En la fabácea *C. cajan* L., los maíces presentaron mayor producción de MS de planta, totomoxtle y total. El maíz HQ4-C presentó mayor contenido de MS, RG, así mismo, presentó el mayor contenido de Nt y en grano. Y el maíz criollo “Mejen” presentó la mayor producción de MS de totomoxtle. Además, las fabáceas presentaron los valores más altos en todas las variables en la asociación fabácea-maíz. *C. cajan* L., presentó el valor más alto en todas las variables. Las fabáceas en el maíz S03 presentaron mayor número de nódulo, Nt y NF. Los resultados obtenidos demuestran que se pueden obtener rendimientos significativos de grano de maíz con bajas dosis de fertilizante nitrogenado en suelo ácido de sabana. Las fabáceas *M. deerengiana* L., y *C. cajan* L., toleran factores adversos que predominan en estos suelos. Los suelos ácidos de la sabana de Huimanguillo, Tabasco pueden usarse para la producción de maíz en asociación o rotación con las fabáceas.

Palabras clave: Maíz, Fabáceas, Suelos ácidos, Sabana

II. ABSTRACT GENERAL

Companion planting is an alternative to maintaining and improving soil fertility, as the biological fixation of nitrogen is the cheapest source of N for agricultural acid soils of tropical savannahs. The objective of this research was to quantify biological fixation of nitrogen by Fabaceae and contribution of N to maize (*Zea mays* L.). Specific objectives were to evaluate the performance of 32 genotypes of maize and response to N fertilization, measure the amount of fixed N in four species of Fabaceae through the ^{15}N isotope dilution technique and evaluate maize in association and rotation with Fabaceae in acid soils of the savannah of Huimanguillo, Mexico. Three experiments were set up with a design of a randomized complete block, where the treatments were maize genotypes with four replications. For the first experiment were evaluated; dry matter production (MS), grain yield (GY) and efficiency of utilization of ^{15}N -fertilizer (EUNF). Variables evaluated for the second experiment were green manure production (AV), dry matter production (DM), number of nodules (NN), dry mass production of nodes (MSN), Nt and NF. Variables in the third experiment in association and rotation for maize (CML269, HQ4-C, Creole and S03) were dry matter (organs and total), grain yield and Nt, and to the Fabaceae (*M. deerengiana* L. and *C. cajan* L.) were AV, MS, number and dry mass nodules, Nt and NF. Was applied the dose of 90 kg N ha^{-1} and 50% of the dose to maize. To measure EUNF enriched urea was applied with 1% ^{15}N excess atoms and measure the NF of the atmosphere by Fabaceae enriched urea was applied to 10% ^{15}N a.e. The higher grain yield (3.9 Mg ha^{-1}) was quantified in cv 269X CML which presented a low EUNF (5.88%) compared with experimental average (7.68%) and the 02C-AB S03TLWQ corn, red, CML-144C and purple presented 13.9, 13.4, 13.2 and 12.1% of EUNF. Within landraces used, "Mejen" had the highest DM production (2.8 Mg ha^{-1}), total N (31.1 kg ha^{-1}) and EANF (25.3%). *M. deerengiana* L., showed a greater production of AV and MS with 17.50 and 5.47 Mg ha^{-1} and $58.79 \text{ mg plant MSN}^{-1}$ and also higher content of N and 526.94 and 522.11 with FBN kg ha^{-1} compared with three other Fabaceae. *C. cajan* L. However, had the highest with 88.11 NN nodules plant^{-1} . *P. lunatus* L. and *S. emerus* L. had the lowest average in all variables. In partnership four maize had the highest DM yield of the different organs, also, the highest contents of N in rachis, grain and total, and the highest content of N in bracts appeared in the rotation system. In *C. cajan* L. maize had higher DM production plant, and total bracts. Maize HQ4-C quality protein content was higher in MS plant, total grain yield, likewise,

showed the highest concentration of N in plant, grain and total. And the native maize had the highest DM bracts production. Moreover the Fabaceae showed higher values for all variables in the association fabaceae-maize. *C. cajan* L., presented the highest values in every variable. The maize variety Fabaceae S03 showed the highest number of nodules, NT and NF. Our results show that significant yields of maize grain were obtained with low doses of N fertilization in acid soils of savanna. *M. deerengiana* L., and *C. cajan* L. are tolerant to adverse conditions prevailing in these soils. The acid soils of the savannah of Huimanguillo, Mexico can be used for maize production in association or rotation with Fabaceae.

Keywords: Acid soils, Fabaceas, Maize, Savanna

III. INTRODUCCIÓN GENERAL

Desde el punto de vista de química de suelos los principales factores limitantes para la producción de plantas de interés, es la disponibilidad de nutrientes en el suelo, y pH del mismo. En general las fabáceas antes leguminosas es una familia que comprende especies que toleran periodos extremos de sequía, baja fertilidad, pH ácido, etc. No obstante que los suelos ácidos de sabana representan una opción para incorporarlos a la producción agrícola, con tecnologías *ad hoc*, los problemas de manejo y conservación de cultivos y suelos no han recibido la importancia y prioridad que la problemática. A nivel mundial uno de los aspectos reconocidos para su implementación en suelos ácidos es el uso de fabáceas, las cuales permiten bajar el costo de producción para los productores por el ahorro de herbicidas, insecticidas, fertilizantes y su aplicación, así como la conservación de los suelos. Además el interés en el uso de fabáceas deriva de su potencial de contribución en la mejora de los suelos agrícolas. Por ejemplo, la integración de especies de fabáceas herbáceas y arbóreas con capacidad para fijar N₂ en sistemas agrícolas, contribuye a la restauración y mantenimiento de la fertilidad del suelo. Por otro lado, la integración de fabáceas con alto potencial de fijación biológica de nitrógeno con poaceas adaptadas a las condiciones acidez de la sabana y con alta capacidad de absorción de N puede constituir un sistema de producción sustentable. En este contexto es necesario generar información sobre prácticas de manejo de suelo y cultivos que sustente la incorporación de los suelos ácidos a la producción agrícola del estado de Tabasco.

3.1. El cultivo de maíz

Gran parte de la dieta de la población mexicana se basa en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). Durante siglos la historia nacional y las condiciones de vida de los mexicanos han estado asociadas estrechamente a su cultivo y consumo (Segovia *et al.*, 1999).

En México la producción de maíz está influida principalmente por las condiciones climática, principalmente pluvial, ya que este cultivo generalmente es de temporal. En 2007, el país produjo aproximadamente 23x10⁶ Mg de maíz, equivalente al 3.3% del total de la producción mundial, por encima de Argentina, India y Francia, considerados como productores importantes de maíz (FAOSTAT, 2007).

En los trópicos el rendimiento medio del maíz es de 1.8 Mg ha^{-1} , el cual es bajo comparado con la media mundial de 4 Mg ha^{-1} . El rendimiento medio del maíz en las zonas templadas es de 7 Mg ha^{-1} (CIMMYT, 1994). En el estado de Tabasco se siembra maíz en $87,858 \text{ ha año}^{-1}$ de las cuales se cosechan $73,496 \text{ ha}$, con un volumen de producción de $124,105 \text{ Mg}$, y un rendimiento promedio de 1.68 Mg ha^{-1} , el municipio de Balancán con el primer lugar con un volumen de $25,247 \text{ Mg}$, seguido por Tacotalpa con $18,511 \text{ Mg}$, Huimanguillo con $17,550 \text{ Mg}$ y Tenosique con $12,015 \text{ Mg}$. En Huimanguillo, Tabasco el rendimiento medio de maíz es de 1.79 Mg ha^{-1} , el cual resulta muy bajo en comparación con el rendimiento obtenido en zonas templadas, pero coincide con el rendimiento promedio mundial reportado para zonas tropicales y de temporal (INEGI, 2009).

Considerando los principales cultivos cíclicos o perennes del estado de Tabasco, con base a la superficie sembrada, el maíz ocupa el primer lugar con el 34.3%, seguido por el cacao con 21%, caña de azúcar con 9.67% y el coco con el 9.41% (INEGI, 2005).

Desde el punto de vista de fertilidad de suelos el N es un nutrimento que representa el principal factor limitante de la producción del cultivo de maíz en diferentes sistemas de producción (Meléndez *et al.*, 2001).

Una de las estrategias para satisfacer las necesidades de N o para disminuir altas aplicaciones de fertilizantes nitrogenados en el cultivo de maíz, es mediante el uso de fabáceas, las cuales tienen la capacidad de fijación de nitrógeno en asociación o rotación con otros cultivos.

3.2. Interacción suelo-planta-microorganismos

La estructura y dinámica de las comunidades vegetales están fuertemente determinadas por las relaciones que establecen las distintas especies vegetales en los suelos donde se desarrollan. Este papel modelador del suelo se debe no solo a la restricción impuesta por sus características químicas y físicas sino también a la biota residente que tiene un efecto directo en el desarrollo de las plantas. En general, los microorganismos desarrollan actividades relacionadas con los procesos de descomposición, mineralización y el reciclado de los nutrimentos de complejos orgánicos y la removilización de bioproductos y elementos minerales en el ecosistema suelo-planta (Reyes *et al.*, 2008, Rodríguez-Echeverría, 2009). Cuando a la planta le faltan los elementos minerales esenciales tales como C y N, la asociación simbiótica puede beneficiar y

promover el crecimiento de las plantas. Sin embargo, el beneficio de la asociación simbiótica se pierde con la aplicación de altas cantidades de fertilizantes en los suelos agrícolas. Subsecuentemente las asociaciones en la rizósfera son comunes y ofertan beneficios importantes a las plantas, esta interacción esencial en el éxito global (Morgan *et al.*, 2005).

3.3. La simbiosis fabácea-*Rhizobia*

El orden Fabales que agrupa a las fabáceas (antes leguminosas) lo constituyen tres familias: Caesalpiniaceae, Mimosácea y Fabáceas (Cronquist, 1981), estas plantas presentan distribución cosmopolita y poseen una amplia variedad de formas biológicas, desde enredaderas y herbáceas hasta arbustos y árboles (Barneby, 1989). Son el segundo grupo de plantas más diverso en México (Sousa y Delgado, 1993) y sus especies se encuentran ampliamente distribuidas en todo el territorio nacional.

Uno de los mecanismos que han permitido a las fabáceas adaptarse a casi todos los ecosistemas terrestres, es la asociación simbiótica con bacterias de las familias *Bradyrhizobiaceae* y *Rhizobiaceae*, principalmente con los géneros *Rhizobium*, *Azorhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Mesorhizobium* y *sinorhizobium*, respectivamente los cuales infectan a diferentes géneros de fabáceas (Allen y Allen, 1981). Sólo se han estudiado de forma amplia el 15% de las especies de fabáceas; de éste número reducido se ha confirmado que el 91% es capaz de nodular con especies de *Rhizobia*. Por lo tanto, existen especies de fabáceas incapaces de nodular, donde se destacan las familias más evolucionadas como *Papilionoideae* y *Mimosoideae*, por lo cual se ha sugerido que la simbiosis *Rhizobia*-fabácea pudo ocurrir en etapas evolutivas avanzadas (Van Rhijin y Vanderleyen, 1995).

Existen un gran número de fabáceas con potencial de uso múltiple que han sido evaluadas bajo diferentes sistemas de producción. *Crotalaria* es un género tropical que se extiende hasta el subtrópico, especialmente en el hemisferio sur, y cuenta con unas 600 especies distribuidas mayormente en el este y sureste de África (Polhill y Raven, 1981). En América su área natural comprende desde el sur de los Estados Unidos de América hasta Argentina subtropical y Uruguay (Burkart, 1952, Windler, 1974). Algunas especies son útiles como abono y cubierta verde, y se les recomienda como enriquecedoras del suelo en humus y Nitrógeno, especialmente en regiones subtropicales de suelos ácidos. Además, como fibra vegetal se ha

cultivado *C. júncea* L., originaria de la India e introducida en Salta y Misiones (Burkart, 1952).

Otro ejemplo, es *P. lunatus* L., conocido como frijol lima esta especie pertenece a la tribu Phaseoleae (Delgado, 2001). Es una especie herbácea, con formas anuales y plurianuales y dos hábitos de crecimiento: el indeterminado y el seudodeterminado con plantas enanas, de floración axilar y terminal. Las vainas de esta especie contienen el glucósido cianogénico limarina. El frijol lima está adaptado a climas de sabana de las tierras bajas tropicales, sin embargo, durante su domesticación se dispersó a diferentes condiciones ecológicas, tales como regiones húmedas, secas y semiáridas del trópico o regiones templadas cálidas. El rango de temperatura para su óptimo crecimiento es de 16 a 27°C, no tolera las heladas. La precipitación promedio idónea para su desarrollo 900 a 1500 mm año⁻¹, pero el cultivo una vez establecido tolera hasta 500-600 mm. Aunque es una especie mejor adaptada a elevaciones bajas, existen variedades que crecen entre 2000-2500 m sobre el nivel del mar (Baudoin, 1988).

Otro género de fabácea con potencial de adaptación a suelos de sabana son algunas especies del género *Mucuna*, ya que presentan tolerancia a factores abióticos desfavorables; como la sequía, la escasa fertilidad y la elevada acidez del suelo, si bien son sensibles a las heladas y se desarrollan deficientemente en los suelos húmedos y fríos (Duke, 1981a, Hairiah, 1992, Lobo *et al.*, 1992). Este género se desarrolla mejor en condiciones de calor y humedad, por debajo de los 1500 metros sobre el nivel mar y en zonas con precipitaciones abundantes. En esos entornos, los tallos de este frijol conocido como terciopelo pueden alcanzar los 10 m y el follaje puede llegar hasta 1 m sobre la superficie del suelo. La *Mucuna* produce cantidades considerables de hojas antes de llegar a la madurez, las cuales se pudren gradualmente bajo la planta que crece activamente. Sólo se pueden encontrar unas cuantas raíces en la superficie ya que penetran la tierra hasta estratos profundos, pero las raíces superficiales son abundantes (Tracy y Coe, 1918, Hairiah, 1992a). El frijol terciopelo producido en la zona centro y sierra de Tabasco es probablemente *M. pruriens* L., que es la especie cultivada más difundida, Todos los campos de frijol terciopelo observados en el centro y sierra de Tabasco comienzan a florecer a inicios o mediados de octubre, cualquiera que sea la fecha de siembra.

Otra planta a considerar, la cual es ampliamente conocida y aceptada de origen americano es el frijol común, *P. vulgaris* (Debouck *et al.*, 1993). Los *Phaseolus* silvestres están distribuidos desde el norte de México hasta el noroeste de Argentina (Debouck *et al.*, 1993, Beebe *et al.*, 1995). Encontrándose marcadas diferencias en las características morfológicas (Jaffe y Gaede, 1959, Kaplan, 1965, Debouck y Tohme, 1989) y moleculares (Koenig *et al.*, 1990) entre las poblaciones silvestres en los dos extremos de su distribución geográfica. Singh *et al.* (1991) identificaron seis razas en el germoplasma de caraota, tres de éstas son de origen mesoamericano (razas Durango, Jalisco y Mesoamérica) y las otras tres de origen andino (razas Nueva Granada, Perú y Chile). Broughton *et al.* (2003) indican que una buena parte de la producción de fabáceas en América Latina se realiza en sistemas de producción de poca superficie, ubicadas en laderas de montañas (80%) de baja.

Al respecto, estudios realizados sobre la rotación maíz-*Vigna* en la sabana del norte de Guinea, demostraron que la rotación favorece el rendimiento de maíz y la acumulación de nutrientes, en comparación al monocultivo, independientemente de las dosis de fertilización de N-P del maíz. La producción de maíz fue 3.2 y 2.7 Mg ha⁻¹ en la rotación maíz-*Vigna* y en monocultivo, respectivamente. Una de las posibles causas es que el volumen radical presenta mayor desarrollo en comparación con el monocultivo, además de los efectos alelopáticos producidos durante la descomposición de los residuos de maíz (Horst *et al.*, 1994). Este menor desarrollo de raíces en monocultivo también es afectado por la disponibilidad de P en el suelo (Friensen *et al.*, 1997). Por ejemplo, la biomasa de las raíces estimada en la vegetación de sabana nativa es de 0.475 Mg ha⁻¹, en una asociación fabácea-maíz es de 0.954 Mg ha⁻¹ y cuando existe monocultivo de maíz solo 0.453 Mg ha⁻¹.

Un efecto de las fabáceas sobre la estructura física de los suelos fue reportado por Letif *et al.* (1992) al utilizar alfalfa (*Medicago sativa* L.), trébol (*Trifolium pratense* L.) y chícharo (*Pisum sativum* L.) asociados con maíz. Los autores reportan que la asociación fabácea-maíz mejoró la estabilidad, diámetro y peso de los agregados del suelo y la actividad de las raíces. Además, la asociación y la fertilización con N pueden ayudar a mantener o incrementar la materia orgánica y de esta forma mejorar las propiedades físicas del suelo, ya que el maíz como monocultivo tiende a deteriorarlas (Martel y Mackenzie, 1980). Entre las fabáceas que presentan una mayor eficiencia en la utilización del N y mayor aporte al cultivo asociado se

encuentran las hojas de frijol (58%) y la parte aérea de la *Mucuna* spp. (57%). Los aportes de estas fabáceas superan al lombricomposteo (22%) y las aplicaciones de nitrato de amonio (26%) (Cervantes-Umaña *et al.*, 1996).

Muchas de las especies de fabáceas antes mencionadas representan un alto potencial para emplearse en diferentes sistemas de producción de maíz en los suelos tropicales de México como mejoradoras de la fertilidad de los suelos y proveer N, al maíz como a cultivos subsecuentes.

3.4. Fijación biológica de nitrógeno

Una estrategia sustentable para proveer N, particularmente para sistemas de bajos y medios insumos, en suelos ácidos de sabana a través de la fijación biológica de N₂ (FBN) complejo enzimático denominado nitrogenasa de microorganismos procarióticos, los cuales reducen en N₂ a una forma utilizable (NH₄⁺) (Mayz-Figueroa, 2004). Esta simbiosis es un recurso natural capaz de proveer N de bajo costo para los cultivos agrícolas, coadyuvando a satisfacer las necesidades de alimentos de alta calidad para la población creciente (Marcano *et al.*, 2001).

3.5. El nitrógeno en la fisiología

La materia seca de las plantas contiene 24% de nitrógeno (N) cantidad baja en comparación con el contenido de C, que es del orden de 40%. El N es un constituyente elemental de numerosos compuestos orgánicos de importancia en el desarrollo y crecimiento de los seres vivos (aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, etc.). Principalmente las fuentes inorgánicas más importantes en términos de absorción y metabolismo de las plantas son el nitrato (NO₃⁻) y el amonio (NH₄⁺). El nitrato es a menudo la fuente preferencial para el desarrollo de los cultivos, pero depende mucho de la especie vegetal y de las condiciones ambientales (temperatura muy baja disminuyen la absorción de N). El N es absorbido por las raíces de las plantas y es remobilizado por el xilema a las partes superiores de la planta. La remobilización de N depende del metabolismo radicular y de la fuente de N. Casi todo el N-NH₄⁺ absorbido es asimilado en el tejido radicular y redistribuido como aminoácidos. N-NO₃⁻ puede remobilizarse inalterado a los brotes y hojas pero esto depende del potencial de reducción de nitratos en las raíces (Mengel y Kirkby, 1987). Debido a que el N proveniente de la simbiosis

fabácea-*Rhizobia* se realiza en estructuras especializadas denominadas nódulos, este proceso implica un “secuestro de N” dentro del sistema. En este contexto, comparativamente con el N aplicado vía fertilizante que no es recuperado por los cultivos impacta negativamente en la calidad ambiental, por contaminación del agua por la lixiviación de nitratos y emisión de amoníaco y óxidos de nitrógeno a la atmósfera (Bouwman, 1990, Crutzen, 1981, Duxbury, 1994, Houghton *et al.*, 1990). El N junto con el P representa los principales nutrimentos que mayormente inciden sobre la productividad de las plantas y para los agricultores de bajos ingresos el principal factor económico, debido a su bajo nivel monetario. En términos edáficos, esta propiedad se encuentra estrechamente ligada al origen del suelo y a su pH.

