

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

Departamento Académico de Ciencias Agrarias



**“EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE NODULACIÓN
RADICULAR DE DIEZ ESPECIES DE LEGUMINOSAS EN
TINGO MARÍA”**

TESIS

Para optar el título profesional de:

INGENIERO AGRÓNOMO

José Rolando GONZÁLES DÍAZ

Promoción I – 2006

“ANTONIO BRACK EGG”

TINGO MARÍA - PERÚ

2010



F01

G71

Gonzáles Díaz, José R.

Evaluación de la Capacidad de Nodulación Radicular de Diez Especies de Leguminosas en Tingo María. Tingo María 2010

71 h.; 29 cuadros; 12 fgrs.; 23 ref.; 30 cm.

Tesis (Ing. Agrónomo) Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María (Perú). Facultad de Agronomía.

NODULACION RADICULAR / LEGUMINOSAS ARVENSE / ESPECIES

FORESTALES / EVALUACION / VIVERO / METODOLOGIA / TINGO

MARIA / RUPA RUPA / LEONCIO PRADO / HUANUCO / PERU.

DEDICATORIA

A ROLANDO GONZÁLES
RENGIFO y ANA DÍAZ RUIZ, mis
padres, que dieron amor por vida.

A mis hermanos: ROBERTINA,
ILDEFONSO y ÁNGEL, con el amor
y cariño de siempre

AGRADECIMIENTO

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, docentes, trabajadores no docentes y en especial a la Facultad de Agronomía.
- A los miembros del Jurado de tesis: Ing. Luis MANSILLA MINAYA, Ing. Warren RIOS GARCÍA e Ing. Fernando GONZALES HUIMAN
- Al Ing. M.Sc. Jorge Luis ADRIAZOLA DEL ÁGUILA, gestor y asesor de la tesis.
- A mi señorita enamorada Magally Lizbeth FLORIÁN ÁLVAREZ por su apoyo y comprensión en todo momento.
- A mis tíos, Ing. M.Sc. Ever CÁRDENAS RIVERA y Nimia DÍAZ RUIZ, por su apoyo constante a lo largo de mi carrera profesional.
- Al Ing. M.Sc. Guillermo DE LA CRUZ y esposa Cenía ÁLVAREZ, por el apoyo brindado durante mi formación profesional.
- A Moisés DE LA CRUZ ÁLVAREZ, Carmen DE LA CRUZ ÁLVAREZ y hermanos, por el apoyo brindado en todo momento en mi formación profesional.
- Al Ing. Pedro HUERTO GUZMÁN, responsable del Fundo N° 1 de la Facultad de Agronomía - UNAS, por las facilidades brindadas para la ejecución de la presente investigación.

INDICE GENERAL

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN.....	10
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	12
2.1 Las malezas.....	12
2.2 La familia Fabaceae (Leguminosas).....	13
2.3 Transformaciones del N en los ecosistemas	14
2.4 Fertilizantes y fijación biológica del N atmosférico: relación <i>Rhizobium</i> -Leguminosas	14
2.5 Experiencias locales	25
2.6 El "tornillo" (<i>Cedrelinga catenaeformis</i> Ducke)	27
III. MATERIALES Y MÉTODOS	28
3.1 Campo experimental: ubicación.....	28
3.2 Condiciones climáticas.....	28
3.3 Componentes en estudio	29
3.4 Tratamientos en estudio.....	30
3.5 Materiales	31
3.6 Diseño experimental.....	33
3.7 Disposición experimental.....	34
3.8 Observaciones registradas	35
3.9. Ejecución del experimento	36
IV RESULTADOS Y DISCUSION.....	40
4.1 Identificación y clasificación de nueve especies de leguminosas	40

4.2	Características de las leguminosas arvenses	42
4.3	Capacidad de nodulación de las leguminosas arvenses	46
4.4	Crecimiento y nodulación del "tornillo" en tres tipos de sustrato	56
4.5	Capacidad de nodulación de plantones de "tornillo" en tres sustratos	58
V.	CONCLUSIONES.....	65
VI.	RECOMENDACIONES.....	66
VI.	RESUMEN.....	67
VII.	BIBLIOGRAFIA.....	69
IX.	ANEXO.....	71

INDICE DE CUADROS

Cuadro		Pág.
1	Datos meteorológicos de octubre 2006 a febrero 2007.....	28
2	Especies leguminosas en estudio	30
3	Tratamientos en estudio	30
4	Análisis de suelos de bosque, suelo agrícola y suelo arenoso. Tingo María. UNAS. 2007.....	32
5	Esquema del análisis de variancia de las leguminosas arvenses .	33
6	Esquema del análisis de variancia del “tornillo”	34
7	Identificación y clasificación de nueve leguminosas arvenses ...	41
8	Algunas características de leguminosas arvenses en Tingo María. UNAS – 2007	43
9	Características de los nódulos en plantas de leguminosas arvenses en la UNAS – Tingo María. 2007.	45
10	Análisis de variancia de la capacidad de nodulación radicular total de plantas arvenses.....	47
11	Análisis de variancia de la capacidad de nodulación radicular en la raíz principal de plantas arvenses.....	47
12	Análisis de variancia de la capacidad de nodulación radicular en la raíces secundarias de plantas arvenses	47
13	Capacidad de nodulación radicular total de las plantas arvenses (Prueba de Duncan, $\alpha = 0.05$),.....	49
14	Capacidad de nodulación en la raíz principal de arvenses (Prueba de Duncan, $\alpha = 0.05$).....	52

15	Capacidad de nodulación radicular en las raíces secundarias de arvenses (Prueba de Duncan, $\alpha = 0.05$).....	55
16	Algunas características del “tornillo” en tres tipos de suelo	56
17	Características de la nodulación en plantones de “tornillo” en tres tipos de suelo.....	57
18	Análisis de variancia de la capacidad de nodulación radicular total de plantones de “tornillo”.....	59
19	Análisis de variancia de la capacidad de nodulación radicular de la raíz principal de plantones de “tornillo”.....	59
20	Análisis de variancia de la capacidad de nodulación radicular de raíces secundarias de plantones de “tornillo”.....	59
21	Número total de nódulos en plantones de “tornillo” (Prueba de Duncan, $\alpha = 0.05$)	61
22	Número de nódulos en la raíz principal de plantones de “tornillo” (Prueba de Duncan, $\alpha = 0.05$)	62
23	Número de nódulos en las raíces secundarias de plantones de “tornillo” (Prueba de Duncan, $\alpha = 0.05$).....	64
24	Evaluación de la capacidad de nodulación radicular en plantones de “tornillo”	72
25	Evaluación de la capacidad de nodulación radicular en raíz principal del “tornillo”	73
26	Evaluación de la capacidad de nodulación radicular en raíces secundarias de “tornillo”	74

27	Evaluación de la capacidad de nodulación radicular en arvenses leguminosas tropicales	75
28	Evaluación de la capacidad de nodulación radicular en raíz principal de arvenses leguminosas tropicales	76
29	Evaluación de la capacidad de nodulación radicular en raíces secundarias de arvenses leguminosas tropicales	77

INDICE DE GRÁFICOS

Figura		Pag.
1.	Nodulación radicular total en leguminosas arvenses	50
2.	Nodulación radicular total de plantones de "tornillo" en tres tipos de sustrato	61
3.	Distribución de tratamientos en el campo experimental	78
4.	<i>Desmodium tortuosum</i> (Sw.) DC.: "pega pega", "amor seco", "carrapicho", "cadillo"	79
5.	<i>Crotalaria sagittalis</i> L.: "cascabelillo", "sonajita"	79
6.	<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.: "sacha frijol"	80
7.	<i>Desmodium scorpiurus</i> (Sw.) Desv.: "pega pega"	80
8.	<i>Sesbania exaltata</i> (Raf.) Cory: "sesbania", "frijolillo"	81
9.	<i>Macroptilium lathyroides</i> (L.) Urban: "frijolillo", "habichuela parada"	81
10.	<i>Cassia tora</i> Linn.: "ayaporoto", "cimarrona", "mata pasto", "retamilla"	82
11.	<i>Crotalaria striata</i> DC.: "cascabelitos", "sonajita", "maraquitas" ...	82
12.	<i>Aeschynomene americana</i> L.: "falsa sensitiva", "dormilona"	83

I. INTRODUCCIÓN

En Tingo María existen áreas apropiadas para la explotación de muchos cultivos, pero sin embargo, la intervención del hombre con el uso inadecuado del suelo, ha degradado sus propiedades físicas, químicas y biológicas trayendo consigo la disminución de la producción.

La producción de los cultivos en la provincia de Leoncio Prado, no resulta rentable, por los bajos rendimientos por hectárea, y uno de los factores limitantes, es la falta de protección o cobertura del suelo contra agentes erosivos. Universalmente se recomienda la rotación de cultivos o el uso de coberturas muertas o vivas para enriquecer o proteger el suelo, y las especies que destacan son las leguminosas por su capacidad para aportar nitrógeno e incorporar biomasa; convencionalmente se usan unas pocas conocidas, y sin embargo la naturaleza nos ofrece otras alternativas, como el manejo de especies arvenses, leguminosas nativas a veces consideradas malezas que a pesar de ser vistas como competidoras u hospederas de plagas tienen que ser observadas con la óptica de su servicio ambiental o ecológico que ofrecen al agroecosistema, ya que también aportan nitrógeno, cobertura y de seguro otros beneficios aún poco estudiados.

Por otra parte, en los sistemas agroforestales que se estudian en el Perú, poco interés han tenido las especies forestales nativas leguminosas como el "tornillo", *Cedrelinga catenaeformis*, que muestra gran capacidad de desarrollarse en suelos ácidos y aún así tiene capacidad de aportar nitrógeno.

Sin embargo, no todas las leguminosas tienen capacidad para fijar N, y

muchas no tienen nódulos, dependiendo de las condiciones en las que crecen. Existiendo la necesidad de identificar la capacidad de nodulación de especies arvenses y del "tornillo", y con la finalidad de conocer sus ventajas alternativas, se planteó el presente trabajo de investigación, con los siguientes objetivos:

1. Identificar y describir nueve especies de leguminosas arvenses tropicales con capacidad de nodulación, a nivel de vivero.
2. Evaluar la capacidad de nodulación de nueve especies de leguminosas arvenses tropicales.
3. Evaluar la capacidad de nodulación radicular de la especie forestal maderable *Cedrelinga catenaeformis* "tornillo" en tres tipos de sustrato a nivel de vivero.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Las malezas

CERNA (1994) define en sentido amplio que maleza es cualquier planta fuera del lugar, de modo que las plantas cultivadas al estar en un lugar que no se las desea, son malezas, y similarmente SAGASTEGUI (1993) indica que agrónomicamente una planta es maleza cuando es inoportuna o limita el crecimiento de las plantas deseables, pero que en casos especiales pueden ser útiles.

De este modo, el mismo autor considera que las malezas pueden brindar beneficios a la agricultura, como que hospedan insectos y microorganismos benéficos, remueven nutrientes de capas inferiores del suelo para que puedan ser absorbidas por los cultivos, liberan sustancias repelentes a organismos dañinos, dan cobertura a los suelos contra la erosión, mantienen la humedad de los suelos evitando la evaporación y añaden materia orgánica y N al suelo entre muchos otros efectos.

Igualmente, en condiciones de agricultura eficiente y económica, la competencia e interferencia de las malezas, malas hierbas o plantas indeseables siempre ha sido el factor menos considerado, debido a que sus efectos no son tan evidentes como las acciones de insectos y patógenos. Sin embargo, ha quedado demostrado que las malezas ocasionan mermas significativas de la producción y productividad, y en la calidad del producto agrícola.

2.2. La familia Fabaceae (Leguminosas)

La FAO (1995), indica que es una familia muy diversificada en regiones templadas y tropicales del mundo, que incluye numerosas plantas cultivadas que proveen parte de la dieta humana y numerosos arbustos y plantas herbáceas que juegan un rol mayor en varios ecosistemas y MANCILLA (2002) añade que es una familia cosmopolita muy grande, que consta de casi 550 géneros y unas 15 000 especies, muchas de las cuales son importantes como alimenticias (fréjoles, lentejas, garbanzos, habas, alverjas, etc.), forrajeras (alfalfa, trébol), y otras son medicinales, textiles, tintóreas y ornamentales.

Características generales de las leguminosas

Las características botánicas de las leguminosas están bien documentadas, indicando ROBINSON (1972) y la FAO (1995) que presentan flor "amariposada" que forma un tipo de fruto llamado legumbre, alargado y más o menos cilíndrico o aplastado, con dos suturas opuestas, hojas alternas y pinnadas y estipuladas, flores (usualmente hermafroditas), solas o en grupos.

Sobre la germinación de las semillas CARRERAS y PASCUALIDADES, (2001) indican que presentan dos tipos de germinación pero que con más frecuencia ocurre la germinación epígea en la que los cotiledones, salen a la superficie empujados por el alargamiento del hipocotilo; en la germinación hipogea el alargamiento del hipocotilo es reducido, los cotiledones permanecen enterrados y dentro del tegumento y el epicotilo, más diferenciado, emerge por encima del suelo. Finalmente, todas las partes de la planta, incluidas las semillas, son ricas en nitrógeno comparadas con otras no leguminosas.

2.3 Transformaciones del N en los ecosistemas

Haciendo un balance de pérdidas y ganancias del N del suelo, dentro de los ecosistemas se produce la mineralización del nitrógeno orgánico (fertilizantes, residuos de cosecha, carcasas, heces de animales) a amonio (amonificación), realizada por una microflora variada, y posteriormente se produce la oxidación del amonio a nitrito y luego a nitrato (nitrificación) a través de bacterias nitrificantes (*Nitrosomonas*, *Nitrobacter*). En estas condiciones se produce la absorción de nitrato y amonio por raíces de plantas y la inmovilización por la microflora del suelo incorporando nitrógeno mineral en sus proteínas (LAVANDERA, 2006). Asimismo, se pueden producir pérdidas de N del suelo por lixiviación de nitratos que pueden alcanzar la napa freática y los ríos, pérdidas debidas al fuego, erosión, volatilización (en condiciones de pH alto) y por desnitrificación química (suelos ácidos) y biológica por una microflora que reduce el nitrato y nitrito y luego a productos gaseosos (N_2O , N_2) cuando hay deficiencia de oxígeno (FAO, 1995; FERNÁNDEZ, 2003). En este balance tiene primordial importancia el nitrógeno fijado por las leguminosas que luego de morir las bacterias entran al ciclo del nitrógeno.

2.4 Fertilizantes y fijación biológica del N atmosférico: relación *Rhizobium*-Leguminosas

El nitrógeno junto con el agua, son los factores limitantes más importantes de la producción vegetal por lo que DE FELIPE (2004), menciona que entre 1950 y 1990, España incrementó en diez veces el uso de fertilizantes nitrogenados, lo cual llevó a un aumento sin precedentes de la productividad en

los cereales. Sin embargo, la aplicación de estos fertilizantes y otras acciones industriales y antrópicas han alterado las condiciones básicas del ciclo natural del nitrógeno y han contribuido a la contaminación por nitratos de ecosistemas terrestres y acuáticos con grave riesgo para la salud humana, en aquellos países donde se hacen aplicaciones masivas de fertilizantes. Agrega la FAO (1995) que aunque la reserva de nitrógeno molecular (N_2) es enorme (atmósfera, rocas sedimentarias y primarias), las únicas formas asimilables por la planta son el NH_4^+ y NO_3^- .

Sobre la fijación biológica del nitrógeno atmosférico (FBN), la FAO (1985) indica que es el proceso por el cual algunos microorganismos usan el nitrógeno contenido en el aire, reduciéndolo a amoníaco a través de una enzima llamada nitrogenasa para la producción de proteínas. Los microorganismos fijadores de nitrógeno son bacterias y cianobacterias, de vida libre en el suelo, asociados eventualmente a una planta, o viviendo en simbiosis con ella. La energía requerida proviene del sol a través de la fotosíntesis o de los carbohidratos del suelo cuando los microorganismos son de vida libre; los exudados radiculares son fuente de energía para aquellos asociados en la rizósfera de una planta y directamente de los productos de la fotosíntesis de la planta huésped cuando existe simbiosis. La fijación biológica del N (FBN) a través de la simbiosis *Rhizobium* – leguminosa es una ventaja para las plantas que pueden hacer uso de ella y permite las ganancias más importantes de N en los ecosistemas. Otras posibilidades de suministro de nitrógeno son el uso de fertilizantes nitrogenados, minerales u orgánicos y las lluvias y sedimentos.

