Universidad Autónoma de Sinaloa

Colegio de Ciencias Agropecuarias

Maestría en Ciencias Agropecuarias

TESIS

PRODUCCIÓN DE BIOMASA, FIJACIÓN DE N_2 Y ACTIVIDAD MICROBIANA DEL SUELO BAJO CULTIVO DE COBERTURA CON *Mucuna pruriens*

PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

PRESENTA

AZAREEL ANGULO CASTRO

DIRECTOR DE TESIS

DR. MANUEL VILLARREAL ROMERO

CULIACÁN DE ROSALES, SINALOA, OCTUBRE DE 2011

ESTA TESIS FUE REALIZADA POR **AZAREEL ANGULO CASTRO**, BAJO LA DIRECCIÓN DEL CONSEJO PARTICULAR QUE SE INDICA, Y HA SIDO APROBADA POR EL MISMO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

CONSEJO PARTICULAR

DIRECTOR _____

DR. MANUEL VILLARREAL ROMERO

CO-DIRECTOR _____

DR. SAÚL PARRA TERRAZA

ASESOR _____

DR. ROGELIO SOSA PÉREZ

ASESOR _____

DR. PEDRO SÁNCHEZ PEÑA

ASESOR _____

DR. SERGIO HERNÁNDEZ VERDUGO

ASESOR _____

DR. JOSÉ LUIS CORRALES MADRID

CULIACÁN DE ROSALES, SINALOA, OCTUBRE DE 2011

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme vida, salud y las fuerzas necesarias para salir adelante y poder realizar mis metas propuestas.

A la Universidad Autónoma de Sinaloa, por el apoyo financiero a través del Programa de Fomento y Apoyo de Investigación (PROFAPI-2010), en el cual colaboré como tesista de Maestría para la formación de recursos humanos de posgrado.

A la Facultad de Agronomía, por darme la oportunidad de llevar a cabo mi formación profesional y escalar un peldaño más en mi vida.

Al Dr. Manuel Villarreal Romero, por sus consejos otorgados, su valiosa colaboración, revisión, asesoría y por todo el apoyo brindado para poder culminar mis estudios de Posgrado y la acertada dirección que hizo posible la realización de la presente tesis.

Al Dr. Saúl Parra Terraza, pos su colaboración y asesoría en los análisis químicos realizados en el laboratorio de química de suelos de la facultad de agronomía.

Al Dr. Rogelio Sosa Pérez, por su valiosa asesoría en las pruebas realizadas en el laboratorio del Cetro de Ciencias de Sinaloa.

A las autoridades de la Coordinación de Posgrado de la Facultad de Agronomía, por su apoyo en mis estudios de maestría.

A los directivos del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP), por facilitarme un espacio para el establecimiento del experimento de campo.

Al Ing. Mario Alfonso Pérez Ahumada y al C. Manuel López Bórquez, por su valiosa colaboración en la realización de los análisis efectuados en el Laboratorio de Química de Suelos de la Facultad de Agronomía.

A todos los maestros tanto de posgrado como de licenciatura, por su invaluable aportación de conocimientos para mi formación profesional.

A mis compañeros de estudio Felipe Menchaca Ceja, Juan José García Gerardo, Daniel Mendoza Medrano, Jesús Enrique Retes Manjarrez y Rafael Lugo Melchor que me brindaron su amistad y compañía durante mis estudios.

DEDICATORIAS

A MIS PADRES

José María Angulo Rodríguez y Mireyda Castro Castro, quienes me dieron la vida, todo su amor, un apoyo incondicional, me dedicaron su tiempo y esfuerzo para guiarme por el buen camino y llegar a ser un hombre de provecho, gracias a ustedes he logrado concluir una meta más en mi vida y espero seguir contando con su valioso apoyo. Mil gracias padres queridos.

A MIS HERMANOS

Emmanuel Angulo Castro, José María Angulo Castro y Alberto Angulo Castro por brindarme todo su apoyo y confianza, por creer en mí, por darme ánimos en los momentos más difíciles durante mi vida y mi carrera profesional. Los quiero mucho hermanos.

A MI ABUELA

Modesta Rodríguez García (qpd), por todo su cariño y sus consejos los cuales me alentaron en los momentos difíciles de mi vida y me dieron el valor para salir adelante.

CONTENIDO

Pág.

ÍNDICE DE CUADROS---------- i

ÍNDICE DE FIGURAS---------- ii

ÍNDICE DE CUADROS DE APÉNDICE---------- iii

RESUMEN ---------- v

ABSTRACT ---------- vii

I. INTRODUCCIÓN ---------- 1

II. OBJETIVOS---------- 3

III. HIPÓTESIS ---------- 4

IV. REVISIÓN DE LITERATURA ---------- 5

4.1Beneficios de las coberturas vegetales del suelo---------- 5

4.2. Características de la leguminosa *Mucuna pruriens* ---------- 9

4.2.1. Descripción botánica ---------- 9

4.2.2. Requerimientos climáticos de *Mucuna pruriens*---------- 9

4.3. *Mucuna* sp como cobertura vegetal---------- 9

4.4. Beneficios de coberturas vegetales y abonos orgánicos---------- 10

4.5. Actividad microbiana en el suelo y su fertilidad---------- 11

V. MATERIALES Y MÉTODOS---------- 13

5.1. Localización geográfica---------- 13

5.2. Datos climáticos observados en el sitio experimental durante el estudio ---------- 13

5.3. Siembra y producción de follaje de los cultivares de mucuna a estudiar---------- 14

5.4. Experimento 1---------- 14

5.4.1. Tratamientos y diseño experimental---------- 15

5.5. Experimento 2---------- 17

5.5.1. Actividad microbiana del suelo---------- 17

5.6. Análisis estadístico de los datos---------- 18

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN---------- 19

6.1. Producción de biomasa de los cultivares de *Mucuna pruries*---------- 19

6.2. Acumulación de nitrógeno en el follaje producido por los cultivares de mucuna---------- 21

6.3. Fijación de nitrógeno atmosférico (N_2) en las variedades de *Mucuna pruriens*---------- 22

6.4 Patrón de descomposición del follaje aplicado al suelo de los cultivares de *Mucuna pruriens*---------- 23

6.5. Patrón de liberación de nitrógeno del follaje aplicado al suelo de los cultivares de *Mucuna pruriens*---------- 29

6.6. Carbono orgánico del suelo---------- 31

6.7. Población microbiana del suelo---------- 33

6.7.1. Población de bacterias totales en el suelo ---------- 33

6.7.2. Población de bacterias solubilizadoras de fosfato en suelo---------- 34

VII. CONCLUSIONES---------- 36

VIII. LITERATURA CITADA---------- 37

IX. APÉNDICE---------- 48

ÍNDICE DE CUADROS

Pág.

Cuadro 1 Patrón de descomposición del follaje, en función del cultivar de *Mucuna pruriens*, tiempo de incubación y la colocación en el suelo ---------- 24

Cuadro 2 Contenido de carbono, nitrógeno y relación C/N de cultivares de *Mucuna pruriens* estudiados---------- 25

Cuadro 3 Patrón de liberación de nitrógeno, en función del cultivar de *Mucuna pruriens*, tiempo de incubación y la colocación en el suelo---------- 29

ÍNDICE DE CUADROS DE APÉNDICE

Pág.

Cuadro 1A Análisis de varianza de población de bacterias solubilizadoras de fosfato, en función de tratamiento de cobertura vegetal del suelo---------- 48

Cuadro 2A Análisis de varianza del peso de tallos, en función de los tres cultivares de *Mucuna pruriens*---------- 48

Cuadro 3A Análisis de varianza del peso de hojas, en función de los tres cultivares de *Mucuna pruriens*---------- 49

Cuadro 4A Análisis de varianza del peso de biomasa aérea, en función de los tres cultivares de *Mucuna pruriens*---------- 49

Cuadro 5A Análisis de varianza del Nitrógeno total, en función de los tres cultivares de *Mucuna pruriens*---------- 49

Cuadro 6A Análisis de varianza del Nitrógeno fijado, en función de los tres cultivares de *Mucuna pruriens*---------- 50

Cuadro 7A Análisis de varianza de material descompuesto %, en función de fechas de muestreo, localización del material y tres cultivares de *Mucuna pruriens*---------- 50

Cuadro 8A Análisis de varianza de la tasa de descomposición, en función de fechas de muestreo, localización del material y tres cultivares de *Mucuna pruriens*---------- 51

Universidad Autónoma
de Sinaloa
FACULTAD DE AGRONOMIA
Coordinación de Posgrado
Culiacán, Sinaloa, México.

RESUMEN

La práctica de cultivo de leguminosas para abonar al suelo y beneficiar al cultivo subsiguiente de interés económico, requiere conocer la tasa de descomposición y liberación de nitrógeno de su biomasa producida; por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue conocer la capacidad de producción de biomasa, acumulación, fijación de nitrógeno atmosférico de cultivares de *Mucuna pruriens* y el efecto que causa en la actividad microbiana del suelo la cobertura vegetal del mismo con *Mucuna pruriens*, así como determinar el patrón de su descomposición y liberación al suelo. Se evaluó la capacidad de producción de biomasa, acumulación de nitrógeno y fijación de N_2 en tres cultivares de *Mucuna pruriens*; así mismo se les determinó el patrón de descomposición, liberación de nitrógeno en el suelo del follaje y respecto a la actividad microbiana del suelo se midió, liberación de CO_2 del suelo, población de bacterias solubilizadoras de fosfato y número de unidades formadoras de colonias. El trabajo se realizó en campo en un suelo Pellustert del Valle de Culiacán, Sinaloa, México; el diseño experimental fue el de parcelas subdivididas en bloques al azar con cuatro repeticiones. Los tres cultivares de mucuna produjeron similar cantidad de biomasa y mostraron comparable capacidad de acumulación de nitrógeno en su follaje y de fijación de nitrógeno atmosférico. No se observó diferencia significativa entre cultivares ni dentro de períodos de tiempo de incubación en el patrón de descomposición y liberación de nitrógeno en el suelo de su follaje. En los tres cultivares de mucuna, la tasa de descomposición y liberación de nitrógeno del follaje más alta se observó en los primeros 15 días de incubación del follaje aplicado a 20

cm de profundidad y a los 15-29 días cuando este se aplicó en la superficie del suelo. Respecto a las variables medidas sobre la actividad microbiana del suelo, se observó diferencia significativa en, liberación de CO_2 del suelo, población de bacterias solubilizadoras de fosfato y número de unidades formadoras de colonias.

ABSTRACT

The practice of cultivation of legumes to manure to the soil and benefit to the subsequent cultivation of economic interest, need to know the rate of decomposition and release of nitrogen from its produced biomass; Therefore, the objective of this work was to meet the production capacity of biomass, accumulation and fixation of atmospheric nitrogen of cultivars of *Mucuna pruriens*, as well as determine the pattern of its decay and release to the ground. Assessed the capacity of biomass production, accumulation of nitrogen and N_2 fixation in three cultivars of *Mucuna pruriens*; also found them the pattern of decay, release of nitrogen in the soil of the foliage and regarding soil microbial activity was measured soil CO_2 release, population of phosphate solubilizing bacteria and the number of colony forming units. The work was carried out in field soil Pellustert of the Valley of Culiacán, Sinaloa, México. The experimental design was a split plot in randomized blocks arranged with four replicates. The three cultivars of mucuna produced similar amount of biomass and showed comparable capacity for accumulation of nitrogen in their foliage and atmospheric nitrogen fixation. No significant difference was observed between cultivars or within periods of incubation in the pattern of decay and release of nitrogen in the soil of its foliage. In all cultivars of mucuna studied, the highest rate of decomposition and release of nitrogen from the foliage was observed in the first 15 days of incubation of the foliage applied to 20 cm in depth and the 15-29 days when this was applied on the surface of the soil. Regarding the variables measured on soil microbial activity, significant difference was observed, the release of CO_2 from the soil, population of phosphate solubilizing bacteria and the number of colony forming units.