3.6. Los suelos ácidos

A nivel mundial, los suelos ácidos están distribuidos en zonas tropicales y subtropicales, con un total de 151×10^9 ha. De esta superficie 85×10^8 ha se encuentran en América tropical, 45×10^8 ha en África tropical y 21×10^8 ha en Asia tropical (Rao *et al.*, 1993). El factor limitante que presentan para el desarrollo de plantas cultivadas, es su acidez, misma que determina la baja disponibilidad del P por las formas iónicas $\text{H}_2\text{PO}_4^{-1}$, HPO_4^{-2} y PO_4^{-3} prevaletes (Hettel, 1989). En condiciones de alta acidez se disuelven suficiente Fe y Al que precipitan al ión fosfato, y forman las sales $\text{Al}(\text{OH})_2\text{H}_2\text{PO}_4$ y $\text{Fe}(\text{OH})_2\text{H}_2\text{PO}_4$ que resultan difíciles de asimilar por las plantas (Fixen, 1994, León 1991). Además, estos suelos presentan distinto grado de intensidad, deficiencias de calcio (Ca), magnesio (Mg), molibdeno (Mo) y potasio (K) (Hettel, 1989).

La acidez del suelo se debe a la alta concentración de iones H^+ tanto en el suelo como en los líquidos fisiológicos excretados por las plantas. En muchos suelos minerales de pH bajo no es la concentración de iones H^+ lo que provoca el efecto de toxicidad, sino la alta concentración de AlOH^{2+} en la solución del suelo. El pH del suelo también influye sobre la presencia y actividad de los microorganismos del suelo, los hongos predominan en el suelo y la rizósfera a pH menores de 5.5, mientras que las bacterias son más abundantes a mayores (Mengel y Kirkby, 1987).

3.7. Influencia del aluminio en los suelos ácidos

El efecto del aluminio (Al) en los suelos ácidos se refleja en una reducción del crecimiento de las plantas, aunque se ha observado que existe un estímulo en el crecimiento de la raíz con la aplicación de dosis bajas del metal. En los suelos de sabana, los cultivos como maíz afectados por el Al debido a la toxicidad generada en los tejidos de las plantas. El mecanismo por el cual se produce la toxicidad es variado pero se ha demostrado una precipitación de los fosfatos en el interior de la pared celular; también se ha observado que un exceso de Al interfiere la división celular en las raíces, así como el proceso de absorción y utilización de algunos iones, en especial el Ca, Mg y P. Igualmente, ocasiona una disminución del proceso de respiración de las raíces (Ramírez y Berenjel, 1994). La toxicidad del Al está asociada a una reducción de la absorción de varios nutrientes de las plantas. En trigo se ha encontrado una reducción en el nivel de Ca en la planta (Johnson y Jackson, 1964). En el caso de la papa la absorción del Ca, Mg y Zn se reduce por efecto del Al, lo cual ocasiona una mayor acumulación de P, Al, Mn, Cu y Fe en las raíces (Lee, 1971). También se ha observado una mayor concentración de P en las raíces de la avena por causa del Al, una menor concentración de P, K, Ca, Mg y Mn en el follaje y un incremento de Al en las raíces y follaje (Alam y Adams, 1979). En sorgo, el Al origina una disminución en la absorción del Mg y en menor proporción del Ca. En el caso del K, la absorción por la planta está relacionada con la tolerancia o susceptibilidad del híbrido de maíz a la toxicidad del Al (Malavolta, 1989).

En base al marco de referencia anterior, permite inferir que la selección de genotipos tanto de fabáceas como de maíz adaptados a las condiciones de acidez prevalecientes en los suelos tropicales de sabana, conjuntamente integrados a prácticas de manejo de suelo dentro de un sistema de producción permitirá la incorporación de dichos suelos considerados infértiles y marginales a la producción.

3.8. Uso actual y tipo de suelos de Tabasco

En el Estado de Tabasco, los pastizales ocupan más del 50% del uso del suelo (Cuadro 1). El sistema popal-tular-palmar ocupa una superficie importante de más del 15%, mientras que la agricultura de temporal y permanente, significan más del 12%. La sabana ocupa el 2.4% de los

suelos, dentro de esta se encuentra una parte de los pastizales y agricultura de temporal con cultivos anuales y perennes.

La sabana se encuentra distribuida geográficamente en todo el Estado. En el municipio de Huimanguillo se encuentra la mayor parte de estos suelos de sabana, la otra se encuentra distribuida entre los municipios de Balancán, Centro, Emiliano Zapata, Jalapa, Macuspana y Tenosique. La vegetación que predomina en la sabana de Huimanguillo son pastos nativos tolerantes a las quemadas anuales, alternada con árboles. A la orilla de los arroyos se encuentran relictos de vegetación selvática con árboles como el amarillo, Otros tipos de vegetación característicos de esta zona son los encinares y tasistales (Palma-López *et al.*, 2007).

Cuadro 1. Uso actual de los suelos de Tabasco.

Uso de suelo	Superficie	
	(ha)	(%)
Agricultura de riego	12,548.0	0.5
Agricultura de temporal con cultivos anuales	293,907.9	11.9
Manglar-vegetación halófila	60,343.1	2.4
Pastizal cultivado	1,283,691.1	52.1
Sabana	58,578.9	2.4
Popal-tular-palmar	451,417.1	18.3
Selva alta y mediana perennifolia	107,194.0	4.3
Selva alta y mediana subperennifolia	28,810.3	1.2
Selva baja perennifolia	45,355.7	1.8
Selva baja subperennifolia	12,195.4	0.5
Cuerpos de agua	97,782.8	4.0
Áreas sin vegetación aparente	1,182.5	0.0
Asentamiento humano	13,093.2	0.5
	Total	2,466,100.0
		100.0

Fuente: Inventario Nacional Forestal (2002), modificado por Palma-López *et al.* (2007).

Las unidades de suelo prevaletentes en la zona de sabana son Acrisoles caracterizados por su alto grado de intemperización, lixiviados, fuerte acidez, altas cantidades de Fe y Al en forma de sesquióxidos, alta fijación de P y propensión a la erosión por situarse en lomeríos con pendientes variable. En estos suelos se identifican cuatro subunidades: los Acrisoles húmicos, los Acrisoles plínticos, los Acrisoles gléyicos y los Acrisoles férricos (Palma-López *et al.*, 2007).

En los Acrisoles húmicos, debido al pH ácido, el contenido de materia orgánica en los primeros horizontes es elevado, sin embargo el contenido de N es bajo, debido a la deficiente mineralización de la materia orgánica. El P se encuentra casi completamente fijado por el Fe y Al, y desde el punto de vista agrícola en estos suelos solamente desarrollan plantas tolerantes a estas condiciones, en el caso de cultivos de importancia agrícola una práctica cultural necesaria es el encalado y la aplicación de fertilizantes minerales. El uso más común de estos suelos es de pastizales con pastos nativos e introducidos, y cultivos tales como cítricos, mango (*Mangifera indica* L), yuca (*Manihot* sp.), piña (*Ananas comosus* L.) y maíz (*Zea mays* L.). Estos suelos ocupan 38,010.7 ha, que representan 1.54% de la superficie del estado. Localmente se les conoce como “terrenos de sabana” y se localizan principalmente en los lomeríos que conforman la sabana de Huimanguillo y en los lomeríos del centro de Emiliano Zapata, sur de Balancán y el noroeste de Tenosique (Palma-López *et al.*, 2007).

Los Acrisoles plínticos se encuentran sometidos a cultivo intensivo lo cual genera bajo contenido nutrimental. Ocupan una superficie de 63,408.5 ha, que representan el 2.56% del área total del estado. Se distribuyen principalmente en la sabana de Huimanguillo y se encuentran fuertemente asociados con los Acrisoles húmicos. El uso de estos suelos es con pastos nativos e introducidos, así como plantaciones de cítricos, piña (*Ananas comosus* L.) y yuca (*Manihot* sp.) (Palma-López *et al.*, 2007).

La unidad de suelo Acrisoles gléyicos ocupan 12,722.4 ha (0.51% de la superficie total estado). En su mayor parte, geográficamente se localizan en la sabana de Huimanguillo, pero existen pequeños manchones en los lomeríos de Jalapa, Macuspana y Centro. Los Acrisoles gléyicos manifiestan más fuertemente los fenómenos de anegamiento por manto freático elevado en las épocas de lluvias, y su uso agrícola no es tan extendido (Palma-López *et al.*, 2007).

Los Acrisoles férricos presentan como propiedad un alto contenido de Fe y ocupan 88,109.6 ha que representan el 3.56% de la superficie total del estado. Se distribuye principalmente en los lomeríos del sur de la sabana de Huimanguillo, sur de Jonuta, centro de Emiliano Zapata y suroeste de Balancán. El pH varía de fuerte a fuertemente ácido con la profundidad. En general, son suelos con bajo contenido nutrimental y con alta fijación de P por Fe y Al. El uso

actual de estos suelos son los pastos nativos e introducidos, cultivos de cítricos, yuca (*Manihot* sp.), piña (*Ananas comosus* L.) y en algunas partes maíz (*Zea mays* L.) (Palma-López *et al.*, 2007).

3.9. Funcionalidad de fabáceas en suelos ácidos

3.9.1. *Cajanus cajan* L.

También conocida como *Cystisus cajan* L., *Cajanus bicolor* DC., *Cajanus flavus* DC., *Cajanus indicus* Spreng. *Cajanus luteus* Bello, estas toleran suelos con pH entre 4.5 a 8.4, precipitación media anual de 530 a 4000 mm y altitud de 3000 metros sobre el nivel mar (Van Den Beldt, 1988) y crecen bien a temperaturas medias de 18 a 30°C (Skerman *et al.*, 1988).

El desarrollo de *C. cajan* L., es afectado a baja concentración de P, lo cual repercute en la reducción del peso del tallo, largo de raíces y área superficial de las raíces de los cultivares tanto de maduración temprana y como de media. La producción de materia seca y la absorción de P es mayor en los cultivares de maduración media que en los de maduración temprana (Joseph *et al.*, 1991). El contenido de humedad en el suelo y un alto contenido de Al limitan el crecimiento adecuado de la raíces (Marín *et al.*, 2004). *C. cajan* L., presenta una tasa de fijación de N de 41 a 280 kg ha⁻¹ (RGAC, 2002).

3.9.2. *Mucuna deerengiana* L.

Es la especie más destacada dentro de los cultivos de cobertera (Durón *et al.*, 1989). Las semillas contienen de 21 a 28% de proteína y el forraje contiene del 3 a 5% de sustancias nitrogenadas (Calvino, 1952). La *M. deerengiana* L., conocida como frijol terciopelo es considerada una excelente mejorador del suelo, ya que puede llegar a fijar de 110 a 330 kg N ha⁻¹ (equivalente a 1.74 Mg de sulfato de amonio o 0.786 Mg de urea), además aporta grandes cantidades de materia orgánica (Ruiz *et al.*, 1964, Ustimenko *et al.*, 1982, Miranda, 1985).

La mayoría de las especies del género *Mucuna* presentan tolerancia a factores abióticos desfavorables como sequía, baja fertilidad y elevada acidez del suelo, son sensibles a las heladas (Duke, 1981a, Hairiah, 1992, Lobo *et al.*, 1992). *M. pruriens* var. útiles es una de las especies tolerantes a condiciones ácidas del suelo y a la presencia de Al en la zona de la raíz,

185 μM (con pH de 4.5). En esta especie, también se ha observado que cuando el contenido de P en la planta es adecuado no se presentan problemas de toxicidad por Al (Kurniatun *et al.*, 1995).

La cantidad de biomasa seca (MS) aérea producida por *M. pruriens var. útiles*, varía desde 5 a más de 12 Mg ha^{-1} , y puede producir más de 1 Mg ha^{-1} de raíces (MS), la producción de vainas es variable y depende de las condiciones ambientales, pero puede producir hasta 2 Mg ha^{-1} , especialmente cuando los tallos tienen la oportunidad de trepar por los árboles, tallos u otros tutores (Duggar, 1899, Ferris, 1917, Camas, 1991, Chávez, 1993).

Los cultivos de cobertera como *M. pruriens var. útiles* y *M. deerengiana* L., se pueden utilizar para la recuperación de suelos degradados y para el control de malezas en las zonas de trópico húmedo. Debido a la alta tasa de mineralización de *Mucuna* se ha demostrado en un suelo Oxisol que, después de 178 días de incubación presentó una acumulación neta de N inorgánico de 60% mientras que la otra parte del N se perdió por volatilización del amonio (Costa *et al.*, 1990). La especie *M. deerengiana* L., es recomendada como cobertera ya que contiene 36.6 g N kg^{-1} y 2.2 g P kg^{-1} de peso seco del follaje y 27.5 g N kg^{-1} y 1.9 g P kg^{-1} en peso seco de raíz. Además posee un índice de área foliar (IAF) de 1.2 a las seis semanas de crecimiento (Hairiah *et al.*, 1992).

Esta especie destaca como AV y se fomenta su uso, ya que aumenta en 0.55% la materia orgánica a la profundidad de 0-15 cm y su materia verde a los 70 días después de sembrada es de 7.65 Mg ha^{-1} con un aporte de N total equivalente a 80.91 kg N ha^{-1} (Montes de Oca *et al.*, 1996). A los 78 días, la *Mucuna* fija 47.43% de N del total (Díaz, 1995).

En el estado de Tabasco los campesinos de las comunidades chontales (Tamulté de las Sabanas, Jolochero, Medellín y Madero, entre otras han sustituido los fertilizantes y herbicidas en el cultivo de maíz por esta especie, llamada localmente frijol terciopelo o nescafé, además se tiene la costumbre de utilizar la semilla tostada y molida como sustituto del café (Gliessman, 1983, Miranda, 1985, Escarzada, 1987).

3.9.3. *Phaseolus lunatus* L.

Esta especie también conocida como frijol caballero, frijol lima, frijol cimarrón, frijolillo, entre otros tiene un sin número de cultivares, que difieren en tamaño y color de semilla (Beyra y Reyes, 2004). Es considerada como planta productora de grano y puede llegar a fijar de 100 a 300 kg ha⁻¹ año⁻¹ (Urzúa, 2005).

3.9.4. *Sesbania* spp.

Sesbania sesban y *S. grandiflora* son especies importantes en sistemas agroforestales. Su crecimiento se considera rápido ya que en 6 meses puede medir de 4 a 5 metros de alto (Duke, 1983b). También se consideran como fijadoras de N para la mejora del suelo, y para la obtención de puntales, forraje y leña. La *S. sesban* se ha comportado como muy prometedora para barbechos mejorados (Anon, 1992).

Esta investigación se realizó en los suelos ácidos de la sabana de Huimanguillo, Tabasco cuya característica edáfica es la presencia de suelos con pH ácidos a extremadamente ácido. Derivado de su pH ácido, algunas de las desventajas de estos suelos es su baja fertilidad (bajo contenido de N y P), así como la alta fijación de P por los altos contenidos de Al y Fe, y la toxicidad de los mismos para las plantas. Por lo anterior, es necesario explorar la interacción de prácticas de manejo de suelo y nutrientes de bajo insumos para cultivar materiales de maíz y otros cultivos, que son rentables en otros suelos para la producción de alimentos humanos y animal. El uso de las técnicas nucleares (¹⁵N) para la selección de tanto cultivares de fabáceas con alta capacidad de fijación biológica de N, como de cultivares de maíz con alta eficiencia de absorción de N bajo condiciones limitantes de estos nutrientes, esto permitirá seleccionar materiales promisorios para la conformación de un sistema de producción. La integración de fabáceas en un sistema de producción a base de maíz con alta eficiencia de absorción de N, tolerantes a la acidez, “tiempos prolongados de sequía” permitirá la incorporación de este tipo de suelos a la producción.

IV. HIPÓTESIS

- A. La eficiencia de utilización del N del fertilizante se refleja en el alto rendimiento de grano de los maíces.
- B. Las fabáceas tienen alta fijación biológica de nitrógeno en monocultivo en los suelos ácidos.
- C. La asociación fabácea – maíz no afecta la fijación biológica de nitrógeno.
- D. La fijación biológica de nitrógeno y del fertilizante nitrogenado aumentan el rendimiento de grano de los maíces.

V. OBJETIVO

1. Estimar la producción de biomasa y el rendimiento de grano por genotipos de maíz sembrados en monocultivo y asociado a fabáceas en un suelo ácido de la sabana de Huimanguillo, Tabasco.
2. Cuantificar la eficiencia de uso del N del fertilizante en genotipos de maíz en monocultivo y asociados a fabáceas sembrados en un suelo ácido de la sabana de Huimanguillo, por medio de la técnica isotópica de ^{15}N .
3. Cuantificar la producción de biomasa por las fabáceas sembradas en un suelo ácido de la sabana de Huimanguillo, Tabasco.
4. Estimar el N_2 fijado por las fabáceas en monocultivo y asociadas a genotipos de maíz en suelo ácido de la sabana de Huimanguillo por medio de la técnica de dilución isotópica de ^{15}N .

VI. RESULTADOS

CAPITULO I. USO DE ^{15}N -FERTILIZANTE POR GENOTIPOS DE MAÍZ (*Zea mays* L.) EN SUELOS ÁCIDOS DE LA SABANA DE HUIMANGUILLO, TABASCO, MÉXICO

USO DE ^{15}N -FERTILIZANTE POR GENOTIPOS DE MAÍZ (*Zea mays* L.) EN SUELOS ÁCIDOS DE LA SABANA DE HUIMANGUILLO, TABASCO, MÉXICO

RESUMEN

Los objetivos de este trabajo fueron evaluar el comportamiento agronómico de 32 genotipos de maíz (*Zea mays* L.) en los suelos ácidos de la sabana de Huimanguillo, Tabasco y la respuesta a la fertilización nitrogenada. El experimento se estableció bajo un diseño de bloques completamente al azar, donde los tratamientos fueron los diferentes genotipos de maíz y cuatro repeticiones. Se evaluó la producción de materia seca (MS), el rendimiento de grano (RG) y la eficiencia de utilización de ^{15}N -fertilizante (EUNF). Se aplicó una dosis de N de 45 kg ha^{-1} , equivalente al 50% de la dosis recomendada en la región (90 kg N ha^{-1}). Para medir la EUNF se aplicó urea enriquecida con 1% *a.e.* de ^{15}N . El mayor rendimiento de grano (3.9 Mg ha^{-1}) se cuantificó en el cultivo CML-269 el cual presentó una EUNF baja (5.88%) en comparación con el promedio experimental (7.68%) y con los maíces S03TLWQ-A.B 02C, colorado, CML-144C y totomoxtle morado que presentaron 13.9, 13.4, 13.2 y 12.1% de EUNF. Dentro de los maíces criollos utilizados, el “Mejen” presentó la mayor producción de MS (2.8 Mg ha^{-1}), N total (31.1 kg ha^{-1}) y EUNF (25.3%). Los resultados obtenidos demuestran que se pueden obtener rendimientos significativos con baja dosis de fertilizante nitrogenado en los suelos ácidos de la sabana.