En relación a la asociación *Rhizobium*-Leguminosas, BAZIN (1990), define como rizósfera a la porción de suelo íntimamente asociada a las raíces de plantas en crecimiento con propiedades físicas, químicas y biológicas diferentes a las del resto del suelo y con una estructura muy compleja y en la que se establecen multitud de relaciones biológicas. Tales características de dicha zona hacen de ella un lugar muy adecuado para el crecimiento de microorganismos, de los cuales los más abundantes son las bacterias, en gran parte propiciado por la presencia de los exudados de la planta ricos, entre otros, en compuestos carbonados.

Nodulación radicular

La misma fuente bibliográfica indica que los beneficios recíprocos de esta relación simbiótica se basan en la asociación de bacterias del género *Rhizobium* (o *Bradyrhizobium*) con la mayoría de las plantas de la familia leguminoseae, lo que resulta en la formación de un nódulo, que se localiza en las raíces de las planta y donde tiene lugar la fijación de nitrógeno atmosférico.

En realidad, según ROBINSON (1972) estas bacterias (*Rhizobium*), son habitantes normales del suelo que penetran por las raicillas y se multiplican rápidamente, acumulándose en determinados puntos y formando nudosidades especiales. Tales bacterias toman los carbohidratos que la planta envía con su savia descendente y que fueron sintetizados en las hojas y los destinan a sus propios fines; al mismo tiempo absorben el nitrógeno atmosférico del aire que llena los intersticios del suelo, edificando con él sus propios tejidos. Hasta este momento puede decirse que las bacterias son parásitas de la planta. Pero, más

tarde el vegetal segrega una enzima que disuelve muchos de estos gérmenes y el nitrógeno combinado que forma sus estructuras queda en condiciones de ser usado por la planta portadora. A este tipo de "asociación" entre el vegetal y las bacterias con beneficio mutuo se le denomina simbiosis.

Según HAMBI (1985), los requisitos para la fijación de nitrógeno son la presencia de la enzima nitrogenasa, una fuente de poder reductor, un sistema de protección para la enzima de la inactivación por oxígeno y la rápida movilización del nitrógeno del lugar de fijación para evitar la inhibición de la nitrogenasa; y los nódulos, que tienen una estructura interna para el suministro de fotosintatos de los cuales los bacteroides derivan su poder reductor.

Se considera que en sistemas cultivados, el 90% del nitrógeno fijado proviene de los nódulos de leguminosas ya que los fijadores simbióticos son más eficientes que las bacterias fijadoras libres y sistemas asociados, como Actomycetes-plantas superiores en sistemas forestales de regiones templadas.

Los nódulos tienen una estructura interna que suministra fotosintatos y protege al *Rhizobium* de la competencia de otros microorganismos; la leghemoglobina (proteína transportadora de oxígeno) forma una barrera a la libre difusión de oxígeno y, por lo tanto, protege a la nitrogenasa del oxígeno; y posee un sistema eficiente para el transporte de los productos de la fijación a las distintas partes aéreas de la planta huésped (DE FELIPE, 2004).

Sobre las raíces que son infectadas se ha determinado según la FAO (1995), que la infección se produce en determinadas zonas de la raíz y no al azar, y el número de pelos infectados varía según la especie de leguminosa, variación relacionada genéticamente con la capacidad de la especie para el

desarrollo lateral de la raíz. Asimismo, la misma formación nodular puede impedir la nueva formación de nódulos cuyos tamaños influyen en su efecto inhibitorio: los nódulos grandes son casi siempre escasos y los pequeños generalmente abundantes. Menciona también que la vida de un nódulo en las especies herbáceas es corta, y la longevidad, tamaño y volumen dependen de la estirpe del *Rhizobium*.

El tiempo que tarda en aparecer el primer nódulo varía según la especie de la leguminosa. CARDENAS (1972), registró en laboratorio la nodulación inicial de *Stylosantes humilis* a los 17 días de la siembra y nódulos activos a los 23 días con fijación activa a los 26 días, mientras que CARDENAS (1985), halló que *Centrosema pubescens* nodulaba después de la germinación y *Cajanus cajan* y *S. guianensis* a las tres semanas.

Para su evaluación VINCENT (1975), propone que deben buscarse nódulos en leguminosas no inoculadas y debe de registrarse la proporción de plantas noduladas, la abundancia o escasez de nódulos, la ubicación de los nódulos en el sistema radicular (corona, distal, en la raíz primaria, laterales); y el tamaño y apariencia de los nódulos. Indica también que debe determinarse si son blancos al seccionarlos, rosa con hemoglobina o si presentan una zona verde en la base de un área roja limitada, lo que indicaría la existencia anterior de hemoglobina. Esta última condición debe ser interpretada en relación con el estado de madurez del nódulo y con las condiciones de efectividad.

Tamaño y forma

La FAO (1995) indica que los nódulos pueden formarse en la superficie

de la raíz, en cuyo caso se desprenden fácilmente (*Pisum*, *Glycine*, *Cajanus*) o formarse en la parte del cilindro central y están firmemente adheridas a la raíz (*Arachis*, *Aeschynomene*) y en cuanto a su forma los nódulos con meristemo apical son elongados (*Medicago*, *Pisum*) mientras que otros están rodeados por meristemo y son esféricos (*Vigna*, *Glycine*).

En general, el tamaño y forma de los nódulos varían considerablemente. Los nódulos de trébol blanco son menores de 1mm de diámetro y es difícil distinguir el característico color rojo al corte; en Soja y *Vigna* los nódulos tienen 3 -10 mm de diámetro y *Cajanus* y ciertas mucura pueden alcanzar 2 - 3 cm de diámetro (FAO 1995). Según ROBINSON (1972), las nudosidades de la raíz difieren en tamaño y forma entre especies de leguminosas. En habas y soja son grandes y esféricas, pequeñas y lobuladas en el trébol blanco, grande, algo cilíndrico y a menudo trilobulado en los guisantes. Estos nódulos se forman muy pronto en la vida de la plántula y generalmente aparece muy poco después de la emergencia de los cotiledones. Finalmente indica que las bacterias formadoras de estos nódulos son específicas, es decir, el germen que ataca las raíces del trébol rojo no infectará la raíz de la alfalfa y viceversa.

Importancia de la leghemoglobina: color de los nódulos

FAO (1995) indica que al examen microscópico el nódulo aparece como un órgano con cinco zonas: un meristemo formado de pequeñas células no contaminadas por *Rhizobium*, que es la zona de crecimiento del nódulo; la zona del hilo de infección, en la cual las células se multiplican activamente y están contaminadas con *Rhizobium*, pero no ocurre fijación; la zona de fijación:

donde las células de la planta huésped están llenas con *Rhizobium* de forma uniforme ensanchada o pleomórfica y son llamadas bacteroides. En esta forma, los rizobios contienen una enzima, nitrogenasa que contiene hierro y molibdeno que hacen posible la reducción y fijación del nitrógeno atmosférico. Los nódulos se colorean de rojo por la leghemoglobina, un pigmento que transporta oxígeno al bacteroide. Finalmente, está la zona degenerativa que se colorea de verde o marrón y donde no ocurre fijación, y el sistema vascular que irriga el nódulo, suministrando los carbohidratos necesarios para la fijación y transportando a las hojas los compuestos nitrogenados que formados. Las leghemoglobinas son hemoproteínas involucradas en el transporte de oxígeno a los bacteroides, ya que protege a la nitrogenasa de la inactivación por O₂.

Menciona SKERMAN (1991) que la fijación del nitrógeno esta muy relacionada con la estructura del nódulo, el tamaño de la planta y la presencia de hemoglobina en los nódulos de la raíz. Los nódulos formados por estirpes ineficaces son blancos en sección transversal y no contiene hemoglobina. El pigmento rojo de la hemoglobina en los nódulos efectivos pasa gradualmente al verde a medida que los tejidos bacterianos envejecen y cesa la fijación del N.

Factores físicos en la simbiosis de las leguminosas

Van Schreven (1858) citado por SKERMAN (1991), indica que los factores que influyen en la simbiosis son el aire y la humedad. La humedad del suelo influye en la viabilidad de los rizobios que son sensibles al secado excesivo cuando se exponen al aire libre. Sin embargo, un pequeño número de ellos sobreviven en el suelo secado al aire, probablemente en las películas

de humedad higroscópica. El exceso de agua puede reducir la ventilación y por tanto la supervivencia de las bacterias. En general, la máxima nodulación de las leguminosas se produce en suelos con un contenido de agua del 75 al 85 % de su capacidad de retención de agua.

Añaden SÁNCHEZ y UNLANETA (1997) que los nódulos se forman en la parte aireada del suelo y que el anegamiento detiene la fijación pero que sin embargo, algunas especies están adaptadas a la fijación en suelos muy húmedos y aún inundados. En estos casos, los nódulos se forman en la raíces de la superficie aireada del suelo (Soja) o en los tallos (*Sesbania rostrata*).

Se ha estimado que con 5° C por debajo de la temperatura óptima del suelo se reduce el nitrógeno fijado en 4.5 %, mientras que un aumento de 4°C por encima del óptimo hace disminuir la fijación del nitrógeno en un 5%. En cuanto al pH del suelo, las estirpes de *Rhizobium* tienen distinta tolerancia a la acidez del suelo; en cultivo puro, los organismos de la alfalfa no crecen por debajo de pH 5,0 y los del trébol, por debajo de pH 4.5. VINCENT (1975), señala que la acidez impide la nodulación de la alfalfa en las primeras fases, pero no tiene influencia después de la infección nodular. La acidez del suelo también origina problemas de nutrición mineral (deficiencias de calcio, magnesio y potasio) en el *Rhizobium* y en la leguminosa hospedante. Uno de los motivos del escaso crecimiento de ciertas leguminosas en los suelos ácidos, puede ser la reducida absorción de molibdeno.

Capacidad de nodulación y fijación de N

Sobre la habilidad de las leguminosas para fijar nitrógeno en simbiosis

DE FELIPE (2004) menciona que existen alrededor de 750 géneros y entre 18.000 a 19.000 especies distribuidas en tres subfamilias: Caesalpinioideae, con numerosas especies tropicales, Mimosoideae, con especies arbóreas como *Acacia sp.* y Papilionoideae, con especies de elevada importancia agrícola. Se estima que aproximadamente 100 leguminosas agrícolas importantes contribuyen anualmente con casi la mitad del nitrógeno fijado biológicamente.

Según la FAO (1995), aunque la nodulación de leguminosas ocurre a menudo, algunas especies no pueden ser infectadas por *Rhizobium* y no fijan nitrógeno; se ha observado que el 90% de las Papilionoideae y Mimosoideae tienen nódulos, pero solo el 30% de las Caesalpinioideae los poseen. Esto muestra que la fijación de nitrógeno es un factor frecuente pero no obligatorio en la nutrición de las plantas de esta familia. También indica que *Rhizobium* es una bacteria no esporulante que está usualmente presente en tierras cultivadas y que son específicas para ciertos géneros de leguminosas, habiéndose definido seis grupos de rizobios en países de clima templado. Asimismo, los rizobios tropicales forman un grupo grande y mal definido. Por ejemplo, *Vigna* (caupi) produce nódulos que fijan nitrógeno muy fácilmente con cepas encontradas en suelos tropicales, mientras *Cajanus cajan* (frijol de palo) o ciertos *Stylosanthes*, *Desmodium* y *Phaseolus lunatus* son más específicos, y raramente entran en contacto con rizobios capaces de formar nódulos fijadores.

Cantidad de N fijado

ROBINSON (1972), afirma que estas bacterias vuelven al suelo cuando estos microorganismos mueren ya que las raíces de las leguminosas son

removidas al labrar la tierra, se pudren en el suelo y queda enriquecido con el nitrógeno combinado, el cual actúa posteriormente como fertilizante.

Según DE FELIPE (2004), la FBN aporta la mayor parte del nitrógeno fijado a los ecosistemas terrestres. La fijación global se estima en unos 275 millones de toneladas de nitrógeno al año y de esta cantidad 30 millones se fijan por causas naturales como descargas eléctricas, erupciones volcánicas, etc.; 70 millones se fijan mediante fijación industrial en el proceso de Haber-Bosch, en el cual se gasta gran cantidad de energía procedente del petróleo y 175 millones de toneladas se fijan mediante fijación biológica (70% de todo el nitrógeno fijado en la tierra cada año), de las cuales 35 se fijan mediante fijación en vida libre y 140 mediante fijación simbiótica. Así pues, la FBN representa una alternativa a la fertilización nitrogenada, y está restringida a organismos procariontes, capaces de reducir el nitrógeno molecular a amoníaco, tanto en vida libre como en simbiosis.

Según SKERMAN (1991), la cantidad de nitrógeno atmosférico fijado por las leguminosas varía según el tipo de la leguminosa hospedante y de la estirpe de *Rhizobium* que vive en simbiosis con ella. La cantidad de fijación depende del volumen del tejido que contiene los rizobios en el nódulo y la duración de la vida de este tejido.

Desafortunadamente, cuando la planta tiene dos fuentes de nitrógeno NO_3^- y N_2 , esta elige preferencialmente a NO_3^- y la fijación se reduce. El agregado de fertilizante nitrogenado reduce la fijación del nitrógeno en algunas plantas, como en la soya y alfalfa con poco o nulo incremento de rendimiento, mientras que el frijol y maní, incrementan sus rendimientos.

Ubicación de la fijación biológica en el ciclo del nitrógeno.

La FAO (1995) indica reconocer a las leguminosas como aportadoras de nitrógeno al suelo, de manera que se debe usar adecuadamente estas plantas para enriquecer el suelo con nitrógeno o como un cultivo asociado. Un cultivo de leguminosas puede a fijar de 200 a 300 kg N ha⁻¹año⁻¹. Sin embargo, esto sólo ocurre si el cultivo es sano y si el suelo es naturalmente pobre en nitrógeno. Además, entre el 60 a 90 % del nitrógeno del cultivo es usualmente removido por la cosecha. El nitrógeno retorna al suelo por los residuos que quedan en el campo, pero las partes aéreas maduras de la planta transfieren mucho de su nitrógeno en el llenado de grano, que es finalmente cosechado. Los rastrojos y raíces contribuyen con 35 a 70 kg N ha⁻¹ en soja y con 50 a 80 kg N ha⁻¹ en alfalfa, siempre que el último corte sea incorporado al suelo.

Las leguminosas de grano como haba, frijol, soja y lupino, o leguminosas forrajeras como alfalfa o trébol fijan nitrógeno en el orden de 100 kg N ha⁻¹año⁻¹. Sin embargo, se pueden obtener niveles de 200 kg N ha⁻¹ año⁻¹ mediante la selección de cepas de *Rhizobium*, variedades de plantas huésped y adecuadas condiciones de crecimiento. En áreas no cultivadas, las leguminosas silvestres fijan nitrógeno atmosférico, aunque raramente llegan a 30 kg N ha⁻¹año⁻¹, mientras que BURT (1983) indica que por la simbiosis con *Rhizobium* se fijan entre 100 a 200 kg N ha⁻¹año⁻¹, según estimaciones conservadoras.

En áreas forestales, las plantas no leguminosas noduladas como el aliso juegan un rol importante con su alta capacidad de fijación de nitrógeno promedio de 200 – 300 kg N ha⁻¹año⁻¹, como es el caso de *Alnus rubra* y

Coriaria arborea en zonas templadas. En ecosistemas de regiones tropicales y subtropicales, la fijación simbiótica por la asociación *Rhizobium*-leguminosa es la más importante fuente de nitrógeno fijado. En muchas situaciones, la alta capacidad de fijación de nitrógeno de estas asociaciones estará limitada por condiciones ambientales desfavorables (sequía, baja fertilidad del suelo). BULLON (1987), manifiesta que algunas leguminosas rastreras son muy susceptibles a la acidez del suelo por sus necesidades de calcio para la nodulación, y otras leguminosas tropicales han evolucionado en suelos ácidos y poseen genes responsables de tolerancia a niveles altos de aluminio.

2.5 Experiencias locales

GONZALES (2006), seleccionó e identificó leguminosas arvenses con capacidad de nodulación en estudios realizados en la Universidad Nacional Agraria de la Selva – Tingo María, entre ellas, *Crotalaria striata*, *Macroptilium lathyroides*, *Mimosa púdica*, *Desmodium tortuosum*, *Desmodium scorpiurus*, *Desmodium axillave*, *Indigofera hirsuta*, *Indigofera spicata*, *Calopogonium mucunoides*. Manifiesta asimismo, la existencia de diversidad de arvenses con interés agronómico como la fijación biológica de nitrógeno, cobertura vegetal, aporte de materia orgánica y sugirió investigar la fenología, cobertura, biomasa y su capacidad de hospedero de controladores biológicos para definir el comportamiento benéfico y su utilización en el campo agrícola y pecuario.