I. INTRODUCCIÓN

La producción mundial de los fertilizantes mantiene una tendencia creciente, de acuerdo con información de la Asociación Internacional de la Industria de los fertilizantes (IFA), entre 2002 y 2007 la oferta global creció a una tasa media anual de 3.4 %. En dicho periodo, la producción alcanzó un promedio de 165.3 millones de toneladas de nutrientes: nitrógeno, fósforo y potasio (FIRA, 2009). En los últimos años se ha observado en el valle de Culiacán, Sinaloa y otros lugares, la alta dependencia de los fertilizantes químicos en la agricultura, la cual ha aumentado considerablemente, así como también la dependencia de la continua labranza del suelo para mejorar su efímera estructura, lo anterior ocasiona disturbios a este, ocasionando una mayor tasa de descomposición de los rastrojos en comparación con terrenos sin labrar, lo que conduce a un menor nivel de agregación y estabilidad física de la materia orgánica del suelo (Carter *et al.*, 1998); así mismo al realizar labranza mecanizada convencional los rastrojos y la materia orgánica del suelo son mezclados y distribuidos de manera homogénea dentro de todo el perfil del suelo afectado por la labranza, en este caso los procesos de descomposición son dominados por bacterias, las cuales tienen menor eficiencia en la asimilación de nutrimentos que los hongos (Gale y Cambardella, 2000). Además, con la preparación física del suelo en la labranza mecanizada convencional se incrementa de manera efímera la biomasa microbiana, produciendo mayor cantidad de reacciones concurrentes de inmovilización, mineralización y estabilización (Voroney *et al.*, 1989). Debido a lo anterior se ha ido reduciendo gradualmente la microflora del suelo, y ha incrementado la contaminación de mantos acuíferos subterráneos, afectando el agroecosistema (Armenta, 1998). El rápido agotamiento de la materia

orgánica del suelo podría afectar negativamente la calidad del suelo y reducir la productividad del cultivo (Bayer *et al.*, 2001). Esta investigación se realizó con el objetivo de evaluar el efecto de la cobertura vegetal del suelo de diferentes cultivares de la leguminosa *Mucuna pruriens*, bajo labranza mínima, en su capacidad de producción de biomasa y su descomposición en el suelo, fijación de nitrógeno atmosférico (N_2) y fomento de la actividad microbiana del suelo.

II. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de la cobertura vegetal del suelo de diferentes cultivares de la leguminosa *Mucuna pruriens* bajo labranza mínima, en su capacidad de producción de biomasa, fijación de nitrógeno atmosférico (N_2) y fomento de la actividad microbiana del suelo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Estudiar la velocidad de descomposición de la biomasa producida por *Mucuna pruriens*, así como su liberación de N en el suelo.
2. Determinar la capacidad de fijación de nitrógeno atmosférico (N_2) de tres cultivares de *Mucuna pruriens*.
3. Estudiar el efecto del uso de cobertura vegetal del suelo con leguminosas en su actividad microbiana (producción de CO_2 del suelo y población de bacterias solubilizadoras de fosfato).
4. Evaluar el efecto del uso de cobertura vegetal del suelo con leguminosas bajo estudio, en el nivel de carbono orgánico del suelo.

III. HIPÓTESIS

1) Existen diferencias entre cultivares de *Mucuna pruriens* a evaluar en la capacidad de fijación de nitrógeno atmosférico, producción y velocidad de descomposición de su biomasa, y liberación de N en el suelo.

2) El uso de cobertura vegetal con leguminosas (*Mucuna pruriens*) y labranza mínima aumenta la actividad microbiana en el suelo.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Beneficios de las coberturas vegetales del suelo

Es bien reconocido el papel que juegan las leguminosas forrajeras en mejorar la sustentabilidad agrícola. Entre los beneficios se incluye a mayores niveles de proteína en el grano, mayor rendimiento, control de malezas, incremento de nitrógeno en el suelo y mejora de las propiedades del suelo (Entz *et al.*, 1995; Campbell *et al.*, 1991; Hoyt y Leitch, 1983).

Greenland (1977) afirma que es común el uso de las leguminosas como abono verde, lo cual induce un mejoramiento en la fertilidad del suelo y un aumento en el contenido de materia orgánica. Algunas leguminosas usadas como cultivo de coberturas puede ser: *Cratalaria juncea, Mucuna pruriens, Clitoria ternatea, C. rehira, Sesbania sp., Stizolobium deeringianum,* siendo esta última, la leguminosa más conveniente, por los beneficios que proporciona a otros cultivos y al mismo suelo.

Granados (1989) reporto que en Brasil, *Stizolobium* se cultiva asociado con pasto, para aumentar el porcentaje de proteínas de la pastura. En Cuba se emplea para la conservación del suelo, como abono verde y para el combate de maleza. En otros países es utilizado como forraje, componente de la dieta animal (fresco o ensilado) y como cultivo de cobertura de cacao y cocotero. En nuestro país es utilizado en algunas comunidades de las regiones del sureste de Puebla, sur de Veracruz, sierra y centro de Tabasco y Chiapas, para controlar la maleza y mejorar los suelos (Escarzada, 1987).

El uso de leguminosas como cultivo de cobertura o abono verde aumenta la fertilidad y la productividad de la tierra de cultivo, de mediano a corto plazo,

mediante la fijación de nitrógeno atmosférico y el aporte de materia orgánica al suelo, y beneficia la nutrición del cultivo subsiguiente (Muraoka *et al.*, 2002; Mayer *et al.*, 2003).

En este sistema de producción, la cobertura vegetal con *Mucuna sp* ejerce un control biológico sobre las malezas, plagas y enfermedades, además de contribuir a conservar la fertilidad del suelo, ya que los productores no aplican fertilizantes químicos (Ortiz *et al.*,1998 a; Saldaña *et al.*, 1999).

Las especies con capacidad de fijar nitrógeno mejoran diversos aspectos de reciclado de nutrientes como la eficiencia de su uso, los niveles de N en el suelo y el porcentaje de bases intercambiables en los sitios de intercambio catiónico del suelo donde se encuentran la planta beneficiada, incrementando no solo la productividad, sino también los mecanismos de absorción de nutrientes (Binkley *et al.*, 1992; Kelner y Vessey, 1995).

De todos los sistemas biológicos fijadores de nitrógeno, los simbióticos son los más utilizados en la agricultura, siendo la simbiosis Rhizobium-leguminosa el grupo más importante (Tisdale y Nelson, 1982). Brill, (1977) menciona que alrededor del 40% del nitrógeno fijado por medios biológicos, se debe a esta asociación y bajo condiciones óptimas pueden fijar hasta más de 100 kg ha^{-1} de nitrógeno.

La leguminosa *Mucuna pruriens,* es factible utilizarla como cultivo de cobertura del suelo en rotación con el cultivo de tomate en el valle de Culiacán, Sínaloa, México, dado su alto potencial de cobertura del suelo y alta producción de biomasa de la parte aérea, así como su destacada capacidad de nodulación en sus raíces, lo cual significa la factibilidad de fijar nitrógeno atmosférico en cantidad importante y además contribuir a elevar la cantidad de materia orgánica en el suelo, enriqueciéndolo con nitrógeno y favoreciendo el reciclaje de nutrimentos; de esta

manera se mejora la nutrición del cultivo subsiguiente, como el de tomate, reduciéndose de esta manera el uso de fertilizantes químicos, lo cual impacta en menor contaminación ambiental, resultante del uso excesivo de fertilizantes en la agricultura moderna en la región. Por lo anterior, el cultivo de coberturas a base de leguminosas, representa una opción viable para utilizarse en el período primavera-verano, cuando las tierras destinadas a la horticultura, permanecen en barbecho y ociosas (Villarreal *et al., 2006).*

Aunque existen numerosos trabajos donde se mencionan los efectos benéficos de la *Mucuna* como abono verde (Ortiz, 1995; Pérez, 1999), hasta el momento se desconoce la tasa de descomposición de la *Mucuna* en la época seca.

La tasa de descomposición es fundamental para la utilización como abono verde de cultivos de cobertura, leguminosas y gramíneas. Dicha tasa indica la cantidad de nitrógeno que puede ser liberado durante el período de crecimiento del cultivo, y está determinada por la cantidad y calidad del abono verde (Myers *et al.,* 1994).

Ortiz *et al.*, (1998 b) reportó que en el período de lluvias, cuando se establece la siembra de año del maíz en Tabasco, los residuos de *Mucuna spp.* Incorporados habían liberado el 60 % del N total en los primeros 64 días, por lo que un cultivo establecido al momento de la incorporación del abono verde puede ser abastecido en sus requerimientos de N.

Mucuna pruriens puede llegar a producir hasta 1428 kg ha^{-1} de materia seca y puede llegar a fijar hasta 200 kg de N ha^{-1}año^{-1}Cidicco, 2006).

La acumulación de materia seca de la leguminosa cultivada como cultivo de cobertura, es el factor más importante a considerar al determinar la factibilidad de establecer una rotación de cultivos anuales, cómo es este caso, debido a la

importante cantidad de nitrógeno que ellas son capaces de suministrar al cultivo subsiguiente (Stute y Posner, 1993).

La cobertura del suelo con residuos de las cosechas aumenta el contenido de materia orgánica, lo que induce el mejoramiento de las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo y por ende la fertilidad del suelo (Rodríguez *et al.*, 1987; Unger, 1988). En el caso del uso de leguminosas para el mismo fin beneficia al suelo con el aporte de nitrógeno y actúan como conservadoras de éste (Akobundu, 1987). El empleo de cultivos de cobertura a base de leguminosas fijadoras de nitrógeno atmosférico es una buena alternativa para reducir el uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos, y además conserva los recursos suelo y agua, controla malezas y mejora la productividad, lo cual contribuye al uso sustentable de los recursos naturales (Abdul-Baky y Teasdale, 1993; Herrero *et al.*, 2001).

Las plantas de tomate, cultivadas en el suelo con cobertura vegetal de *Mucuna pruriens* y *Clitoria ternatea* con baja fertilización, presentaron valores similares de absorción de N, P y K que las plantas que crecieron en suelo con alta dosis de fertilización, lo cual sugiere una mayor eficiencia de la fertilización de N, P y K en los suelos tratados con cobertura vegetal.

Estas leguminosas contribuyen a conservar la fertilidad del suelo y a mejorar las condiciones físicas del mismo, así como a reducir los problemas de contaminación ambiental y los costos de producción, por la aplicación excesiva de fertilizantes en la agricultura moderna (Villarreal *et al.*, 2006).

4.2. Características de la leguminosa *Mucuna pruriens*

4.2.1. Descripción botánica

La planta de *Mucuna pruriens* pertenece a la familia de las leguminosas y es originaria de las regiones tropicales de África Central, es una planta que alcanza una longitud de 2 a 3 m, presenta tallos densamente pilosos con tricomas blancos a parduscos, hojas trifoliadas con foliolos delgados, ápice obtuso, base obtusa a truncada, folíolos laterales oblicuos de escasa a densamente pilosos, envés más piloso y más claro, peciolos de 6 a 21 cm de largo, estípulas estrechamente ovoides, presenta inflorescencias en racimos axilares de hasta 20 cm de largo, argénteo pubescente, con 5 a 15 flores fasciculadas y flores de hasta 4 cm de largo, con cáliz y corola campanulados (Cidicco, 2006). Sus semillas tienen alto contenido de proteína, carbohidratos, lípidos, fibra y minerales.

4.2.2. Requerimientos climáticos de *Mucuna pruriens*

El clima óptimo para su crecimiento es de una temperatura entre 13 y 32 °C, precipitación de 400 a 2000 mm anuales, altitud de O a 1500 msnm, es tolerante a la sequía; excelente para uso como cultivo de cobertura y abono verde del suelo; además puede fijar altas cantidades de nitrógeno atmosférico que puede beneficiar al cultivo subsiguiente (Kumar Rao *et al.*, 1983).