Palabras Clave: *Zea mays* L., Eficiencia, Absorción, Isótopo ^{15}N .

ABSTRACT

The aim of this work was to evaluate the agronomic performance of 32 genotypes of maize (*Zea mays* L.) in the acid soils of the sheet of Huimanguillo, Tabasco and the response to the nitrogenous fertilization. The experiment was established under a design of blocks completely at random, where the treatments were the different genotypes of maize and four repetitions. There was evaluated the production of dry matter (MS), the performance of grain (RG) and the efficiency of utilization of ^{15}N -fertilizer (EUNF). A dose applied to itself of N of 45 kg ha^{-1} , equivalent to 50% of the dose recommended in the region (90 kg N there is 1). To measure the EUNF there applied to itself urea enriched with 1% of ^{15}N *a.e.* The major performance of grain (3.9 Mg ha^{-1}) was quantified in the culture CML-269 which I present a low EUNF (5.88%) in comparison with the experimental average (7.68%) and the maize S03TLWQ-A.B 02C, colored, CML-144C and totomoxtle dwelt that presented 13.92, 13.43, 13.23 and 12.11% of EUNF. Inside the Creole used maize, the "Mejen" presented MS's major production (2.8 Mg ha^{-1}), N total (31.1 kg ha^{-1}) and EUNF (25.3%). The obtained results demonstrate that significant performances can be obtained by low doses of fertilizer N in the acid soils of the sheet.

Keywords: *Zea mays* L., Efficiency, Absorption, Isotope ^{15}N

1.1. INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es el cultivo de mayor importancia económica y social en México, ya que forma parte de la dieta de la mayoría de los mexicanos, principalmente de aquellos que viven en zonas marginadas. El estado de Tabasco ocupa el 22 lugar en producción de este grano con una superficie sembrada de 87,486 ha año⁻¹, de las cuales se cosechan 78,148 ha, con un volumen de producción de 126,382.00 Mg, y un rendimiento promedio de 1.62 Mg ha⁻¹. En términos de producción de grano destacan los municipios de Huimanguillo con el primer lugar con un volumen de producción de 21,262 Mg, seguido por Tacotalpa con 19,426 Mg, Balancán con 18,693 Mg y Cárdenas con 12,440 Mg (SIAP, 2009). Estos bajos volúmenes de producción se deben principalmente a que la siembra es de temporal y a que no se cuenta con variedades mejorada y adaptadas a las condiciones de acidez del suelo, la baja fertilidad, y el bajo contenido de N y P (Brewbaker, 1985). Además, al limitado uso de fertilizantes dado al alto costo de estos insumos, principalmente de los fertilizantes nitrogenados (SNIIM, 2008). Ante a la necesidad de satisfacer la demanda de granos básicos, los suelos ácidos de sabana representan una opción para incorporarlos a la producción agrícola, con tecnologías *ad hoc*, que integren genotipos adaptados a las condiciones de los suelos ácidos de los trópicos y manejo de suelos, plantas e inoculantes para optimizar los requerimientos nutrimentales. El objetivo de este trabajo fue evaluar el comportamiento eco-fisiológico de genotipos de maíz en relación a la capacidad de utilización del N del fertilizante a bajas dosis a través de técnicas isotópicas de ¹⁵N bajo condiciones de un suelo ácido de la sabana de Huimanguillo, Tabasco.

1.2. MATERIALES Y MÉTODOS

1.2.1. Localización del sitio de estudio

El trabajo experimental se estableció en el Ejido La Esperanza, Huimanguillo, Tabasco, ubicado a 17°54'54.8" latitud Norte y 93°38' 27.9" longitud Oeste; y una altitud de 23 metro sobre el nivel del mar, con una pendiente de 5%. El clima dominante es cálido-húmedo con lluvias en verano, con una temperatura media anual de 26.2°C y una precipitación media anual de 2,290 mm (García, 1973). El suelo es del orden Acrisol Plintico (AcPl) según Palma-López *et al.* (2007). Las propiedades químicas y físicas del suelo se determinaron previamente al estudio y se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Características químicas y físicas del suelo de la parcela experimental (Agosto, 2006).

pH (1:2 H ₂ O)	Conductividad Eléctrica	MO	N	P-Olsen mg kg ⁻¹	K	Ca	Mg	Fe	Clasificación textural
	dSm ⁻¹	%			cmol ⁽⁺⁾ kg suelo			mg kg ⁻¹	
4.1	0.16	2.2	0.18	7.43	0.17	1.5	1.48	31.6	Migajón arenoso

1.2.2. Material biológico

Se utilizaron 32 tipos de maíz, 19 variedades, 10 híbridos y 3 criollos (cuadro 3).

Cuadro 3. Tipo y origen de maíces experimentales EUNF (Agosto, 2006)

No.	Genotipo	Tipo	Origen
01	CML-264C	Híbrido QPM	CIMMYT
02	CML-492C	Híbrido QPM	CIMMYT
03	CML-144C	Híbrido QPM	CIMMYT
04	CLQRCWQ10C	Híbrido QPM	CIMMYT
05	S03TLWQ-A. B 05C	Variedad sintética QPM	CIMMYT
06	S03TLWQ-A. B 01C	Variedad sintética QPM	CIMMYT
07	S03TLWQ-A.B 02C	Variedad sintética QPM	CIMMYT
08	S99TLWQ- A.BC	Variedad sintética QPM	CIMMYT
09	CL-RCW43	Híbrido normal	CIMMYT
10	CML-269	Híbrido normal	CIMMYT
11	CML-264	Híbrido normal	CIMMYT
12	CML-311	Híbrido normal	CIMMYT
13	S00TLW-B.M	Variedad sintética normal	CIMMYT
14	S03TLW-1 A.B	Variedad sintética normal	CIMMYT
15	S03-TLW-B.M	Variedad sintética normal	CIMMYT
16	S03TLW SCB	Variedad sintética normal	CIMMYT
17	Totomoxtle morado	Criollo local	Productores
18	Maíz colorado	Criollo local	Productores
19	Mejen	Criollo local	Productores
20	30F83	Híbrido normal	Pioneer
21	30F91	Híbrido normal	Pioneer
22	3041	Híbrido normal (amarillo)	Pioneer
23	HQ-2 (COT2006A)C	Híbrido QPM	INIFAP
24	H-513 (COT2005B)	Híbrido normal	INIFAP
25	V-537 (COT2006A)C	Variedad sintética QPM	INIFAP
26	HQ-1 (COT2006A)	Híbrido QPM	INIFAP
27	VS-536 (COT2006A)	Variedad sintética normal	INIFAP
28	H-520 (COT2006A)	Híbrido normal	INIFAP
29	HQ-3 (COT2006)	Híbrido QPM	INIFAP
30	HQ-4 (COT2006A)C	Híbrido QPM	INIFAP
31	DK 234	Híbrido normal	MONSANTO
32	MC 9971	Híbrido normal	MONSANTO

1.2.3. Manejo del experimento

El ensayo se estableció en el ciclo otoño-invierno (temporal), 8 de agosto de 2006, bajo labranza cero. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar (DBCA), con cuatro repeticiones por tratamiento. La parcela experimental consistió de 56 plantas por genotipo, sembradas en dos surcos de 7.0 m de largo, 0.25 m entre plantas (con dos semillas por punto de siembra), para obtener una densidad de 60,000 plantas ha⁻¹.

A los 20 días se fertilizó con el 50% de la dosis de N recomendada (90-40-30), según Salgado y Núñez (2010). La fertilización se hizo con la mezcla de urea (9.3 g m⁻¹, 50% de la dosis), superfosfato de calcio triple (8.7 g m⁻¹, 100% de la dosis) y cloruro de potasio (5 g m⁻¹, 100% de la dosis); sobre la superficie del surco a 5 cm del tallo. Para determinar la eficiencia de uso de nitrógeno (EUFN), se estableció una microparcela de 1.0 m², donde se sustituyó el N-fertilizante comercial por urea enriquecida con al 1% de átomos de ¹⁵N en exceso (*a.e.*).

El control de malezas se hizo de forma manual y química, esta última empleando el herbicida Paraquat 2.5 mL L⁻¹ de agua.

1.2.4. Variables de estudio

- 1) Biomasa seca (BS). Se tomaron 3 plantas al azar de cada tratamiento, se secaron en estufa con circulación de aire forzado a 60°C por 72 h para eliminar el contenido de humedad y estimar la producción de biomasa seca (Mg ha⁻¹) de la parte aérea (caña, hojas y panoja).
- 2) Rendimiento de grano (RG). Al término del ciclo vegetativo del maíz se hizo la recolección de mazorcas en cada parcela experimental, se registró el número de mazorcas y la masa de grano fresco, posteriormente se midió la humedad con un equipo Dickey John GAC500XT, se estandarizó al 12% de humedad de grano de acuerdo a lo establecido por la SAGARPA, para calcular el rendimiento de grano (Mg ha⁻¹).

3) Nitrógeno total (Nt) y relación isotópica $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$. Las muestras del punto anterior, fueron molidas en forma separada para analizar el contenido de N total (Nt) y la relación isotópica de $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$. El contenido de Nt se determinó por el método Kjeldahl. Una vez determinado el Nt, la muestra se acidificó con HCl 0.1 N y se concentró (plancha LABLINE 60300) con una temperatura de 350°C a 1 mg N mL⁻¹ para la determinación de la relación isotópica $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ en cada genotipo de maíz (Axmann *et al.*, 1990). La relación isotópica $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ se determinó por espectrometría de emisión óptica en un espectrómetro modelo NOI-6e FAN (Zapata, 2001). Para determinar la eficiencia de uso del N-fertilizante (EUNF) se emplearon las formulas siguientes:

$$1. \quad BS \left(\text{Mg ha}^{-1} \right) = MS(\text{Mg}) \times \text{No. Plantas (ha)}$$

Donde BS= Biomasa seca (Mg ha⁻¹)

MS= Materia seca de caña + hoja + panoja en Mg.

$$2. \quad Nt \left(\text{kg ha}^{-1} \right) = BS \left(\text{kg ha}^{-1} \right) \times Nt(\%) / 100$$

$$3. \quad Nddf (\%) = a.e \text{ } ^{15}\text{N planta} (\%) / a.e \text{ } ^{15}\text{N fertilizante} (\%) / 100$$

$$4. \quad RNf \left(\text{kg ha}^{-1} \right) = Nt \left(\text{kg ha}^{-1} \right) \times Nddf(\%) / 100$$

Donde RNf= rendimiento de N del fertilizante (kg ha⁻¹)

$$5. \quad EUNF(\%) = \left(Nddf \left(\text{kg ha}^{-1} \right) / \text{dosis de N} \right) \times 100$$

Donde el Nddf= Nitrógeno derivado del fertilizante %.

$$6. \quad RG = \left(PG - \text{Humedad (kg)} / \text{No. Mazorcas} \right) \times \text{No. Plantas (ha)}$$

Donde PG= Peso del grano con humedad kg.

Los análisis de varianza de los resultados fueron realizados bajo un diseño de bloques completos al azar; para determinar diferencias entre muestras se utilizó la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey, mediante el paquete de computo SAS System (SAS, 2002).

1.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1.3.1. Biomasa seca (BS)

Los genotipos de maíz presentaron diferencias significativas en la producción de BS (Cuadro 4), el maíz criollo “Mejen” acumuló la mayor producción con 2.8 Mg ha^{-1} , seguido de los maíces CML-269, S03TLWQ-A.B 02C y CML-264C (2.22 , 2.04 y 1.81 Mg ha^{-1}), en comparación con el promedio experimental que fue de 1.24 Mg ha^{-1} . Aunque los rendimientos fueron bajos comparados con $9.10 - 12.27 \text{ Mg ha}^{-1}$ reportados por Delgado *et al.* (2001).

1.3.2. Rendimiento de grano (RG)

Los genotipos de maíz presentaron diferencias significativas en el RG con respecto a los testigos con dosis de fertilización de N completa (90 kg ha^{-1}) y sin N (Cuadro 4). Destacando los cultivares CML-269, HQ-4 (COT2006A) y S00TLW-B.M con rendimientos de 3.91 , 3.81 y 3.69 Mg ha^{-1} , respectivamente; estos rendimientos de grano fueron superiores a la media experimental de 2.81 Mg ha^{-1} y a la reportada para la región de sabana 1.62 Mg ha^{-1} , pero bajos de acuerdo a los rendimiento encontrados de $5.12 - 6.54$ (Ceballos *et al.*, 1994, SIAP, 2009, Delgado *et al.*, 2001). Los genotipos S03TLWO-A-B05C, S03TLWO-A.B01C, maíz colorado, HQ-2 (COT2006A) Y VS-536 sin fertilizar produjeron rendimientos menores de 2 Mg ha^{-1} (INEGI, 2003). El RG presentó el 69.6 de la BM y el 30.4% está compuesta de hojas, caña y panoja. Los resultados demuestran que con una baja dosis de N-fertilizante se pueden tener rendimientos de grano satisfactorios en las condiciones adversas de los suelos ácidos de la sabana.

1.3.3. Rendimiento de nitrógeno total (RNt)

Los resultados del contenido de Nt en los diferentes genotipos de maíz se muestran en el Cuadro 4. Se observó diferencia estadística entre genotipos, destacando el maíz criollo “Mejen” con $31.1 \text{ kg N ha}^{-1}$, Los genotipos con alto rendimiento de grano, no necesariamente acumular altas cantidades de N. También se observó que el híbrido CML-269 con alto

rendimiento de grano, y presento una acumulación de $25 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N ha}^{-1}$ equivalente a dos veces el promedio experimental de N (13.28 kg ha^{-1}). Con respecto a los genotipos QPM (calidad proteínica) se observó un rango en la absorción de N-fertilizante 22-32.8%, estos valores indican el potencial de uso, en los sistemas de producción maíz en suelos ácidos.

1.3.4. Eficiencia de uso del nitrógeno fertilizante (EUNF)

Los resultados de la eficiencia de uso de N-fertilizante (EUNF) en los diferentes genotipos se muestran en el 4. Los genotipos de maíz presentaron diferencias significativas en la EUNF. El maíz criollo “Mejen” responde positivamente a la baja dosis N-fertilizante presentando una eficiencia de 25.2% en comparación con el testigo donde se aplicó la dosis completa de N el cual presentó una eficiencia de 7.1%, estos resultados coinciden con 7 á 14% reportado por Subedi y Ba (2005), Bayardo *et al.* (2006). Es importante destacar que los genotipos de alto rendimiento de grano no necesariamente presentaron una alta eficiencia de utilización de N-fertilizante.

Cuadro 4. Biomasa y eficiencia de uso de N-fertilizante en genotipos de maíz cultivados en la sabana de Huimanguillo, Tabasco.

Genotipo	BS Mg ha ⁻¹	RG Mg ha ⁻¹	RNt kg ha ⁻¹	Ndds (%)	Nddf (%)	EUNF (%)
1. CML-264C	1.81bc	3.19c	20.55bc	77.78ab	22.22ab	8.50c
2. CML-492C	1.21c	2.78d	11.21c	75.91ab	24.09ab	7.44c
3. CML-144C	1.34c	2.75d	16.68c	68.93b	31.07a	13.23bc
4. CLQRCWQ10XCLQ6315C	1.09c	3.30c	11.64c	70.00b	30.00a	9.20c
5. S03TLWQ-A. B 05C	0.75c	1.51d	7.58c	77.7ab	22.3ab	4.57d
6. S03TLWQ-A. B 01C	1.51c	1.71d	19.44bc	68.81b	31.19a	9.21c
7. S03TLWQ-A.B 02C	2.04b	3.18c	17.7c	77.18ab	22.82ab	13.92b
8. S99TLWQ- A.B	1.31cd	3.05c	18.66bc	83.18ab	16.83ab	8.55c
9. CL-RCW43	1.24cd	2.44d	17.82c	74.84ab	25.16ab	11.00c
10. CML-269	2.22ab	3.91a†	25ab	82.98ab	17.02ab	5.88d
11. CML-264	1.55c	3.49c	16.37c	72.46b	27.54a	9.85c
12. CML-311	0.93c	2.98cd	9.44c	69.00b	30.99a	6.41d
13. S00TLW-B.M	0.85c	3.69ab	9.23c	65.98b	34.02a	6.97cd
14. S03TLW-1 A.B	1.00c	2.99cd	8.62c	74.6ab	25.4ab	4.87d
15. S03-TLW-B.M	0.99c	2.90cd	11.12c	70.48b	29.52a	9.13c
16. S03TLW SCB	0.83c	2.38d	7.61c	71.67b	28.33a	4.87d
17. Totomoxtle morado	1.63c	2.97cd	15.8c	78.02ab	21.99ab	12.11bc
18. Maíz colorado	1.16c	1.85d	16.23c	64.05b	35.95a	13.43bc
19. Mejen	2.80a†	2.57d	31.1a†	63.53b	36.47a	25.27a†
20. 30F83	0.60c	2.65d	6.55c	71.67b	28.34a	4.93d
21. 30F91	0.76c	2.69d	8.07c	82.7ab	17.30ab	2.94d
22. 3041	0.88c	3.39d	7.93c	73.53ab	26.47ab	4.46d
23. HQ-2 (COT2006A)C	1.41c	1.75d	19.24bc	83.07ab	16.93ab	7.25c
24. H-513 (COT2005B)	0.49c	3.57c	3.97c	79.88ab	20.12ab	1.81d
25. V-537 (COT2006A)C	0.59c	2.46d	4.43c	67.86b	32.15a	3.04d
26. HQ-1 (COT2006A)	0.86c	3.22c	10.15c	66.35b	33.64a	7.39c
27. VS-536 (COT2006A)	1.46c	3.01c	13.98c	67.62b	32.38a	9.91c
28. H-520 (COT2006A)	0.84c	2.70d	7.68c	70.79b	29.21a	4.88d
29. HQ-3 (COT2006)	1.45c	3.27c	11.47c	72.14b	27.86a	7.04cd
30. HQ-4 (COT2006A)C	1.76c	3.81ab	18.04bc	70.74b	29.26a	11.94bc
31. DK 234	1.18c	2.25d	14.01c	77.26ab	22.74ab	7.00cd
32. MC 9971	1.37c	2.86cd	9.35c	61.47b	38.53a	7.90c
33.VS-536 (00-00-00)	0.96c	1.73d	7.79c	100.00a	0.00b	0.00d
34. Mejen (00-00-00)	0.72c	2.13d	7.96c	100.00a	0.00b	0.00d
35. VS-536 (90-40-30)	1.46c	2.85cd	13.54c	68.77b	31.23a	4.69d
36. Mejen dosis (90-40-30)	1.70c	3.23c	22.16b	71.82b	28.18a	7.06cd
Pr>F	0.01**	0.01**	0.01**	0.01**	0.01**	0.01**
C.V (%):	21	13.2	23.16	12.96	37.36	28.34
DSH						

† Valores con distinta literal dentro de la misma columna, indica diferencia estadística según Tukey ($p \leq 0.05$).