El mismo autor indica que las leguminosas arvenses identificadas en Tingo María, presentan una germinación irregular y retrasada debido al elevado porcentaje de semillas “duras” que es característica de estos tipos de especies

de plantas. Manifiesta que el tipo o modo de siembra de las semillas no influyen en la uniformidad y rapidez de la germinación y que para la obtención de una germinación rápida y uniforme, recomienda escarificar las semillas con agua caliente y ácido sulfúrico.

Referente a la flora invasora de los cultivos de Pucallpa y Tingo María, FERREYRA (1970), realizó el estudio sistemático de las plantas competidoras e invasoras de los cultivos tropicales, con el fin de contribuir a un mejor conocimiento de las bondades de las malezas y que sea útil a los técnicos que emplean herbicidas como medio de control de aquellas plantas que denotan peligrosidad. Los resultados obtenidos revelan que la mayor parte de las plantas invasoras pertenecen a las familias gramineae, leguminosae y compositae. Sugirió realizar estudios de asociaciones de cultivos con malezas enfocando sus efectos benéficos y dañinos.

GONZALES (2006) menciona que en ensayos preliminares realizados sobre la capacidad de nodulación radicular de leguminosas arvenses en Tingo María, a los 30, 45 y 60 días de la siembra de *Aeschynomene americana*, *Crotalaria sagittalis*, *C. striata*, *Indigofera hirsuta*, *Desmodium scorpiurus*, *D. tortuosum*, *Macroptilium lathyroides*, *Mimosa pudica*, *Sesbania exaltata* y *Vigna sp.*, en Tingo María, la mayor formación de nódulos fueron en *A. americana*, *C. sagittalis*, *Vigna sp.*, *M. lathyroides*, *D. scorpiurus*. El menor número de nódulos se dio en *S. exaltata*, mientras que en *Cassia tora* no se observó nodulación. Indica asimismo, que las leguminosas estudiadas cumplen un rol fundamental en la fijación biológica del nitrógeno (FBN), lo que resultaría ser una alternativa eficaz y barata a la utilización de fertilizantes nitrogenados en los cultivos

tropicales. Recomendó realizar estudios de la nodulación radicular de arvenses de la zona en tipos de suelo, con el fin de establecer técnicas de recuperación y mejoramiento de las propiedades agronómicas de los suelos y mejorar y promocionar cultivos alternativos en suelos ex – cicales degradados.

2.6. El “tornillo” (*Cedrelinga catenaeformis* Ducke)

INIA (2005) indica que el “tornillo” (*Cedrelinga catenaeformis* Ducke), es de la familia Mimosácea. En el Perú se encuentra en concentraciones en bosques aluviales y bosques de colina. En terrazas altas de Jenaro Herrera (Iquitos), el tornillo alcanza su mejor desarrollo en las laderas. En llanura, su crecimiento es lento, hacia los bajiales es frenado por los suelos transicionales pesados y muere totalmente en suelos hidromórficos. En los suelos pesados, es posible que la asociación con *Euterpe precatória* favorezca el desarrollo de tornillo. El crecimiento máximo del tornillo se da en plantaciones de bosque primario o en campos abiertos recientemente.

Especies maderables como los alisos (*Alnus*) y otros árboles (Betulaceae, Casuarinaceae, Rhamnaceae, Ulmaceae, Rosaceae, Myricaceae, Eleagnaceae) asocian sus raíces simbióticamente con actinomicetos del género *Frankia*, que fijan nitrógeno formando nódulos grandes. Es probable que la nitrogenasa, se localice en la periferia de estas células.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Campo experimental: ubicación

El experimento se llevó a cabo en el Fundo Agrícola N° 1 de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), ubicado a 500 m de la carretera Fernando Belaunde Terry, en la margen derecha del río Huallaga comprensión del distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado y Región Huánuco, con ubicación geográfica en unidades UTM:

390700 m Este

18 L 8969900 m Norte

Altitud 660 msnm

3.2. Condiciones climáticas

Los datos meteorológicos durante el período experimental (octubre 2006 a febrero 2007) se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Datos meteorológicos de octubre 2006 a febrero 2007

MESES	T° Max. °C	T. Min. °C	T. Med. °C	H°R° %	Precipit. total (mm)	Horas Sol
Oct. – 06	30.30	21.00	25.65	83.00	423.56	149.0
Nov. – 06	29.60	20.70	25.15	85.50	521.34	125.4
Dic. – 06	29.05	21.03	25.04	87.48	626.74	100.4
Ene. – 07	29.31	21.28	25.30	88.60	617.13	114.0
Feb. – 07	29.22	21.13	25.18	88.10	232.60	95.4

* Elaboración propia con datos de la Estación Meteorológica "José Abelardo Quiñones" Gabinete de Meteorología y Climatología. Facultad de Recursos Naturales Renovables. UNAS. Tingo María. 2007.

Se observa que las temperaturas, máxima y mínima, presentaron ligera variación y corresponden a un clima cálido y húmedo, ya que se observa que la precipitación fue alta durante la conducción del experimento. La humedad relativa fue casi constante, con horas de sol menores a 5 horas por día.

3.3. Componentes en estudio

- **Identificación, clasificación y características de nodulación de 9 especies de leguminosas arvenses (no cultivadas).**

1. *Vigna sp* ("sacha frijol).
2. *Crotalaria sagittalis* ("cascabelillo", "sonajita").
3. *Cassia tora* ("ayaporoto", "cimarrona", "mata pasto", "retamilla").
4. *Aeschynomene americana* ("falsa sensitiva", "dormilona").
5. *Desmodium scorpiurus* ("pega pega").
6. *Crotalaria striata* ("cascabelitos", "sonajita", "maraquita").
7. *Desmodium tortuosum* ("amor seco", "carrapicho", "cadillo").
8. *Sesbania exaltata* ("sesbania", "frijolilla").
9. *Macroptilium lathyroides* ("frejolillo", "habichuela parada").

- **Especie de leguminosa arbórea**

"Tornillo" (*Cedrelinga catenaeformis* Ducke)

- **Sustratos**

Suelo de bosque

Suelo agrícola

Suelo arenoso.

3.4. Tratamientos en estudio

Experimento 1. Crecimiento y capacidad de nodulación de 9 especies de leguminosas arvenses

Cuadro 2. Especies leguminosas en estudio

Trats.	Descripción
T ₁	<i>Vigna sp.</i> ("sacha fréjol").
T ₂	<i>Crotalaria sagittalis</i> ("cascabelillo", "sonajita").
T ₃	<i>Cassia tora</i> ("ayaporoto", "cimarrona", "mata pasto", "retamilla").
T ₄	<i>Aeschynomene americana</i> ("falsa sensitiva", "dormilona").
T ₅	<i>Desmodium scorpiurus</i> ("pega pega").
T ₆	<i>Crotalaria striata</i> ("cascabelitos", "sonajita", "maraquita").
T ₇	<i>Desmodium tortuosum</i> ("amor seco", "carrapicho", "cadillo").
T ₈	<i>Sesbania exaltata</i> ("sesbania", "frijolilla").
T ₉	<i>Macroptilium lathyroides</i> ("frefjolillo", "habichuela parada").

Experimento 2. Efecto de los sustratos (tipos de suelo) en la capacidad de nodulación del "tornillo"

Cuadro 3. Tratamientos en estudio

Tratamientos	Descripción
T ₁	Sustrato - Suelo de bosque
T ₂	Sustrato - Suelo agrícola
T ₃	Sustrato - Suelo arenoso

3.5 Materiales

- Sustrato (Suelo de bosque, suelo agrícola, suelo arenoso)
- Semillas de nueve (9) arvenses recolectadas
- Semilla vegetativa de tornillo
- Bolsas de polietileno de 0.5 y 1.5 kg de capacidad.

Características de los sustratos

Los análisis de los sustratos, suelo de bosque, suelo agrícola y suelo arenoso (Cuadro 4), nos muestra las siguientes características:

El suelo de bosque, tuvo una clase textural franco arcillo-arenoso, con pH extremadamente ácido y un contenido medio en materia orgánica y nitrógeno total, bajo en fósforo y potasio disponibles y baja capacidad de intercambio de cationes. En cuanto al Al, presenta concentraciones que no limitan el desarrollo para el “tornillo”.

El suelo agrícola, tiene una clase textural franco arenoso, con pH fuertemente ácido y un contenido medio de materia orgánica, nitrógeno total, fósforo y potasio disponibles. La capacidad de intercambio de cationes muestra un contenido muy bajo. En cuanto al aluminio, no presenta concentraciones que limiten el desarrollo para el “tornillo”.

El suelo arenoso, tuvo una clase textural franco arenosa, con pH neutro y un nivel bajo en materia orgánica y nitrógeno total, medio en fósforo y potasio disponibles y baja capacidad de intercambio de cationes. En cuanto al aluminio no presenta concentraciones que limiten el desarrollo para el “tornillo”.

Cuadro 4. Análisis de suelos de bosque, suelo agrícola y suelo arenoso. Tingo María. UNAS, 2007.

Parámetros	Sustrato				
	Suelo de bosque	Suelo agrícola*	Suelo arenoso		
Análisis mecánico	Arena (%)	54.00	56.00	88.00	
	Limo (%)	22.00	24.00	2.00	
	Arcilla (%)	24.00	20.00	10.00	
	Textura	Fr. Ar. Ao.	Fr. Ao.	Fr. Ao.	
Análisis químico	p H (1 : 1)	3.80	5.90	7.00	
	M. O. (%)	3.20	2.30	1.80	
	N (%)	0.14	0.10	0.08	
	P (ppm)	5.60	8.80	10.40	
	K ₂ O (kg ha ⁻¹)	180.00	266.00	310.00	
	Cationes cambiables (me/100 g)	CIC	2.70	5.92	7.86
		Ca	2.10	3.80	4.40
		Mg	0.60	1.10	2.30
		K	0.00	1.00	1.10
		Na	0.00	0.02	0.06
		Al	3.10	0.00	0.00
		H	1.40	0.00	0.00
		CICe	7.20	5.92	7.86
	Bases cambiables (%)	37.50	100.00	100.00	
	Acidez cambiante (%)	62.50	0.00	0.00	

FUENTE: Laboratorio de análisis de suelos. Facultad de Agronomía - UNAS. 2007.

*: Sustrato empleado en el estudio de capacidad de nodulación de plántulas de "tornillo" y arvenses.

** : Sustrato empleado en las nueve especies de leguminosas arvenses.

3.6. Diseño experimental

El diseño experimental empleado fue el completamente randomizado con 5 repeticiones. Las características evaluadas de cada uno de los tratamientos fueron sometidos al análisis de variancia y pruebas de significación estadística de Duncan al nivel de 0.05 de significación.

El modelo estadístico del análisis de variancia fue el siguiente:

Para las leguminosas arvenses:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + e_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Es la capacidad de nodulación obtenida en la j -ésima planta de acuerdo con la i -ésima especie herbácea en estudio

μ = Efecto de la media general.

τ_i = Efecto de la i -ésima especie herbácea en estudio.

e_{ij} = Efecto aleatorio del error experimental en la j -ésima con respecto a la i -ésima especie herbácea en estudio.

Cuadro 5. Esquema del análisis de variancia de las leguminosas arvenses.

Fuentes de variación	Grados de libertad
Tratamientos	8
Error experimental	36
Total	44

Para el tornillo:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + e_j$$

Donde:

Y_{ij} = Es la capacidad de nodulación radicular obtenida en la j-ésima planta de tornillo a la cual se aplicó el i-ésimo tipo de suelo.

μ = Efecto de la media general.

τ_i = Efecto del i-ésimo tipo de suelo

e_j = Efecto aleatorio del error experimental correspondiente a la j-ésima planta de tornillo expuesta al i-ésimo tipo de suelo.

Cuadro 6. Esquema del análisis de variancia del "tornillo"

Fuentes de variación	Grados de libertad
Tratamientos	2
Error experimental	12
Total	14

3.7. Disposición experimental

- Total de plantas de tornillo por tratamiento	30
- Total de plantas de tornillo	90
- Total de plantas arvenses por tratamiento	30
- Total plantas arvenses	270
- Total de plantas del experimento	360
- Distanciamiento entre tratamientos	0.20 m
- Distanciamiento entre tornillo y especies arvenses	0.40 m

- Largo efectivo del experimento	4.80 m
- Ancho efectivo del experimento	1.50 m
- Área efectiva del experimento	7.20 m ²
- Área total del experimento	7.50m ²

3.8. Observaciones registradas

1. Características de la semilla en forma, tamaño, peso, porcentaje y tipo de germinación, días a la germinación.
2. Características de la vaina en forma, tamaño y número de semillas.
3. Características de número de hojas, altura de planta de las especies de arvenses y el tornillo. La evaluación se realizó al final del experimento.
4. Capacidad de nodulación en la raíz principal y secundarias de las especies arvenses y el "tornillo". La evaluación se realizó a los 30, 60, 90, 120 y 150 días, en 5 muestras (plantas) por tratamiento. Los registros de las características de los nódulos fueron en cuanto a:
Posición: ubicación de los nódulos en la raíz principal y secundaria.
Forma: se determinó mediante la observación visual.
Tamaño: fue medido con la ayuda del Vernier.
Color: se determinó mediante la observación visual.
Peso: se realizó con la ayuda de la balanza eléctrica.
Número: se contabilizados los nódulos al final de las evaluaciones.

3.9. Ejecución del experimento

Identificación y clasificación de nueve leguminosas arvenses

Se procedió a señalar el sector en el que se encontraban las especies arvenses en estudio para la toma de muestras y luego del muestreo se confeccionó un herbario.

La identificación y clasificación botánica de las muestras vegetales de las plantas seleccionadas, se realizó haciendo uso de bibliografía pertinente, claves de identificación, manuales de malezas, páginas de internet con imágenes de campo, contándose con la dirección del Blgo. M. Sc. Armando Eneque Puicón.

Preparación y acondicionamiento del vivero

Se instaló y acondicionó el vivero con bambú y hojas de palmera, limpiándose las malezas dentro y fuera de él.

Desmalezado

Actividad realizada en forma manual, cuando hubo presencia de malezas durante el experimento, con la finalidad de garantizar el normal desarrollo de las plántulas tanto del "tornillo" como de las leguminosas arvenses.

Riego

Se realizó con la ayuda de una regadera y cuando las condiciones de humedad de los sustratos en estudio lo requerían.

Análisis físico – químico del sustrato

En el Laboratorio de Análisis de Suelo de la UNAS se realizó el análisis físico-químico de los sustratos suelo de bosque, suelo agrícola y suelo arenoso, con la finalidad de determinar sus características físico-químicas.

Actividades realizadas para las leguminosas arvenses y el “tornillo”

Leguminosas arvenses

- **Obtención del sustrato**

El suelo empleado fue obtenido del Fundo Agrícola N° I de la UNAS. El suelo fue zarandeado para separar las impurezas (piedras, palos, raíces) con la finalidad de facilitar el embolsado y el desarrollo radicular de las plantas arvenses.

- **Embolsado**

El sustrato fue embolsado en bolsas de polietileno de color negro de 1.5 kg de capacidad.

- **Obtención de semillas**

La semilla botánica de las nueve especies de leguminosas arvenses fue de plantas identificadas en el Fundo Agrícola N°1 de la UNAS y los alrededores, seleccionándose las semillas considerando los criterios técnicos de obtención de semillas con la finalidad de garantizar buenas plántulas.

- **Siembra**

Previamente a la siembra se realizó la escarificación de las semillas y evaluación del porcentaje de germinación, con la finalidad de que las especies en estudio muestren uniformidad de germinación y crecimiento y desarrollo posterior. Luego de la germinación en recipientes de plástico, se realizó el repicado con la ayuda de una estaca en número de una plántula por bolsa y por cada tratamiento en el sustrato previamente embolsado.

- **Stock de plántulas de reemplazo por tratamiento**

Se estableció stock de plántulas correspondientes a los tratamientos de especies leguminosas arvenses para reemplazar a las plántulas que presentaban síntomas de ataque de plagas y mal formaciones durante el experimento. De esta manera se garantizó el número de plántulas necesarias para la evaluación.

Tornillo

- **Obtención del sustrato**

El suelo del bosque se obtuvo de lugares adyacentes a plantas de "tornillo" de más de 40 años de edad en el bosque reservado de la UNAS.

Para el caso del suelo agrícola, se obtuvo del terreno del Fundo de la UNAS con antecedentes de siembra de leguminosas, y para el suelo arenoso se seleccionó un terreno aluvial de reciente formación a orillas del río Huallaga.

Estos tres suelos se zarandearon para separar piedras, palos, raíces con

el fin de facilitar el embolsado y el desarrollo radicular de las plantas de "tornillo".