4.3. *Mucuna* sp como cobertura vegetal

Ésta leguminosa de cobertura, contribuye a la reducción de la erosión del suelo, a mejorar la estructura y aumentar la materia orgánica en el terreno, favorece la infiltración del agua e impide el surgimiento de las adventicias (término utilizado para designar a las malezas). También, tiene un efecto positivo sobre la biología

del suelo lo que ayuda al aumento de las lombrices y de los microorganismos beneficiosos, con lo cual se favorece el crecimiento y el desarrollo de los cultivos (Quirós *et al.,* 1998, Sancho y Cervantes 1997).

La siembra de mucuna como abono verde, intercalada entre dos ciclos del cultivo comercial, mejora la descomposición de los rastrojos del arroz, e incrementa el N disponible en el suelo derivado de la mineralización de la materia orgánica (Ladha *et al.*, 2000). Por otro lado, Blanco y Gutiérrez (1998) encontraron que la mucuna incrementó las poblaciones de las esporas de los hongos formadores de micorrizas arbusculares, especialmente del género *Glomus* Tul. & Tul.

4.4. Beneficios de coberturas vegetales y abonos orgánicos

La utilización de abonos orgánicos de leguminosas verdes y residuos de cultivos, entre otros, es una alternativa ecológica viable, la cual tiene el doble propósito de incrementar la producción de un cultivo y mejorar la fertilidad del suelo (Dinesh *et al.*, 1998).

La utilización de coberturas vegetales perennes y, en particular, trébol frutilla, incrementa la concentración de carbono orgánico y nitrógeno total, variables que son determinantes en la actividad microbiana y enzimática. El uso de abonos verdes y cultivos de cobertera ha sido útil para la conservación de suelos, esto es, el control de la erosión; el mejoramiento de la fertilidad y como componente básico de los ecosistemas y agroecosistemas sostenibles.

En lo que respecta a la conservación de suelos, el uso de leguminosas de consistencia herbácea (frijol, haba, alfalfa, veza, trébol blanco, etc.) y leguminosas arbóreas (*Prosopis leavigata*, *P. juliflora*, *Mimosa biuncifera*, *M. luisiana*, *Pithecelobium dulce*, etc.) ha contribuido en la disminución del daño producido por

el agua y el viento, los principales agentes de erosión, lo cual evita la pérdida de los componentes físicos y biológicos del suelo. Además, este tipo de plantas permite crear sistemas de manejo de suelos con fines de recuperación de zonas altamente degradadas, como los tepetates del Estado de México, Hidalgo y Tlaxcala, lo cual favorece la obtención de productos consumibles cuando se realiza la rotación de cultivos como maíz o cebolla en combinación con las leguminosas e incluso con materia orgánica (Delgadillo y Ferrrera *et al.*, 1996).

4.5. Actividad microbiana en el suelo y su fertilidad

La actividad microbiana juega un papel importante en la regulación de la fertilidad de los suelos. Los procesos microbiológicos se miden usando diversas variables, como biomasa microbiana, respiración y actividades enzimáticas (Nannipieri *et al.*, 1990).

Los rastrojos superficiales son descompuestos principalmente por hongos, los cuales tienen una alta eficiencia de asimilación de N y otros nutrimentos (Gale y Cambardella 2000).

Singh *et al.* (1992) señalan que el aumento de la productividad en un suelo es posible cuando se produce una mayor cantidad de C orgánico, junto a una estabilización del mismo, fenómeno que mejora las propiedades microbiológicas y físicas de un suelo.

Por otro lado varios investigadores han demostrado la existencia de grupos bacterianos en la rizosfera de varios cultivos, los cuales tienen la habilidad para solubilizar las formas insolubles de compuestos fosfatados por medio de la producción de ácidos orgánicos los que son mejor asimilados por las plantas. Aun más la producción de bio-preparados puede mejorar la disponibilidad de fósforo

soluble, lo que podría redundar en una disminución de la utilización de fertilizantes fosfatados y en los costos de producción, teniendo además de una manera simultánea un efecto positivo en el ambiente.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Localización geográfica

El presente trabajo de investigación se desarrolló en el Campo Experimental del Valle de Culiacán, Sinaloa, de INIFAP, ubicado en (Estación Meteorológica de la Facultad de Agronomía de la UAS contigua al lote experimental, localizada a los 24° 36' 58" N y los 107° 25' 48" Oeste) carretera a El dorado km. 16.5. Su clima es semiárido BS1 (h') w (w)(e), con lluvias predominantes en verano y erráticas en invierno (García, 1987); la precipitación media anual es de 800 mm; la temperatura media anual es de 26.8 °C con máximas de 34 a 43.5 °C en verano y mínimas de 2 a 8.5 °C en invierno; la humedad relativa media anual es de 68 % con una máxima de 81% en septiembre y la mínima de 51% en abril (INIFAP-CEVACU, 1997).

5.2. Datos climáticos observados en el sitio experimental durante el estudio

La temperatura promedio diaria observada en el sitio, fue 31.18, 30.21, 30.31 y 29.87°C, en el período 0 a 15 (A), 15 a 30 (B), 30 a 45 (C) y 45 a 75 (D) días de incubación del follaje en el suelo de los cultivares de mucuna estudiados, respectivamente; la precipitación pluvial total registrada fue de 35, 96.8, 107.8 y 393.5 mm en los períodos A, B, C y D, respectivamente; la humedad del suelo observada al inicio de cada período de incubación fue de 40.87, 40.14, 43.66 y 55.08 % en los periodos A, B, C y D, respectivamente.

Respecto a al tipo suelo donde se desarrolló la investigación, es decir, suelo bajo cobertura vegetal con leguminosas y suelo cultivado tradicionalmente, sus características de fertilidad fueron: pH 7.6 a7.5, conductividad eléctrica (ds m^{-1}) 0.3, 0.4, materia orgánica 1.2, 1.2, nitrógeno N-NO_3 (ppm) 13, 17., fosforo P-PO_4 (ppm)

99.9, 132.4, potasio (ppm) 927.3, 985.5 y capacidad de intercambio catiónico (me 100 g^{-1}) 76.1, 71.7 respectivamente. Ambos suelos son de textura arcillo-arenosa con porcientos de arcilla 37.7, 38.5, limo 13.6, 12,9, arena 48.6, 48.6 respectivamente.

Tomando en cuenta dichos valores, estos suelos son pobres en $N\text{-}NO_3$ y materia orgánica, ricos en $P\text{-}PO_4$ y K, sin problemas de salinidad.

Fertilidad del suelo se evaluó de acuerdo con lo establecido por (AOAC, 1998). Los nitratos y fosfato se midieron en un espectrofotómetro UV/VIS Jenwaymod. 6405, y el potasio calcio y magnesio en un espectrofotómetro de absorción atómica Varian mod. Spectra A-220.

5.3. Siembra y producción de follaje de los cultivares de mucuna a estudiar

Con el objeto de obtener el follaje necesario para el estudio del patrón de descomposición del follaje de cada una de las leguminosas, se sembraron 3 cultivares de mucuna (*Mucuna pruriens* cv. Deeringiana, *Mucuna pruriens* cv. Preta y *Mucuna pruriens* cv. Ghana) el 15 de abril de 2010, en 3 lotes de 216 m^2 para cada cultivar, en surcos-cama de 1.8 m de separación y 40 m de longitud y una densidad de población de 3.89 plantas m^{-2}. La producción de follaje se cosechó en la etapa de inicio de floración de las plantas de cada cultivar.

Se realizaron dos experimentos que consisten en:

5.4. Experimento 1

Se evaluaron 3 diferentes cultivares de *Mucuna pruriens* en producción de biomasa, velocidad de descomposición en el suelo, liberación de N y fijación de N_2.

5.4.1. Tratamientos y diseño experimental

Los tratamientos para la evaluación de fijación de N_2 y producción de biomasa fueron cada uno de los cultivares de mucuna a estudiar.

Para determinar la capacidad de fijación de N_2 en las leguminosas se utilizó el método de la diferencia en la acumulación de nitrógeno (Peoples *et al.*, 1993).

Para determinar la producción de biomasa se secaron tres plantas por repetición en la estufa a 75 °C por tres días y posteriormente se pesaron raíz, tallo y hojas.

El diseño experimental utilizado fue el de bloques al azar con cuatro repeticiones.

Los tratamientos para la evaluación del patrón de descomposición en el suelo de la biomasa producida de cada uno de los cultivares de *Mucuna pruriens* y liberación en el suelo del nitrógeno contenido en su biomasa fueron:

Tres cultivares de *Mucuna pruriens*, cuatro fechas de medición de la descomposición de la biomasa y dos diferentes lugares de colocación de la biomasa.

El diseño experimental utilizado fue un Parcelas subdivididas, en bloques al azar con cuatro repeticiones.

- Parcela grande:

Fechas de medición de la descomposición de la biomasa de *Mucuna* sp.

- Parcela mediana:

Tres variedades de *Mucuna* sp.

- Parcela chica:

Biomasa aplicada en la superficie del suelo y biomasa enterrada a 15 cm de profundidad del suelo.

El diseño de tratamientos indicado originó veinticuatro tratamientos y un total de noventa y seis parcelas experimentales.

En las parcelas chicas se aplicó el equivalente al follaje seco (hojas y tallos) de cada una de los cultivares de *Mucuna pruriens* estudiadas, basado en la cantidad de biomasa que esta leguminosa produjo hasta el inicio de floración. (Villarreal *et al.*, 2007).

Tasa de descomposición de la biomasa de *Mucuna pruriens* (DM). Indica la cantidad de biomasa de *Mucuna pruriens* que se descompone en cada periodo de observación (fechas de muestreo):

DM= (PS follaje ha^{-1} - MR)

Donde DM: tasa de descomposición de follaje de *Mucuna pruriens* (kg ha^{-1}) y MR: follaje de mucuna residual (kg ha^{-1}).

Donde TD: tasa de descomposición (kg $día^{-1}$), DMI: descomposición de follaje de *Mucuna pruriens* en el período inicial (kg), DMS: descomposición de follaje de *Mucuna pruriens* en el período subsecuente (kg) y ND: número de días transcurridos entre períodos de muestreo.

Durante cada fecha de muestreo se colectaron las muestras, se lavaron con agua corriente en un tamiz de malla 1.0 mm para eliminar tierra y raíces. Posteriormente se sometieron a secado en estufa a 75ºC por tres días y se registró el peso final. En cada fecha de muestreo se determinó el contenido de humedad del suelo, para tal finalidad se tomaron tres muestras compuestas de suelo por fecha de muestreo. Las muestras se secaron a la estufa a 110 ºC, determinándose el porcentaje de humedad con la siguiente fórmula:

Humedad = [(PSH-PSS) / PSS] x 100; donde PSH: peso del suelo húmedo (g) y PSS: peso del suelo seco (g).

También se midió la temperatura del suelo, para lo cual se estimó con base en la temperatura media mensual del aire.

De acuerdo con Van Wambeke (1987) la temperatura media del aire más 2.5ºC corresponde a la temperatura media del suelo a 50 cm de profundidad.

Liberación de Nitrógeno. A partir del contenido inicial de nitrógeno en el follaje de las plantas de mucuna (% de N en el tallo y % de N en las hojas), y de los datos de descomposición del follaje de la *Mucuna* sp, se calculó la liberación de nitrógeno al suelo (LN):

LN= [DM (CN/100)]; donde LN: liberación de nitrógeno (kg ha^{-1}), DM: descomposición del follaje de las plantas de mucuna (tallos y hojas), respectivamente (kg ha^{-1}) y CN: contenido de N en el follaje de las plantas de mucuna para tallo y hojas (%), respectivamente.

5.5. Experimento 2

5.5.1. Actividad microbiana del suelo

Consistió en evaluar las siguientes variables, las cuales se compararon con las de un lote contiguo bajo cultivo tradicional de hortalizas.

a) Liberación de CO_2 del suelo. La determinación de la cantidad de bióxido de carbono liberado por efecto de la actividad microbiana se determinó en muestras de suelo incubadas, mediante el método de fumigación-incubación de Jenkinson y Powlson, (1976).

b) Población de bacterias solubilizadoras de fosfato se determinó de acuerdo a la metodología de Current Science, (2000).

c) Número de unidades formadoras de colonias (UFC) de bacterias en el suelo. Se determinó mediante la técnica de dilución seriada y vaciado en placa con medio selectivo, Aaroson, (1970).