1.4. CONCLUSIONES

Los resultados experimentales permiten agrupar los genotipos de maíz en tres patrones; 1) genotipos de alto rendimiento de grano y baja eficiencia de uso de N-fertilizante, grupo conformado por el híbrido H-513C (COT2005B), CML-269, HQ-1(COT2006A)C y SOOTLW-B.M; 2) de alto rendimiento de grano y media eficiencia de uso N-fertilizante grupo conformado por los genotipos V-236, CML-264C, CLQRCWQ10C y CML-264; 3) genotipos con alto rendimiento de grano y alta eficiencia de uso de N-fertilizante, grupo conformado por el maíz criollo “Mejen”, el maíz criollo “Totomoxtle morado”, el híbrido CML-144, híbrido HQ-4 (COT2006A)C. La estimación de la EUNF por los genotipos en estudio bajo condiciones de suelo ácido y dosis bajas de N, permite seleccionar materiales como donadores de estas características en los programas de fitomejoramiento. La eficiencia de uso de N-fertilizante, no está estrechamente relacionada con el rendimiento de grano de maíz en suelos ácidos.

1.5. BIBLIOGRAFÍA

- Axmann, H., A. Sebastianelli, y Arrillaga L. J. 1990. **Sample preparation techniques of biological material for isotope analysis**. pp. 41-53. In: Hardarson, G. (Ed.). Use of nuclear techniques in studies of soil-plant relationship. Internacional Atomic Energy Agency. Viena, Austria. 146 pp.
- Bayardo-Parra, R., Cigales-Rivero, M. R., Lorenzana-Salazar, J. G. y Urquiaga Segundo. 2006. **Caracterización de variedades de maíz mediante ^{15}N como marcador en tres etapas fenológicas**. Rev. Fitotec. Mex. 29 (2): 13-17.
- Brewbaker, J. L. 1985. **The tropical environment for maize cultivation**. En: **Breeding strategies for maize production improvement in the tropics**. A. Brandolini y F. Salamini Eds. FAO. Roma, Italia.
- Ceballos, S., Pandey, S., Knapp, E. B. y Duque, J. V. 1994. **Tolerancia a suelos ácidos en poblaciones Tropicales de maíz del CIMMYT**. Agronomía Mesoamericana. 5: 96-103.
- Delgado, R., Ramírez, R. y Urquiaga S. 2001. **Colocación del nitrógeno en el suelo y la eficiencia del uso por el maíz**. Agronomía Tropical. 51(13): 335 – 350.
- García, E. 1973. **Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de koppen**. Segunda Edición. Universidad Nacional Autónoma de México. 243 pp.
- INEGI. 2003. **Anuario estadístico de Tabasco. Aguascalientes**. 453 pp.
- Palma-López D. J., Cisneros D. J., Moreno C. E. y Rincón-Ramírez J.A. 2007. **Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable**. *Colegio de Postgraduados-ISPROTAB-FUPROTAB*. Villahermosa, Tabasco, México. 195 pp.
- Salgado, G. S. y Núñez, E. R. 2010. **Manejo de fertilizantes y abonos orgánicos**. Colegio de Postgraduados y Mundi Prensa. México. 146 pp.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesca (SIAP), 2009. **Anuario Estadístico de la Producción Agrícola**. <http://www.siap.sagarpa.gob.mx/> (Accesada en diciembre, 2007).
- SAS. 2002. **SAS/STAT guide for personal computer. Ver 9.0** SAS Inst., Inc., USA.

- Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados (SNIIM), 2008. **Mercados Nacionales, Insumos Agrícolas.** <http://www.economia-sniim.gob.mx/nuevo/> (Accesada en diciembre, 2007).
- Subedi, K. D. y Ma, B. L. 2005. **Effects of N-deficiency and timing of N supply on the recovery and distribution of labeled ^{15}N in contrasting maize hibryds.** Plant soil. 273: 189-202.
- Zapata, F. 2001. **Applications of nuclear techniques in soil fertility and plant nutrition studies. pp. 21-49. In: International Atomic Energy Agency (Ed.). Manual use of isotopes and radiation methods in soil and water management and crop nutrition.** FAO/IAEA Agriculture and Biotechnology Laboratory-Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture. Training course series No. 14. Vienna, Austria. 247 pp.

**CAPITULO II. FIJACIÓN BIOLÓGICA DE NITRÓGENO DE FABÁCEAS EN
SUELOS ÁCIDOS DE HUIMANGUILLO, TABASCO, MÉXICO**

FIJACIÓN BIOLÓGICA DE NITRÓGENO DE FABÁCEAS EN SUELOS ÁCIDOS DE HUIMANGUILLO, TABASCO, MÉXICO

RESUMEN

La fijación biológica de nitrógeno es la fuente de N más barata y viable para los suelos ácidos de aéreas agrícolas del trópico húmedo. El objetivo de este trabajo fue medir la cantidad de N fijado en cuatro especie de fabáceas a través de las técnicas isotópicas del ^{15}N en la sabana de Huimanguillo, Tabasco. Los tratamientos fueron establecidos en un diseño de bloques completos al azar (DBCA), con cuatro repeticiones. Las variables evaluadas fueron producción de materia fresca (abono verde), producción de materia seca (MS), número de nódulos (NN), producción de masa seca de nódulos (MSN), NT y NF. *M. deerengiana* L., presentó mayor producción de AV y MS con 17.50 y 5.47 Mg ha⁻¹, así como MSN con 58.79 mg planta⁻¹ y también mayor contenido de Nt y FBN con 526.94 y 522.11 kg ha⁻¹, en comparación con las otras tres fabáceas. Sin embargo *C. cajan* L., presento el mayor NN con 88.11 nódulos planta⁻¹. Por lo contrario las fabáceas *P. lunatus* L., y *S. emerus* L., presentaron los más bajos promedios en todas las variables. Sin duda alguna, las fabáceas *M. deerengiana* L., y *C. cajan* L., son tolerantes a los factores adversos que predominan en estos suelos y deber ser utilizadas para mantener o mejorar la fertilidad de los suelos ácidos de Huimanguillo, Tabasco.

Palabras clave: Cultivos tropicales, Nódulos, Sabana, abono verde

ABSTRACT

The biological nitrogen fixation is a viable source of N for acid soil of agricultural areas in the humid tropics. In this work the objective was to estimate the amount of N fixed by four species of fabaceae in an acid soil from the savanna of Huimanguillo, Tabasco state, using the isotopic dilution technique of ^{15}N . Treatments were established in a randomized block design with four replicates. The evaluated variables were production of fresh matter or green manure (GM) and dry matter (DM), number of nodules (NN), dry mass of nodules (DMN), total nitrogen (Nt) and N fixed (NF). *M. deerengiana* L. presented a highest production of GM and DM with 17.50 and 5.47 Mg ha⁻¹, respectively and DMN with 58.79 mg plant⁻¹ and the higher yield in Nt and NF with 526.94 and 522.11 kg ha⁻¹ than the other three fabaceae. *C. cajan* L. presented the highest NN with 88.11 nodules plant⁻¹. The fabaceae *P. lunatus* L. and *S. emerus* L. presented the lowest values in all the variables estimated. The fabaceae *M. deerengiana* L. and *C. cajan* L. showed high production of biomass and biological N fixation and therefore have a high potential to be used to improve the fertility of acid soils in Huimanguillo, Tabasco state.

Keywords: *Tropical crops, Nodules, savanna, FBN, green manure*

2.1. INTRODUCCIÓN

El nitrógeno (N) es uno de los elementos más importantes para las plantas, ya que es parte fundamental de proteínas, amino ácido, así como de la clorofila. Las plantas absorben N preferentemente cómo de nitrato (NO_3^-) y/o amonio (NH_4^+) proveniente de la solución del suelo. Actualmente, en la agricultura se utilizan cultivos con alto potencial productivo que demandan grandes cantidades de N y que superan a los aportados por el suelo. Por otra parte, los altos costos de los fertilizantes nitrogenados hacen difícil su acceso y encarecen los costos de producción de los cultivos. La fijación biológica de nitrógeno (FBN), interacción mutualística microorganismo-planta, una vía importante de acceso y de aporte de N para las plantas (Urzúa, 2005). La capacidad de la FBN está restringida a microorganismos procariontes conocidos como *Rhizobia* que pueden transformar el N atmosférico a amonio, el cual puede ser aprovechado por las plantas de la familia de las fabáceas (Twornlow, 2004). El objetivo de este trabajo fue estimar la fijación biológica de nitrógeno de cuatro fabáceas en condiciones de acidez de la sabana de Huimanguillo, Tabasco por medio de la técnica de dilución isotópica ^{15}N .

2.2. MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se estableció en el Ejido Nueva Esperanza, Huimanguillo, Tabasco, en la parcela del Sr. Santiago Gómez. El sitio experimental se estableció a 17°54'54.8" latitud Norte y 93°38' 27.9" latitud Oeste, a una altitud de 23 metros sobre el nivel del mar, con una pendiente de 5%. El clima es cálido-húmedo con lluvias en verano, presenta una temperatura media anual de 26.2°C y una precipitación media anual de 2,290 mm (García, 1973). El suelo es del orden Acrisol Plintico (AcPl) (Palma-López *et al.*, 2007). Las propiedades químicas y físicas del suelo se presentan en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Características químicas y físicas del suelo de la parcela donde se estableció el experimento.

pH (1:2 H ₂ O)	Conductividad Eléctrica	MO	N	P-Olsen mg kg ⁻¹	K	Ca	Mg	Fe mg kg ⁻¹	Clasificación textural
	dSm ⁻¹	%			cmol ⁽⁺⁾ kg suelo				
4.1	0.16	2.2	0.18	7.43	0.17	1.5	1.48	31.6	Migajón arenoso

Se utilizaron cuatro especies de fabáceas; *Cajanus cajan* L., semilla donada por productores del municipio de Tacotalpa, Tabasco; *Mucuna deerengiana* L., adquirida en el municipio de Villahermosa Tabasco; *Phaseolus lunatus* L., donada por el Centro de Investigaciones Científicas de Yucatán y *Sesbania emerus* L., donada por el Instituto Nacional Investigación Forestal Agropecuarias de Tepic, Nayarit. Como planta de referencia; no fijadora de N₂ atmosférico por medio de la técnica de ¹⁵N, se utilizó el maíz criollo “Mejen”, donado por un productor de la sabana de Huimanguillo, Tabasco.

La parcela experimental consto de 5 surcos de 1.0 m de ancho y 4 m de largo equivalente a 40 m². La parcela útil fue de 21 m², eliminando un surco de cada lado y 0.5 m en las orillas, para evitar el efecto de borde. Las fabáceas se sembraron a 0.75 m entre plantas y 1.0 m entre hileras para obtener una densidad de 13,333 plantas ha⁻¹. También se establecieron cuatro parcelas de maíz criollo como cultivo de referencia, las cuales se sembraron a 0.25 m entre plantas y 1.0 m entre hileras para obtener una densidad de siembra de 60,000 plantas ha⁻¹. La siembra fue de temporal y se realizó de forma manual de 1 a 2 semillas por punto de siembra.

El ensayo se estableció en un diseño experimental de bloques completamente al azar con cuatro repeticiones.

La fertilización se hizo a los 25 días después de la emergencia. Se aplicó la dosis de recomendada 20-80-40 para las fabáceas y 90-40-30 (N-P₂O₅-K₂O) para el cultivo de referencia (maíz criollo “Mejen”) con las fuentes urea, superfosfato de calcio triple y cloruro de potasio (Salgado y Núñez, 2010). Dentro de la parcela útil de las fabáceas se estableció una microparcela isotópica (1 m de largo por 1.5 m de ancho) donde se aplicó el fertilizante marcado con el isótopo ¹⁵N. Para el cultivo de referencia se aplicó urea al 1% mientras que para las fabáceas 10% átomos en exceso de ¹⁵N. El control de malezas se hizo en forma manual. Se realizó un muestreo a los 90 a 115 días después de la emergencia correspondiente a las etapas de floración y madurez fisiológica de las fabáceas y maíz respectivamente.

Las variables de estudio fueron producción de materia fresca (AV), producción de materia seca (MS), número (NN) y masa seca de nódulos (MSN), nitrógeno total (Nt) y fijado biológicamente (FBN). Para las dos últimas variables se utilizaron tres plantas de fabáceas y maíz de la microparcela isotópica; éstas se secaron a una temperatura de 60°C por 72 h para estimar la producción de biomasa seca; posteriormente, se molieron para la determinación del Nt por el método Kjeldahl. Una vez determinado el Nt (%), la muestra se acidificó con HCl 0.1 N y se concentró (plancha LABLINE 60300) a una temperatura de 350°C a 1 mg N mL⁻¹ para la determinación de la relación isotópica ¹⁵N/¹⁴N en las fabáceas y el cultivo de referencia (maíz). La estimación de las variable N-fertilizante y fijado se realizaron las ecuaciones siguiente (Axmann *et al.*, 1990).

a). Rendimiento de nitrógeno total (RNt), este se calculo de acuerdo ecuación;

$$RNT = \%NT * RMS$$

Donde:

%NT = Porcentaje de nitrógeno total

RMS = Rendimiento de metería seca

b). N derivado del fertilizante (Nddf). Esta variable se calculó con base en el enriquecimiento de ¹⁵N cuantificado en el cultivo fijador (fabácea) y el enriquecimiento en el fertilizante

aplicado (% ^{15}N a.e.), procedimiento similar se realizaron para estimar el nitrógeno derivado del fertilizante (Nddf) en el cultivo de referencia (maíz) con base en la ecuación siguiente:

$$Nddf_{CF} = \frac{\% a.e. \text{ } ^{15}\text{N}_{\text{Muestrasvegetales}}}{\% a.e. \text{ } ^{15}\text{N}_{\text{Fertilizante marcado}}}$$

$$Nddf_{CNF} = \frac{\% a.e. \text{ } ^{15}\text{N}_{\text{Muestrasvegetales}}}{\% a.e. \text{ } ^{15}\text{N}_{\text{Fertilizante marcado}}}$$

Donde:

a.e. = átomos en exceso

CF = Cultivo fijador

CNF = Cultivo no fijador

El enriquecimiento utilizado fue de 10 y 1% de ^{15}N a.e., para las fabáceas y los cultivos de referencia (maíz), respectivamente.

c). Nitrógeno derivado de la atmósfera (Ndda). Esta variable sólo se evaluó en fabáceas, se expresa en porcentaje y se calcula con base en la ecuación del Valor "A":

$$Ndda = 100 \left(1 - \left(\frac{\% Nddf_{CF}}{n \% Nddf_{CNF}} \right) + \text{ } ^{15}\text{N a.e. CF} \left(\frac{1}{n} - 1 \right) \right)$$

Donde:

n = Dosis N_{CF} y Dosis N_{CNF}

a.e. = átomos en exceso

d). Nitrógeno derivado del suelo (Ndds). Esta variable se evaluó en fabáceas y maíz, se expresa en porcentaje y se calculó con base en la ecuación siguiente:

$$\% Ndds = 100 - \% Nddf_{CNF}$$

e). Nitrógeno Fijado (Nf). Esta variable (g N m^{-2}) se calculó con base en la ecuación siguiente:

$$Nf = \% Ndda \times NRT$$

Para todas las variables se realizó un análisis de varianza y la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) mediante el estadístico SAS System (SAS, 2002).

2.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.3.1. Producción de AV y MS

Los resultados del análisis de varianza para la producción de biomasa aérea de las fabáceas consideradas como AV y producción de MS (Cuadro 6), indican diferencias significativas ($p \leq 0.01$). *M. deerengiana* L., presentó (17.50 Mg ha^{-1}) la mayor producción en ambas variables en comparación con las otras fabáceas, las cuales presentaron coeficiente de variación (CV) de 15.17 y 22.7%, lo cual muestra poca variabilidad en la determinación de la producción de AV y MS entre especies de fabáceas.

La fabácea *M. deerengiana* L. (17.50 Mg ha^{-1}) superó estadísticamente en la producción de AV a *C. cajan* L., *P. lunatus* L. y *S. emerus* L. (5.54 , 2.10 y 0.37 Mg ha^{-1} , respectivamente). Los valores de AV de *C. cajan* L. son bajos en comparación a 19.60 a 25.40 Mg ha^{-1} reportados en esta especie (Abreu, 1996, Ambrosano *et al.*, 2009). El bajo rendimiento de AV y MS se atribuye al exceso de lluvia durante el periodo de crecimiento de las fabáceas, las cuales son sensibles al exceso de humedad. Contreras *et al.* (1989), reportaron un rendimiento de MS de 14.7 Mg ha^{-1} con una densidad de $50,000 \text{ planta ha}^{-1}$. La fabácea *M. deerengiana* L., presentó mayor rendimiento de MS con 5.47 Mg ha^{-1} , resultados similares en comparación con los obtenidos en una asociación con *Saccharum spp.* (5.10 Mg ha^{-1}); este rendimiento es considerado adecuado, ya que se encuentra en el promedio de producción de MS de esta fabácea (Ambrosano *et al.*, 2009).

Cuadro 6. Producción de abono verde (AV) y materia seca (MS) por fabáceas sembradas en un suelo ácido de la sabana de Huimanguillo.

Cultivo	AV	MS
	Mg ha ⁻¹	
<i>M. deerengiana</i> L.	17.50a†	5.47a†
<i>C. cajan</i> L.	5.54b	2.07b
<i>P. Lunatus</i> L.	2.10c	0.61c
<i>S. emerus</i> L.	0.37c	0.14c
C.V.	15.2	22.7
Probabilidad de F:	0.01**	0.01**
Valor de F:	175.26	71.84
Cuadrado medio del error	1.20	0.28
Grados de libertad	10	10

† Valores con distinta literal dentro de la misma columna, indica diferencia estadística según Tukey ($p \leq 0.05$).

2.3.2. Nodulación

El análisis de varianza para el NN y MSN (Cuadro 7), indica diferencias significativas entre las fabáceas, presentando un CV de 16.7 y 12.7%, respectivamente, los cuales indican una baja variabilidad en la estimación de estas variables.

En tres de las cuatros fabáceas se observo nodulación; esto indica que la acidez del suelo no inhibió la población de *Rhizobia* ni la infección inicial de raíces para la formación de nódulos. Los nódulos observados en *M. deerengiana* L., y *P. lunatus* L., son de superficie rugosa, grandes, de forma irregular y dispersos en todo el sistema radical (Marín y Viera, 1989). En *C. cajan* L., los nódulos fueron más pequeños, esféricos, y se encuentran dispersos en todo el sistema radical.

Las diferentes fabáceas evaluadas presentaron entre 19.56 a 88.11 nódulos planta⁻¹. La fabácea *C. cajan* L., presentó el mayor de NN 88.11 planta⁻¹, superando estadísticamente a *M. deerengiana* L., *P. lunatus* L., y *S. emerus* L., (Cuadro 7); estos valores a los reportado por Mayz-Figueroa (2007). Una probable explicación de la baja o nula formación de nódulos en *S. emerus* L., es la competencia que existe por humedad, luz, nutrimentos, y bajo contenido de P

asimilable (Friensen *et al.*, 1997). O debido a la presencia de grandes cantidades de Al, Fe y Mn en el suelo, lo cual ocasiona problemas de toxicidad en plantas (Jiménez y Peña-Cabriales, 2000).

La fabácea que presentó la mayor MSN fue *M. deerengiana* L., con 58.79 mg planta⁻¹, por arriba de las otras especies (*C. cajan* L. y *P. lunatus* L.), aunque este valor fue inferior a lo 62 mg planta⁻¹ reportado por Mays-Figueroa (2007).

Cuadro 7. Nodulación (NN) y materia seca de nódulos (MSN) por fabáceas sembradas en un suelo ácido de la sabana de Huimanguillo.