- **Embolsado y acomodo**

Los sustratos tanto suelo de bosque, suelo agrícola y suelo arenoso, fueron embolsados en bolsas de polietileno de color negro de 1.5 kg de capacidad.

- **Obtención de plántulas**

Las plántulas de tornillo se obtuvieron del bosque reservado de la UNAS (BRUNAS), seleccionando plántulas por regeneración natural con 4 hojas formadas y de 10 cm de longitud.

- **Repique**

Se realizó inmediatamente de su obtención en campo, mediante la ayuda de una pequeña estaca.

- **Stock de plántulas de reemplazo por tratamiento**

Se estableció el stock de plántulas correspondientes a los tratamientos suelo de bosque, suelo agrícola y suelo arenoso para reemplazar a las plántulas que presentaban síntomas de ataque de plagas y mal formaciones, durante el experimento. De esta manera se garantizó el número de plántulas necesarias para la evaluación.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Identificación y clasificación de nueve especies de leguminosas.

El Cuadro 7 muestra las nueve especies de leguminosas arvenses en estudio, que fueron recolectadas y clasificadas, siendo la más representativa la sub familia Papilionoideae con 8 especies y con solamente una especie la sub familia Caesalpinoideae. Según la bibliografía consultada, muchas de estas especies están muy difundidas en todo el trópico, y en nuestro medio la mayoría de ellas se encuentran entre los cultivos de maíz, soya, frijol, cocona, plátano, arroz, yuca y los campos con gramíneas de porte bajo.

De las especies identificadas, sólo *Cassia tora* Linn. (“mata pasto” o “retamilla”) no fue reportada por los trabajos de GONZALES (2006), que realizó su investigación en los predios de la UNAS, Tingo María, quien evaluó también la capacidad de nodulación en estas y las otras leguminosas arvenses con las que también se experimentó en el presente trabajo, habiendo recomendado finalmente la ejecución de otros trabajos en diversas condiciones de suelo y/o sustrato, la fenología, cobertura, biomasa y capacidad de hospederos de controladores biológicos en tales especies, para su posible utilización en el campo agrícola y pecuario. Asimismo, comparativamente con dicho autor, no se identificó en esta ocasión a *Indigofera hirsuta* ni *Mimosa pudica*.

Cuadro 7. Identificación y clasificación de leguminosas arvenses

Orden	Familia	Sub familia	Nombre científico	Nombre vulgar
		Caesalpinoideae	<i>Cassia tora</i> Linn.	"Ayaporoto", "dormidera", "cimarrona", "mata pasto", "retamilla".
		Papilionoideae	<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp	"Sacha fréjol".
		Papilionoideae	<i>Crotalaria sagittalis</i> L.	"Cascabelillo", "sonajita"
		Papilionoideae	<i>Aeschynomene americana</i> L.	"Falsa sensitiva", "dormilona".
Fabales	Fabaceae	Papilionoideae	<i>Desmodium scorpiurus</i> (Sw.) Desv.	"Pega pega".
		Papilionoideae	<i>Crotalaria striata</i> DC	"Cascabelitos", "sonajita", "maraquita".
		Papilionoideae	<i>Desmodium tortuosum</i> (Sw.) DC	"Pega – pega", "amor seco", "carrapicho", "cadillo".
		Papilionoideae	<i>Sesbania exaltata</i> (Raf.) Cory	"Sesbania", "frijolilla".
		Papilionoideae	<i>Macroptilium lathyroides</i> (L.) Urban	"Frejolillo", "habichuela parada".

4.2 Características de las leguminosas arvenses

Características agronómicas

El Cuadro 8 muestra las características agronómicas de las leguminosas "arvenses" estudiadas. Las vainas son dehiscentes en la mayoría a excepción de *Aeschynomene americana* L. y *Desmodium scorpiurus* (Sw.) Desv. que tienen frutos de tipo lomento; en cuanto al tamaño y número de semillas por vaina, son muy variables y propias de cada arvense.

En relación al tamaño de vainas, *Aeschynomene americana* L. y *Desmodium scorpiurus* (Sw.) Desv. y *Crotalaria striata* DC presentaron vainas de menor tamaño y *Aeschynomene americana* L. y *Desmodium scorpiurus* (Sw.) Desv. de menor número de semillas/vaina.

La semilla es de tamaño variable que va desde 0.5 mm en *D. scorpiurus* (Sw.) Desv. hasta 4 mm en *Vigna unguiculata* (L.) Walp. En cuanto al peso de 100 semillas el menor peso correspondió a *D. scorpiurus* (Sw.) Desv. (0.25 g/100 semillas) y el mayor a *Vigna unguiculata* (L.) Walp (3.0 g/100 semillas). La germinación es epigea en todas las especies arvenses, con 97 % de germinación en *A. americana* y 15% en *Desmodium tortuosum* (Sw.) DC y *Crotalaria striata* DC.

Cuadro 8. Algunas características de leguminosas arvenses en Tingo María. UNAS – 2007.

Leguminosa	Vainas			Color	Semillas		Germinación		
	Tipo	Tamaño (cm)	Semillas por vaina		Tamaño (mm)	Peso 100 semillas (g)	Tipo	Días	%
<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp	D	10.5	20	PO	4.0	3.00	E	4	95
<i>Crotalaria sagittalis</i> L.	D	30.0	50	NB	1.4	0.30	E	5	75
<i>Cassia tora</i> Linn.	D	15.0	25	PB	4.0	2.20	E	6	70
<i>Aeschynomene americana</i> L.	L	4.0	7	PMO	2.0	0.30	E	5	97
<i>Desmodium scorpiurus</i> (Sw.) Desv.	L	4.0	7	PO	0.5	0.25	E	8	90
<i>Crotalaria striata</i> DC	D	5.0	34	PC	3.0	1.25	E	4	15
<i>Desmodium tortuosum</i> (Sw.) DC.	D	2.0	6	NI	2.7	0.22	E	14	15
<i>Sesbania exaltata</i> (Raf.) Cory	D	25.0	30	PV	3.0	1.30	E	5	18
<i>Macroptilium lathyroides</i> (L.) Urban	D	10.0	20	POJ	3.0	1.10	E	5	20

Fuente: Elaboración propia

D: Dehiscente

PO: Pardo oscuro

NB: Negro brillante

PB: Pardo brillante

PMO: Pardo muy oscuro

L: Lomento

PC: Pardo claro

NI : Naranja intenso

PV: Pardo verdoso

POJ : Pardo oscuro jaspeado

Características de los nódulos de las leguminosas arvenses

El Cuadro 9 muestra las características de nodulación en las raíces de las plantas arvenses. En relación al tipo de raíz donde se ubican los nódulos, con excepción de *Cassia tora* Linn. (que no noduló) y *Sesbania exaltata* (Raf.) Cory (nodulación sólo en las raíces secundarias), las demás arvenses tuvieron nódulos tanto en la raíz principal como en las secundarias. *Cassia tora* Linn. no presentó nódulos en ninguno de los tipos de raíz lo que confirma lo manifestado por la FAO (1995) en el sentido de que el 30% de las Caesalpinoideae no presentan nodulación y por GONZALES (2006) quien no halló nódulos en su trabajo realizado en Tingo María.

En general, los nódulos son redondos e irregulares y externamente de color crema y marrón en todas las especies, con variaciones en la parte interna de los nódulos, con coloraciones crema, verdoso, rojizo y blanco. En cuanto al tamaño y peso de nódulos, *S. exaltata* (Raf.) Cory muestra el mayor tamaño (3 – 9 mm), pero con un peso por nódulo muy bajo ($0.60 \text{ g nódulo}^{-1}$) comparadas con las otras especies; mientras que *Vigna unguiculata* (L.) Walp tiene de 1 a 4 mm y presenta el mayor peso por nódulo ($0.95 \text{ g nódulo}^{-1}$). Referente a la capacidad de nodulación (número de nódulos planta⁻¹), evaluadas a 30, 60, 90, 120 y 150 días, se aprecia que la mayor población nodular se observa en *A. americano* (135.0 a 278.0 nódulos planta⁻¹), seguido de *Crotalaria striata* DC (6.0 a 159.0 nódulos planta⁻¹) y *Desmodium scorpiurus* (Sw.) Desv. (7.8 a 138.8 nódulos planta⁻¹), mientras que *Desmodium tortuosum* (Sw.) DC presentó el menor número de nódulos por planta (6.6 a 9.6 nódulos).

Cuadro 9. Características de los nódulos en plantas de leguminosas arvenses en la UNAS - Tingo María.

Leguminosa	Nódulos en raíz		Forma de nódulos	Color de Nódulo		Tamaño nódulo (mm)	Peso ¹ nódulo (g)	Número ² de nódulos
	Princ	Secund		Externo	Interno			
<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp	Si	Si	Re, R	C, M	C, V, R	1.0-4.0	0.95	42.8-72.8
<i>Crotalaria sagittalis</i> L.	Si	Si	Re, I	C, M	C, V, R	1.0-3.5	0.80	6.6-26.0
<i>Cassia tora</i> Linn.	--	--	--	--	--	--	--	--
<i>Aeschynomene americana</i> L.	Si	Si	Re, R	C, M	M, R	1.0-2.0	0.50	135- 278
<i>Desmodium scorpiurus</i> (Sw.) Desv.	Si	Si	Re, I	C, M	M, C, RO	1.0-3.0	0.20	7.8-138.8
<i>Crotalaria striata</i>	Si	Si	Re, I	C, M	M, R, RA	1.0-4.5	0.65	6.0-159.0
<i>Desmodium tortuosum</i>	Si	Si	Re, R	C, M	M, C, R	2.0-3.5	0.90	6.6-9.6
<i>Sesbania exaltata</i>	--	Si	Re, I	C, M	C, R	3.0-9.0	0.60	4.2-15.8
<i>Macroptilium lathyroides</i>	Si	Si	Re, I	C, M	C, R, V, B	1.0-5.0	0.55	11.0-23.8

Fuente: Elaboración propia

Forma de Nódulos: Re: Redondo R: Regular I: Irregular.

Color de Nódulo : C: Crema M: Marrón V: Verdoso R: Rojizo RO: Rojo RA: Rosado B: Blanco.

¹ Peso fresco por nódulo.

² Promedio de 5 plantas por evaluación

En cuanto a *S. exaltata* (Raf.) Cory, no presentó nodulación en la raíz principal, pero aun así superó a *Desmodium tortuosum* (Sw.) DC que es la especie con menor producción de nódulos durante el experimento, mientras que *Cassia tora* Linn., no presentó nodulación ni en la raíz principal ni en las secundarias, atribuyéndose ello a características genéticas.

Según la FAO (1995) el 90 % de la Papilionoideae y Mimosoideae tienen nódulos pero sólo el 30% de la sub familia Cesalpinoideae los tiene. Ello implicaría que *Cassia tora* Linn estaría entre el 70% de las Cesalpinoideae que carecen de nódulos.

4.3 Capacidad de nodulación de las leguminosas arvenses

En los Cuadros 10, 11 y 12 se presentan los análisis estadísticos de la capacidad de nodulación radicular, total, en la raíz principal y en las secundarias de las plantas arvenses, habiéndose encontrado diferencias estadísticas altamente significativas para el efecto de tratamientos en todas las evaluaciones.

Número total de nódulos por planta

Los análisis estadísticos del número total de nódulos por planta (Cuadro 10), mostraron alta significación entre especies de leguminosas en las cinco evaluaciones realizadas a los 30, 60, 90, 120 y 150 días. Los coeficientes de variabilidad de las muestras evaluadas se encuentran dentro del rango aceptable para el trabajo de campo.

Cuadro 10. Análisis de variancia de la capacidad de nodulación radicular total de plantas arvenses.

F.V.	G.L.	A los 30 días		A los 60 días		A los 90 días		A los 120 días		A los 150 días	
		C.M.	Sign.	C.M.	Sign.	C.M.	Sign.	C.M.	Sign.	C.M.	Sign.
Tratamientos	8	10686,21	AS	46416,02	AS	17827,00	AS	19474,90	AS	31691,42	AS
Error	36	31,39		307,41		169,19		130,93		296,79	
Total	44										
C.V. (%)		17,14		29,51		27,84		23,32		30,11	

Cuadro 11. Análisis de variancia de la capacidad de nodulación radicular en la raíz principal de plantas arvenses

F.V.	G.L.	A los 30 días		A los 60 días		A los 90 días		A los 120 días		A los 150 días	
		C.M.	Sign.	C.M.	Sign.	C.M.	Sign.	C.M.	Sign.	C.M.	Sign.
Tratamientos	8	1135,56	AS	5658,55	AS	3639,37	AS	4367,49	AS	1838,54	AS
Error	36	2,68		10,32		8,56		36,79		7,77	
Total	44										
C.V. (%)		22,52		23,59		22,47		45,40		27,99	

Cuadro 12. Análisis de variancia de la capacidad de nodulación radicular en raíces secundarias de plantas arvenses

F.V.	G.L.	A los 30 días		A los 60 días		A los 90 días		A los 120 días		A los 150 días	
		C.M.	Sign.	C.M.	Sign.	C.M.	Sign.	C.M.	Sign.	C.M.	Sign.
Tratamientos	8	5773,02	AS	24239,20	AS	7846,81	AS	9425,36	AS	20207,35	AS
Error	36	32,80		272,66		157,52		85,57		254,00	
Total	44										
C.V. (%)		22,53		36,05		37,23		25,90		33,72	

AS = Altamente significativo

En el Cuadro 13, se muestra la Prueba de Duncan, de la capacidad de nodulación total en plantas arvenses. La formación de nódulos en el sistema radicular por planta (raíz principal más raíz secundaria) varía de acuerdo a las especies de leguminosas arvenses; así se tiene que *A. americana* L. produjo 1.69 veces más nódulos planta⁻¹ que *C. striata* DC, especie que produjo nódulos en el segundo orden a los 30 días de la siembra.

En las siguientes evaluaciones se mantuvo el mismo patrón, siendo en 1.75 veces más nódulos a 60 días, en 1.34 veces más a 90 días y 1.26 veces más a 120 días de la siembra. A los 150 días de la siembra *A. americana* produjo 1.68 veces más nódulos planta⁻¹ que *D. scorpiurus* (Sw.) Desv. que se comportó como la especie que produjo nódulos en el segundo lugar.

La formación de nódulos de las leguminosas estudiadas fueron buenas hasta los 150 días de evaluación, donde *A. americana* L. presentó la mayor producción bajo las condiciones de clima y suelo en Tingo María, mostrando mejor respuesta en suelos ácidos y la presencia de genes responsables para la tolerancia de niveles altos de aluminio (BULLON, 1987). Es decir, *A. americana* L. posee mejor respuesta en condiciones de suelo fuertemente ácido y término medio de materia orgánica (2.30 %) y N total, factores que han influido en la presencia de la enzima nitrogenasa para la fijación del nitrógeno (HAMBI, 1985). Podemos notar que en la especie *C. striata* DC se redujo notablemente la nodulación a los 150 días de evaluación en contraste al comportamiento de *D. scorpiurus* que elevó su producción de nódulos a un segundo lugar como se puede apreciar en la Figura 1. *Cassia tora* Linn., no mostró formación de nódulos durante las evaluaciones.

Cuadro 13. Capacidad de nodulación radicular total de las plantas¹ arvenses (Prueba de Duncan, $\alpha = 0.05$)

Tratamiento	Nodulación ² (número total de nódulos)				
	30 días	60 días	90 días	120 días	150 días
<i>Aeschynomene americana</i> L.	135.00 a	278.00 a	164.60 a	170.00 a	233.20 a
<i>Crotalaria striata</i>	79.80 b	159.20 b	122.80 b	134.60 b	6.00 d E
<i>Vigna unguiculata</i> (L) Walp	42.80 c	50.00 c	70.00 c	69.99 C	72.80 c
<i>Macroptilium lathyroides</i> (L.) Urban	11.00 d	14.20 d	23.80 d	19.40 d	14.00 d E
<i>Desmodium scorpiurus</i> (Sw.) Desv.	7.80 d e	8.80 d	8.40 d e f	10.00 d e	138.80 b
<i>Crotalaria sagittalis</i> L.	6.60 d e	8.60 d	20.20 d e	20.00 d	26.00 d
<i>Desmodium tortuosum</i> (Sw.) DC	6.60 d e	8.60 d	6.60 d e f	9.60 d e	8.40 d E
<i>Sesbania exaltata</i> (Raf.) Cory	4.60 d e	6.60 d	4.20 e f	9.00 d e	15.80 d E
<i>Cassia tora</i> Linn.	0.00 e	0.00 d	0.00 f	0.00 e	0.00 E

Promedios seguidos de letras diferentes en columnas difieren entre sí

¹ Total nodulación radicular: raíz principal más raíces secundarias.