5.6. Análisis estadístico de los datos

Para las variables de descomposición de follaje de *Mucuna pruriens* (DM), tasa de descomposición del follaje (TD), y liberación de N del follaje (LN) se realizó un análisis de varianza y la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey, α=0.05. y en el caso de las variables fijación de N_2, liberación de CO_2 del suelo y población de bacterias solubilizadoras de fosfato en el suelo, se realizó el mismo análisis estadístico para las variables arriba mencionadas. Los análisis estadísticos se realizaron mediante el empleo del paquete estadístico SAS, Versión 9.01 (SAS Institute, 2002).

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Producción de biomasa de los cultivares de *Mucuna pruriens*

No se observó diferencia significativa entre los tres cultivares de la leguminosa mucuna (P>0.05) en producción de materia seca en hojas, tallos, raíz y total (Figura 1). *Mucuna pruriens* cultivar Preta produjo la mayor cantidad de materia seca total (140.26±18.16 g planta^{-1}), seguido por *M. pruiriens* cultivar Deeringiana (136.35±18.81g planta^{-1}) y *M. pruriens* cultivar Ghana (134.04±11.83g planta^{-1}), estos datos representan 5.146, 5.021 y 4.915 t ha^{-1} de materia seca, respectivamente; el cultivar Preta produjo la mayor cantidad de materia seca en la parte aérea (tallos + hojas) de las plantas, es decir 132.34±17.86; le siguieron las plantas de cultivar Deeringiana y el cultivar Ghana, con 129.14±18.36 y 126.38±11.05g planta^{-1}, respectivamente. La materia seca producida en la parte aérea (hojas + tallos) tampoco fue significativamente distinta entre variedades (P>0.05) pero fue numéricamente mayor en la variedad negra (140.261 g planta^{-1}), seguido por el cultivar deeringiana y el ecotipo Ghana, es decir, 136.35 y 134.039 g planta^{-1}, respectivamente; la materia seca producida en raíces fue muy similar entre las variedades, misma que fue de 7.917, 7.65 y 7.206 g planta^{-1} en los cultivares Preta, Ghana y Deeringiana, respectivamente; la cantidad de biomasa aérea producida la planta es de importancia por su impacto en su capacidad para uso como cultivo de cobertura o como abono verde del suelo. Hauser y Nolte (2002), informan producciones de biomasa seca de distintas variedades de *Mucuna pruriens* que fluctuaron entre 3.27 y 6.6 t ha^{-1}, desarrolladas durante 40 semanas en un clima de bosque tropical húmedo de Camerún con 1513 mm de lluvia. En otro experimento de campo realizado en un suelo de textura franco arenosa de

clima semiárido, del norte de Camerun, Africa, A. Asongwed_Awa y J. Onana (2002) observaron rendimientos de materia seca de follaje en 6 variedades de *Mucuna pruriens* que varió de 1.3 a 5.5 t ha^{-1}, a los 56 a 92 días de edad. Por otro lado, Houngnandan *et al.* (2000) informan que *Mucuna pruriens* no inoculada con bacterias *Rhizobium* sp. Produjo entre 1.5 y 8.7 t ha^{-1} de follaje seco a 20 semanas después de la siembra, en tres localidades con clima de sabana. En estos trabajos, la variación mostrada en los resultados en producción de biomasa de las plantas se puede atribuir a las distintas condiciones ambientales prevalecientes durante el desarrollo de los experimentos.

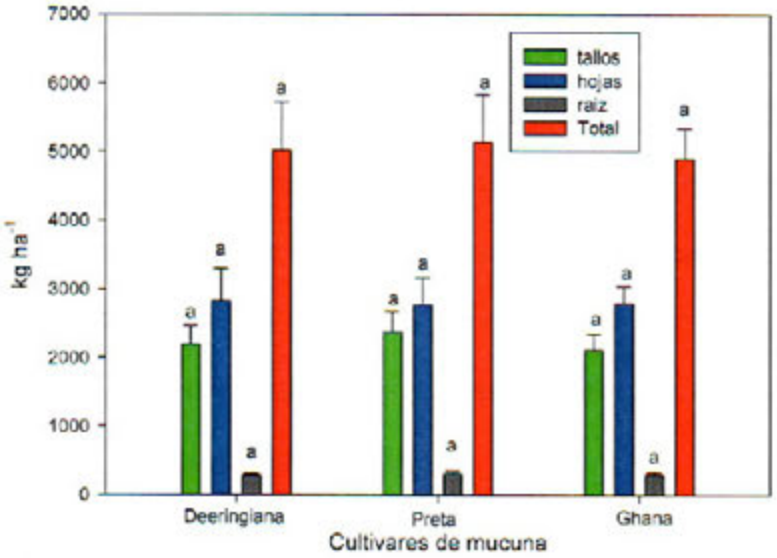

Figura 1. Producción de materia seca en tallos, hojas, tallos, raíz y total (g $planta^{-1}$), de tres especies de *Mucuna* sp. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, α= 0.05). Barras de error indican error estándar de la media.

6.2. Acumulación de nitrógeno en el follaje producido por los cultivares de mucuna

No se observó diferencia significativa entre los cultivares estudiados (P=0.707) en acumulación de nitrógeno en el follaje (Figura 2). El cultivar que acumuló la mayor cantidad de nitrógeno en la materia seca de la parte aérea fue *M. pruriens* cv. Preta (4.35±0.66 g planta^{-1}), en orden de importancia le siguió *M. pruriens* cv. Deeringiana, el cual acumuló 4.12±0.55 g planta^{-1} y *M. pruriens* cv. Ghana que acumuló 3.67±0.35 g planta^{-1}). Las cantidades de nitrógeno total acumulado por los cultivares de mucuna indicados arriba equivalen a 168.77, 160.22 y 142.72 kg ha^{-1}, respectivamente. Esta cantidad de nitrógeno acumulado por las leguminosas significa una importante contribución al reciclaje de este elemento en el suelo (Puertas *et al.*, 2008;) al final del ciclo de un cultivo de otoño-invierno, al reducir significativamente su lixiviación hacia mantos acuíferos y su volatilización hacia la atmósfera bajo condiciones de anaerobiosis por exceso de humedad en el suelo en la época de lluvias de verano; lo anterior impacta en la contaminación con nitratos a acuíferos subterráneos (Páes *et al.*, 2007) y con óxidos de nitrógeno a la atmósfera que contribuyen al efecto invernadero y calentamiento global (Castellanos y Peña-Cabriales, 1990; Conrad y Seiler, 1980).

Kumaga, *et al.*, (2006) observaron contenidos de N total en el follaje entre 2.12 y 2.42 %, de dos variedades de *Mucuna pruriens* de 80 a 120 días de edad, no inoculadas con cepas de *Rhizobium*, en dos tipos de suelo de pH ácido y clima tropical lluvioso, estos valores no difirieron significativamente (DMS, P = 0.05) entre sí.

6.3. Fijación de nitrógeno atmosférico (N_2) en los cultivares de *Mucuna pruriens*

No se observó diferencia significativa en nitrógeno fijado de la atmósfera. Los tres cultivares de mucuna estudiadas fijaron cantidades similares de nitrógeno atmosférico (Figura 2), por lo cual no hubo diferencia significativa entre ellas (P=0.702). El cultivar *M. pruriens* cv. Preta fijó de la atmósfera 1.92±0.38 g planta^{-1}, le siguió en orden de importancia *M. pruriens* cv. Deeringiana con 1.84±0.29 g planta^{-1} y *M. pruriens* cv. Ghana con 1.40±0.26 g planta^{-1}. Con base en la densidad de población establecida en la siembra de las leguminosas, dichas cantidades de nitrógeno fijado equivalen a 74.70, 71.70 y 54.52 kg ha^{-1}, respectivamente, dichos resultados coinciden con los obtenidos por Becker y Johnson (1998) y Noordwijk, *et al.*, (1995), los cuales sus resultados oscilaron entre 20 y 200 kg ha^{-1}, de nitrógeno fijado por mucuna.

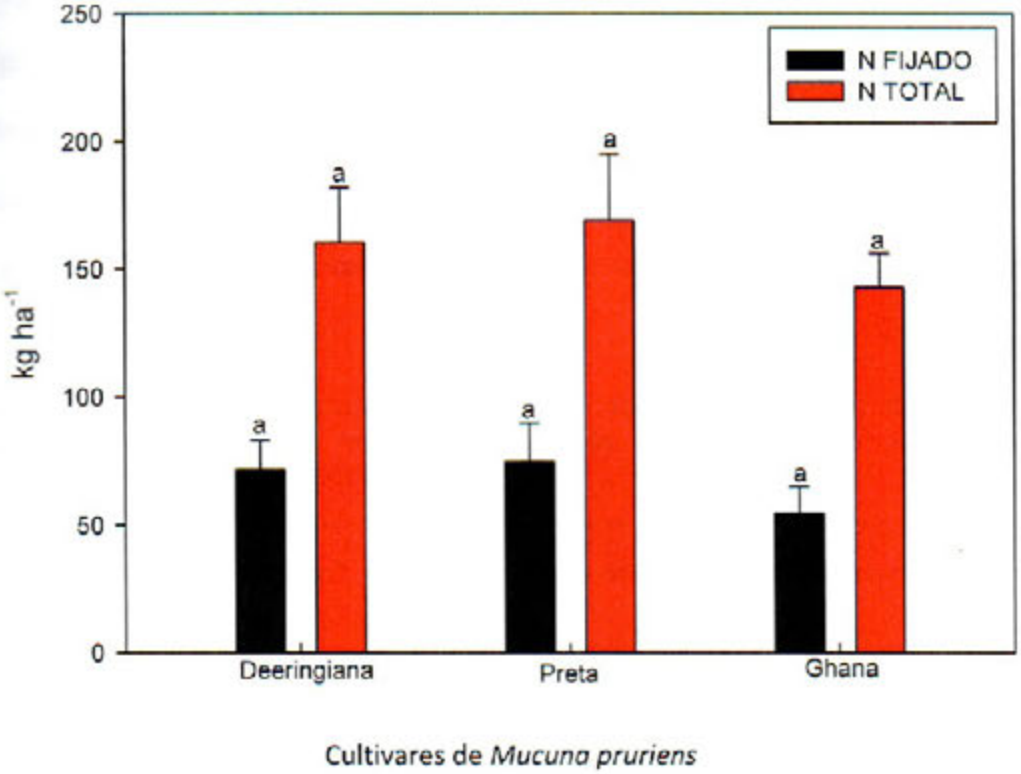

Figura 2. Acumulación y fijación simbiótica de nitrógeno atmosférico en tres cultivares de *Mucuna* sp. Medias con la misma letra en barras son estadísticamente iguales (Tukey, α= 0.05). Barras de error indican error estándar de la media.

6.4. Patrón de descomposición del follaje aplicado al suelo de los cultivares de *Mucuna pruriens*

No se observó diferencia significativa en la cantidad de follaje descompuesto entre los cultivares de *M. pruriens* estudiados dentro de periodos de tiempo de incubación (P=0.836). Como es de esperar, sólo se detectó diferencia significativa (P=0.0001) entre periodos de tiempo de incubación y colocación del follaje (superficial y enterrado) y de su interacción (P=0.0001). El patrón de descomposición del follaje aplicado al suelo se muestra (Cuadro 1). Los tres cultivares de mucuna estudiados mostraron similar tasa de descomposición diaria; la similitud en la velocidad de descomposición del follaje puede atribuirse, a que principalmente las leguminosas en estudio presentaron similar concentración de

nitrógeno, misma que fluctuó entre 2.90 a 3.24 % de N en el follaje y una proporción C/N que fluctuó entre 14.48 a 16.58, Cuadro 2; estas características químicas del follaje son determinantes en su tasa de descomposición en el suelo (Bending y Turner,1999). La mayor tasa de descomposición del follaje se observó en el primer período de incubación (0 a 15 días) en los tres cultivares de mucuna

CUADRO 1. Patrón de descomposición del follaje, en función del cultivar de *Mucuna pruriens*, tiempo de incubación y la colocación en el suelo. Valores promedio de cuatro repeticiones.