Cultivo	Nódulos No. Planta ⁻¹	Materia Seca Nódulos mg planta ⁻¹
<i>M. deerengiana</i> L.	42.17b	58.79a†
<i>C. cajan</i> L.	88.11a†	31.58b
<i>P. Lunatus</i> L.	19.56c	21.50c
<i>S. emerus</i> L.	0.0d	0.0d
C.V.	16.7	12.7
Probabilidad de F:	0.01**	0.01**
Valor de F:	83.69	94.69
Cuadrado medio del error	52.64	17.16
Grados de libertad	10	10

†Valores con distinta literal dentro de la misma columna, indica diferencia estadística según Tukey ($P \leq 0.05$).

2.3.3. Contenido de Nt y NF

El análisis de varianza para las variables Nt y NF (Cuadro 8) indica diferencia significativa para las cuatro fabáceas en estudio, con un CV de 29.0 y 30%, lo cual indica alta variabilidad en estas variables.

En general, la fabácea *M. deerengiana* L., presento mayor contenido de Nt (526.94 kg N ha⁻¹), valor superior a los reportados en un suelo Laptosol 199.87 y 314.42 kg ha⁻¹ (Teodoro *et al.*, 2009). El Nt de *C. cajan* L., *P. lunatus* L., y a *S. emerus* L., (127.61, 46.96 y 4.00 kg N ha⁻¹,

respectivamente). Valores estrechamente relacionados con la MS de la parte aérea, en la etapa de floración.

La fabácea *M. deerengiana* L., presentó la mayor FBN fue con 522.11 kg N ha⁻¹, al respecto trabajos realizados sobre el potencial de fijación han encontrado que esta fabácea fija hasta 96 kg N ha⁻¹ (Chikowo *et al.*, 2004, Ambrosano *et al.*, 2009). Mientras que las fabáceas *C. cajan* L., *P. lunatus* L., y *S. emerus* L., presentaron un promedio de N fijado entre 0 y 98.94 kg N ha⁻¹, valores similares a los reportados por Adu-Gyamfi *et al.* (2007). *M. deerengiana* L., demostró una alta cantidad de N fijado, pese a los factores restrictivos en estos suelos de sabana, porque se encuentra sobre los valores 41 y 280 kg N ha⁻¹ publicados por RGAC (2002). No obstante que presentaron el mayor NN y MSN por planta, es posible, que la disminución de N fijado se debió a la baja disponibilidad de PK en el suelo (Leidi *et al.*, 2000).

Cuadro 8. Acumulación de nitrógeno total (Nt) y fijado (FN) por fabáceas sembradas en un suelo ácido de la sabana de Huimanguillo.

Cultivo	Nt	N fijado
	kg ha ⁻¹	
<i>M. deerengiana</i> L.	526.94a†	522.11a†
<i>C. cajan</i> L.	127.61b	98.94b
<i>P. Lunatus</i> L.	46.96b	35.22b
<i>S. emerus</i> L.	4.00c	0.00c
C.V.	29.0	30.9
Probabilidad de F:	0.01**	0.01**
Valor de F:	60.44	63.15
Cuadrado medio del error	3414.25	3378.34
Grados de libertad	10	10

† Dentro de la misma columna, valores con distinta literal indica diferencia estadística según Tukey ($p \leq 0.05$).

2.4. CONCLUSIONES

La fabácea *M. deerengiana* L., presentó el mejor comportamiento en la producción de Biomasa fresca y seca, más masa nodular, así como Nt y N fijado por lo que representa una opción para mejorar la fertilidad de los suelos ácidos de la sabana de Huimanguillo, Tabasco. *C. cajan* L., presento el mayor número de nódulos.

2.5. BIBLIOGRAFÍA

- Axmann, H., A. Sebastianelli, and Arrillaga L. J. 1990. **Sample preparation techniques of biological material for isotope analysis.** pp. 41-53. In: Hardarson, G. (Ed.). Use of nuclear techniques in studies of soil-plant relationship. Internactional Atomic Energy Agency. Viena, Austria. 146 pp.
- Abreu, X. 1996. **Evaluación de cuatro leguminosas como barbecho mejorado durante dos épocas del año para ser usados como cultivos de cobertura.** Rev. Venesuelos. 4(1-2): 8-13
- Adu-Gyamfi, J. J., Myaka, . F. A; Sakala, W. D., Odgaard, R., Vesterager, J. M. and Henning Høgh-Jensen. 2007. **Biological nitrogen fixation and nitrogen and phosphorus budgets in farmer-managed intercroops of maize–pigeon pea in semi-arid southern and eastern Africa.** Plant Soil. 295:127–136
- Ambrosano, E. J., Rossi, F.; Guirado, N., Ambrosano, G. M.; Chammass, E., Muraoka, T., Trivelin, P. C., Camargo, I. e Mota, B. 2009. **Desempenho de Adubos Verdes Consorciados com Cana de açúcar.** Rev. Bras. de Agroecologia. 4 (2): 5.
- Chikowo, R., Mapfumo, P., Nyamugafaja, P. and Giller, K. E. 2004. **Woody legume fallow productivity, biological N₂-fijation and residual benefits to two successive maize crops in Zimbabwe.** Plant Soil. 262(1-2): 303-315.
- Contreras, E., Marín, Ch. D. y Viera, J. 1989. **Evaluación ecofisiológica de cultivos asociados. II. Canavalia-maíz.** Agronomía Tropical. 39(1-3): 45-61.
- Friensen, D. K.; Rao I M.; Thomas, R. J.; Oberson and Sanz, J. I. 1997. **Phosphorus acquisition and cycling in crop and pasture systems in low fertility tropical soils.** Plant Soil. 196: 289-294.
- García, E. 1973. **Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de kooppen.** *Segunda Edición.* Universidad Nacional Autónoma de México. 243 pp.
- Jiménez, Z. J. J. y Peña-Cabriales, J. J. 2000. **Fijación biológica de N₂ en leguminosas de América Latina.** ARCAL. 1-16 pp.

- Leidi, E. O and Rodríguez, N. D. N. 2000. **Nitrogen and phosphorus availability limit N₂ fixation in bean.** New Phytol. 147: 337-346.
- Marín, Ch. D. y Viera, J. 1989. **Crecimiento, nodulación y fijación de nitrógeno en plantas de *Canavalia ensiformis* (L) DC., bajo diferentes dosis de fertilización con nitrógeno y frecuencias de riego.** Agronomía Tropical. 40(1-3): 103-124.
- Mayz-Figueroa, J. 2007. ***Cajanus cajan* L.: Fijación biológica de nitrógeno (FBN) en un suelo de sabana.** Rev. Fac. Agron. (LUZ), 24 (1): 312-317.
- Palma-López D. J., Cisneros D. J., Moreno C. E. Y Rincón-Ramírez J.A. 2007. **Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable.** Colegio de Postgraduados-ISPROTAB-FUPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México. 195 pp.
- Red de Grupos de Agricultura de Cobertura. 2002. **Base de información sobre especies con potencial de abonos verdes y cultivos de cobertura.** Rockefeller Foundation.
- Salgado, G. S. y Núñez, E. R. 2010. **Manejo de fertilizantes y abonos orgánicos.** Colegio de Postgraduados y Mundi Prensa. México. 146 pp.
- SAS, 2002. **Getting Started with SAS. Ver 9.0** SAS Inst., Inc., USA.
- Teodoro, R. B., Oliveira, F. L., Silva, D. e Fávero, C. 2009. **Acúmulo de Fitomassa e Ciclagem de Nutrientes por Leguminosas Herbáceas no Município de Turmalina-MG.** Rev. Bras. de Agroecologia/nov. 4 (2): 1511-1514
- Twornlow, S. 2004. **Increasing the role of legumes in smallholder farming systems. The future challenge.** In: Rachid Serraj (Ed.) **Simbiotic Nitrogen Fixation.** Sci. Publ. Inc. USA. 382 pp.
- Urzúa, H. 2005. **Ensayo. Beneficios de la fijación biológica de nitrógeno en Chile.** Santiago de Chile. Cien. Inv. Agr. 32(2:) 133-150

**CAPITULO III. MAÍZ EN ASOCIACIÓN Y ROTACIÓN CON FABÁCEAS EN
SUELOS ÁCIDOS DE LA SABANA DE HUIMANGUILLO, TABASCO, MÉXICO**

MAÍZ EN ASOCIACIÓN Y ROTACIÓN CON FABÁCEAS EN SUELOS ÁCIDOS DE LA SABANA DE HUIMANGUILLO, TABASCO, MÉXICO

RESUMEN

La asociación de cultivos una alternativa para mantener y mejorar la fertilidad de los suelos ácidos del trópico húmedo. El objetivo fue medir el comportamiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en asociación y rotación con fabáceas en suelos ácidos de la sabana de Huimanguillo, Tabasco. Los tratamientos fueron establecidos con un diseño de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones. Las variables evaluadas para maíz (CML269, HQ4-C, Criollo “Mejen” y S03) fueron: materia seca (planta, totomoxtle, olote y total), rendimiento de grano y Nt; y para las fabáceas (*M. deeringiana* L., y *C. cajan* L.) fueron materia fresca (abono verde), materia seca (MS), producción de masa seca de nódulos (MSN), Nt y NF. En asociación los cuatro maíces presentaron los mayores rendimiento de MS en los diferentes componentes, así mismo, los mayores contenidos de Nt en olote, grano y total, y el más alto contenido de Nt en totomoxtle se presentó en el sistema de rotación. En la fabácea *C. cajan* L., los maíces presentaron mayor producción de MS de planta, totomoxtle y total. El maíz HQ4-C de calidad proteínica presentó mayor contenido de MS de planta, RG, y presentó el mayor contenido de Nt en planta, en grano y total. El maíz criollo “Mejen” presento la más alta producción de MS de totomoxtle. Por otra parte las fabáceas presentaron los valores más altos en todas las variables en la asociación con maíz. *C. cajan* L., presentó el valor más alto en todas las variables. En la variedad de maíz S03 las fabáceas presentaron el más alto NN, Nt y NF.

Palabras clave: Materia seca, nitrógeno, rendimiento, suelos ácidos

ABSTRACT

To determine the effect of two Fabaceae and rotation in association with four maize genotypes in savanna soils were evaluated 16 treatments and ten witnesses, in a randomized complete block with four replications. The variables studied were dry matter production, grain yield and total nitrogen (maize), fresh matter, DM, Rhizobiales nodules, total N and N fixed (Fabaceae). The results show that maize genotypes in association gave the highest yields of DM and Nt. maize HQ4-C had higher MS, more grain yield and higher Nt. Mejen maize had the highest DM yield. The Fabaceae in association showed higher values in all variables. The S03 Fabaceae associated with corn had the highest NN, Nt and NF.

Keywords: Dry matter, nitrogen, yield, acid soils

3.1. INTRODUCCIÓN

La importancia de la asociación de fabáceas con tasas altas de fijación biológica de nitrógeno (FBN) con el cultivo de maíz, es mejorar la fertilidad de los suelos, proteger del impacto de la lluvia y del viento que ocasionan la erosión y aportan N al maíz. La fertilidad de los suelos ácidos favorecida por el reciclaje de nutrimentos como P y K proveniente de las fabáceas en un 100 % y por el aporte de N hasta un 25%, por parte de la fijación biológica de nitrógeno (FBN). La asociación de cultivos (maíz-fabáceas) permite una mayor eficiencia del uso de la tierra, sumado a los beneficios derivados de la interacción fabáceas microorganismos con capacidad para incorporar el nitrógeno atmosférico (N_2) en su metabolismo, lo cual coadyuva a mejorar el contenido de N en el suelo para ser aprovechado por cultivos de importancia económica, y satisfacer las necesidades apremiantes de alimentos de la población creciente (Marcano *et al.*, 2001). La producción agrícola sustentable tiende a ser más aceptable desde el punto de vista sociocultural, porque se apoya en las tradiciones locales y el uso de insumos de la localidad, así en técnicas que no dañan el ambiente porque no modifican ni transforman radicalmente el sistema, sino que optimizan la producción (González y Acosta, 2007). El objetivo de este trabajo fue evaluar el comportamiento agronómico de dos fabáceas y cuatro maíces en un sistema de asociación y/o rotación en suelos ácidos de Huimanguillo, Tabasco.

3.2. MATERIALES Y MÉTODOS

3.2.1. Ubicación del experimento

El experimento se desarrolló en el municipio de Huimanguillo, Tabasco, México, a una altitud de 25 metros sobre el nivel del mar, localizados a UTM 434246.3503 - 1979627.538, con una pendiente de 5%. Durante los años 90, se cultivo piña (*Ananás comosus* L.) y los últimos 10 años se ha cultivado maíz. Previo al establecimiento del experimento se eliminó la vegetación de forma manual. Posteriormente, se realizaron dos pasos de rastra semi pesada y la siembra se efectuó en temporal en el ciclo otoño - invierno.

El suelo tiene un pH fuertemente ácido (Cuadro 9), lo que indica baja disponibilidad de los nutrientes P, K, S, Ca, Mg, Cu, Zn y B. El contenido de materia orgánica es alto (5.94%), y el de N se considera rico (0.18%); la relación C/N es de 20, lo que indica que hay baja tasa de mineralización (Fassbender, 1984). El contenido de P se considera pobre (4.65 mg kg⁻¹ de suelo), resultado de la alta fijación de este nutrimento por Al; el contenido de K es considerado medio (0.37 cmol⁽⁺⁾ kg⁻¹) (Salgado-García *et al.*, 2006), los resultados del análisis de suelos se presentan en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Características químicas y físicas del suelo de la parcela experimental

pH (1:2 H ₂ O)	Conductividad Eléctrica	MO	N	P	K	Ca	Mg	Na	CIC	DA	Clasificación Textura
	dS m ⁻¹	%	%	mg kg ⁻¹	cmol (+) kg ⁻¹					g cm ³	
5.2	0.04	5.94	0.18	4.65	0.37	3.09	0.99	0.08	9.98	0.78	Migajon arcillo-limoso

3.2.2. Condiciones climatológicas

Durante los dos periodos experimentales se tomaron como referencia la precipitación pluvial (mm), temperatura (°C) y humedad relativa (%) y media mensual de la Red Nacional de Estaciones Estatales Agro-climatológicas, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP, 2010).

3.2.3. Manejo del experimento

Para establecer el sistema de rotación las fabáceas se sembraron en monocultivo y donde éstas se desarrollaron, en el ciclo siguiente se sembraron los genotipos de maíz como monocultivo. En la asociación, los maíces se sembraron y 20 días después se sembraron las fabáceas. El maíz se sembró de una a dos semillas por punto de siembra, a 0.25 m entre plantas y 1 m entre hileras equivalente a una densidad de 40×10^3 plantas ha^{-1} . Las fabáceas se sembraron de una a dos semillas por punto de siembra a 0.75 m entre plantas y 1 m entre hileras para obtener una densidad de 13×10^3 plantas ha^{-1} .

3.2.4. Diseño experimental y tratamientos

Los tratamientos se evaluaron en un diseño factorial $2 \times 2 \times 4$ para evaluar dos sistemas de producción: 1) rotación y 2) asociación, dos fabáceas: 1) *C. cajan* L., y 2) *M. deerengiana* L., y cuatro genotipos de maíz: 1) CML-269, 2) HQ4-C, 3) S03TLW-1 A.B y 4) Criollo “Mejen” (Martínez, 1988).

La parcela experimental constó de 5 surcos por 8 m de largo, equivalente a 40 m^2 . La parcela útil fue de 21 m^2 , eliminando un surco de cada lado y 0.5 m en las orillas, para evitar el efecto de borde. En total, el experimento constó de 16 tratamientos incluyendo 10 testigos, con cuatro repeticiones (Cuadro 10).

A los 20 días de la germinación del maíz y las fabáceas, se aplicaron las dosis de fertilización 45–80–40 y 20–80–40 (N- P_2O_5 - K_2O) con las fuentes urea, superfosfato de calcio triple y cloruro de potasio (Salgado y Núñez, 2010). La fertilización se aplicó sobre el surco, a 5 cm del tallo.

Cuadro 10. Tratamientos experimentales para la evaluación de dos sistemas de producción fabácea-maíz sembrados en un suelo ácido de la sabana de Huimanguillo, Tabasco.

No.	Tratamiento	Sistema de Cultivo	No.	Tratamiento	Sistema de Cultivo
1	<i>C. cajan</i> L./ CML-269	Rotación	14	<i>M. deerengiana</i> L./ S03TLW-1 A.B	Asociación
2	<i>M. deerengiana</i> L./ CML-269		15	<i>C. cajan</i> L./ Mejen	
3	<i>C. cajan</i> L./ HQ4-C		16	<i>M. deerengiana</i> L./ Mejen	
4	<i>M. deerengiana</i> L./ HQ4-C		17	<i>C. cajan</i> L. (00-00-00)	Monocultivo (Testigos)
5	<i>C. cajan</i> L./ S03TLW-1 A.B		18	<i>M. deerengiana</i> L. (00-00-00)	
6	<i>M. deerengiana</i> L./ S03TLW-1 A.B		19	CML-269 (90-80-40)	
7	<i>C. cajan</i> L./ Mejen		20	HQ4-C (90-80-40)	
8	<i>M. deerengiana</i> L./ Mejen		21	S03TLW-1 A.B (90-80-40)	
9	<i>C. cajan</i> L./ CML-269	22	Mejen (90-80-40)		
10	<i>M. deerengiana</i> L./ CML-269	23	CML-269 (00-80-40)		
11	<i>C. cajan</i> L./ HQ4-C	24	HQ4-C (00-80-40)		
12	<i>M. deerengiana</i> L./ HQ4-C	25	S03TLW-1 A.B (00-80-40)		
13	<i>C. cajan</i> L./ S03TLW-1 A.B	26	Mejen (00-80-40)		
		Asociación			

3.2.5. Muestreo y variables de estudio

- 1) Número y masa seca de nódulos. Se realizó al inicio de la etapa de floración, se colectaron los nódulos presentes en raíces de las fabáceas; éstos se separaron, se contaron y pesaron. Posteriormente, se colocaron en una estufa de ventilación forzada, a una temperatura de 60 °C por 72 h para determinar su peso seco.
- 2) Rendimiento de grano (RG). A los 130 días después de la germinación (ddg) del maíz, se recolectaron las mazorcas de cada parcela experimental, se registró el número de mazorcas y peso seco del grano (12% de humedad). A partir de estos datos se estimó el rendimiento de grano por superficie (ha).

- 3) Producción de materia seca (MS). Se muestrearon al azar tres plantas por tratamiento. Para las fabáceas, se realizaron los muestreos en la etapa de floración (120 a 145 días después de la germinación) se pesaron en fresco y después se llevaron a una estufa a una temperatura de 60°C por 72 h, para estimar la producción de materia seca.
- 4) N total. Posteriormente a la cuantificación de materia seca, se procedió a la molienda de todas las plantas, para la determinación del N total por el método Kjeldahl (Axmann *et al.*, 1990) y así calcular el contenido de N total (%):
- 5) Rendimiento de N total (RNt). Esta variable se calculó multiplicando el N total (%) por el rendimiento de materia seca (kg ha⁻¹), tanto para las fabáceas como para el maíz:

$$RNT = \%NT * RMS$$

Donde; $\%NT = \text{Porcentaje de nitrógeno total}$

$RMS = \text{Rendimiento de materia seca}$

- 6) Nitrógeno derivado de la atmósfera (Ndda). Esta variable sólo se evaluó en fabáceas, se expresa en porcentaje y se calculó en base al método de la diferencia (Martín *et al.*, 2007):

$$\%FBN = \frac{(\text{contenido N fix} - \text{contenido N semilla fix}) - (\text{contenido N control} - \text{contenido N semilla control})}{(\text{contenido N fix} - \text{contenido N semilla fix})}$$

3.2.6. Análisis estadístico

Para todas las variables se realizó el análisis de varianza con el diseño factorial 2x2x4 y la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) mediante el Sistema de Análisis Estadístico SAS System (SAS, 2002).