² Datos obtenidos en 5 plantas por tratamiento.

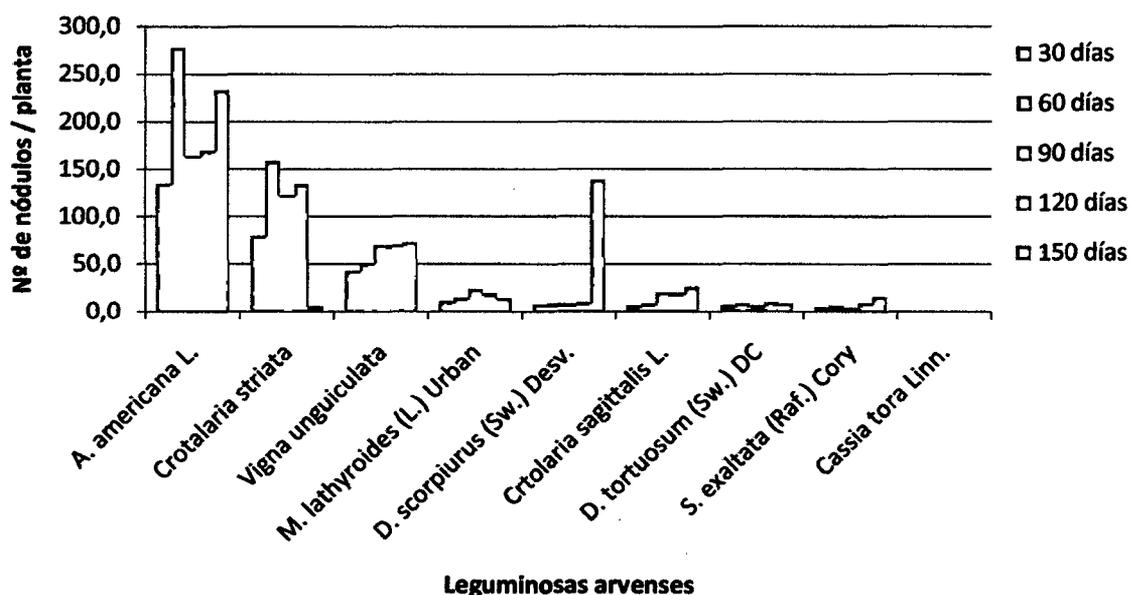


Figura 1. Nodulación radicular total en leguminosas arvenses

Esta misma tendencia en relación a la formación de nódulos, observó GONZALES (2006) en Tingo María, ya que las leguminosas *A. americana* L, *C. sagittalis* L, *C. striata* DC, *D. scorpiurus* (Sw.) Desv., *D. tortuosum*, (Sw.) DC, *M. lathyroides* (L.) Urban, *S. exaltata* y *Vigna unguiculata* (L) Walp, produjeron nódulos en número significativo evaluadas a 30, 45 y 60 días de la siembra, mientras que en *C. tora* Linn. no presentó formación de nódulos. Estos resultados corroboran los obtenidos en el presente estudio.

Número de nódulos en la raíz principal de leguminosas arvenses

En el Cuadro 11 se presentan los resultados estadísticos referentes a la capacidad de nodulación expresados en número de nódulos en la raíz principal en arvenses. Los diferentes tipos de arvenses manifiestan su capacidad de nodulación en la raíz principal bajo las condiciones similares, con diferencias

que son altamente significativas a los 30, 60, 90, 120 y 150 días de evaluación. Los coeficientes de variabilidad de las muestras evaluadas se encuentran dentro del rango aceptable para el trabajo de campo.

El Cuadro 14 presenta la Prueba de Duncan de la capacidad de nodulación en la raíz principal en nueve especies de leguminosas arvenses. La especie *Aeschynomene americana* L. produjo significativamente más nódulos en la raíz principal por planta a los 30, 60, 90, 120 y 150 días de evaluación, que las arvenses *Crotalaria striata* DC, *Macroptilium lathyroides* (L.) Urban, *Desmodium scorpiurus* (Sw.) Desv., *Desmodium tortuosum* (Sw.) DC, *Vigna unguiculata* (L) Walp, *Crotalaria sagittalis* L., *Cassia tora* Linn. y *Sesbania exaltata* (Raf.) Cory.

Sigue en orden de producción *C. striata* DC y *M. lathyroides* (L.) Urban, sin diferencias significativas a 30, 60 y 120 días. En tanto que *Vigna unguiculata* (L) Walp y *M. lathyroides* (L.) Urban sin diferencias significativas, superaron a las demás arvenses a los 150 días de evaluación.

Es evidente, según la FAO (1995), que la localización de los nódulos generalmente podrían darse en la corona, distal, raíz primaria y secundarias. Con estas consideraciones las evaluaciones se hicieron con observaciones del número de nódulos en la raíz principal de las leguminosas arvenses.

En el Cuadro 14 podemos apreciar que la formación de nódulos varió de acuerdo a las especies de leguminosas estudiadas, donde en *A. americana* L. produjo en 7.58 veces más nódulos en la raíz principal que *C. striata* DC, que es la especie que produjo nódulos en el segundo lugar a los 30 días de la siembra.

Cuadro 14. Capacidad de nodulación radicular en la raíz principal de arvenses (Prueba de Duncan, $\alpha = 0.05$).

Tratamiento	Nodulación ¹ (número de nódulos)				
	30 días	60 días	90 días	120 días	150 días
<i>Aeschynomene americana</i> L.	47.00 a	103.00 a	83.20 a	91.60 a	60.00 a
<i>Crotalaria striata</i> DC	6.20 b	3.60 b c	18.80 b	10.00 b	2.40 d e
<i>Macroptilium lathyroides</i> (L.) Urban	5.40 b c	7.20 b	7.00 c	7.60 b c	7.80 b c
<i>Desmodium scorpiurus</i> (Sw) Desv	3.20 c d	4.80 b c	3.60 c d	5.00 b c	5.60 c d
<i>Desmodium tortuosum</i> (Sw.) DC	2.00 d e	1.40 c	0.00 d	0.00 c	0.00 e
<i>Vigna unguiculata</i> (L) Walp	0.80 e	1.80 c	1.60 d	4.00 b c	11.40 b
<i>Crotalaria sagittalis</i> L.	0.80 e	0.80 c	3.00 d	2.00 b c	2.40 d e
<i>Sesbania exaltata</i> (Raf.) Cory	0.00 e	0.00 c	0.00 d	0.00 c	0.00 e
<i>Cassia tora</i> Linn.	0.00 e	0.00 c	0.00 d	0.00 c	0.00 e

Promedios seguidos de letras diferentes minúsculas en columnas difieren entre si.

¹ Datos obtenidos en 5 plantas por tratamiento.

Similar ventaja ocurrió a los 90 días (4.43 veces más), 120 días (9.16 veces más), mientras que a 60 días *A. americana* superó en 14.31 veces más en número de nódulos a *M. lathyroides* (L.) Urban que se ubicó en el segundo orden, mientras que a los 150 días de evaluación, pese a la reducción de formación de nódulos de *A. americana* L. este superó en 5.26 veces más a *Vigna unguiculata* (L) Walp que está en el segundo orden.

Estos resultados permiten inferir que las especies estudiadas presentan buena formación de nódulos a excepción de *D. tortuosum* (Sw.) DC que cesa su formación de nódulos en la raíz principal a partir de los 90 días de evaluación, mientras que *S. exaltata* (Raf.) Cory y *C. tora* Linn no presentan la formación de nódulos durante los 150 días del experimento. El comportamiento de la falta de nodulación posiblemente se deba a que las raíces primarias de estas especies no pueden ser infectadas por el Rhizobium (FAO, 1995) o se comportan como muy susceptibles a la acidez del suelo y la necesidad de calcio para la nodulación (BULLÓN, 1987).

Número de nódulos en raíces secundarias de leguminosas arvenses

El Cuadro 12, muestra los resultados estadísticos referentes a la capacidad de nodulación expresados en número de nódulos en la raíz secundaria en arvenses. Los diferentes tipos de arvenses manifiestan su capacidad de nodulación en la raíz secundaria bajo las condiciones similares del estudio, con diferencias que son altamente significativas a los 30, 60, 90, 120 y 150 días de evaluación. Los coeficientes de variabilidad de las muestras

evaluadas se encuentran dentro del rango aceptable para el trabajo de campo.

En el Cuadro 15, se muestra la prueba de Duncan de la capacidad de nodulación en la raíz secundaria en leguminosas arvenses. Los nudos de la raíz difieren según ROBINSON (1972), en tamaño, forma y número en cada especie de leguminosas y en estudios de campo se deben identificar nódulos en leguminosas no inoculadas, registrando su ubicación y número de nódulos en el sistema radicular (corona, distal, raíz principal y raíces secundarias). Se aprecia de manera general que todas las especies en estudio, excepto en *C. tora*, la formación de nódulos en la raíz secundaria es mayor que en la raíz principal. Sin embargo el número de nódulos en la raíz secundaria entre las especies investigadas es variable.

Así *A. americana* L. tuvo 1.20 y 1.13 veces más nódulos en la raíz secundaria que *C. striata* DC a 30 y 60 días, respectivamente, en tanto que la capacidad de nodulación se revierte a los 90 y 120 días, donde *C. striata* DC superó en 1.28 y 1.59 veces más en número de nódulos en la raíz secundaria a *A. americana* L. Los resultados finales en cuanto a la formación de mayor número de nódulos se dio en *A. americana* L. que superó en 1.30 veces más a *D. scorpiurus* (Sw.) Desv. a los 150 días de la siembra, lo que permite definir que en *A. americana* L. la formación de nódulos es mayor y permanente en la raíz secundaria, en tanto que al parecer *D. scorpiurus* (Sw.) Desv. muestra significativa formación de nódulos a los 150 días en comparaciones entre las arvenses. En *C. tora* se observó falta de nódulos en las raíces secundarias en forma similar a la raíz principal, lo que ya fue explicado anteriormente.

Cuadro 15. Capacidad de nodulación radicular en las raíces secundarias de arvenses (Prueba de Duncan, $\alpha = 0.05$).

Tratamiento	Nodulación ¹ (número de nódulos)				
	30 días	60 días	90 días	120 días	150 días
<i>Aeschynomene americana</i> L.	88.00 a	175.80 a	81.40 b	78.40 b	173.20 a
<i>Crotalaria striata</i> DC	73.60 b	155.60 a	104.00 a	124.60 a	3.60 d e
<i>Vigna unguiculata</i> (L) Walp	42.00 c	42.00 b	68.40 b	65.00 b	61.40 c
<i>Crotalaria sagittalis</i> L.	5.80 d	7.80 c	17.20 c	18.00 c	23.60 d
<i>Macroptilium lathyroides</i> (L.) Urban	5.60 d	7.00 c	16.80 c	11.80 c d	6.20 d e
<i>Desmodium scorpiurus</i> (Sw.) Desv.	4.60 d	4.00 c	4.80 c	5.00 c d	133.20 b
<i>Desmodium tortuosum</i> (Sw.) DC	4.60 d	7.20 c	6.60 c	9.60 c d	8.40 d e
<i>Sesbania exaltata</i>	4.60 d	6.60 c	4.20 c	9.00 c d	15.80 d e
<i>Cassia tora</i> Linn.	0.00 d	0.00 c	0.00 c	0.00 d	0.00 d e

Promedios seguidos de letras diferentes minúsculas en columnas difieren entre sí.

¹ Datos obtenidos en 5 plantas por tratamiento.

4.4 Crecimiento y nodulación del “tornillo” en tres tipos de sustrato

En el Cuadro 16 se puede observar que el sustrato suelo de bosque, ocasionó mayor número de hojas, altura de planta y diámetro de tallo, evaluados a los 150 días de la siembra, comparadas con las plantas crecidas en suelo agrícola y suelo arenoso. Esto se debe posiblemente a que en el suelo de bosque existe mayor contenido de materia orgánica y por lo tanto mayor cantidad de nutrientes disponibles que facilitan el desarrollo de las plántulas; el suelo agrícola tiene menor fertilidad y es depositario de residuos de agroquímicos que disminuyen la población microbiana, mientras que el suelo arenoso obtenido de un suelo aluvial es aún más infértil porque es de reciente formación. Los resultados obtenidos en el suelo de bosque, concuerdan con lo que indica INIA (2005), que el mejor desarrollo del “tornillo” se encuentra en bosques aluviales y bosques de colina, que en suelos bajiales pesados. Sin embargo, las evaluaciones realizadas no fueron analizadas estadísticamente.

Cuadro 16. Algunas características del “tornillo” en tres tipos de suelo

Sustrato	Número de hojas (pares)	Altura de planta (cm)	Diámetro de tallo (cm)
Suelo de bosque	6	40	1.0
Suelo agrícola	5	35	0.8
Suelo arenoso	5	29	0.6

Plantas evaluadas a los 150 días de la siembra

Características de los nódulos

En el Cuadro 17, se muestra el comportamiento de los plantones de

“tornillo” en tres sustratos donde se observa que en el suelo de bosque, características como tamaño y peso de nódulos fueron mayores que en el suelo agrícola y suelo arenoso, mientras que la forma de los nódulos por efecto de los tratamientos, fueron similares por ser características intrínsecas de la relación leguminosa – *Rhizobium*. Al igual que en el caso anterior, estas evaluaciones carecieron de sustento estadístico.

En cuanto a la coloración que presentan los nódulos los colores anaranjado y rojizo, demuestran la presencia de leghemoglobina y por tanto la eficiencia de los nódulos en la fijación biológica del Nitrógeno (FBN).

Cuadro 17. Características de la nodulación en plantones de “tornillo” en tres tipos de suelo

Sustrato	Nódulos en raíz:		Forma de nódulos	Color		Tamaño (mm)	Peso (g)
	Princ.	Secund.		Externo	Interno		
S. de bosque	Sí	Sí	Redondo, irregular	Oscuro crema	Naranja rojizo	2.0	0.9
S. agrícola	Sí	Sí	Redondo, irregular	Oscuro crema	Naranja rojizo	1.0 - 2.0	0.7
S. arenoso	No	Sí	Redondo, irregular	Oscuro crema	Naranja rojizo	1.0	0.6

En este sentido podría inferirse por la coloración que presentan los nódulos internamente, que en los tres sustratos habría una alta eficiencia de fijación de N; la coloración rojiza según SKERMAN (1991) constituye un índice de la eficiencia de la FBN, mientras que el color blanco significa ineficiencia y el verde envejecimiento bacteriano.

Se hace necesario remarcar que no se observó nodulación en la raíz principal en el suelo arenoso, debido a factores desconocidos por investigar.

4.5 Capacidad de nodulación de plántones de “tornillo” en tres sustratos

En los Cuadros 18 al 20 se presentan los análisis estadísticos de la capacidad de nodulación total, en la raíz principal y raíces secundarias del “tornillo”, observándose resultados altamente significativos en los tratamientos en todas las evaluaciones realizadas en el caso de la nodulación total (raíces primarias más raíces secundarias y a los 120 y 150 días, sólo en la raíz principal. Los coeficientes de variabilidad fueron aceptables para trabajos de campo.

Número total de nódulos

En el Cuadro 18, se presentan los resultados estadísticos referentes a la capacidad de nodulación total expresada en número de nódulos por planta. Los diferentes tipos de sustratos (Suelo de bosque, suelo agrícola y suelo arenoso) ocasionan efectos en el número de nódulos en plántones de “tornillo”, con diferencias que fueron altamente significativas a los 60, 90, 120 y 150 días de evaluación, lo que quiere decir que hubo diferencias notables en la capacidad de nodulación entre los sustratos desde el inicio del experimento. Los coeficientes de variabilidad de las muestras evaluadas se encuentran dentro del rango aceptable para el trabajo de campo.