Cultivar	Tiempo[y]	Follaje descompuesto diario (%)	
		Enterrado	Superficial
Blanco	0-15	3.54±0.29a[z]	1.04±0.24b
Blanco	15-30	0.97±0.40a	2.26±0.31a
Blanco	30-45	1.16±0.30a	1.18±0.40a
Blanco	45-75	0.35±0.10a	0.93±0.24a
Negro	0-15	3.56±0.28a	0.82±0.02b
Negro	15-30	0.91±0.33a	2.57±0.38a
Negro	30-45	1.02±0.36a	1.26±0.32a
Negro	45-75	0.39±0.11a	0.73±0.09a
Ghana	0-15	3.30±0.19a	1.53±0.31b
Ghana	15-30	0.95±0.28a	1.76±0.61a
Ghana	30-45	1.32±0.29a	1.44±0.48a
Ghana	45-75	0.29±0.07a	0.62±0.13a

[z]Valores con la misma letra en cada hilera son estadísticamente iguales (Tukey P≤0.05). [y]Días de incubación del follaje en el suelo. [x]Porciento del follaje total aplicado al inicio del estudio, en función de su colocación en el suelo.

colocados a 20 cm de profundidad en el suelo; cuando el follaje se dispuso en la superficie del suelo la tasa máxima de descomposición se observó en el período de 15 a 30 días de incubación, mientras que la tasa menor de descomposición se

presentó en el último período de incubación (45 a 75 días) cuando el follaje estaba enterrado a 20 cm. La tasa de descomposición observada en el primer y segundo período de incubación en el material enterrado y en colocado en superficie, respectivamente, puede atribuirse, por una parte, a la baja relación C/N del follaje detectada en los tres cultivares (Cuadro 2) y probablemente también a que al inicio del tiempo de incubación los componentes más solubles del material vegetal, como glúcidos, aminoácidos y ácidos alifáticos se descomponen rápidamente, así como a las condiciones más favorables de humedad y de actividad microbiana existentes en el subsuelo respecto a la superficie del suelo; en el caso del último período de tiempo de incubación, la posible explicación de disminución de la tasa de descomposición pudo ser la declinación de compuestos solubles en agua de fácil degradación y predominio de compuestos más resistentes a la descomposición microbiana como lignina (Bending y Turner, 1999).

CUADRO 2. Contenido de carbono, nitrógeno y relación C/N en la materia seca de cultivares de *Mucuna pruriens* estudiados. Valores promedio de nueve observaciones por cultivar.

Cultivar	Carbono	Nitrógeno	Rel. C/N
	----------(%)----------		
Mucuna pruriens cv Deeringiana	46.46±0.30	3.24±0.19	14.48±0.97
Mucuna pruriens cv Preta	46.92±0.30	3.24±0.19	14.48±0.95
Mucuna pruriens cv Ghana	47.46±0.26	2.88±0.14	16.58±0.89

Por otro lado, las temperaturas promedio diarias (29.9 a 31.18°C) y la humedad del suelo (40.14 a 55.08 %) que se presentaron durante el tiempo de incubación del material vegetal también favorecieron las tasas de descomposición y liberación de

nitrógeno observadas; esta situación fue advertida también por Geronimo-Cruz (2002) en un experimento con *Mucuna* sp. en condiciones de campo con clima cálido húmedo y suelo arcilloso con pH 5.9. Yanny *et al.*, (2011), en un estudio de descomposición y liberación de nitrógeno de residuos de plantas de maíz incubados durante 20 semanas, con relaciones C/N de 25.9:1 a 12.7:1, observaron mayores tasas de descomposición en aquellos con relación C/N más bajas. En nuestro estudio los cultivares de mucuna presentaron relaciones C/N < 20 (Cuadro 2). Al final del estudio de descomposición del follaje (75 días de incubación) se observó que los cultivares blanco, negro y Ghana se habían descompuesto, en promedio de las dos modalidades de colocación del follaje en el suelo, 92.3±4.17, 89.9±5.8 y 88.2±4.06 %, respectivamente del follaje total aplicado al inicio del estudio; estos valores de descomposición del follaje corresponden a 4634.4, 4626.3 y 4350.0 kg ha^{-1}, respectivamente. Estos datos muestran una mineralización importante para el tiempo de incubación del follaje (75 días) de los cultivares de mucuna estudiados. Gerónimo-Cruz *et al.*, (2002) observaron un 65 % de descomposición de follaje de *Mucuna* sp en 191 días de incubación en campo en un suelo de clima cálido húmedo de textura arcillosa y pH 5.9. El efecto de la fecha de muestreo demuestra que durante los períodos de incubación el follaje de los cultivares de mucuna siguieron una tendencia descendente, lo que indica que el proceso de descomposición acumulativo no fue interrumpido y por tanto hubo condiciones óptimas de clima y de fertilidad del suelo (Singh y Gupta, 1987). El residuo del material que permaneció en el suelo en el último periodo de incubación está relacionado a su constitución de lignina, lo que dificulta el proceso de descomposición (Vitousek *et al.*, 1994), pero este fomenta el contenido de humus del suelo, lo protege de la erosión hídrica y eólica, y contribuye a conservar su

humedad. Respecto a colocación del follaje en el suelo, su grado de descomposición al final del estudio, como promedio de los tres cultivares, fue de 72.53±2.36 y 54.58±3.98 % cuando se aplicó enterrado y en la superficie, respectivamente. El análisis de regresión permitió obtener los modelos que representan el patrón de descomposición del follaje en el tiempo de incubación del mismo en el suelo. En los tres cultivares de mucuna, de acuerdo con la gráfica de los resultados y el coeficiente de determinación (R^2) del el análisis de regresión, el patrón de descomposición del follaje colocado en la superficie del suelo se ajustó mejor al modelo lineal y para el follaje enterrado, también en los tres cultivares, el mejor ajuste fue con el modelo exponencial simple (Figura 3).

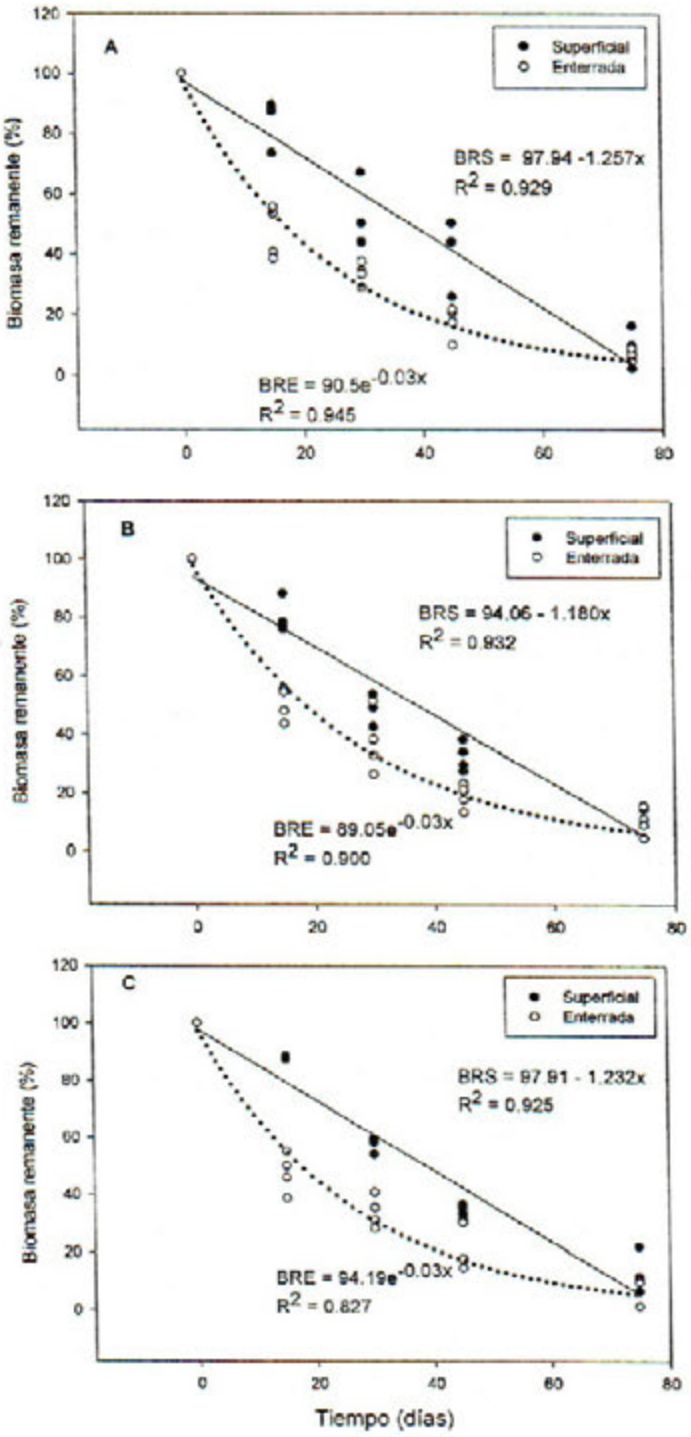

Figura 3. Modelos de regresión entre biomasa remanente y tiempo de incubación del follaje, en función de su colocación en el suelo (Superficial o Enterrada a 20 cm de profundidad), en los tres cultivares de mucuna estudiados: (A) *Mucuna pruriens* cv. deeringiana, (B) *Mucuna pruriens* cv Ghana y (C) *Mucuna pruriens* cv. Preta). BRS=Biomasa remanente en superficie del suelo, BRE=Biomasa remanente enterrada a 20 cm de profundidad (n=16).

6.5. Patrón de liberación de nitrógeno del follaje aplicado al suelo de los cultivares de *Mucuna pruriens*

El patrón de liberación de nitrógeno del follaje de los cultivares de mucuna fue similar al de descomposición del follaje en los cuatro períodos de incubación, es decir, no hubo diferencia significativa entre cultivares de mucuna en cantidad de follaje descompuesto dentro de períodos de tiempo de incubación (P=0.1736) y sólo se detectó diferencia significativa (P=0.0001) entre tiempos de incubación y colocación del follaje en el suelo y de su interacción (P=0.0001). La tasa de liberación de nitrógeno también fue mayor en el primer período de incubación (0 a15 días) cuando el follaje estuvo enterrado, a 20 cm de profundidad, y en el segundo período de incubación (15 a 30 días) cuando el follaje estuvo en la superficie del suelo (Cuadro 3).

Cuadro3. Patrón de liberación de nitrógeno, en función del cultivar de *Mucuna pruriens*, tiempo de incubación y la colocación en el suelo. Valores promedio de cuatro repeticiones.

Cultivar	Época*	Nitrógeno liberado diario (%)**	
		Enterrado	Superficial
Deeringiana	0-15	3.87±0.43a	0.99±0.33b
Deeringiana	15-30	0.78±0.41a	2.76±0.44a
Deeringiana	30-45	1.10±0.38a	0.96±0.29a
Deeringiana	45-75	0.32±0.11a	0.86±0.24a
Preta	0-15	4.49±0.34a	1.78±0.54b
Preta	15-30	0.44±0.43a	1.91±1.07a
Preta	30-45	1.14±0.61a	1.54±0.56a
Preta	45-75	0.35±0.15a	0.47±0.13a
Ghana	0-15	3.62±0.55a	1.27±0.24b
Ghana	15-30	0.66±0.37a	2.31±0.73a

Ghana	30-45	1.20±0.20a	1.50±0.64a
Ghana	45-75	0.38±0.11a	0.51±0.22a

*= Días de incubación del follaje en el suelo. **Porciento del follaje total aplicado al suelo al inicio del estudio.