3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.3.1. Precipitación pluvial (mm)

Debido a que los ensayos experimentales se realizaron en periodos diferentes, se observó que la precipitación pluvial durante el periodo fue mayor en la asociación fabácea-maíz, la cual osciló entre 220.60 y 306.80 mm en comparación al periodo donde se estableció las fabáceas en monocultivo en la temporada otoño-invierno que fue de 0.00 – 146.40 mm (Fig. 1). Esto se debe, a que las estaciones están bien marcadas en el trópico Moguel y Molina-Enríquez (2000).

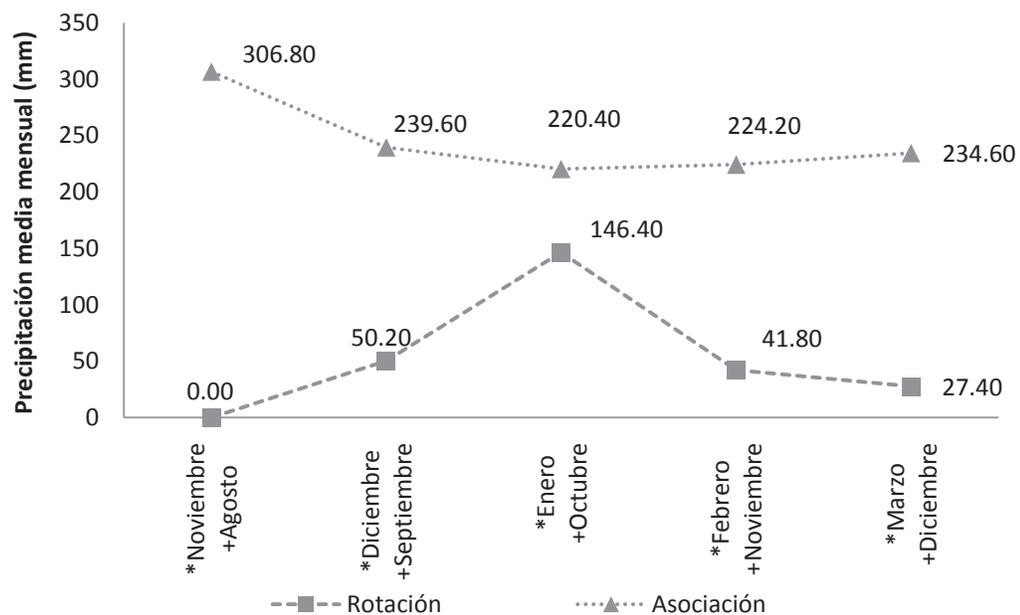


Fig. 1. Precipitación durante el ensayo asociación y rotación maíz-fabácea sembrado en un suelo ácido de la sabana de Hui manguillo, Tabasco (208 – 2009).

3.3.2. Temperatura (°C)

La temperatura durante todo el ciclo de monocultivo de fabácea y maíz fluctuaron entre 21.7 y 24.0°C. Durante el desarrollo del ensayo sobre la asociación fabácea-maíz presentó una temperatura entre 28.8 y 22.5°C, las cuales en promedio fueron menores a la óptima para el

cultivo de maíz. Al respecto se ha demostrado que a mayor o menor temperatura el crecimiento disminuye y por lo tanto el rendimiento de grano, según Blacklow (1972), Vicent (1989).

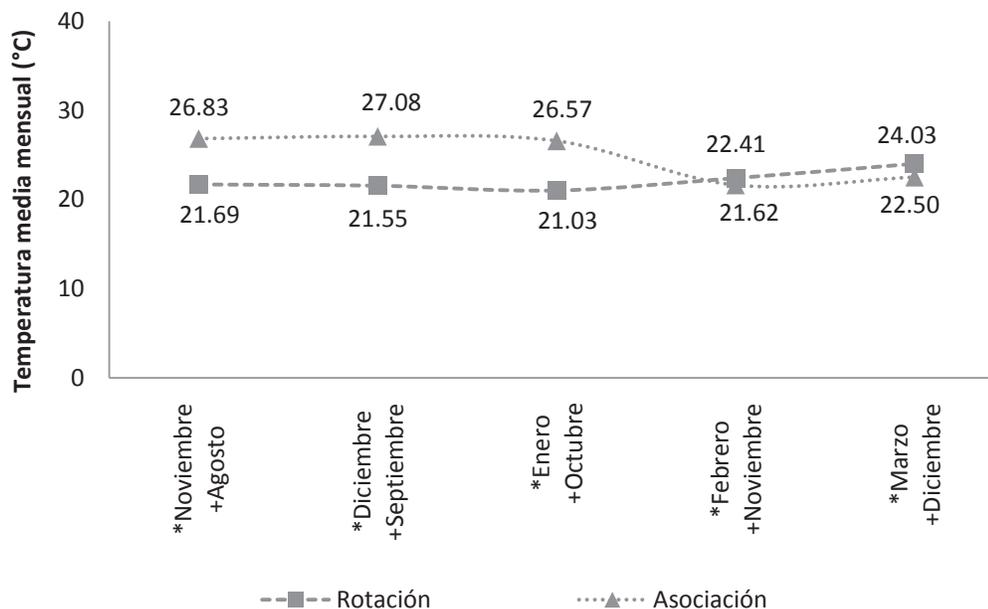


Fig. 2. Temperatura media mensual durante la asociación y rotación fabácea-maíz en suelo ácido de la sabana (2008 – 2009).

3.3.3. Producción de materia seca del cultivo de maíz

Los resultados del análisis de varianza para materia seca (hoja, tallo y flor masculina) de maíz (Cuadro 11), muestran diferencia significativa para los factores; sistema de producción, maíz, sistema-maíz y sistema-fabácea-maíz, fabáceas Y no significativo para las interacciones sistema-fabácea, fabácea-maíz y sistema-fabáceas-maíz. Para esta variable, el coeficiente de variación que fue de 21.89%, el cual indica una aceptable variabilidad en la determinación de esta variable.

Los genotipos de maíz en asociación con las fabáceas, produjeron significativamente mayor MS ($p \leq 0.05$) en comparación con la rotación. Así mismo, cuando los maíces estuvieron en rotación o en asociación *C. cajan* L., produjeron mayor MS en comparación con *M. deerengiana* L. Probablemente, esta baja producción de MS por parte de los maíces en esta última fabácea se debió a que es de crecimiento rápido y ocasionó la reducción del desarrollo

del maíz Castillo-Caamal *et al.* (2010). Con respecto al factor maíz, el rendimiento de MS para HQ4-C (3.78 Mg ha⁻¹) fue superior a CML-269, Mejen y S03, (2.38, 3.20 y 3.12 Mg ha⁻¹ respectivamente).

Con relación a la materia seca de totomoxtle (Cuadro 11), se observó diferencias significativas para el factor maíz, fabáceas y las interacciones sistema-fabácea y sistema-maíz. Así mismo, no significativo para el factor sistema de producción y las interacciones fabácea-maíz y sistema-fabácea-maíz. En esta variable se estimó un coeficiente de variación de 18.90%, lo cual indica aceptable variabilidad en la determinación de MS de totomoxtle de los maíces.

Los genotipos de maíz en rotación y asociación no presentaron diferencia significativa en la producción de totomoxtle. Mientras que para el factor fabácea, no se observó algún efecto en la producción de totomoxtle. Es importante mencionar que el maíz Mejen presentó la mayor producción de totomoxtle comparado con los maíces CML269, HQ4-C y S03, esta diferencia se debe a que el maíz Mejen es un genotipo adaptado a las condiciones tanto edáficas como climáticas en la región de estudio.

El análisis de varianza para la producción de MS de olote indica diferencia significativa para el factor fabácea, interacción fabácea-maíz, sistema de producción, maíz, interacción sistema-fabácea e interacción sistema-fabácea-maíz (Cuadro 11). El coeficiente de variación para esta variable fue de 20.80%, lo cual indica, una alta variabilidad en la cuantificación de esta variable.

Los maíces sembrados en asociación con las dos fabáceas presentaron mayor rendimiento de MS ($p \leq 0.05$) que cuando se establecieron en rotación. Así mismo, presentaron mayor MS cuando se establecieron con la fabácea *C. cajan* L., que cuando se sembraron en asociación o rotación con la fabácea *M. deerengiana* L. Por otro lado, no se observó diferencia significativa en la producción de MS de olote entre genotipos de maíz.

3.3.4. Rendimiento de grano (RG)

En relación al RG (Cuadro 11), se observó diferencia significativa para los factores; sistema de producción, maíz, fabáceas y la interacción sistema-maíz. Y no significativo para las

interacciones sistema-fabácea, fabácea-maíz y sistema-fabácea-maíz. Con un coeficiente de variación de 29.44%, lo que indica alta variabilidad en la medición de este parámetro.

Los maíces en asociación con las fabáceas presentaron mayores RG, que cuando se establecen en rotación. Lo que indica que cuando los maíces se asocian con fabáceas no hay efecto negativo, si no al contrario los maíces utilizan el nitrógeno fijado por las fabáceas. En tanto, los genotipos de maíz en cada una de las fabáceas no presentaron diferencia estadística ($p \leq 0.05$) en RG. El maíz híbrido de calidad proteica HQ4-C, presento el mayor RG, comparados a los rendimientos de los genotipos CML269, Mejen y S03, aunque bajos comparado con genotipos de calidad proteínica, estudiados por Mendoza-Elos *et al.* (2006).

3.3.5. Materia seca total (MSt)

El análisis de varianza para MSt (Cuadro 11), indica diferencia significativa para los factores; sistema de producción, fabácea, maíz y para la interacción sistema-maíz. Y no significativo para las interacciones sistema-fabácea, fabácea-maíz y sistema-fabácea-maíz. Con un coeficiente de variación de 15.06 lo que indica una aceptable variación en la determinación de esta variable.

Los maíces en asociación con las fabáceas presentaron mayor contenido de MSt, que en rotación. Los genotipos de maíz presentaron mayor rendimiento de MSt con *C. cajan* L. que con la fabácea *M. deerengiana* L. El maíz híbrido de calidad proteica HQ4-C, presentó mayor rendimiento de MSt que los genotipos CML269, Mejen y S03, pero bajos a los rendimientos de MS reportados por Mendoza-Elos *et al.* (2006).

Dentro de la distribución de los órganos de maíz las hojas, tallo y flor masculina representa el 43 % y el grano el 37.9 % con relación a la producción de MSt, así mismo, similares a 46 % y 55.79 % reportados por Vélez *et al.* (2007). Es importe señalar que el 19.09% lo representa el totomoxtle y el olote (9.51 y 9.58 % respectivamente), cuyo material es exportado del medio y por lo tanto existe pérdida de nutrientes del suelo.

Cuadro 11. Producción de materia seca y grano de maíz en asociación y rotación con fabáceas sembradas en un suelo ácido de la sabana de Huimanguillo, Tabasco.

Sistema de producción (S)	Fabácea (F)	Maíz (M)	Materia seca (MS)				Total	
			Planta	Totomoxtle	Olote	Grano		
Asociación	<i>M. deerengiana</i> L.	CML269	3.09	0.61	0.78	3.51	7.98	
		HQ4-C	3.41	0.74	0.73	4.25	9.12	
		Mejen	3.73	0.56	0.77	2.56	7.61	
		S03	3.00	0.49	0.65	2.97	7.11	
	<i>C. cajan</i> L.	CML269	3.13	0.63	0.60	3.59	7.95	
		HQ4-C	4.17	0.82	0.95	5.27	11.20	
		Mejen	2.86	0.79	0.64	2.74	7.03	
		S03	3.75	0.71	0.84	4.05	9.34	
	Rotación	<i>M. deerengiana</i> L.	CML269	1.49	0.57	0.54	0.59	3.18
			HQ4-C	3.59	0.74	0.65	2.29	7.26
Mejen			2.56	0.89	0.45	1.88	5.78	
S03			2.68	0.64	0.47	2.31	6.10	
<i>C. cajan</i> L.		CML269	1.81	0.55	0.58	1.48	4.42	
		HQ4-C	3.95	0.72	0.59	2.51	7.77	
		Mejen	3.65	0.87	0.86	1.39	6.77	
		S03	3.05	0.70	1.07	2.63	7.46	
Media sistemas (S)								
Asociación			3.39a	0.67a	0.74a	3.62a	8.42a†	
Rotación			2.85b	0.71a	0.65b	1.89b	6.09b	
Media fabáceas (F)								
<i>M. deerengiana</i> L.			2.94b	0.65a	0.63b	2.55a	6.77b	
<i>C. cajan</i> L.			3.30a	0.72a	0.76a	2.96a	7.74a	
Medias maíz (M)								
CML269			2.38c	0.59c	0.62a	2.29bc	5.88c	
HQ4-C			3.78a	0.75ab	0.73a	3.58a	8.84a	
Mejen			3.20b	0.78a	0.68a	2.14c	6.80bc	
S03			3.12b	0.64bc	0.75a	2.99ab	7.50b	
C:V.			21.89	18.90	20.8	29.44	15.06	
Prob. de F para:								
S.			0.01**	0.19NS	0.05*	0.01**	0.01**	
F.			0.05*	0.05*	0.01**	0.05*	0.01**	
M.			0.01**	0.01**	0.01**	0.01**	0.01**	
Interacción (S*F)			0.29NS	0.05*	0.01**	0.38NS	0.86NS	
Interacción (S*M)			0.01**	0.05*	0.12NS	0.05*	0.01**	
Interacción (F*M)			0.67NS	0.42NS	0.01**	0.44NS	0.18NS	
Interacción (S*F*M)			0.05*	0.71NS	0.01**	0.44NS	0.12NS	

† Valores con distinta literal dentro de la columna, indica diferencia estadística para fabáceas, maíz y sistema de producción según Tukey ($p \leq 0.05$). ** Efecto altamente significativo, * Efecto significativo, NS: no significativo.

3.3.6. Nitrógeno total de maíz

El análisis de varianza para rendimiento de nitrógeno total (RNt), de maíz (Cuadro 12), indica diferencia significativa para los factores; maíz, interacción sistema-maíz, interacción sistema-fabácea y no significativo para sistema de producción, fabácea y las interacciones fabácea-maíz y sistema-fabácea-maíz. Para esta variable se presenta un coeficiente de variación de 26.33%, indicando una aceptable variación para esta variable.

Los genotipos de maíz en asociación y rotación con las fabáceas no presentaron diferencia en el contenido de nitrógeno en paja. Así mismo, para el factor fabácea no se presentó diferencia alguna. Y no así, para el factor maíz, donde el genotipo HQ4-C presentó mayor contenido de nitrógeno en paja, superando a los maíces CML 269, Mejen y S03.

Con relación con el contenido de Nt de totomoxtle se encontró diferencia significativa para sistema de producción (Cuadro 12). Y no significativo para fabácea, maíz, y las interacciones sistema-fabácea, fabácea-maíz y sistema-fabácea-maíz. El coeficiente para esta variable fue de 26.42%, variabilidad aceptable en la determinación de este variable.

Los maíces en asociación con las fabáceas presentaron mayor contenido de N, que en rotación. No se encontró diferencia para el factor fabácea, el cual se debió a que los contenidos de nitrógenos fueron similares. En los contenidos de nitrógeno de los maíces no se encontró diferencia. Es importante mencionar que este se extraen entre 7.62 y 9.23 kg ha⁻¹ de N en el totomoxtle, el cual es exportado del sistema, y no regresa.

El análisis de varianza para el contenido de nitrógeno en olote (Cuadro 14), indica diferencia significativa para los factores; sistema de producción, maíz, interacciones sistema-maíz, sistema-fabácea-maíz y la interacción fabácea-maíz. Asimismo, no se observó diferencia para los factores fabácea y la interacción sistema-fabácea. Encontrándose así, un coeficiente de variación de 20.66%, el cual indica una aceptable variabilidad para esta variable.

Los maíces en asociación o en rotación con las dos fabáceas presentaron contenidos similares de N en el olote. Así mismo, el N de olote de los maíces en las fabáceas fue igual. El sistema donde, presentaron mayor RN de olote los maíces fue en el sistema de asociación fabácea-

maíz. El RNt del olote generalmente nos refleja el contenido de nitrógeno que se está exportando en esta parte de la mazorca.

Y referente al contenido de NtG (Cuadro 12) indica diferencia significativa para los factores; sistema de producción, fabácea, maíz y sus interacciones fabácea-maíz, sistema-fabácea-maíz. Asimismo, no se observó diferencia significativa para las interacciones sistema-fabácea y sistema-maíz. El coeficiente para esta variable fue de 32.21%, el cual indica que hubo variabilidad en la determinación de esta variable.

Los genotipos de maíces presentaron mayor RN en grano en asociación, que en rotación. También es importante mencionar que las fabáceas no presentaron un efecto en el incremento en el contenido de nitrógeno en el grano. Por otro lado, el maíz híbrido HQ4-C presentó el mayor rendimiento de grano, superando estadísticamente a los genotipos CML269, Mejen y S03, cuyos contenidos de Nt en granos fueron mayores a los 65.2 kg ha⁻¹ reportados por Fallah y Tadayyon (2010).

El análisis de varianza para Nt en maíz (Cuadro 12), indicando diferencia significativa para los factores; sistema de producción, maíz interacción fabácea-maíz, fabáceas y la interacción sistema-fabácea-maíz. Y no significativo para las interacciones sistema-fabácea y sistema-maíz. Con un coeficiente de variación de 21.86%, lo que indica aceptable diferencia en esta variable.

Los maíces en asociación con las fabáceas *C. cajan* L., y *M. deerengiana* L., presentaron mayor contenido de nitrógeno que en rotación, esto indica que la calidad de absorción de nitrógeno no se afecta en el manejo del cultivo. Por otro lado, no se encontró efecto algunos de las fabáceas en el contenido de Nt en los genotipos de maíz. El maíz híbrido de HQ4-C, presentó mayor contenido de Nt que de los genotipos CML269, Mejen y S03, pero inferior a los 165.3 reportado por Fallah y Tadayyon (2010).

La caña y flor masculina representan el 33.1%, el grano el 55.8%, el totomoxtle 6.6% y el olote 5.3% del contenido total de nitrógeno del maíz. Lo que indica que el 67.7% del nitrógeno absorbido por el maíz es exporta del medio en la mazorca, lo cual coincide con los resultados reportados por Adu-Gyamfi *et al.* (2007).

Cuadro 12. Nitrógeno total de genotipos de maíz en asociación y rotación con fabáceas sembradas en un suelo ácido de la sabana de Huimanguillo, Tabasco.