Cuadro 18. Análisis de variancia de la capacidad de nodulación radicular total de plantones de “tornillo”

F.V.	G.L.	60 días de evaluación		90 días de evaluación		120 días de evaluación		150 días de evaluación	
		C.M.	Sign.	C.M.	Sign.	C.M.	Sign.	C.M.	Sign.
Tratamiento	2	81,67	AS	3024,80	AS	8096,60	AS	2201,67	AS
Error	12	1,20		57,87		48,77		36,37	
Total	14								
C.V. (%)		31,03		44,75		21,96		30,88	

Cuadro 19. Análisis de variancia de la capacidad de nodulación radicular de la raíz principal de plantones de “tornillo”

F.V.	G.L.	120 días de evaluación		150 días de evaluación	
		C.M.	Sig.	C.M.	Sig.
Tratamiento	2	47,40	AS	15,80	AS
Error	12	0,57		0,33	
Total	14				
C.V. (%)		29,04		41,03	

Cuadro 20. Análisis de variancia de la capacidad de nodulación radicular de raíces secundarias de plantones de “tornillo”

F.V.	G.L.	60 días de evaluación		90 días de evaluación		120 días de evaluación		150 días de evaluac	
		C.M.	Sig.	C.M.	Sig.	C.M.	Sig.	C.M.	Sig.
Tratamiento	2	81,67	AS	3024,80	AS	6927,20	AS	1844,47	AS
Error	12	1,20		57,87		47,17		32,73	
Total	14								
C.V. (%)		31,03		44,75		23,52		31,56	

AS = Altamente significativo

El Cuadro 21 presenta la Prueba de Duncan del efecto de los sustratos en la capacidad de nodulación en plantas de "tornillo". En el suelo de bosque se encuentra mayor número de nódulos en comparación a la nodulación en suelo agrícola y suelo arenoso. La mayor formación de nódulos en los tres tipos de sustrato (suelo de bosque, suelo agrícola, suelo arenoso) se dio a los 120 días de la siembra, a partir de ahí se observó una baja en la producción de nódulos debido posiblemente al envejecimiento de los mismos, ya que no sabemos con exactitud cuanto es su tiempo de vida útil. Datos similares se presentan en la Figura 2.

El número de nódulos varía de acuerdo al tipo de sustrato; así se tiene que en los plántones crecidos en el suelo de bosque provenientes de rodales de "tornillo" el número de nódulos fue mayor, porque encuentran en este suelo las mejores propiedades físicas, químicas, biológicas y posiblemente tengan cepas nativas de *Rhizobium*. Las propiedades de este suelo facilitan el libre acceso del aire para la actividad de los rizobios y permite la máxima nodulación de las plantas para la viabilidad de los rizobios (SKERMAN, 1991).

Comparando el número de nódulos en suelo arenoso y suelo de bosque, son mayores significativamente en este último, como podemos apreciar en la Figura 2, y demuestran que las condiciones de suelo son de gran importancia en el desarrollo de la planta de "tornillo" y la asociación con el *Rhizobium*, aunque puede establecerse en la mayoría de tipos de suelo; sin embargo podemos definir que la mayor nodulación se da en suelos sueltos, húmedos bien drenados. El análisis de suelo nos indica que el suelo de bosque tiene condiciones que no son limitantes para la presencia de *Rhizobium*.

Cuadro 21. Número total de nódulos en plantones de “tornillo” (Duncan, $\alpha = 0.05$)

Sustrato	Número de nódulos ¹			
	60 días	90 días	120 días	150 días
Suelo de bosque	8.2 a	45.4 a	78.0 a	43.3 a
Suelo agrícola	1.2 b	3.0 b	13.0 b	12.0 b
Suelo arenoso	1.2 b	2.6 b	4.4 b	3.2 c

Promedios seguidos de letras diferentes en columnas difieren entre sí.

¹ Datos obtenidos en 5 plantas

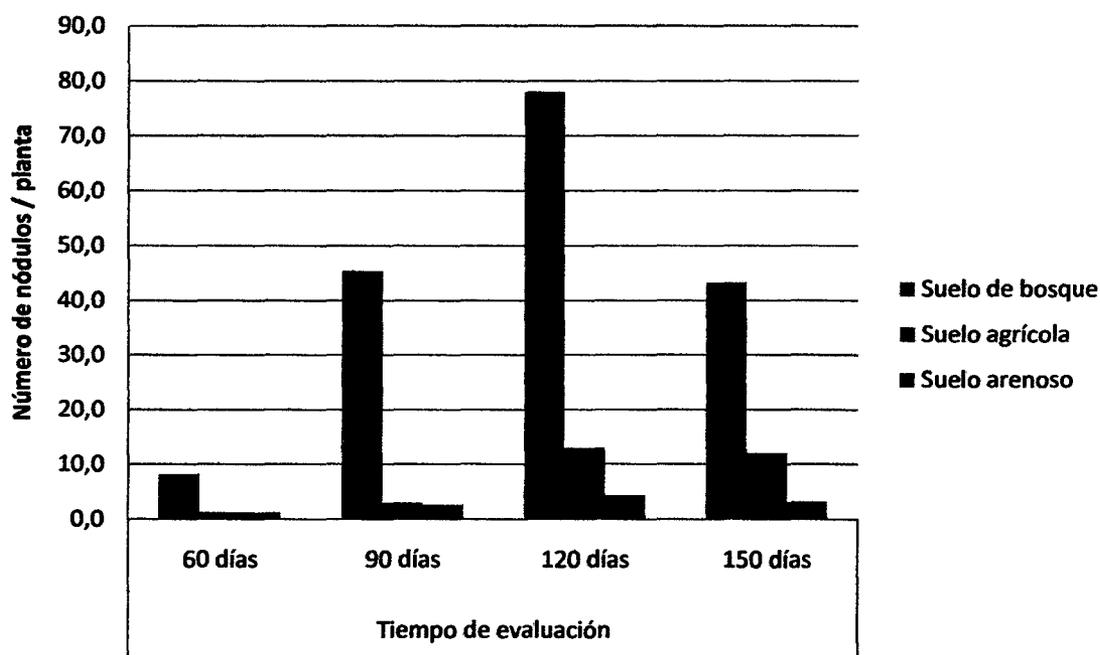


Figura 2. Nodulación radicular total de plantones de “tornillo” en tres tipos de sustrato.

Nodulación en la raíz principal de "tornillo".

En el Cuadro 19, se presentaron los resultados estadísticos referentes a la capacidad de nodulación en la raíz principal, expresada en número de nódulos. Los diferentes sustratos (Suelo de bosque, suelo agrícola y suelo arenoso) originaron diferente en el número de nódulos que fueron altamente significativas a los 120 y 150 días de evaluación.

En el Cuadro 22, se presenta la prueba de Duncan, del efecto de los sustratos en la capacidad de nodulación en la raíz principal de los plantones. La formación de nódulos en la raíz principal del "tornillo" varía según el efecto de los sustratos empleados. Así tenemos que las plántulas en suelo de bosque produjeron 3.33 veces más que en suelo agrícola, a los 120 días de la siembra, siendo mayor y en 4.25 veces más a los 150 días. Estos resultados muestran las bondades indudables de las características físicas, químicas y microbiológicas del suelo de bosque, ofreciendo estructuras adecuadas donde inciden un gran número de variables y en el que se establece multitud de relaciones biológicas y el crecimiento de microorganismos precursores de la nodulación.

Cuadro 22. Número de nódulos en la raíz principal de plantones de "tornillo"
(Prueba de DUNCAN, $\alpha = 0.05$)

Sustrato	Número de nódulos ¹	
	120 días	150 días
Suelo de bosque	6.0 a	3.4 a
Suelo agrícola	1.8 b	0.8 b
Suelo arenoso	0.0 c	0.0 b

Promedios seguidos de letras diferentes en columnas difieren entre sí.

Es necesario remarcar que en el suelo arenoso empleado no hay formación de nódulos en la raíz principal, es decir no muestra influencias en la formación de nódulos a los 120 y 150 días, debido posiblemente a la relación interactiva de las características físico-químicas del suelo, la estructura de la raíz principal del "tornillo" y el *Rhizobium*.

Nodulación en las raíces secundarias del "tornillo"

En el Cuadro 20, se presentaron los resultados referentes a la capacidad de nodulación en raíces secundarias expresada en número de nódulos en plantones de "tornillo". Los diferentes sustratos (Suelo de bosque, suelo agrícola y suelo arenoso) ocasionaron efectos diferentes altamente significativos a los 60, 90, 120 y 150 días de evaluación.

El Cuadro 23, presenta la Prueba de Duncan, de efectos de sustratos en la capacidad de nodulación en la raíz secundaria de plantas de "tornillo". La capacidad de nodulación en la raíz secundaria en las plantas en el suelo de bosque, es mayor en comparación a la nodulación en suelo agrícola y suelo arenoso. Las plántulas de Tornillo sometido a los tres tipos de suelo estudiado, tienen la capacidad de nodulación en la raíz secundaria, a partir de los 60 días hasta los 150 días de evaluación, comparadas con las nodulaciones en la raíz principal que muestran nodulaciones a partir de los 120 días (Cuadro 12). Estos resultados corroboran lo manifestado por VINCENT (1975), de que es necesario registrar la ubicación y el número de los nódulos sea en la corona, parte distal, raíz principal o raíz secundaria de las plantas. Asimismo, manifiesta que las raíces secundarias son las más especializadas en la

formación de nódulos, sin embargo son influenciadas por el tipo de suelo. Observando el cuadro mencionado apreciamos que el sustrato suelo de bosque ocasiona efectos en la nodulación en 6.83, 15.13, 6.43 y 3.49 veces más en número de nódulos en la raíz secundaria evaluada a 60, 90, 120 y 150 días, comparadas con el número de nódulos producidos en suelo agrícola. Las condiciones físico-químicas de los suelos (Cuadro 2), como el contenido medio en materia orgánica en el suelo de bosque, ha permitido la presencia de la enzima nitrogenasa, requisito para la fijación de nitrógeno (HAMBI, 1985).

Cuadro 23. Número de nódulos en las raíces secundarias de plantones de "tornillo" (Prueba de Duncan, $\alpha = 0.05$)

Sustrato	Número de nódulos ¹			
	60 días	90 días	120 días	150 días
Suelo de bosque	8.2 a	45.4 a	72.0 a	39.8 a
Suelos agrícola	1.2 b	3.0 b	11.2 b	11.4 b
Suelo arenoso	1.2 b	2.6 b	4.4 b	3.2 c

Promedios seguidos de letras diferentes en columnas difieren entre sí

¹ Datos obtenidos en 5 plantas

La raíces secundarias de los plantones crecidos en el suelo arenoso produjeron cifras menores entre 1.20 a 4.5 de nódulos/planta durante el experimento; esto ocurre debido posiblemente al efecto de las características estructurales de las raíces y su asociación con el *Rhizobium* en las condiciones físicas, químicas y microbiológicas del suelo arenoso.

V. CONCLUSIONES

1. Se identificó y clasificó 9 especies de leguminosas arvenses, pertenecientes al orden Fabales, Familia Fabeacea ,8 pertenecientes a la Sub Familia Papilionoideae y una perteneciente a la sub Familia Caesalpinoideae, cada una de ellas con características propias de cada especie.
2. La capacidad de nodulación, así como el tamaño y peso de nódulos de la especie maderable *Cedrelinga catenaeformis* "tornillo" resulto mayor en el sustrato suelo de bosque (8.2-43.2 nódulos planta⁻¹), peso (0.9 g), tamaño (2.00 mm), a diferencia de los demás sustratos estudiados.
3. Todos los nódulos de las arvenses presentan el color externo crema, marrón, variando en la coloración interna y en forma de nódulo. En cuanto al tamaño de nódulos fue mayor en *Sesbania exaltata*, y en peso de nódulos fue mayor en *Vigna sp.* En términos de capacidad de nodulación de la raíz principal más raíz secundaria de las arvenses, fue mayor en *Aeschynomene americana* a los 30, 60, 90, 120 y 150 días, seguido de *Crotalaria striata* y *Vigna sp*, excepto en *Desmodium tortuosum* con nodulación hasta los 60 días y en *Sesbania exaltata* sin nodulación en la raíz principal. En tanto que *Cassia tora* no mostró nodulación durante el experimento.

VI. RECOMENDACIONES

En base a los resultados y conclusiones se recomienda lo siguiente:

1. Identificar las cepas de *Rhizobium* que colonizan las raíces de "tornillo" y arvenses para determinar su especificidad.
2. Evaluar los momentos de formación y supervivencia de los nódulos según la fenología del Tornillo y las arvenses.
3. Evaluar la capacidad de fijación biológica de nitrógeno (FBN) del "tornillo" y arvenses.
4. En programas de manejo de sistemas integrados de cultivos tropicales, se debe procurar instalar las leguminosas arvenses *Aeschynomene americana*, *Crotalaria striata*, *Macroptilium lathyroides* y *Desmodium scorpiurus*, para evaluar su cobertura del suelo, nodulación radicular, su ciclo y hábito vegetativo, hospedero de insectos y microorganismos benéficos en asociación con los cultivos, y poder determinar su real comportamiento agronómico.

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en el vivero del Fundo Agrícola 1 de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS) en la ciudad de Tingo María, entre octubre 2006 a febrero 2007; con el fin de obtener información experimental de plantas de leguminosas Arvenses y de Tornillo en tres tipos de sustratos sobre su capacidad de nodulación.

Se probó 3 tipos de sustrato (Suelo de bosque, suelo agrícola, suelo arenoso) para el "tornillo" (*Cedrelinga catenaeformis*) y el suelo agrícola para la capacidad de nodulación de nueve especies de arvenses (*Vigna* sp., *Crotalaria sagittalis*, *Cassia tora*, *Aeschynomene americana*, *Desmodium scorpiurus*, *Crotalaria striata*, *Desmodium tortuosum*, *Sesbania exaltata* y *Macroptilium lathyroides*), en un diseño completo randomizado con tres y nueve tratamientos para el "tornillo" y las leguminosas arvenses, respectivamente.

Durante el experimento se registraron: características de la semilla: forma, tamaño, peso, porcentaje y tipo de germinación, días a la germinación; características de la vaina en forma, tamaño y número de semillas; características de número de hojas, altura de planta de las arvenses y el tornillo; la capacidad de nodulación en la raíz principal y secundaria y sus características de forma, tamaño, color, peso de nódulos de las arvenses y el "tornillo". Se evaluaron a 30, 60, 90, 120 y 150 días de la siembra. Los resultados se sometieron al análisis de variancia y a la prueba de Duncan.

Realizada la caracterización y los análisis estadísticos, se estableció mayor altura de planta (40 cm.), diámetro de tallo (1.00 cm.), tamaño (2 mm) y

peso (0.90 g) de nódulos, con nodulación a 120 días en la raíz principal y a 60 días en la raíz secundaria, y con número de nódulos planta⁻¹ (raíz principal + raíz secundaria) mayor a 60 días (8.20 nódulos), 90 días (45.40 nódulos), 120 días (78.00 nódulos) y 150 días (43.20 nódulos), en plántulas de “tornillo” con suelo de bosque.

Las características de crecimiento y desarrollo de las arvenses, es diverso y característico en cada especie en cuanto a vainas, semillas y altura de planta, con germinación epígea y emergencia que ocurre entre 4 a 14 días y con mayor porcentaje de germinación (97 %) en *A. americana*. El color externo de los nódulos es crema – marrón, con variación de color interna y su forma según el crecimiento, desarrollo y la simbiosis de las arvenses. Mayor tamaño de nódulos tuvo *S. exaltata* con 3 – 9 mm y mayor peso en *Vigna sp.* con 0.95 g nódulo⁻¹.

La mayoría de las especies forman nódulos a los 30, 60, 90, 120 y 150 días de la siembra, excepto *D. tortuosum* con nodulación a los 60 días y en *S. exaltata* sin nodulación en la raíz principal y *C. tora* no muestra nodulación en el sistema radicular. En número de nódulos planta⁻¹ (raíz principal + raíz secundaria) fue mayor en *A. americana* a los 30 días (135.00 nódulos), 60 días (278.00 nódulos), 90 días (164.60 nódulos), 120 días (170.00 nódulos) y 150 días (233.20 nódulos), seguido de *C. striata* y *Vigna sp.*

VII. BIBLIOGRAFIA

1. BAZIN, M. J. 1990. Fijación del nitrógeno en leguminosas. [En línea]: ([http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/bolarios/Investigacion/fijacionN.htm#Fijación en leguminosas](http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/bolarios/Investigacion/fijacionN.htm#Fijación_en_leguminosas), documentos, 25 may. 2006).
2. BULLON, F. 1987. Producción y protección de cultivos. Lima, Perú. 126p.
3. BURT, R. L., ROTAR, P.P., WALKER, J.L. and SILVEY, M.W. 1983. The role of *Centrosema*, *Desmodium* and *Stylosanthes* in improving tropical pastures. Westview Tropical Agriculture. Series N° 6. 292 p.
4. CARDENAS, J. 1972. Malezas tropicales. Centro Regional de Ayuda Técnica México/Buenos Aires. Bogota, Colombia. Pp. 183 – 213.
5. CARDENAS, R. E. 1985. Establecimiento y producción de gramíneas y leguminosas forrajeras en Tingo Maria – Perú. In: Reunión Taller de Investigación Agropecuaria. Huánuco. 6 p.
6. CARRERAS, M. E. y PASCUALIDADES, A. L. 2001. Comportamiento germinativo de las semillas de *Crotalaria incana* L. en relación a la permeabilidad de la cubierta seminal. Córdoba – Argentina. [En línea]: (<http://crean.org.ar/agriscientia/volumenes/resumen/volumen%2018/carreras.pdf>, documentos, 24 de Oct. 2006).
7. CARTER, M. 2005. Socios en la producción de plantas: Rizobia y Micorrizae. [En línea]: (<http://www.eez.csic.es/~olivares/ciencia/fijacion/index.html>, documentos, 26 Oct. 2006).
8. CERNA, L. A. 1994. Manejo mejorado de malezas. 1ª ed. Perú. Pp. 13 – 118.
9. DE FELIPE ANTON, R. 2004. Interacciones microorganismos – suelo – planta en la preservación del medio ambiente y la salud. [En línea]: (<http://www.ranf.com/pdf/anales/2004/0305.pdf>, documentos, 25 Oct. 2006).
10. FAO. 1995. Manual técnico de la fijación simbiótica del nitrógeno. Leguminosa/*Rhizobium*. Roma. 5 p.