Los parámetros de calidad bioquímica de los residuos orgánicos que se han correlacionado con la mineralización de N son las relaciones C:N y lignina:N, además, de los contenidos de N, lignina y celulosa (Bending y Turner, 1999). La liberación de nutrimentos a partir de residuos orgánicos depende de sus características químicas y físicas, así como de las condiciones ambientales y las poblaciones microbianas. Los cultivares de mucuna de nuestro estudio presentaron relaciones C/N < 20, (Cuadro 2), característica que favoreció la mineralización del nitrógeno (Yanny *et al.*, 2011). Cadisch *et al.*, (1998) señalaron que con condiciones climáticas similares, dichas características determinan la tasa de liberación de N. El efecto de tiempo de incubación indica que la liberación de N aumenta con el tiempo como producto de la descomposición de los componentes de la *Mucuna* por los microorganismos del suelo (Sánchez, 1981). Cobo, *et al.*, (2002), observaron que la mayor tasa de liberación de nitrógeno del follaje de *Mucuna deeringiana* ocurrió en las primeras dos semanas de incubación y posteriormente este patrón disminuyó y permaneció relativamente estable después de doce semanas. Este mismo patrón se observó para la tasa de descomposición del follaje. Al final del estudio de liberación de nitrógeno del follaje (75 días de incubación) se observó que los cultivares blanco, negro y Ghana habían liberado, en promedio de las dos modalidades de colocación del follaje en el suelo, 87.75, 92.94 y 90.95 %, respectivamente del nitrógeno total aplicado al inicio del estudio;

estos valores de liberación de nitrógeno correspondieron a 145.86, 156.85 y 130.0 kg ha^{-1}, respectivamente.

No obstante que la Técnica de las Bolsas Enterradas es considerada menos exacta que otras técnicas in-situ, esta es simple, causa moderada perturbación del suelo y permite la investigación del patrón de descomposición de la materia orgánica en el suelo y la dinámica de liberación del nitrógeno en horizontes sub superficiales del suelo, por lo cual estas características hacen de este método apropiado para investigaciones agronómicas.

6.6. Carbono orgánico del suelo

El nivel de carbono orgánico del suelo; se midió con base en la liberación de CO_2 el suelo, en suelo con cobertura vegetal con *Mucuna pruriens* y en un suelo bajo cultivo tradicional y sin cobertura vegetal (Figura 4). La cantidad de CO_2 fue significativamente mayor (P=0.0001) en el tratamiento con cobertura vegetal respecto al tratamiento sin cobertura vegetal. En el tratamiento con cobertura vegetal se observó un promedio de 25.010 ± 1.350 mg de CO_2 g^{-1} de suelo seco, mientras que en el tratamiento sin cobertura vegetal del suelo fue de 8.070 ± 0.870 mg de CO_2 g^{-1} de suelo seco; estos valores de actividad respiratoria del suelo concuerdan con los señalados en otros estudios (Omay *et al.*, 1997 y Sosa, 2002), los cuales se llevaron a cabo en suelos de textura arcillosa al igual que el presente trabajo y en condiciones climáticas muy similares.

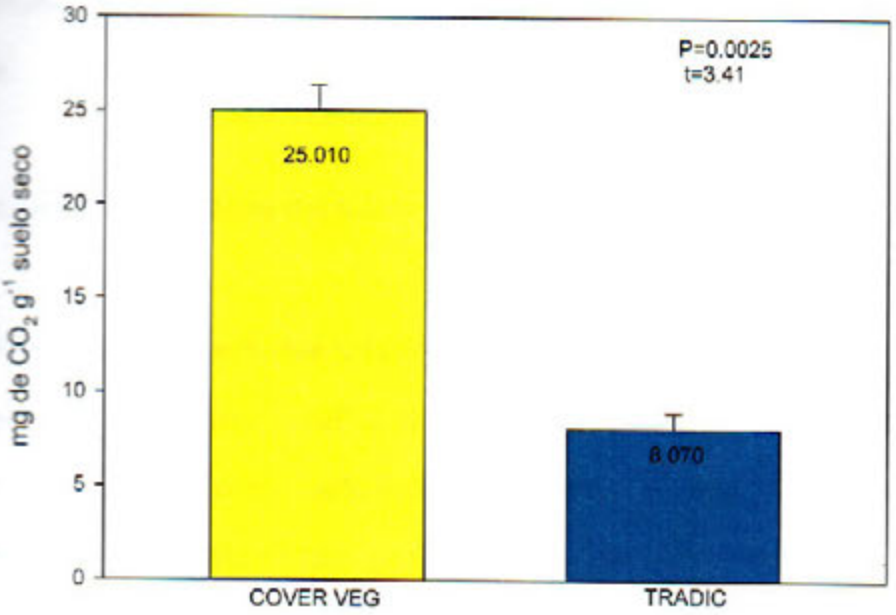

Figura 4. Liberación de CO_2 del suelo, en función del tipo de cobertura del suelo. COBERVEG = Cobertura del suelo con *Mucuna*; TRADIC=Sin cobertura vegetal del suelo. Barras de error indican el error estándar de la media.

La respiración del suelo es una medida de su actividad biológica. Su determinación proporciona información concerniente a la actividad de biomasa que es activa en el suelo (Kemmitt, *et al.*, 2008). A este respecto, Toniutti (1999) encontró valores promedio de respiración, (g C g^{-1} suelo seco), en suelos a 75 – 90% de la capacidad de campo, de 107 en el testigo (sin incorporación de enmienda orgánica), 221.6 (con incorporación de enmienda orgánica) y 113.7 (praderas de alfalfa). Estos valores de respiración indican que el contenido de carbono orgánico total del suelo condicionó en gran medida la actividad de la fracción biológica del suelo.

En un estudio de composteo de residuos orgánicos, Santamaría–Romero, *et al.*, (2001) encontraron que la evolución de CO_2 (respiración microbiana) estuvo asociada positivamente con el contenido de carbono orgánico de los residuos.

En un estudio de incorporación de abono verde a un suelo yermosol háplico Beltrán–Morales, *et al.*, (2006), observaron que la respiración edáfica (evolución de

CO_2) estuvo asociada positivamente con el contenido de carbono orgánico de los residuos.

5.7. Población microbiana del suelo

5.7.1. Población de bacterias totales en el suelo

La población de bacterias (UFC) en el suelo fue significativamente diferente (P=0.0025) (Figura 5) entre suelo tratado con cobertura vegetal con mucuna con un promedio de 25.010±1.350 UFC g^{-1} de suelo y el suelo que se cultiva tradicionalmente con un promedio de 8.070±0.870 UFC g^{-1} de suelo. Los valores de UFC g^{-1} de suelo concuerdan con los datos reportados en otros estudios (Sosa, 2002) en una investigación de potenciales de microorganismos del suelo en rizosfera de tomate, en un suelo arcilloso, similar al suelo en el que se estableció el presente trabajo. Estos resultados muestran que la aplicación de materia orgánica al suelo, a base de una cobertura del suelo con paja de leguminosa *Mucuna pruriens* fomentó la actividad microbiana del suelo como se menciona por (Herrero, *et al.*, 2001).

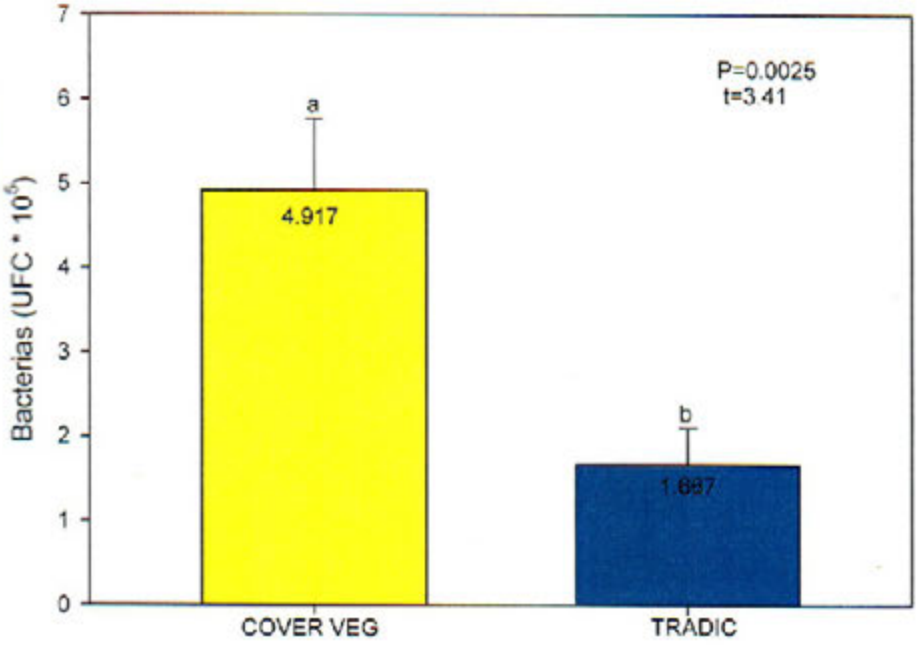

Figura 5. Población de bacterias totales, en función del tipo de cobertura del suelo. COBER VEG = suelo con cobertura vegetal de *Mucuna pruriens*; TRADIC=suelo sin cobertura vegetal. Barras de error indican el error estándar de la media.

6.7.2. Población de bacterias solubilizadoras de fosfato en suelo

La población de bacterias solubilizadoras de fosfato en el suelo se midió utilizando un medio de cultivo especifico para la reproducción de dichas bacterias llamado medio Pikovskaya, en un suelo con cobertura vegetal con *Mucuna pruriens* y en un suelo bajo cultivo tradicional y sin cobertura vegetal (Figura 6).

La población de bacterias solubilizadoras de fosfato fue significativamente mayor (P=0.0026) en el tratamiento con cobertura vegetal respecto al tratamiento sin cobertura vegetal. En el tratamiento con cobertura vegetal se observó un promedio de 53.75 ± 4.31 % de colonización bacteriana en el suelo, mientras que en el

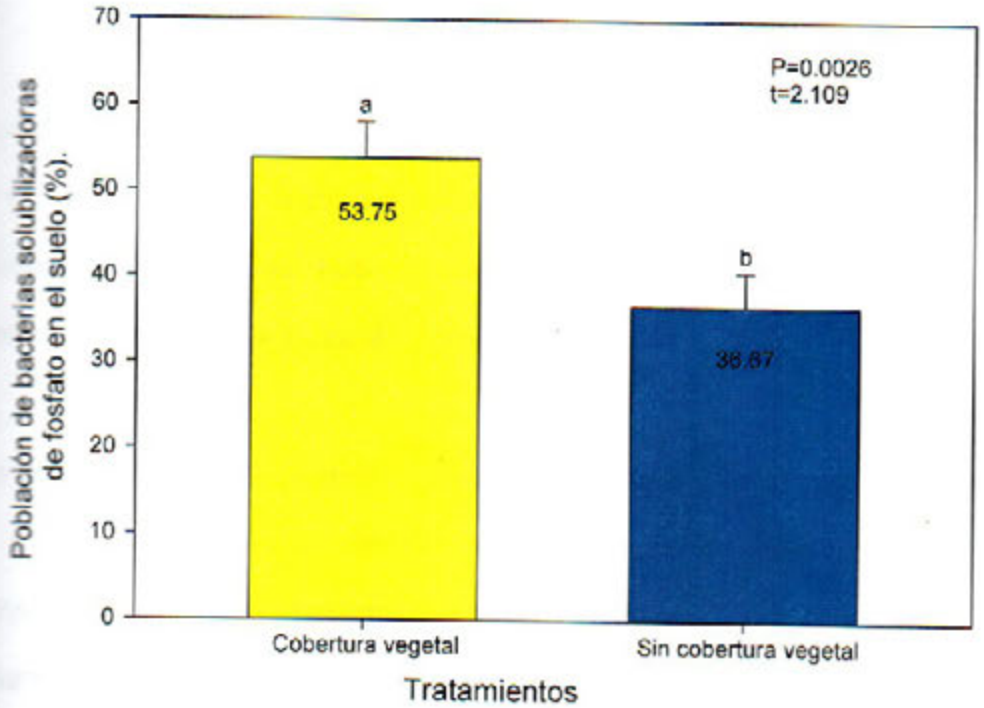

Figura 6. Población de bacterias solubilizadoras de fosfato en el suelo, en funciónde la cobertura del suelo. COBERVEG = Suelo con cobertura vegetal de *Mucuna sp*; TRADIC= Suelo sin cobertura vegetal. Barras de error indican el error estándar de la media.

tratamiento sin cobertura vegetal del suelo fue de 36.67 ± 3.96 % de colonización bacteriana en suelo; A este respecto, Toro *et al.*, (2008), observaron un incremento en las poblaciones de bacterias solubilizadoras de fosfato en un estudio realizado en Caracas Venezuela en donde se utilizó coberturas con residuos de leguminosas. Esta respuesta se debe probablemente a la riqueza en exudados rizosféricos de las leguminosas y / o en nutrimentos minerales que favorecen este aspecto (Andrade, 1999). La presencia de este tipo de bacterias resulta altamente favorecedora para el movimiento de elementos en el suelo, pues gracias a su capacidad de solubilización de fosfatos insolubles, como el fosfato cálcico, aumenta el contenido de fósforo disponible en la solución del suelo y mejora la condición nutricional de la planta (Bowen y Rovira, 1999; Curl y Truelove, 1986; Casanova *et al.*, 2002).