Sistema de producción (S)	Fabácea (F)	Maíz (M)	Nitrógeno (N)				Total
			Planta	Totomoxtle	Olote	Grano	
kg ha ⁻¹							
Asociación	<i>M. deerengiana</i> L.	CML269	50.66	8.16	6.67	89.50	54.98
		HQ4-C	43.86	8.99	6.92	80.99	40.75
		Mejen	39.80	7.28	8.84	82.82	38.74
		S03	38.80	6.38	6.62	102.76	54.56
	<i>C. cajan</i> L.	CML269	41.50	5.90	6.80	85.42	39.61
		HQ4-C	46.72	8.39	11.52	152.95	19.58
		Mejen	31.18	8.12	6.45	82.93	128.66
		S03	38.41	9.28	6.10	93.85	47.64
Rotación	<i>M. deerengiana</i> L.	CML269	18.88	8.92	3.57	15.27	6.64
		HQ4-C	46.60	8.36	7.85	56.60	19.41
		Mejen	43.00	10.25	6.50	47.72	07.46
		S03	41.22	8.75	5.49	57.68	13.14
	<i>C. cajan</i> L.	CML269	31.08	7.51	3.96	59.05	01.60
		HQ4-C	71.64	8.68	4.71	57.08	42.10
		Mejen	18.63	10.97	7.52	45.81	2.93
		S03	58.31	10.44	9.85	42.65	21.25
Media sistemas (S)							
Asociación			41.36a	7.81b	7.49a	96.40a	153.05a†
Rotación			43.80a	9.23a	6.18b	45.11b	104.32b
Media fabáceas (F)							
<i>M. deerengiana</i> L.			41.6a	8.38a	6.56a	65.42a	121.96a
<i>C. cajan</i> L.			43.56a	8.66a	7.11a	76.09a	135.42a
Medias maíz (M)							
CML269			35.53b	7.62a	5.25a	62.31b	110.71b
HQ4-C			54.70a	8.60a	7.75a	84.40a	155.46a
Mejen			39.90b	9.15a	7.33a	58.07b	114.45b
S03			40.19b	8.71a	7.01a	78.23ab	134.15ab
C:V.			26.33	26.42	20.66	32.21	21.86
Prob. de F para:							
S.			0.39NS	0.05*	0.01**	0.01**	0.01**
F.			0.48NS	0.63NS	0.12NS	0.05*	0.05*
M.			0.01**	0.28NS	0.01**	0.01**	0.01**
Interacción (S*F)			0.05*	0.92NS	0.78NS	0.48NS	0.79NS
Interacción (S*M)			0.01**	0.29NS	0.01**	0.49NS	0.21NS
Interacción (F*M)			0.49NS	0.08NS	0.08NS	0.01**	0.01**
Interacción (S*F*M)			0.66NS	0.9NS	0.54NS	0.01**	0.05*

† Valores con distinta literal dentro de la columna, indica diferencia estadística para fabáceas, maíz y sistema de producción según Tukey ($p \leq 0.05$). ** Efecto altamente significativo, * Efecto significativo, NS: no significativo.

3.3.7. Abono verde de fabáceas (AV)

Los resultados del análisis de varianza (Cuadro 13) de producción de Biomasa fresca (AV), indican diferencia significativa para los factores; sistema de producción, fabácea y su interacción sistema-fabácea. No se observó diferencia significativa para maíz, interacción sistema-maíz, fabácea-maíz y sistema-fabácea-maíz. Se encontró un coeficiente de variación de 30.82%, lo que indica aceptable variabilidad en la estimación de esta variable.

En relación a las fabáceas en asociación y rotación con los maíces, la fabácea *C. cajan* L., presentó el mayor rendimiento de AV, superando significativamente a *M. deerengiana* L. En general las fabáceas en asociación y en rotación con los maíces presentaron contenido similar de AV, aunque, no hubo diferencia entre los maíces. En asociación las fabáceas presentaron mayor AV que en rotación, y superior a los 6.1 Mg ha⁻¹ reportados por Córdova-Sánchez *et al.* (2011).

3.3.8. Materia seca de fabáceas (MS)

El análisis de varianzas para la variable MS (Cuadro 13) indica diferencia significativa para los factores; sistemas de producción, fabácea y sistema-fabácea. Y no significativo para maíz, y las interacciones sistema-maíz, fabácea-maíz y sistema-fabácea-maíz. Con un coeficiente de variación de 30.07% indicando aceptable variabilidad.

Las fabáceas presentaron mayor MS ($p \leq 0.05$) en asociación con los maíces, que en rotación, ejemplo es la asociación *C. cajan* L-S03, indujo mayor producción de MS que en rotación. La fabácea, *C. cajan* L., presentó el mayor rendimiento de MS, superando significativamente a *M. deerengiana* L., y similares a los reportados por Mayz-Figueroa (2007). Y con respecto a los genotipos de maíz, no presentaron efecto alguno sobre la producción de MS de las fabáceas, debido a que los resultados fueron iguales.

3.3.9. Producción de nódulos en fabáceas

El análisis de varianza para el número de nódulos (Cuadro 13), indica diferencias significativas para los factores; sistema de producción, fabácea, maíz, sistema-fabácea, sistema-maíz, fabácea-maíz y sistema-fabácea-maíz. El coeficiente de variación para esta variable fue de 132.3%, el cual indica diferencia relativamente alta en número de nódulos entre las fabáceas en estudio.

En términos de nodulación, las fabáceas presentaron mayor número de nódulos en asociación con los maíces, que en rotación. La fabácea, *C. cajan* L., presentó estadísticamente mayor ($p \leq 0.05$) número de nódulos por planta, que la fabácea *M. deerengiana* L., así mismo, mayores a los resultados reportados por Mayz-Figueroa (2007) y bajos a los reportados por Córdova-Sánchez *et al.* (2011). Las fabáceas presentaron mayor número de nódulos por planta, asociada al maíz criollo (Mejen) y con S03, que los genotipos CML269 y HQ4-C.

3.3.10. Masa seca de nódulos de fabáceas

En relación al análisis de varianza para MSN (Cuadro 13) indica diferencias significativas para los factores; sistema de producción, fabácea, maíz y las interacciones sistema-fabácea, sistema-maíz, fabácea-maíz y sistema-fabácea-maíz. Sin embargo, es importante señalar que se observó un coeficiente de variación de 70.29% indicando una gran variabilidad en este parámetro.

Las expresiones de MS de nódulos de las fabáceas fueron mayores en la asociación, que en rotación con el maíz, los valor mayor fue en las asociaciones *C. cajan*-CML269 y *C. cajan*-S03. En relación al factor fabáceas *C. cajan* L., presentó el mayor contenido de materia seca de nódulos, superando significativamente a *M. deerengiana* L., así mismo, también fue superior a los reportados por Mayz-Figueroa (2007). La acidez del suelo de sabana, no afecta la nodulación de las fabáceas, aunque se produjo bajo número y MS de nódulos, con respecto a los reportados por Córdova-Sánchez *et al.* (2001).

3.3.11. Nitrógeno total de fabáceas

Con respecto a la variable Nt (Cuadro 13) indica diferencia significativa para los factores; sistema de producción, fabácea, maíz, sistema-fabácea y fabácea-maíz, sistema-maíz, sistema-fabácea-maíz y sistema-leguminosa-maíz. Y no se observó diferencia para la interacción leguminosa-maíz. El coeficiente para esta variable fue de 23.94%, el cual indica que hubo poca variabilidad en la determinación de este parámetro.

Las fabáceas establecidas en asociación al cultivo de maíz, presentaron mayor contenido de Nt, que en rotación, encontrándose los mayores RNt en las asociaciones *C. cajanu*-S03 y *C. cajan*-CML269. La fabácea *C. cajan* L., presentó mayor RNt, superando estadísticamente ($p \leq 0.05$) a *M. deeringiana* L., e inferiores a los 159 kg ha⁻¹ reportados por Córdova-Sánchez *et al.* (2011). Las fabáceas presentaron mayor RNt en el genotipo de maíz S03, superando significativamente a los maíces CML269, Mejen y HQ4-C.

3.3.12. Fijación biológica de nitrógeno (FBN)

El análisis de varianza para el FBN (Cuadro 13), indica diferencias significativas para los factores; sistema de producción, fabácea, maíz, sistema-fabácea, sistema-maíz, fabácea-maíz y sistema-fabácea-maíz. El coeficiente de variación para esta variable fue de 27.91% que significa una aceptable variación para esta variable.

Las fabáceas presentaron mayor N fijado en asociación que en rotación con el cultivo de maíz, el mayor contenido fue en la asociación *C. cajan*-S03 y *C. cajan*-CML269, y similares a 128 y 144 kg N ha⁻¹ reportados por Córdova-Sánchez *et al.* (2011). La fabácea que presentó mayor N fijado en ambos sistemas de producción fue *C. cajan* L., e inferiores a 70 kg ha⁻¹ (Adu-Gyamfi *et al.* (2007). Las fabáceas presentaron mayor N fijado en el maíz CML-269 y S03, que en los genotipos HQ-4 y en el maíz Mejen. Además la sequía limitó la nodulación de las fabáceas y la FBN (Córdova-Sánchez *et al.*, 2011, Marín *et al.*, 2004, Leidi y Rodríguez, 2000).

Cuadro 13. Producción de biomasa, número y masa seca de nódulos, Nt y N fijado de fabáceas en asociación y rotación con maíces en un suelo ácido de la sabana de Huimanguillo, Tabasco.

Sistema de producción (S)	Fabácea (F)	Maíz (M)	AV	MS	No. Nódulos Planta ⁻¹	MS Nódulos g planta ⁻¹	Ntotal	FBN
			Mg ha ⁻¹			Kg ha ⁻¹		
Asociación	<i>M. deerengiana</i> L.	CML269	6.69	2.00	5.17	0.42	41.92	36.29
		HQ-4	5.04	1.67	3.43	0.41	40.08	21.56
		Mejen	4.86	1.52	7.53	0.77	44.49	8.41
		S03	6.18	1.79	5.69	0.34	49.69	10.58
	<i>C. cajan</i> L.	CML269	12.14	4.57	31.71	1.94	172.43	65.38
		HQ4-C	7.97	2.97	45.44	0.98	133.36	45.27
		Mejen	10.79	4.04	23.65	0.75	161.65	61.78
		S03	12.22	4.57	35.62	1.43	259.59	75.31
Rotación	<i>M. deerengiana</i> L.	CML269	5.42	2.00	3.06	0.36	34.03	8.67
		HQ4-C	3.86	1.71	4.29	0.33	45.31	4.58
		Mejen	3.87	1.73	7.71	0.38	40.51	17.38
		S03	4.27	1.77	5.67	0.34	45.47	7.72
	<i>C. cajan</i> L.	CML269	3.91	1.68	10.94	0.21	32.25	3.41
		HQ4-C	5.13	2.29	6.27	0.11	20.37	4.41
		Mejen	3.70	1.74	7.92	0.15	61.14	14.45
		S03	3.97	1.97	6.73	0.13	64.61	25.27
Media sistemas(S)								
Asociación			8.23a	2.89a	19.78a	0.88a	112.90a	40.57a†
Rotación			4.27b	1.86b	6.46b	0.25b	42.96b	10.74b
Media fabáceas (F)								
<i>M. deerengiana</i> L.			5.02b	1.77b	5.37b	0.42b	42.69b	14.40b
<i>C. cajan</i> L.			7.48a†	2.98a	20.99a	0.71a	113.17a	36.91a
Medias maíz (M)								
CML269			7.04a	2.56a	11.16b	0.73a	70.16b	28.44a
HQ4-C			5.50a	2.16a	7.02c	0.46a	59.78b	18.95b
Mejen			5.81a	2.26a	16.47a	0.51a	76.95b	25.50ab
S03			6.66a	2.52a	18.08a	0.56a	104.84a	29.72a
C:V.			30.82	30.07	132.3	70.29	23.94	27.91
Prob. De F para:								
Sistema			0.01**	0.01**	0.01**	0.01**	0.01**	0.01**
Fabácea			0.01**	0.01**	0.01**	0.01**	0.01**	0.01**
Maíz			0.09NS	0.31NS	0.96NS	0.25NS	0.01**	0.01**
Interacción (S*F)			0.01**	0.01**	0.01**	0.01**	0.01**	0.01**
Interacción (S*M)			0.12NS	0.13NS	0.82NS	0.42NS	0.01**	0.01**
Interacción (F*M)			0.85NS	0.73NS	0.73NS	0.05*	0.01**	0.01**
Interacción (S*F*M)			0.21NS	0.14NS	0.76NS	0.05*	0.01**	0.05*

† Valores con distinta literal dentro de la columna, indica diferencia estadística para fabáceas, maíz y sistema de producción según Tukey ($p \leq 0.05$). ** Efecto altamente significativo, * Efecto significativo, NS: no significativo.

3.4. CONCLUSIONES

Los maíces presentaron mayor producción de MS de planta, totomoxtle y total en la fabácea *C. cajan* L. En asociación los maíces presentaron el mayor contenido de Nt en olote, grano y total. Y en rotación se presentó el mayor contenido de Nt en totomoxtle. El maíz híbrido de calidad proteínica HQ4-C presento mayor contenido de Nt en planta, grano y total.

La fabácea *C. cajan* L., presentó los mayores rendimiento de AV, MS planta y nódulos, NN, Nt y Nf, comparada con *M. deerengiana* L. Las fabáceas presentaron mayor NN, Nt y Nf cuando estuvieron en asociación o con la variedad sintética S03 en comparación cuando estuvieron con los genotipos CML269, HQ4-C y criollo.

El mejor sistema de producción para el cultivo de maíz en los suelos ácidos de la sabana de Huimanguillo, es el sistema de asociación fabácea-maíz, así mismo, el maíz HQ4-C de calidad proteínica y la fabácea *C. cajan* L.

3.5. BIBLIOGRAFÍA

- Axmann, H., A. Sebastianelli, y Arrillaga L. J. 1990. **Sample preparation techniques of biological material for isotope analysis.** pp. 41-53. In: Hardarson, G. (Ed.). Use of nuclear techniques in studies of soil-plant relationship. Internactional Atomic Energy Agency. Viena, Austria. 146 pp.
- Adu-Gyamfi, J. J., Fidelis A. Myaka, F. A., Sakala, W. D., Odgaard, R., Vesterager, J. M. y Høgh-Jensen, H. 2007. **Biological nitrogen fixation and nitrogen and phosphorus budgets in farmer-managed intercrops of maize–pigeon pea in semi-arid southern and eastern Africa.** Plant Soil. 295 (1-2): 127–136.
- Blacklow, W. M. 1972. **Influence of temperature on germination and elongation of the radicle and shoot of corn (*Zea mays* L.).** Crop Sci. 12 (5): 647-650.
- Castillo-Caamal, J. B., Caamal-Maldonado, J. A., Jiménez-Osorio, J. J. M., Bautista-Zúñiga, F., Amaya-Castro, M. J. y Rodríguez-Carrillo, R. 2010. **Evaluación de tres leguminosas como coberturas asociadas con maíz en el trópico subhúmedo.** Agronomía Mesoamericana. 21 (1): 39-50.
- Córdova-Sánchez, S., Castelan-Estrada, M., Salgado-Grcía, S., Palma-López, J. D., Vera-Núñez, J. A., Peña-Cabriales, J. J., Lagunes-Espinoza, L. C. y Cardenas-Navarro, R. 2011. **Fijación biológica de nitrógeno por tres fabáceas (Leguminosae) en suelos ácidos de Tabasco, México.** Avances en Investigación Agropecuaria. 15 (1): 31-50
- Fallah S. y Tadayyon A. 2010. **Uptake and nitrogen efficiency in forage maize: effects of nitrogen and plant density.** Agrociencia. 44 (5): 549-560
- Fassbender, W. H. 1984. **Química de suelos en énfasis en suelos de América Latina.** IICA. San José, Costa Rica. 398 pp.
- González, A. y Acosta, Y. 2007. **Indicadores de sostenibilidad en la sierra del estado Falcón, Venezuela.** Ciencias ambientales. Multiciencias. 7 (2): 126-133.
- INIFAP, 2010. **Red Nacional de Estaciones Estatales Agroclimatológicas.** <http://clima.inifap.gob.mx/redclima/clima/est.aspx?numest=38819> (Accesada en julio, 2010).

- Leidi, E. O y Rodríguez, N. D. N. 2000. **Nitrogen and phosphorus availability limit N₂ fixation in bean.** New Phytol. 147 (2): 337-346.
- Marcano, E., González, M., Leal, A. y Michelena, V. 2001. **Fijación biológica de N₂ por Pachecoa venezuelensis en dos suelos de sabana del Oriente Venezolano.** Revista UDO Agrícola. 1 (1): 64-69.
- Martín, G. M., Rivera, R. A. y Mujica, J. 2007. **Estimación de la fijación biológica de nitrógeno de la *Canavalia ensiformis* por el método de la diferencia de N total.** Cultivos tropicales. 28 (4): 75-78
- Marín, A., Mathias, D. M. D., Arribadlo, B. D. y Ferraudó, S. A. 2004. **Germinacao de sementes de guando sobe feito da disponibilidade hídrica e de does subletais de aluminio.** Bragantia, Campinas. 63 (1): 13-24.
- Martínez, G. A. 1988. **Diseños experimentales. Métodos y elementos de teoría.** Editorial Trillas. México, D. F. 756 pp.
- Mayz-Figueroa F. 2007. ***Cajanus Cajan* L.: Fijación biológica de nitrógeno (FBN) en un suelo de sabana.** Rev. Fav. Agron. (LUZ). 24 (1): 312-317
- Mendoza-Elos, M., Mosqueda-Villagómez, C., Rangel-Lucio, J. A., López-Benítez, A., Rodríguez-Herrera, S. A., Latournerie-Moreno L. y Moreno-Martínez E. 2006. **Densidad de población y fertilización nitrogenada en la clorofila, materia seca y rendimiento de maíz normal y QPM.** Agricultura Técnica México. 32 (9): 1-8
- Moguel, E. y Molina-Enríquez, F. 2000. **La precipitación pluvial en Tabasco y Chiapas.** Kuxulkab, revista de divulgación científica de la División Académica de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. 10 (5): 1-19.
- Salgado, G. S. y Núñez, E. R. 2010. **Manejo de fertilizantes y abonos orgánicos.** Colegio de Postgraduados y Mundi Prensa. México. 146 pp.
- Salgados-García, S., Palma- López, D. J., Lagunes-Espinoza, L. C. y Castelan-Estrada, M. 2006. **Manual para el muestreo de suelos planta y agua e interpretación de análisis.** Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco, ISPROTAB. H. Cárdenas, Tabasco, México. 90 pp.

SAS, 2002. **SAS/STAT guide for personal computer. Ver 9.0** SAS Inst., Inc., USA.

Vélez, V. D. L., Clavijo, P. J. y Ligarreto, M. A. G. 2007. **Análisis ecofisiológico del cultivo asociado maíz (*Zea mays* L.) – frijol voluble (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín. 60 (2): 1-17.

Vincent, C. D. 1989. **Recent advances in modelling crop response to temperature**. Outlook in Agriculture 18 (2): 54-57.

VII. CONCLUSION GENERAL

De acuerdo a los resultados obtenidos en las tres investigaciones: Utilización de ^{15}N -fertilizante por genotipos de maíz (*Zea mays* L.) en suelos ácidos de la sabana de Huimanguillo, Tabasco, México; Estimación de la eficiencia de fijación biológica de nitrógeno de fabáceas en suelos ácidos de Huimanguillo, Tabasco, México; y Maíz en asociación y rotación con fabáceas en suelos ácidos de la sabana de Huimanguillo, Tabasco, México, se desprenden las siguientes conclusiones generales.