11. _____. 1985. Manual técnico de la fijación simbiótica de nitrógeno. Leguminosa/*Rhizobium*. Roma. 61 p.
12. FERNANDEZ, C. M. V. 2003. Manual de nodulación. [En línea]: (<http://www.nitragin.com.ar/Manual%20de%20nodulacion-Sept03.pdf>, doc., 23 Oct. 2006).
13. FERREYRA, R. 1970. Flora invasora de los cultivos de Pucallpa y Tingo María. Lima, Perú. Pp. 83 – 111.
14. GONZALES, V. R. L. 2006. Identificación de leguminosas arvenses y ensayo de evaluación de la capacidad de nodulación radicular (FBN). Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Perú. 64 p.
15. HAMBÍ, Y. A. 1985. La fijación del nitrógeno en la explotación de los suelos. Boletín de suelos de la FAO. Roma. 188 p.
16. INIA, 2005. Tecnologías agrarias. INFO – INIAE. [En línea]: INIEA, (<http://www.inia.gob.pe/>, boletín técnico, 15 May. 2006).
17. LABANDERA, C. 2006. Trabajos Técnicos. Departamento de Microbiología de Suelos. Montevideo, Urug[En línea]:(<http://www.chasque.net/microlab/LMSCI/Elrizobio1.htm>, documentos, 26 Oct. 2006)
18. MANCILLA, E. L. 2002. Artículos libres. ¿Por qué las leguminosa forrajeras llegan a convertirse en malezas?. Valencia, Venezuela. Edición 52. Pp. 44
19. ROBINSON, D. H. 1972. Leguminosas forrajeras. Manual de técnica agropecuaria. Editorial Acribia, Zaragoza, España. 11 – 17 p.
20. SAGASTEGUI, A. 1993. Flora invasora de los cultivos del Perú. CONCYTEC. Primera edición. Trujillo, Perú. Pp. 82 – 123.
21. SANCHEZ, A. y UNDANETA, J. 1997. Evaluación de la distribución espacial de nodulos en la *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. [En línea]: (http://www.revfacagronluz.org.ve/v14_4/v144z009.html, doc. 26 Oct. 2006).
22. SKERMAN, P. J. 1991. Leguminosas forrajeras tropicales. Colección FAO. Producción y protección vegetal. Impreso en Italia. Pp. 88 – 503.
23. VINCENT, J. M. 1975. Manual práctico de Rhizobiología. Edición Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. Pp. 1, 18, 25, 137.

VIII. ANEXO

Cuadro 24. Evaluación de la capacidad de nodulación radicular en plantones¹ de "tornillo"

Tratamiento	Plantas evaluadas					Total nód. Planta ⁻¹	Promedio nód. planta ⁻¹
	1	2	3	4	5		
A 30 días de evaluación (Octubre - 2006)							
T ₁ S. bosque	0	0	0	0	0	0	0.00
T ₂ S. agrícola	0	0	0	0	0	0	0.00
T ₃ S. arenoso	0	0	0	0	0	0	0.00
A 60 días de evaluación (Noviembre - 2006)							
T ₁ S. bosque	10	10	8	7	6	41	8.20
T ₂ S. agrícola	2	1	1	1	1	6	1.20
T ₃ S. arenoso	2	1	1	1	1	6	1.20
A 90 días de evaluación (Diciembre - 2006)							
T ₁ S. bosque	24	52	58	50	43	227	45.40
T ₂ S. agrícola	3	4	3	1	4	15	3.00
T ₃ S. arenoso	3	2	3	2	3	13	2.60
A 120 días de evaluación (Enero - 2007)							
T ₁ S. bosque	80	87	62	86	75	390	78.00
T ₂ S. agrícola	8	16	23	9	9	65	13.00
T ₃ S. arenoso	3	6	4	4	5	22	4.40
A 150 días de evaluación (Febrero - 2007)							
T ₁ S. bosque	34	34	54	54	40	216	43.20
T ₂ S. agrícola	10	10	15	14	12	61	12.20
T ₃ S. arenoso	4	4	3	2	3	16	3.20

¹ Total de nódulos en raíz principal y secundaria por plantón de "tornillo".

Cuadro 26. Evaluación de capacidad de nodulación radicular en raíces secundarias del "tornillo".

Tratamiento	Plantas evaluadas					Total nód. raíz secund.	Promedio nód. planta ⁻¹
	1	2	3	4	5		
A 30 días de evaluación (Octubre - 2006)							
T ₁ S. bosque	0	0	0	0	0	0	0.00
T ₂ S. agrícola	0	0	0	0	0	0	0.00
T ₃ S. arenoso	0	0	0	0	0	0	0.00
A 60 días de evaluación (Noviembre - 2006)							
T ₁ S. bosque	10	10	8	7	6	41	8.20
T ₂ S. agrícola	2	1	1	1	1	6	1.20
T ₃ S. arenoso	2	1	1	1	1	6	1.20
A 90 días de evaluación (Diciembre - 2006)							
T ₁ S. bosque	24	52	58	50	43	227	45.40
T ₂ S. agrícola	3	4	3	1	4	15	3.00
T ₃ S. arenoso	3	2	3	2	3	13	2.60
A 120 días de evaluación (Enero - 2007)							
T ₁ S. bosque	75	80	55	80	70	360	72.00
T ₂ S. agrícola	7	14	20	8	7	56	11.20
T ₃ S. arenoso	3	6	4	4	5	22	4.40
A 150 días de evaluación (Febrero - 2007)							
T ₁ S. bosque	32	30	50	50	37	199	39.80
T ₂ S. agrícola	9	10	14	13	11	57	11.40
T ₃ S. arenoso	4	4	3	2	3	16	3.20

Cuadro 27. Evaluación de la capacidad de nodulación radicular en arvenses leguminosas¹ tropicales.

Tratamiento	Plantas evaluadas					Total nód. plánta ⁻¹	Promedio nód. planta ⁻¹
	1	2	3	4	5		
A 30 días de evaluación (Octubre - 2006)							
T ₁ <i>Vigna sp.</i>	50	41	35	40	48	214	42.80
T ₂ <i>C. sagittalis</i>	9	5	5	7	7	33	6.60
T ₃ <i>Cassia tora</i>	0	0	0	0	0	0	0.00
T ₄ <i>A. americana</i>	141	140	119	135	140	675	135.00
T ₅ <i>D. scorpiurus</i>	12	5	8	1	13	39	7.80
T ₆ <i>C. striata</i>	87	75	67	75	95	399	79.80
T ₇ <i>D. tortuosum</i>	8	9	6	6	4	33	6.60
T ₈ <i>S. exaltata</i>	6	2	7	3	5	23	4.60
T ₉ <i>M. lathyroides</i>	11	11	12	10	11	55	11.00
A 60 días de evaluación (Noviembre - 2006)							
T ₁ <i>Vigna sp.</i>	54	39	38	37	82	250	50.00
T ₂ <i>C. sagittalis</i>	8	10	6	9	10	43	8.60
T ₃ <i>Cassia tora</i>	0	0	0	0	0	0	0.00
T ₄ <i>A. americana</i>	278	223	298	330	265	1394	278.80
T ₅ <i>D. scorpiurus</i>	9	7	8	4	16	44	8.80
T ₆ <i>C. striata</i>	195	174	153	152	122	796	159.20
T ₇ <i>D. tortuosum</i>	9	11	8	10	5	43	8.60
T ₈ <i>S. exaltata</i>	5	4	9	5	10	33	6.60
T ₉ <i>M. lathyroides</i>	12	9	26	13	11	71	14.20
A 90 días de evaluación (Diciembre - 2006)							
T ₁ <i>Vigna sp.</i>	52	72	58	92	76	350	70.00
T ₂ <i>C. sagittalis</i>	16	19	27	22	17	101	20.20
T ₃ <i>Cassia tora</i>	0	0	0	0	0	0	0.00
T ₄ <i>A. americana</i>	181	177	137	190	138	823	164.60
T ₅ <i>D. scorpiurus</i>	10	9	8	7	8	42	8.40
T ₆ <i>C. striata</i>	92	127	108	141	146	614	122.80
T ₇ <i>D. tortuosum</i>	7	4	5	3	14	33	6.60
T ₈ <i>S. exaltata</i>	1	4	10	3	3	21	4.20
T ₉ <i>M. lathyroides</i>	19	21	39	22	18	119	23.80
A 120 días de evaluación (Enero - 2007)							
T ₁ <i>Vigna sp.</i>	74	68	58	75	70	345	69.00
T ₂ <i>C. sagittalis</i>	21	23	16	23	17	100	20.00
T ₃ <i>Cassia tora</i>	0	0	0	0	0	0	0.00
T ₄ <i>A. americana</i>	160	208	175	173	134	850	170.00
T ₅ <i>D. scorpiurus</i>	10	11	12	8	9	50	10.00
T ₆ <i>C. striata</i>	127	161	128	112	145	673	134.60
T ₇ <i>D. tortuosum</i>	8	15	9	10	6	48	9.60
T ₈ <i>S. exaltata</i>	4	6	12	7	16	45	9.00
T ₉ <i>M. lathyroides</i>	15	17	23	21	21	97	19.40
A 150 días de evaluación (Febrero - 2007)							
T ₁ <i>Vigna sp.</i>	92	73	109	40	50	364	72.80
T ₂ <i>C. sagittalis</i>	42	26	18	27	17	130	26.00
T ₃ <i>Cassia tora</i>	0	0	0	0	0	0	0.00
T ₄ <i>A. americana</i>	265	244	234	239	184	1166	233.20
T ₅ <i>D. scorpiurus</i>	162	147	115	146	124	694	138.80
T ₆ <i>C. striata</i>	2	8	9	6	5	30	6.00
T ₇ <i>D. tortuosum</i>	11	9	7	9	6	42	8.40
T ₈ <i>S. exaltata</i>	6	3	54	7	9	79	15.80
T ₉ <i>M. lathyroides</i>	18	13	20	9	10	70	14.00

Cuadro 28. Evaluación de la capacidad de nodulación radicular en raíz principal de arvenses leguminosas tropicales

Tratamiento	Plantas evaluadas					Total nód. raíz princip.	Promedio nód. planta ⁻¹
	1	2	3	4	5		
A 30 días de evaluación (Octubre - 2006)							
T ₁ <i>Vigna sp.</i>	1	1	1	1	0	4	0.80
T ₂ <i>C. sagittalis</i>	1	0	1	1	1	4	0.80
T ₃ <i>Cassia tora</i>	0	0	0	0	0	0	0.00
T ₄ <i>A. americana</i>	51	50	49	45	40	235	47.00
T ₅ <i>D. scorpiurus</i>	4	3	4	2	3	16	3.20
T ₆ <i>C. striata</i>	7	6	7	5	6	31	6.20
T ₇ <i>D. tortuosum</i>	3	3	2	1	1	10	2.00
T ₈ <i>S. exaltata</i>	0	0	0	0	0	0	0.00
T ₉ <i>M. lathyroides</i>	6	4	6	6	5	27	5.40
A 60 días de evaluación (Noviembre - 2006)							
T ₁ <i>Vigna sp.</i>	2	0	2	3	2	9	1.80
T ₂ <i>C. sagittalis</i>	1	1	1	1	0	4	0.80
T ₃ <i>Cassia tora</i>	0	0	0	0	0	0	0.00
T ₄ <i>A. americana</i>	100	105	105	115	90	515	103.00
T ₅ <i>D. scorpiurus</i>	5	7	6	2	4	24	4.80
T ₆ <i>C. striata</i>	5	4	4	2	3	18	3.60
T ₇ <i>D. tortuosum</i>	3	1	1	2	0	7	1.40
T ₈ <i>S. exaltata</i>	0	0	0	0	0	0	0.00
T ₉ <i>M. lathyroides</i>	10	7	6	7	6	36	7.20
A 90 días de evaluación (Diciembre - 2006)							
T ₁ <i>Vigna sp.</i>	1	2	2	2	1	8	1.60
T ₂ <i>C. sagittalis</i>	4	3	3	2	3	15	3.00
T ₃ <i>Cassia tora</i>	0	0	0	0	0	0	0.00
T ₄ <i>A. americana</i>	85	87	78	90	76	416	83.20
T ₅ <i>D. scorpiurus</i>	4	5	3	4	2	18	3.60
T ₆ <i>C. striata</i>	18	17	28	11	20	94	18.80
T ₇ <i>D. tortuosum</i>	0	0	0	0	0	0	0.00
T ₈ <i>S. exaltata</i>	0	0	0	0	0	0	0.00
T ₉ <i>M. lathyroides</i>	8	7	7	8	5	35	7.00
A 120 días de evaluación (Enero - 2007)							
T ₁ <i>Vigna sp.</i>	4	5	3	3	5	20	4.00
T ₂ <i>C. sagittalis</i>	3	3	1	2	1	10	2.00
T ₃ <i>Cassia tora</i>	0	0	0	0	0	0	0.00
T ₄ <i>A. americana</i>	106	108	95	85	64	458	91.60
T ₅ <i>D. scorpiurus</i>	5	6	6	4	4	25	5.00
T ₆ <i>C. striata</i>	9	11	8	12	10	50	10.00
T ₇ <i>D. tortuosum</i>	0	0	0	0	0	0	0.00
T ₈ <i>S. exaltata</i>	0	0	0	0	0	0	0.00
T ₉ <i>M. lathyroides</i>	10	7	6	7	8	38	7.60
A 150 días de evaluación (Febrero - 2007)							
T ₁ <i>Vigna sp.</i>	12	14	10	11	10	57	11.40
T ₂ <i>C. sagittalis</i>	2	3	2	3	2	12	2.40
T ₃ <i>Cassia tora</i>	0	0	0	0	0	0	0.00
T ₄ <i>A. americana</i>	65	62	67	59	47	300	60.00
T ₅ <i>D. scorpiurus</i>	6	7	5	6	4	28	5.60
T ₆ <i>C. striata</i>	1	2	4	2	3	12	2.40
T ₇ <i>D. tortuosum</i>	0	0	0	0	0	0	0.00
T ₈ <i>S. exaltata</i>	0	0	0	0	0	0	0.00
T ₉ <i>M. lathyroides</i>	8	10	8	6	7	39	7.80

Cuadro 29. Evaluación de la capacidad de nodulación radicular en raíces secundarias de arvenses leguminosas tropicales