VII. CONCLUSIONES

La cantidad de biomasa producida y el monto de nitrógeno acumulado en el follaje y el nitrógeno fijado de la atmósfera (N_2) por los tres cultivares de *Mucuna pruriens* estudiados, muestra su buena capacidad de adaptación a las condiciones ambientales del valle de Culiacán, Sinaloa, México.

Con base en el patrón de descomposición del follaje y de liberación de nitrógeno del mismo observados en los periodos de tiempo de incubación, en los tres cultivares de mucuna estudiados, es factible establecer un cultivo del ciclo otoño-invierno en el valle de Culiacán, Sinaloa, México, a partir de los 15 días de la incorporación del follaje a 20 cm de profundidad en el suelo, o a partir de los 30 días de la aplicación del follaje en superficie del suelo bajo un sistema de labranza de conservación, el cual aprovechará una porción importante del nitrógeno y otros nutrimentos liberados en la descomposición del follaje aplicado.

El empleo de cobertura vegetal del suelo con los tres cultivares de leguminosa *Mucuna pruriens* incrementó significativamente el carbono orgánico, la población de bacterias totales y población de bacterias solubilizadoras de fosfato; con estos resultados se demuestra que el uso de cobertura vegetal con la leguminosa *Mucuna pruriens* aumenta la actividad microbiana en el suelo.

VIII. LITERATURA CITADA

A.O.A.C. (1998). Association of Official Analytic Chemists.Washington, D.C. USA.

Asongwed-Awa, A. Onana J. (2002). Variability in productivity of *Mucuna pruriens* varieties in a semi-arid environment, pp. 3-6.*In*:SavanesAfricaines: Des Espaces en Mutation, des ActeursFace à de Nouveaux Defies. Jamin, J.Y.;SeinyBoukar, L.; Floret, C. (Eds.).*Actes du colloque, mai.* Garoua, Cameroun. Prasac, N'Djamena, Tchad-Cirad, Montpellier, France.

Armenta, B.A. (1998). Relaciones Óptimas de Aniones y de cationes en la solución nutritiva en riego por goteo para la producción de tomate. Tésis. Colegio de posgraduados. Montesillo, México. 127.

Aaroson, S. (1970). Experimental microbial ecology. Edit. Academic Press. New York. 236 pp.

Andrade, G. (1999). Interacciones microbianas en la rizósfera. In: Soil fertility, soil biology and plant nutrition interrelationships. Siqueira, J., Moreira, F., Lopes, A., Guilherme, L., Faquin, V.; FurtiniNeto, A. and Carvalho, J. Editors. Sociedade Brasileira de Ciência do solo, Lavras, Brasil. 551-576 p.

Bayer, C., N. L. Martin, J. Mielniczuk, C.N. Pillon y L. Sangoi. (2001). Changes in soil organic matter fractions under subtropical no-till cropping systems.J.Soil Sci. 65: 1473-1478.

Becker, M. and D.E. Johnson, (1998). Legumes as dry season fallow in upland rice-based systems of West Africa. Biol. Fert. Soils, 27: 358.

Beltrán-Morales F. A., Beltrán- Morales L. F., García-Hernández, J. L., Valdez-Cepeda, R. D., Murillo-Amador B, Troyo-Diéguez E, Larrinaga-Mayoral J. A. (2006) Efecto de sistemas de labranza e incorporación de abono verde (*Lablabpurpureus L*) sobre la respiración edáfica en un yermosolháplico: Interciencia, vol. 31 no. 003: 226-230.

Bending, G., Turner, M. (1999).Interaction of biochemical quality and particle size of crop residues and its effect on the microbial biomass and nitrogen dynamics following incorporation into soil. Biol. Fertil. Soils 29: 319-327.

Binkley, D., P. Sollins, R. Bell, D. Sachs y D. Myraid. (1992). Biogechemistry of adjacent conifer andalder conifer stands.Ecology 73.pp 2002-2003.

Blanco, F y R. Gutiérrez. (1998). Efecto de la *Mucuna*sp en la composición de la comunidad de hongos MAdel suelo y en la respuesta de maíz a la inoculación conhongos MA. Rev.Agronomía Costarricense 22: 153-161.

Bowen, G. D. and A. D. Rovira. (1999). The rhizosphere and its management to improve plant growth. Advances in Agronomy 66:1-102 p.

BrilL, J.W. (1977). Biological nitrogen fixation:Scient.Amer 236. pp. 68-81.

Cadisch, G., Handayanto, E., Malama, C., Seyni, F., Giller, K.E. (1998).N recovery from legume prunings and priming effects are governed by the residue quality. Plant Soil 205: 125-134.

Carter, M., E. Gregorich, R. Angers, R. Donald y M. Bolinder.(1998). Organic C and N storage, and Organic C fractions, in adjacent cultivated and forested soils of eastern Canada.Soil Till. Res. 47:253-261.

Casanova, E., A. M. Salas and M. Toro. (2002). The use of nuclear and related techniques for evaluating the agronomic effectiveness of phosphate fertilizers, in particular rock phosphate, in Venezuela: initial available P and its changes in soils amended with rock phosphate. NutrientCycling in Agroecosystems. 63:13-20.

Castellanos, J.Z,. Peña-Cabriales, J.J. (1990). Los nitratos provenientes de la agricultura. Una fuente de contaminación de los acuíferos. Terra 8 (1): 113-126.

Cidicco., (2006). Mucuna. 0. Fecha de consulta 7 de julio 2011.

Conrad, R., Seiler, W. (1980). Field measurement of the loss of fertilizer nitrogen into the atmosphere as nitrous oxide. Atmos. Environ. 14: 555-558.

Curl, E. A. and B. Truelove. (1986). Therhizosphere. Springer-Verlag (Eds). Berlín. 323 p.

Current Science. (2000). Sulubilization of inorganic phosphates by *Azospirillum holopraeferans*.Vol. 79, No. 5: 565 – 567.

Delgadillo, J y R. Ferrera. (1996). "*Melilotusalbus* inoculado con *Rhizobium meliloti* y aplicación de materia orgánica en la recuperación de tepetates", en

Zebrowski, C. y G. Trujillo (eds). Suelos volcánicos endurecidos. III Simposio Internacional. Diciembre. Quito, Ecuador.

Dinesh, R., P. Dubey y G. Shyam(1998). Soil microbial biomass and enzyme activities as influenced by organic manure incorporation into soil of a rice-rice system. Agron. J. 181: 173178.

Entz, M.H., W.J. Bullied, and F. Katepa-Mupondwa. (1995). Rotational benefits of forage crops in Canadian prairie cropping systems. J. Prod. Agrie. 8:521-529.

Escarzada, G.E. (1987). Determinación del potencial alelopático del nescafe *Stizolobium prurens* sobre cinco cultivos y tres malezas. Tesis profesional, Instituto o de Estudios Superiores de Monterrey Campus Querétaro, Qro. Pp. 82.

FIRA. (2009). El mercado de los fertilizantes en méxico: situación actual y perspectivas 2009. disponible en: http://www.fira.gob.mx:8081/sas/docs/InformacionEconomica/Notas_de_Analisis/. Fecha de acceso: 25 de enero de 2010.

Gale, W y C. Cambardella. (2000). Carbon dynamics of surface residue- and root-derived organic matter under simolated No-Till. Soil Sci Soc. Am. J. 64: 190-195.

Campbell, C.A., M. Schnitzer, G. P. Lafond, R. P. Zentner, and J.E. Knipfel. (1991). Thirty- yearcrop rotations and management practices effects on soil and amino nitrogen. Soil Sci. Soc. Am. J. 55:739-745.

García, M. E. (1987). Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Cuarta edición. Enriqueta García de Miranda. Universidad Nacional Autónoma de México.

Gerónimo-Cruz, A., Salgado García, S., Catzin Rojas, F. J., Ortiz Ceballos, A. I. (2002). Descomposición del follaje de nescafé (M*ucuna* spp.) en la época seca. Interciencia 27 (11): 625-630.

Granados, A.N. (1989). La rotación con leguminosas como alternativa para reducir el causado por fitopatógenos del suelo y elevar la producción del agroecosistema maíz en el trópico húmedo. Tesis de maestría en ciencias. Colegio de posgraduados, Montecillo, México.

Greenland, D.J. (1977). Conrribution of microorganisms on the nitrogen status of tropical soils.Biological Nitrogen Fixation in Farming System of the tropics. A. Ayanaba y P. J. Dart (Eds.). Jhon Wiley & Sons. New York. pp. 13-26.

Hauser, S., Nolte, C. (2002). Biomass production and N fixation of five *Mucuna pruriens* varieties and their effect on maize yields in the forest zone of Cameroon.J.Plant Nutr. Soil Sci. 165: 101-109.

Herrero, E. V., J.P. Mitchell., W. T. Lanini,.S.R. Temple., E.M. Miyao., R.D. Morse and E. Campiglia. 2001. Use of cover crop mulches in no-till furrow-irrigated processing tomato production sytem. Hor Technology, vol. 11(1): 43-48.

Houngnandan, P.; Sanginga, N.; Woomer, P.; Vanlauwe, B.; Van, C. V. O. (2000). Response of *Mucuna pruriens* to symbiotic nitrogen fixation by rhizobia

following inoculation in farmers' fields in the derived savanna of Benin. Biol. Fertil. Soils 30:558-565.

Hoyt, P.B., and R.H. Leitch.(1983). Effects of forage legume species on son moisture, nitrogen, and yield of successive barley crops.Can. J. SoilSci. 63:125-136.

INIFAP. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. 1997. pp. 10-12. *In:* Registro de observaciones climatológicas diarias. Estación meteorológica, Campo Experimental del Valle de Culiacán. Culiacán, Sin., México.

Jenkinson, D.S y D.S. Powlson. (1976).The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. V. A method for measuring soil biomass. Soil Biology and Biochemistry, v.8, p.209-213.

Kelner, D.J., and J.K. Vessey.(1995). Nitrogen fixation and growth of one-year stands of non-dormant alfalfa in Manitoba. Can. J. Plant Sci. 75: 655-665.

Kemmitt, S.J., C.V. Lanyonb, I.S. Waiteb, Q. Wenc, T.M. Adidiscotta, N.R.A. Birda, A.G. O'Donnellb, P.C. Brookesa. 2008. Mineralization of native soil organic matter is not regulated by the size, activity or composition of the soil microbial biomass ---- a new perspective. Soil Biology & Biochemistry 40 : 61- 73.

Kumaga, F.K., Ofori, K., Marfo-Ahenkora, E. (2006).Nodulation, dry matter and nitrogen accumulation of mucuna (*Mucuna puriens* varutilis) in response to Bradyrhizobiainoculation.Int. J. Agric. Biol.8:138-141.