En la primer etapa de esta investigación se utilizaron maíces criollos, variedad sintética y híbridos (normal y QPM), el estudio fue sobre la eficiencia de utilización del nitrógeno, con fertilizante marcado con ^{15}N en suelos ácidos, ya que este tipo de técnica permitió seleccionar cuatro maíces, esto para utilizarlos en asociación con fabáceas en los suelos ácidos de la sabana de Huimanguillo, Tabasco.

Los maíces se dividieron en tres grupos de acuerdo al rendimiento y a la eficiencia de utilización del N del fertilizante; 1) conformado por los de alto rendimiento de grano y baja eficiencia de utilización de N quedando los genotipos QPM H-513C, CML-269, HQ-1 y SOOTLW-B.M., 2) constituido con los de alto rendimiento y media eficiencia de utilización, resultando dentro este grupo los genotipos V-236, CML-264, QPM CLQRCWQ10C, QPM CML-264C, y 3) con Mejen, Totomoxtle morado, CML-144C y HQ-4C, genotipos de alto rendimiento y alta eficiencia, los cuales fueron

En la segunda etapa la fabácea que presentó el mejor comportamiento en la producción de AV, MS, MSN, NT y NF fue *M. deerengiana* L., por lo que representa una opción para mejorar o mantener la fertilidad de los suelos ácidos del trópico húmedo de la sabana de Huimanguillo, Tabasco. *C. cajan* L., presentó el más alto NN. Las otras dos fabáceas presentaron los más bajos promedios en todas las variables.

En esta tercera etapa se establecieron los cuatro maíces con alta EUNF y alto rendimiento de grano (RG), baja EUNF y alto RG, alta EUNF y rendimientos medios de grano y EUNF y bajos RG y fabácea con altos rendimientos de AV, MS, MSN, NN, Nt y NF. Seleccionados en

la primera y segunda, estas se establecieron en dos sistemas de producción (asociación y rotación).

En la asociación con las dos fabáceas los cuatro maíces presentaron mayor rendimiento de MS (planta, olote y producción total) y RG, no así para el rendimiento de MS de totemoxtle. Con la fabácea *C. cajan* L., los maíces mostraron mayor producción de MS de planta, olote y total, y para la producción de MS de totemoxtle y grano fueron similares para ambas fabáceas.

El maíz híbrido de calidad proteínica HQ4-C mostró mayor RG y producción de MS de planta y total, por otro lado el maíz criollo obtuvo mayor producción de totemoxtle en comparación con el resto de maíz.

Los cuatro maíces presentaron mayor contenido de Nt en olote, grano y total cuando estuvieron en asociación y los mayores contenidos de Nt en totemoxtles cuando estuvieron en rotación con las fabáceas. El maíz híbrido de calidad proteínica HQ4-C presento mayor contenido de Nt en planta, grano y total en que los genotipos CML269, Mejen y S03, no así para los otros componentes, donde los contenidos fueron similares para todos.

Las fabáceas cuando estuvieron en asociación con los maíces presentaron mayor producción de AV, MS, N y MS de nódulos, al contenido de Nt y alta tasa FBN, que cuando estuvieron en rotación.

C. cajan L., mostro mayor producción de AV, MS, N y MS de nódulos, la más alta tasa de FBN y el más alto contenido de Nt que la fabácea *M. deerengiana* L.

Con los genotipos Mejen y S03 las dos fabáceas presentaron mayor producción de nódulos por planta. Así mismo, en la variedad S03 presentaron mayor contenido de Nt, y igualmente con la variedad S03 y con el Híbrido CML269 presentaron la tasa más alta FBN.

En general se concluye que el mejor sistema de producción para el cultivo de maíz en los suelos ácidos de la sabana de Huimanguillo, es la asociación Fabácea-maíz, asimismo, el maíz HQ4-C de calidad proteínica y la fabácea *C. cajan* L.

VIII. BIBLOGRAFIA

- A.V.C.D.R. 1981. **Progress Report. Assian Vegwetable Research and Development Center.** Shanhua, Taiwan. Republic of China. 85 pp.
- Alam, S.M. y W.A. Adams 1979. **Effects of aluminum on nutrient composition and yield of oats.** Plant. Nutr. L 14: 365-375.
- Allen, O.N. y E.K. Allen. 1981. **The Leguminosae: A source book of characteristics, uses and nodulation.** U.S.A.: University of Wisconsin Press. Madison, WI.
- Anon. 1992. **Annual Report 1991.** International Centre for Research in Agroforestry (ICRAF), Nairobi. 148 pp.
- Barneby, R. C. 1989. **Intermountain Flora.** Fabales, vol. 3, part B. New York Botanical Garden, Bronx, New York. 11-279 pp.
- Baudoin, J. P. 1988. **Genetic resources, domestication and evolution of Lima bean, Phaseolus lunatus.** *En:* Genetic Resources of *Phaseolus* Beans. P. Gepts (Ed.). Kluwer Academic Publishers. 393-407 pp.
- Beebe SE, Ochoa I, Skroch P, Nienhuis J, y Tivang J. 1995. **Genetic diversity among common bean breeding lines developed for Central America.** Crop Science 35 (4): 1178–1183.
- Beyra, A. y Reyes, A. G. 2004. **Revisión taxonómica de los géneros Phaseolus y Vigna (Leguminosae-Papilionoideae) en Cuba.** Anales del Jardín Botánico de Madrid. 61 (2): 135-154.
- Bouwman, A. F. 1990. **Soil and the Greenhouse Effect.** John Wiley & Sons, New York. 128 pp.
- Broughton WJ, Hernández G, Blair M, Beebe S, Gepts P y Vanderleyden J. 2003. **Beans (Phaseolus spp.) model food legumes.** Plant Soil 252 (1): 55–128.
- Burkart, A. 1952. **Las leguminosas argentinas silvestres y cultivadas.** 2^a. Ed. Buenos Aires. 570 pp.

- Calvino, M. 1952. **Plantas forrajeras tropicales y subtropicales**. Ed. Agrícola. Trucco. México. 269 pp.
- Camas, G. R. 1991. **Evaluación de especies en relevo de maíz para terrenos intermedios en la Fraylesca, Chiapas**. *En*: Memorias del primer seminario sobre manejo de suelos tropicales en Chiapas. Centro de Investigaciones Ecológicas del Sureste, San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México.
- Cervantes-Umaña, C. 1996. **Fijación simbiótica de nitrógeno atmosférico usando técnicas isotópicas de ^{15}N en condiciones de invernadero**. Organization for Tropical Studies. Memoria. San José. Costa Rica. 3 (104): 8-12.
- Chávez, R.L. 1993. **Efecto residual de la Mucuna sobre el rendimiento de maíz bajo diferentes sistemas de manejo**. *En* Buckles, D., ed., Gorras y sombreros: caminos hacia la colaboración entre técnicos y campesinos. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, México. 89-96 pp.
- CIMMYT. 1994. **1993/94 world maize facts and trends**. México, DF.
- Costa, J.S.A., Bouldin, D.R. y Suhet, A.R. 1993. **Evaluation of N recovery from Mucuna placed on the surface or incorporated in a Brazilian oxisol**. *Plant Soil*. 124 (1): 91-96.
- Cronquist, A. 1981. **An integrated system of classification of flowering plants**. The New York Botanical Garden, Bronx, New York, pp. 592-601.
- Crutzen, P. J. 1981. **Atmospheric chemical processes of the oxides of nitrogen, including nitrous oxide**. *In*: **Denitrification, Nitrification and Atmospheric N_2O** . Delwiche, C. C. (ed). John Wiley & Sons. Chichester, U. K. 14-44 pp.
- Debouck DG y Tohme J. 1989. **Implications for bean breeders of studies of the origins of common beans, Phaseolus vulgaris**. *In*: Beebe S, editor. Currents topics in breeding of common bean. Working document N°47. CIAT, Cali, Colombia. 3-42 pp.
- Debouck DG, Toro O, Paredes OM, Jonson WC y Gepts P. 1993. **Genetic diversity and ecological distribution of Phaseolus vulgaris (Fabaceae) in Northwestern South America**. *Economic Botany*. 47 (4): 408-423.

- Delgado, R., Ramirez, R. y Urquiaga S. 2001. **Colocación del nitrógeno en el suelo y la eficiencia del uso por el maíz.** Agronomía Tropical. 51 (13): 335 – 350.
- Díaz-Hernández, U. 1995. **Evaluación de la capacidad de fijación simbiótica de nitrógeno de la Mucuna sp. su velocidad de mineralización mediante la utilización de la técnica de ^{15}N bajo condiciones de laboratorio.** Tesis de licenciatura en ingeniería Agronómica. Universidad Nacional, Escuela de Ciencias Agrarias. Heredia (Costa Rica). 87 pp.
- Duggar, J.F. 1899. **Velvet beans.** Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn, AL, EUA. Bulletin No. 104
- Duke, J. A. 1983. **Sesbania grandiflora.** Handbook of Energy Crops (unpublished)
- Duke, J.A. 1981. **Handbook of legumes of world economic importance.** Plenum Press, Nueva York, NY, EUA.
- Durón, E., Núñez, M.A., Ávila, R., Gutiérrez, R., Salinas, A., Aguilar, H., Zúñiga de Ramos, L., y Atuñez, H. 1989. **Avances sobre investigación de abonos verdes en el litoral Atlántico de Honduras.** En Proyectos colaborativos de agronomía, desarrollo y mejoramiento de germoplasma en maíz (*Zea mays* L.). Regional Maize Program for Central America and the Caribbean, Guatemala. 239-254 pp.
- Duxbury, J. M. 1994. **The significance of agricultural sources of greenhouse gases.** Fert. Res. 38 (2): 151-163.
- Escárzaga, G. E. 1987. **Determinación del potencial alelopático del nescafé *Stizolobium pruriens* sobre cinco cultivos y tres malezas.** Tesis profesional. Instituto Técnico del Estado Superior de Monterrey. Campus Querétaro, México. 82 pp.
- FAOSTAT, **Producción de productos alimentarios agrícolas 2007.**
<http://faostat.fao.org/DesktopDefault.aspx?pageid=339&country=138&lang=es>.
 (Accesada en mayo, 2010).
- Ferris, E.B. 1917. **Velvet bean in Mississippi.** Mississippi Agricultural Experiment Station, Jacksonville, MS, EUA. Boletín No. 179.

- Fixen, P. 1994. **Dinámica suelo-cultivo del fósforo y manejo de los fertilizantes fosfatados (parte II)**. Informaciones Agronómicas. Instituto de la Potasa y el Fósforo. Quito, Ecuador 17: 9-12.
- Friensen, D. K., Rao I M., Thomas R. J., Oberson y Sanz J. I. 1997. **Phosphorus acquisition and cycling in crop and pasture systems in low fertility tropical soils**. Plant Soil. 196 (2): 289-294.
- Gliessman, S. R. 1983. **Allelopathic interaction in crop weeds mixturex**. Application for weed management. J. Of Chemical. Ecol. 9: 991-999.
- Hairiah, K. 1992. **Aluminum tolerance of Mucuna, a tropical leguminous cover crop**. University of Groningen, Haren, Netherlands. Tesis doctoral, 152 pp.
- Hettel, G.P. 1989. **Wheat production**. In: Advances in South Américas Colossus. Today, Centro Internacional para el Mejoramiento del Maíz y Trigo, México. 7-14 pp.
- Horst W. J. y R. Hardter. 1994. **Rotation of Maize with cowpea improves yield and nutrient use of Maize compared to Maize monocropping in an alfiso in the northern Guinea Savanna of Ghana**. Plant Soil 160 (2): 171-183.
- Houghton, J. T., G. J. Jenjins, and J. J. Ephraum. 1990. **IPCC (intergovernmental panel on climate changes) climate changes**. Cambridge University Press. Cambridge, U. K. 36-37 pp.
- INEGI. 2005. **Anuario estadístico de Tabasco**. INEGI y Gobierno del estado de Tabasco. Aguascalientes. 453 pp.
- INEGI. 2009. *Sistema para la consulta del anuario estadístico de Tabasco*. <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/sisnav/default.aspx?proy=ae&edi=2009&ent=27> (Accesada en agosto, 2010).
- Jaffe, W. G. and Gaede k. 1959. **Purification of a toxic phytohaemagglutinin from black beans (*Phaseolus vulgaris*)**. Nature 183: 1329–1330.
- Johnson, R.E. y W.A. Jackson. 1964. **Calcium uptake and transport by wheat seedlings as affected by aluminium**. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 28: 381-386.

- Joseph, J. A - Gyamfi, K. F. y Shoitsu, O. 1991. **Competition for phosphorus among plant parts in early and medium duration cultivars of pigeon pea (*Cajanus cajan* L.)**. Plant Soil. 136 (2): 163-169.
- Kaplan L. 1965. **Archeology and domestication in American Phaseolus (Beans)**. Economic Botany 19 (4): 358-368.
- Koenig EM, Singh S. y Gepts P. 1996. **Genetics control of the domestication syndrome in common bean**. Crop Science 36: 1037-1045.
- Kurniatun, H., Meine, V. N., y Slament, S. 1995. **Tolerance and avoidance of Al toxicity by *Mucuna pruriens* Var. utilis at different levels of P supply**. Plant Soil. 171 (1):77-81.
- Latif M. A., Mehuys G. R., Mackenzie A. F., Alli I. y Faris M. A. 1992. **Effects legumes on soil physical quality in a maize crop**. Plant Soil. 140 (1): 15-23.
- Lee, C.R. 1971. **Influence of aluminium on plant growth and mineral nutrition of potatoes**. Agron. J. 63 (4): 604-608.
- León, A. R. 1991. **Nueva Edafología**. Ed. Fontamara, 2da. Edición, México. 177-223 pp.
- Lobo, B., M., Suhel, A. R., Pereira, J. y Resck, D.V.S. 1992. **Legume green manures. Dry-season survival and the effects on succeeding maize crops**. Soil Management Collaborative Research Support Project, Raleigh, NC, EUA. Soil Management CRSP Bulletin. 92-04 pp.
- Malavolta, E., Vitti G. C. y Oliveira, S.A. 1989. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. Piracicaba: Potafos. 201 pp.
- Marcano, L., Gonzales, M., Leal, A. y Michelena, V., 2001. **Fijación biológica de N₂ por *Pachecoa venezuelensis* en dos suelos de sabana del Orientes Venezolano**. Revista UDO Agrícola. 1 (1): 64-69.
- Marín, Cn. D. y Viera, J. 1989. **Crecimiento, nodulación y fijación de nitrógeno en plantas de *Canavalia ensiformis* (L) DC., bajo diferentes dosis de fertilización con nitrógeno y frecuencias de riego**. Agronomía Tropical. 40 (1-3): 103-124.

- Martel Y.A. y Mackenzie A.F. 1980. **Long-term effects of cultivation and land use on soil quality in Quebec.** Can. J. Soil. Sci. 60: 411-420.
- Mayz-Figueroa, J., 2004. **Fijación biológica de nitrógeno.** Revista UDO Agrícola 4 (1): 1-20.
- Meléndez L., Lisazo J. y Ramírez R. 2001. **Efecto de la fertilización nitrogenada sobre dos variedades de maíz (*Zea mays* L.) sometidas a exceso de humedad en el suelo.** Bioagro 13 (3): 111-116.
- Mengel K. y Kirkby, E.A. 1987. **Principios de nutrición vegetal.** 4ª Ed. International Potash Institute. 691 pp.
- Miranda, M. R. 1985. **Control de arvenses y mejoramiento de suelos por medio de leguminosas en un agroecosistema tropical.** Tesis de Maestría. CSAT. Cárdenas, Tabasco. 28 pp.
- Montes de Oca-Pino, P., Cervantes-Umaña, C., Bertsch-Hernández, F., Badilla, W. y García-González, J.E. 1996. **Fenología de la *Mucuna* sp. y el efecto de la cobertura en los contenidos de materia orgánica y nitrógeno en un andisol del Valle Central de Heredia.** Organization for Tropical Studies Memoria. San José. CR. 3 (8-12): 170.
- Morgan, W. J. A., Bending, D. G. y White, J. P. 2005. **Biological costs and benefits to plant-microbe interactions in the rhizosphere.** Journal of Experimental Botany. 56 (417): 1729-1739.
- Palma-López D. J., Cisneros D., E. Moreno C. y J. A. Rincón_Ramirez. 2007. **Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable.** Colegio de Postgraduados-ISPROTAB-FUPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México. 195 pp.
- Polhill R. M. y P. H. Raven 1981. ***Crotalariaeae.*** In: R. M. Polhill & P.H. Raven (eds.) Advances in Legume Systematics. Kew, England. Roy. Bot. Gard. 2 (1): 399-407.
- Ramírez R. y Berenjel T. 1904. **Influencia del aluminio sobre la acumulación y distribución del P, Ca, Mg y al en líneas de maíz.** Agron. Trop. 34 (4-6): 143-152
- Rao I. M., Zeigler, R. S., Vera, R. y Srakarung, S. 1993. **Selection an breeding for acid-soil tolerance in crops.** Bio. Sciencie. 43 (7): 454-465.

- Red de Grupos de Agricultura de Cobertura. 2002. **Base de información sobre especies con potencial de abonos verdes y cultivos de cobertura.** Rockefeller Foundation.
- Reyes, I., Alvarez, L., El-Ayoubi, H. y Valery A. 2008. **Selección y evaluación de rizobacterias promotoras del crecimiento en pimentón y maíz.** *Bioagro* 20 (1): 37-48.
- Rodríguez-Echeverr, S. 2009. **Organismos del suelo: la dimensión invisible de las invasiones por plantas no nativas.** *Ecosistemas* 18 (2): 32-43.
- Ruiz, J. M. y Laird. J. R. 1964. **Tres leguminosas tropicales para abono verde.** *El Campo.* 863: 45-47.
- Segovia V., Machin, A, Pérez, M. y Fuenmayor F. 1999. **Origen, evolución e historia del maíz Venezolano.** [www. Ceniap.gob.ve.mx](http://www.Ceniap.gob.ve.mx) (Accesado en marzo, 2010)
- Sing S. P., Gepts P. y Debouck D. G. 1991a. **Races of common bean (*Phaseolus vulgaris*, Fabaceae).** *Economy Botanic* 45 (3): 379–396.
- Skerman, P. J., Cameron, D. G, y Riveros, F. 1988. **Tropical forage legumes.** FAO Plant Production and Protection Series 2. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 692 pp.
- Sousa S. M. y Delgado S. A. 1993. **Mexican Leguminosae: phytogeography, endemism, and origins.** *In:* T.P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot y J. Fa (eds.). *Biological diversity of Mexico: origins and distribution.* Oxford University Press, New York. 459-511 pp.
- Tracy, S. M. y Coe, H. S. 1918. **Velvet beans.** United States Department of Agriculture, Washington, DC, EUA. Farmers Bulletin 962.
- Urza, H. 2005. **Benefits of symbiotic nitrogen fixation in Chile.** *Ciencia e Investigación Agraria.* 32 (2): 109-124.
- Ustimenko, G. V. y Bakumdvski. 1982. **El cultivo de plantas tropicales y subtropicales.** Ed. MIR. Moscu. URSS. 111-160 pp.
- Van Den Beldt, R.J. 1988. ***Cajanus cajan*: it's more than just a pulse crop.** Nitrogen Fixing Tree association. NFT Highlights 5: 88-06.

Van Rhijin, P. y Vanderleyen, J. 1995. **The *Rhizobium*-plant symbiosis**. Microbiol. Rev. 59 (1): 124-142.

Windler, D. R. 1974. **A systematic treatment of the native unifoliolate *Crotalaria* of North America (Leguminosae)**. Rhodora 76: 151-204.