Tratamiento	Plantas evaluadas					Total nód. raíz secund.	Promedio nód. planta ⁻¹
	1	2	3	4	5		
A 30 días de evaluación (Octubre - 2006)							
T ₁ <i>Vigna sp.</i>	49	40	34	39	48	210	42.00
T ₂ <i>C. sagittalis</i>	8	5	4	6	6	29	5.80
T ₃ <i>Cassia tora</i>	0	0	0	0	0	0	0.00
T ₄ <i>A. americana</i>	90	90	70	90	100	440	88.00
T ₅ <i>D. scorpiurus</i>	5	4	3	6	5	23	4.60
T ₆ <i>C. striata</i>	80	69	60	70	89	368	73.60
T ₇ <i>D. tortuosum</i>	5	6	4	5	3	23	4.60
T ₈ <i>S. exaltata</i>	6	2	7	3	5	23	4.60
T ₉ <i>M. lathyroides</i>	5	7	6	4	6	28	5.60
A 60 días de evaluación (Noviembre - 2006)							
T ₁ <i>Vigna sp.</i>	52	39	36	34	80	241	48.20
T ₂ <i>C. sagittalis</i>	7	9	5	8	10	39	7.80
T ₃ <i>Cassia tora</i>	0	0	0	0	0	0	0.00
T ₄ <i>A. americana</i>	178	118	193	215	175	879	175.80
T ₅ <i>D. scorpiurus</i>	4	0	2	2	12	20	4.00
T ₆ <i>C. striata</i>	190	170	149	150	119	778	155.60
T ₇ <i>D. tortuosum</i>	6	10	7	8	5	36	7.20
T ₈ <i>S. exaltata</i>	5	4	9	5	10	33	6.60
T ₉ <i>M. lathyroides</i>	2	2	20	6	5	35	7.00
A 90 días de evaluación (Diciembre - 2006)							
T ₁ <i>Vigna sp.</i>	51	70	56	90	75	342	68.40
T ₂ <i>C. sagittalis</i>	12	16	24	20	14	86	17.20
T ₃ <i>Cassia tora</i>	0	0	0	0	0	0	0.00
T ₄ <i>A. americana</i>	96	90	59	100	62	407	81.40
T ₅ <i>D. scorpiurus</i>	6	4	5	3	6	24	4.80
T ₆ <i>C. striata</i>	74	110	80	130	126	520	104.00
T ₇ <i>D. tortuosum</i>	7	4	5	3	14	33	6.60
T ₈ <i>S. exaltata</i>	1	4	10	3	3	21	4.20
T ₉ <i>M. lathyroides</i>	11	14	32	14	13	84	16.80
A 120 días de evaluación (Enero - 2007)							
T ₁ <i>Vigna sp.</i>	70	63	55	72	65	325	65.00
T ₂ <i>C. sagittalis</i>	18	20	15	21	16	90	18.00
T ₃ <i>Cassia tora</i>	0	0	0	0	0	0	0.00
T ₄ <i>A. americana</i>	54	100	80	88	70	392	78.40
T ₅ <i>D. scorpiurus</i>	5	5	6	4	5	25	5.00
T ₆ <i>C. striata</i>	118	150	120	100	135	623	124.60
T ₇ <i>D. tortuosum</i>	8	15	9	10	6	48	9.60
T ₈ <i>S. exaltata</i>	4	6	12	7	16	45	9.00
T ₉ <i>M. lathyroides</i>	5	10	17	14	13	59	11.80
A 150 días de evaluación (Febrero - 2007)							
T ₁ <i>Vigna sp.</i>	80	59	99	29	40	307	61.40
T ₂ <i>C. sagittalis</i>	40	23	16	24	15	118	23.60
T ₃ <i>Cassia tora</i>	0	0	0	0	0	0	0.00
T ₄ <i>A. americana</i>	200	182	167	180	137	866	173.20
T ₅ <i>D. scorpiurus</i>	156	140	110	140	120	666	133.20
T ₆ <i>C. striata</i>	1	6	5	4	2	18	3.60
T ₇ <i>D. tortuosum</i>	11	9	7	9	6	42	8.40
T ₈ <i>S. exaltata</i>	6	3	54	7	9	79	15.80
T ₉ <i>M. lathyroides</i>	10	3	12	3	3	31	6.20

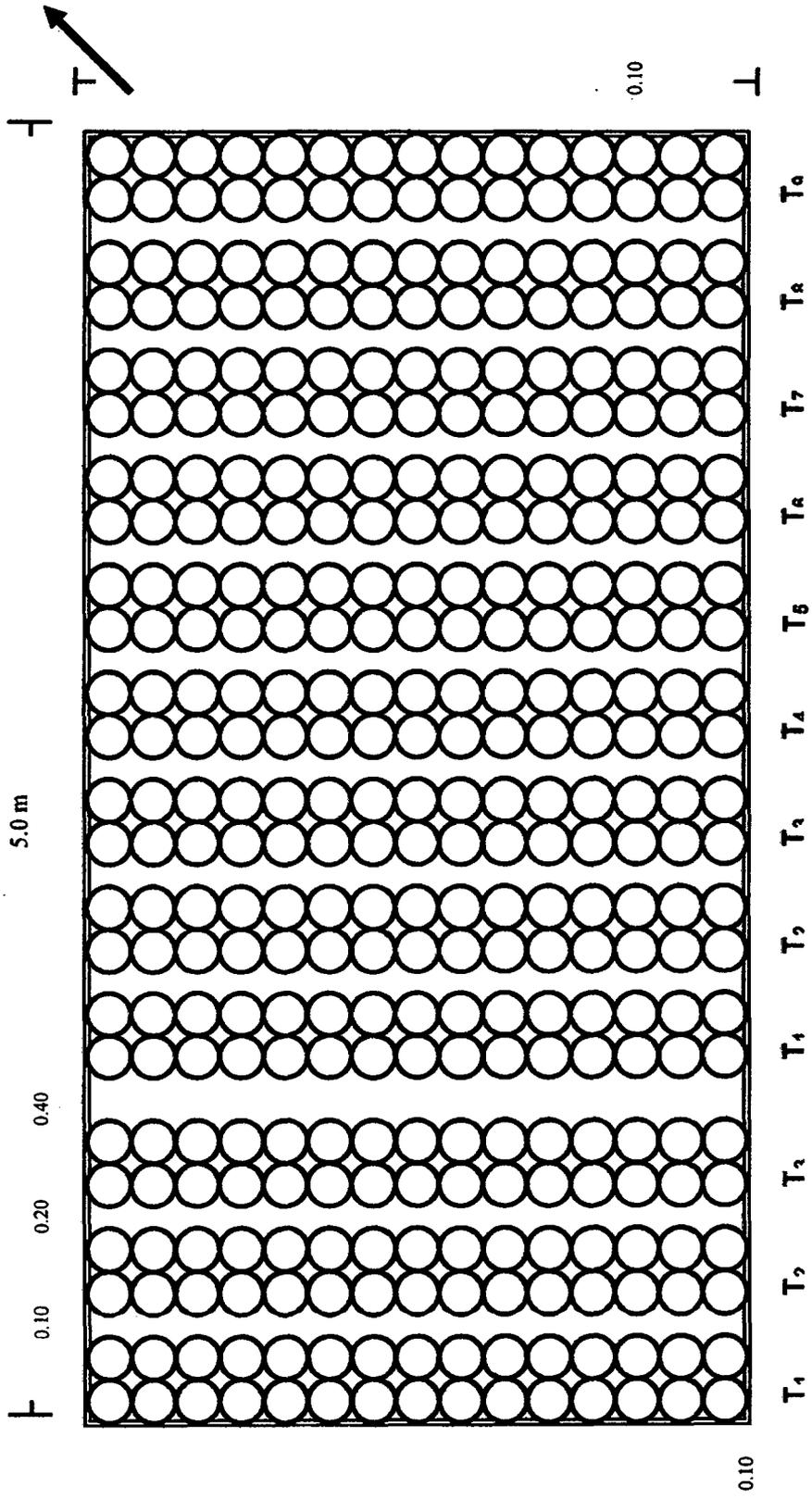


Figura 3. Distribución de tratamientos en el campo experimental.



Figura 4. *Desmodium tortuosum* (Sw.) DC.: "pega pega", "amor seco", "carrapicho", "cadillo"



Figura 5. *Crotalaria sagittalis* L.: "cascabelillo, sonajita"

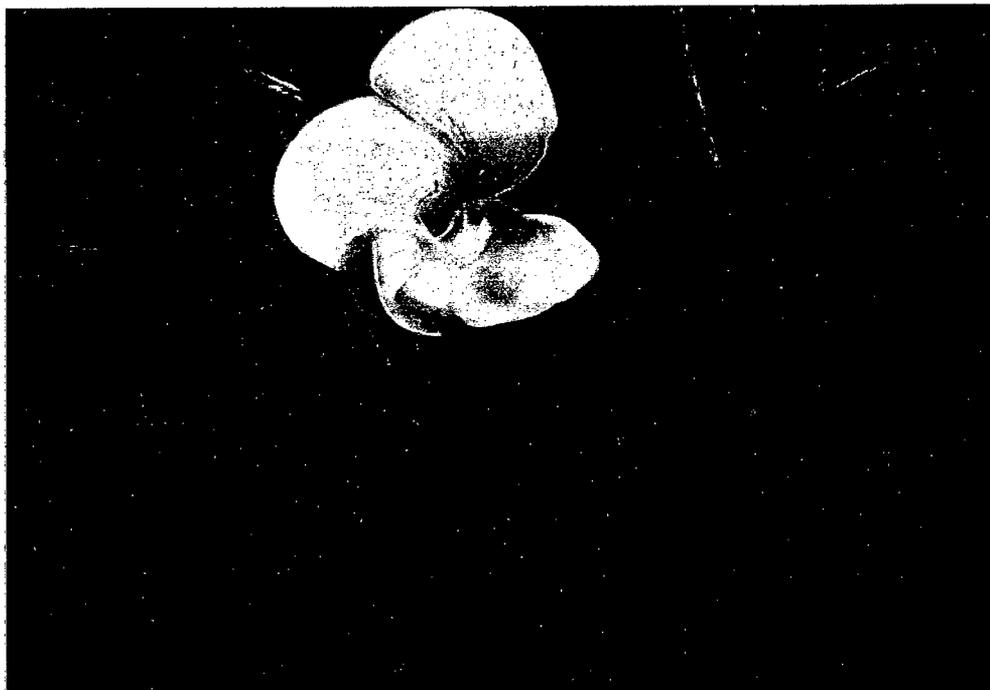


Figura 6. *Vigna unguiculata* (L.) Walp.: "sacha frijol"

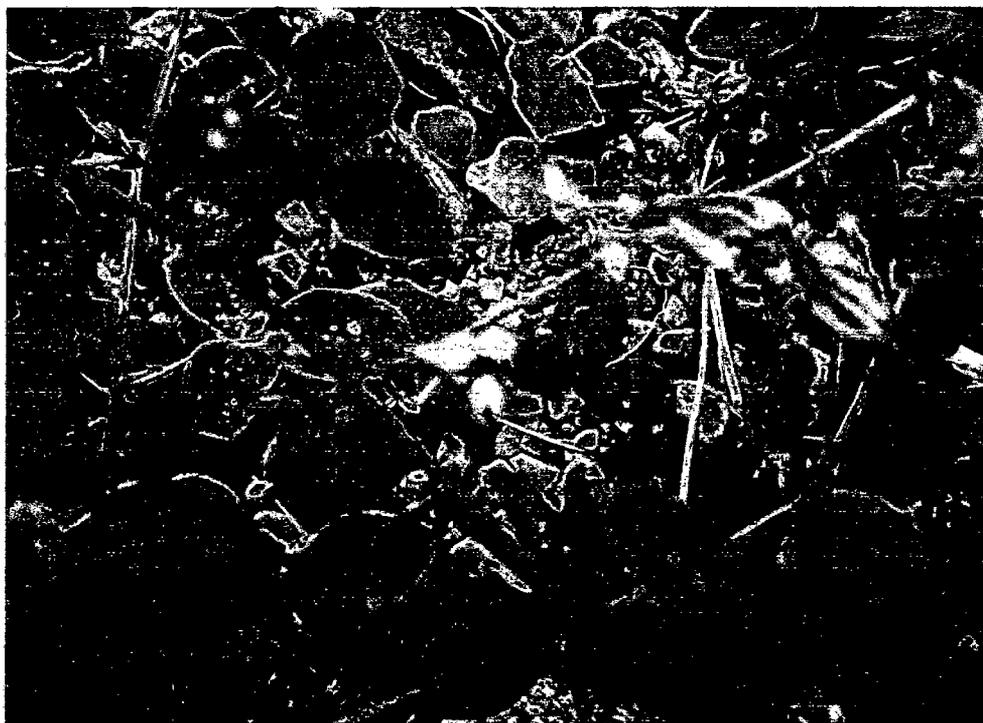


Figura 7. *Desmodium scorpiurus* (Sw.) Desv.: "pega pega"

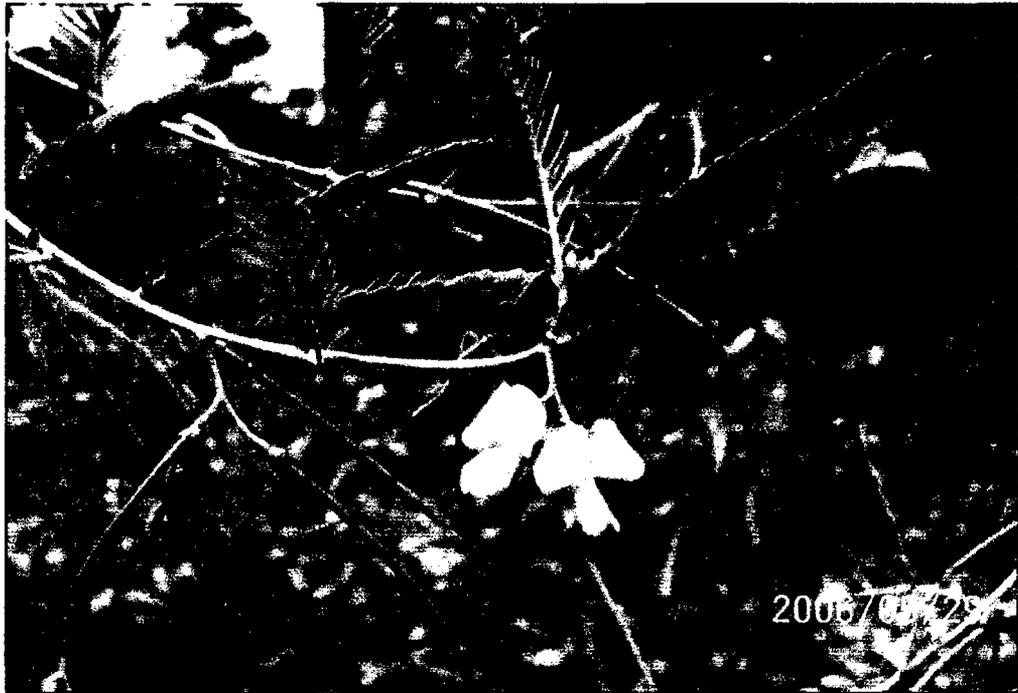


Figura 8. *Sesbania exaltata* (Raf.) Cory: "sesbania", "frijolillo"



Figura 9. *Macroptilium lathyroides* (L.) Urban: "frejolillo", "habichuela parada"



Figura 10. *Cassia tora* Linn.: "ayaporoto", "cimarrona", "mata pasto", "retamilla"

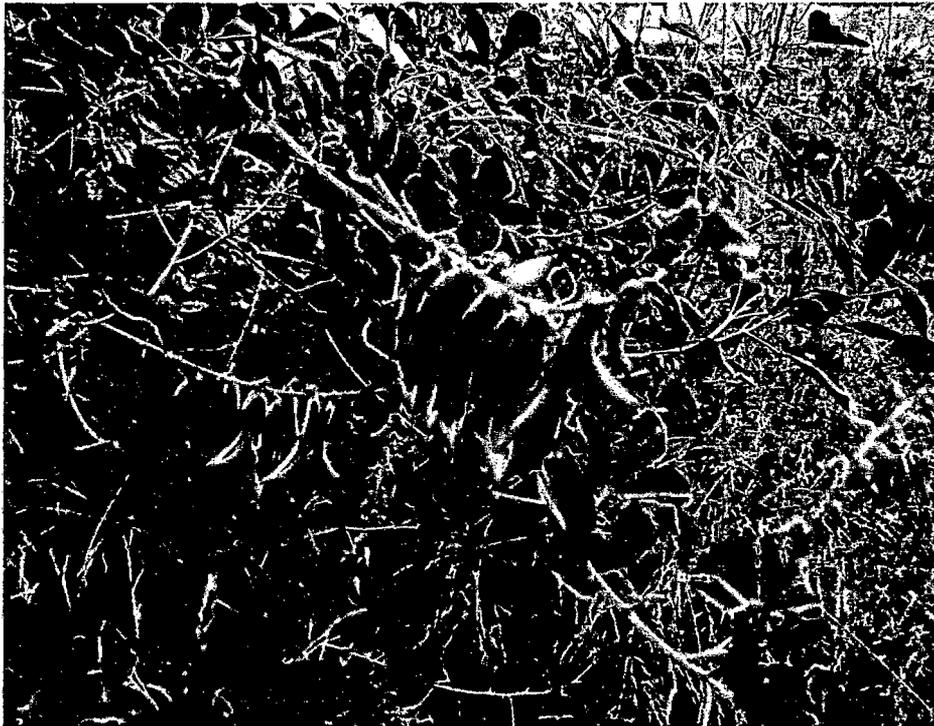


Figura 11. *Crotalaria striata* DC. : "cascabelitos", "sonajita", "maraquitas"



Figura 12. *Aeschynomene americana* L.: "falsa sensitiva" "dormilona"