Kumar, Rao J. V,; P. J. Dart y S.S. Sastry. (1983). Residual effect of pigeonpea *(Cajanuscajan)* on yield and nitrogen response of maize. Expl, Agric. 19: 131-441.

Ladha, J.K., D.Dawe, T.S. Ventura, U. Singh, W. Ventura y I. Watanabe. (2000). Long-term effects of urea and green manure on rice yields and nitrogen balance.Soil Sci. Soc. Am.

Mayer, J., F. Buegger, E. S. Tensen, M. Schloter y J. Heb. (2003). Residual nitrogen contribution from grain legumes to succeeding wheat and rape and related microbial process. Plant Soil. 255: 541-554.

Muraoka, T., E. J. Ambrosano, F. Zapata, N. Bortolleto, L. M. Martins, A. Trivelin P. C.O., A. E. Boaretto y W. B. Scivittaro. (2002). Eficiencia de abonos verdes (Crotolaria y Mucuna) y urea, aplicados solos o juntamente, como Fuentes de N para el cultivo de arroz. Terra Latinoamericana 20: 1 7-23.

Myers, R. J. K., K. Palm C., Cuevas E., U. N. Gunatüleke L. M. Brossard (1994). The synchronization of nutrient mineralization and plant nutrient demand. En The Biological Management of Tropical Soil Fertility. Wiley. EEUU. pp. 81-116.

Nannipieri, P. S., Grego y B. Ceccanti. (1990). Ecological significance of the biological activity in soil. pp. 293-355. *In:* J. M. Bollag and G. Stotzky (eds.). Soil biochemistry.Volume 6. Marcel Dekker. New York, NY, USA.

Noordwijk, M., S.M. Sitompul, K. Hairiah, E. Listgarium and S. Ms, (1995). Nitrogen supply from rotational or spatially zoned inclusion of leguminosae for

sustainable maize production on an acid soil in Indonesia. p. 779-784. *In*: Date, R.A. (Ed.), *Plant interactions at lowpH*. Kluwer Academic Publications, The Netherlands.

Omay, A.B., C.W. Rice, L.D. Maddux y W.B. Gordon. (1997). Changes in Soil Microbial and Chemical Properties under Long-term Crop Rotation and Fertilization. Journal Soil Sci. Am. 61: 1672-1678.

Ortiz, C. A., (1995) Evaluación de cultivares de picapica mansa *Mucunaspp*, como cultivo de cobertura. Tesis. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México, p. 144.

Ortiz, C.A., DJ. Palma L., M.M. Osorio A. (1998a). Descomposición in situ del follaje de Nescafé *Mucuna spp.* y .Camalote *Paspalum fasciculatum* en un Vertisol. En Ordaz ChVM, Sánchez GP (Eds.) La Investigación Edafológica en México 1997-1998. Memorias XXTX-Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Tapachula de-Córdoba y Ordónez, Chiapas, México, p. 210.

Ortiz, C.A., S. Salgado G., D. J. Palma *L.*, M. Osorio A. (1998b). Liberación del nitrógeno en dos cultivos de cobertura, In: V. M. Ordaz Ch., P. Sánchez G, (Eds.) La Investigación Edafológica en México 1997-1998. Memorias XXIX Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Tapachula de Córdoba y Ordóñez, Chiapas, México. p. 209.

Páes, O.F., Ramierez, R.G., Ruiz, F.A.C., Soto, J.M.A. (2007). La contaminación por nitrógeno y fósforo en Sinaloa: Flujos, fuentes, efectos y opciones de manejo. 1ª. Edición. Universidad Nacional Autónoma de México. D.F., México. 304 pp.

Peoples, M. (1993).Techniques for quantifying nitrogen fixation. pp. 164-171. *In:* J. M. Anderson y J.S.I. Ingram. Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods. 2nd ed. C.A.B International. Washington, U.K.

Pérez, A. A. (1999). El cultivo de maíz con frijol en el ejido José G. Asmitia del Municipio del Centro, Tabasco. Memorias XII Reunión Científica-Tecnológica Forestal y Agropecuaria. INIFAP. Villahermosa Tabasco. p. 71.

Puertas, F., Arévalo, E., Zúñiga, L., Alegre, J., Loli, O., Soplin, H., Baligar, V. (2008). Establecimiento de cultivos de cobertura y extracción total de nutrientes en un suelo de trópico húmedo en la amazonía peruana. Ecología Aplicada 7(1): 23-28.

Quirós, E., D. Meneses, C. Cervantes y I. Urbina. (1998). Abonos verdes: una alternativa para mejorar la fertilidad del suelo. PRIAG. 36 p.

Rodríguez, N. F., S. L. F. Ramirez y R. F. Sustaita. (1987). Materia orgánica. Efecto en el suelo e influencia directa en la planta. Publicaciones del Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

Saldaña, Y., M.I., H. Andrade P., J. Pereyra A., M. Chab V., H.A. Valencia C. (1999). Diagnóstico de la asociación Maíz-Nescafé*(Mucunaspp)* en Tamultede las Sabanas. Memorias XII Reunión Científica-Tecnológica Forestal y Agropecuaria. INIFAP. Villahermosa, Tabasco, México. p.63.

Sánchez, A.P. (1981). Suelos del trópico. Características y manejo. IICA. San José, Costa Rica.660 pp.

Sancho, F y C. Cervantes. (1997). El uso de la planta de cobertura en sistemas de cultivos perennes y anuales en Costa Rica. Agronomía Costarricense 2 (11): 111-120.

Santamaría-Romero S., R. Ferrera-Cerrato, J. J. Almaraz-Suarez, A. Galvis-Spinola y I. Barois-Boullard. (2001). Dinámica y relaciones de microorganismos, C-orgánico y N-total durante el composteo y vermicomposteo. Agrociencia 35, 377-384.

SAS, Institute Inc. (2002). SAS/STAT User's guide.Version 9.01 Cary NC, USA.

Singh, Y., B. Singh y C.S Khind. (1992). Nutrient transformations in soils amended with green manures. Adv. SoilSci. 20: 237-309.

Sosa, P. R. (2002). Potencial de pseudomonadales rizosféricos del tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) como estimadores del crecimiento y de biocontrol. Tesis de Doctorado en ciencias. Epecialidad de Microbiología. Instituto Politécnico Nacional, México, D.F.

Stute, J, K., y J. L. Posner. (1993). Legume cover crop options for grain rotations in Wisconsin.Agron. J. 85:1128-1132.

Tisdale, S.L. y W.L. Nelson.(1982). Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Ed. UTEMA, México. pp. 694.

Toniutti, M.A., I.V. Fornasero, D. Tenorio y J. Mollo. (1999). Evaluación de la biomasa microbiana en el proceso de recuperación de suelos. Revista FAVE 13 (2) : 5-11.

Toro, M., I. Bazo., M. López. (2008).Micorrizas arbusculares y bacterias promotoras de crecimientovegetal, biofertilizantesnativos de sistemas agrícolasbajo manejo conservacionista.Agronomía Trop. 58(3): 215-221.

Wambeke, A. (1987). Soil Moisture and Temperature Regimes of Central America, Caribbean and Mexico. SMSS Technical Monograph #16.225 pp. 16 maps.Department of Agronomy. Cornell University, Ithaca, New York.

Villarreal, R. M., T.S. Parra, P.P. Sánchez, V.S. Hernández, M. J.L. Corrales, S. J. L Armenta y S.J Arellano. (2007). Cultivo de tomate en rotación con *Mucuna pruriens* en un vertisol pélico . Memoria X Congreso Internacional en Ciencias Agrícolas. pp. 274-278. Mexicali, B.C.

Vitousek, M. P., Turner, D.R.; Part, W.J., Stanford, R.L. (1994). Litter decomposition on the Mauna Loa environmental matrix, Hawaii: Patterns, mechanisms and models. Ecology75: 418-429.

Voroney, R., E. Paul y D. Anderson. (1989). Decomposition of wheat straw and stabilization of microbial products. Can J. Soil Sci. 69: 63-77.

Yanni, F. Sandra, Whalen Joann K., Simpson J. Myrna and Janzen H. Henry. 2011. Plant lignin and nitrogen contents control carbon dioxide production and nitrogen mineralization in soils incubated with Bt and non-Bt corn residues. Soil Biol. and Biochem. 43 (1): 63-69.

IX. APÉNDICE

Cuadro 1A. Análisis de varianza de población de bacterias solubilizadoras de fosfato, en función de tratamiento de cobertura vegetal del suelo.

FV	GL	SC	Valor de F	Pr > F
TRAT	1	1751.041667	12.47	0.0026
REP	3	2078.125		
REPL	2	58.333333		
Error	17	2386.458333		
Total	23	6273.958333		
R^2	C.V.			
0.619	26.208			

Cuadro 2A. Análisis de varianza del peso de tallos, en función de los tres cultivares de *Mucuna pruriens*.

FV	GL	SC	Valor de F	Pr > F
TRAT	2	315779.89	0.23	0.7971
REP	2	509915.995		
REPL	2	1186972.236		
Error	20	13767904.13		
Total	26	15780572.25		
R^2	C.V.			
0.127	37.195			

Cuadro 3A. Análisis de varianza del peso de hojas, en función de los tres cultivares de *Mucuna pruriens*.

FV	GL	SC	Valor de F	Pr > F
TRAT	2	18232.1552	0.01	0.9941
REP	2	522187.8587		
REPL	2	172094.37		
Error	20	31004669.09		
Total	26	31717183.48		
R^2	C.V.			
0.022	44.51			

Cuadro 4A. Análisis de varianza del peso de biomasa aérea, en función de los tres cultivares de *Mucuna pruriens*.

FV	GL	SC	Valor de F	Pr > F
TRAT	2	241821.763	0.03	0.9706
REP	2	1761312.06		
REPL	2	2113329.984		
Error	20	80868302.9		
Total	26	84984766.71		
R^2	C.V.			
0.048	39.993			

Cuadro 5A. Análisis de varianza del Nitrógeno total, en función de los tres cultivares de *Mucuna pruriens*.

FV	GL	SC	Valor de F	Pr > F
TRAT	2	3241.812541	0.38	0.6892
REP	2	2031.940763		
REPL	2	7200.533503		
Error	20	85468.58796		
Total	26	97942.87476		
R^2	C.V.			
0.127	41.555			

Cuadro 6A. Análisis de varianza del Nitrógeno fijado, en función de los tres cultivares de *Mucuna pruriens*.

FV	GL	SC	Valor de F	Pr > F
TRAT	2	2134.668422	0.68	0.5202
REP	2	331.894422		
REPL	2	801.701756		
Error	20	31605.52207		
Total	26	34873.78667		
R^2	C.V.			
0.093	59.322			

Cuadro 7A. Análisis de varianza de material descompuesto %, en función de fechas de muestreo, localización del material y tres cultivares de *Mucuna pruriens*.

FV	GL	SC	Valor de F	Pr > F
Factor A	2	19.0364	0.18	0.833
Factor B	3	41068.29912	263.46	<0.0001
Factor C	1	7712.53602	148.43	<0.0001
A*B	6	147.00518	0.47	0.8273
A*C	2	98.81824	0.95	0.3912
B*C	3	3062.99269	19.65	<0.0001
A*B*C	6	178.40161	0.57	0.7511
Error	72	3741.16118		
Total	95	56028.25044		
R^2	C.V.			
0.933	11.344			

Cuadro 8A. Análisis de varianza de la tasa de descomposición, en función de fechas de muestreo, localización del material y tres cultivares de *Mucuna pruriens*.

FV	GL	SC	Valor de F	Pr > F
Factor A	2	0.04981675	0.13	0.8804
Factor B	3	88.14115003	150.54	<0.0001
Factor C	1	19.18792251	98.32	<0.0001
A*B	6	0.44383225	0.38	0.8901
A*C	2	0.40015908	1.03	0.3639
B*C	3	19.72859211	33.7	<0.0001
A*B*C	6	0.74020992	0.63	0.7041
Error	72	14.0518167		
Total	95	142.7434994		
R^2	C.V.			
0.901	13.19405			