

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMIA

**EVALUACION DEL FRIJOL TERCIOPELO (*Mucuna pruriens L.*) COMO
ABONO VERDE, CON DIFERENTES NIVELES DE NITROGENO Y EPOCAS DE
INCORPORACION ANTES DE LA SIEMBRA, EN CONDICIONES DE
INVERNADERO, UTILIZANDO LA TECNICA DEL ¹⁵N.**

TESIS

**PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE
AGRONOMIA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

POR

ELIAS RAYMUNDO RAYMUNDO

En el acto de investidura como

INGENIERO AGRONOMO

EN

SISTEMAS DE PRODUCCION AGRICOLA

EN EL GRADO ACADEMICO DE

LICENCIADO

Guatemala, abril de 1998.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

Dr. JAFETH CABRERA FRANCO

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO:	Ing. Agr. JOSE ROLANDO LARA ALECIO
VOCAL PRIMERO:	Ing. Agr. JUAN JOSE CASTILLO MONT
VOCAL SEGUNDO:	Ing. Agr. WILLIAM ROBERTO ESCOBAR LÓPEZ
VOCAL TERCERO:	Ing. Agr. ALEJANDRO A. HERNANDEZ FIGUEROA
VOCAL CUARTO:	Br. ESTUARDO ENRIQUE LIRA PRERA
VOCAL QUINTO:	P. Agr. EDGAR DANILO JUAREZ QUIM
SECRETARIO:	Ing. Agr. GUILLERMO EDILBERTO MENDEZ BETETA

Guatemala, abril de 1998.

**Honorable Junta Directiva
Honorable Tribunal Examinador
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala**

Honorables Miembros:

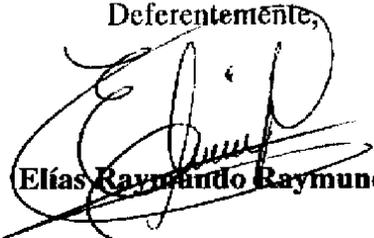
Atentamente, y de conformidad con las normas establecidas en la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración, el trabajo de tesis titulado

**EVALUACION DEL FRIJOL TERCIOPELO (*Mucuna pruriens* L.) COMO
ABONO VERDE, CON DIFERENTES NIVELES DE NITROGENO Y EPOCAS DE
INCORPORACION ANTES DE LA SIEMBRA, EN CONDICIONES DE
INVERNADERO, UTILIZANDO LA TECNICA DEL ^{15}N .**

al presentarlo como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola en el grado académico de Licenciado.

En la espera que este trabajo merezca vuestra aprobación, quedo de ustedes.

Deferentemente,



Elías Raymundo Raymundo

ACTO QUE DEDICO

A:

Rufino Raymundo Chocoj: mi padre.

Cuyo recuerdo no se perdió en la oscura y triste noche del olvido. Se alza triunfante en las metas que alcanzo.

Antonia Raymundo Osorio: mi madre.

Para que sepa que no ha sido en vano su esfuerzo.

AGRADECIMIENTOS

A:

Ing. Agr. Anibal Sacbajá: por sus sugerencias que contribuyeron a orientar esta investigación.

Ing. Agr. Luis Molina: por sus conocimientos compartidos.

Ing. Industrial Juan José López: por su colaboración en la fase de laboratorio de esta tesis.

Mis distinguidos evaluadores:

Ing. Agr. Walter García Tello, Ing. Agr. Maxdelio Herrera y Dr. Luis Mejía: cuyos aportes han contribuido a la realización de un mejor trabajo.

Personal de la ONG CEIBA y de las Comunidades de Población en Resistencia (CPR) de la Sierra: por su apoyo al permitirme el uso de su equipo de computo.

Ing. José Jesús Chonay: por su valiosa y desinteresada asesoría.

Muy en especial, a la Inga. Agra. María Antonieta Alfaro: sin su noble apoyo, este trabajo no hubiera sido posible.

CONTENIDO GENERAL

	Página
INDICE DE CUADROS	iii
INDICE DE FIGURAS	iv
RESUMEN	v
1. INTRODUCCION	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
3. MARCO TEORICO	4
3.1. MARCO CONCEPTUAL	4
3.1.1. Materia orgánica del suelo: su definición	4
3.1.2. El nitrógeno en el suelo	4
3.1.3. El nitrógeno y la materia orgánica: la relación carbono:nitrógeno	4
3.1.4. El nitrógeno en la planta	6
3.1.5. Las leguminosas y los abonos verdes	7
3.1.6. El frijol terciopelo (<i>Mucuna pruriens</i> L.)	7
3.1.7. Los isótopos del nitrógeno y su uso en la medición de la absorción del nitrógeno por la planta	8
3.1.8. Determinación del nitrógeno y del ¹⁵ N en una muestra vegetal	9
3.1.9. El concepto del Valor A	9
3.2. ANTECEDENTES DE INVESTIGACION	11
4. MARCO REFERENCIAL	12
4.1. CARACTERISTICAS DEL SITIO EXPERIMENTAL	12
4.2. CARACTERISTICAS GENERALES DEL SUELO	12
4.3. CARACTERISTICAS DEL FRIJOL TERCIPELO (<i>Mucuna pruriens</i> L.)	13
5. OBJETIVOS	14
6. HIPOTESIS	14
7. METODOLOGIA	15
7.1. Obtención de la abono verde	15
7.2. Obtención del suelo	15
7.3. Análisis físico y químico del material experimental	15

7.3.1.	Características del abono verde	16
7.3.2.	Características del suelo	16
7.4.	Metodología experimental	17
7.5.	Factores de evaluación	17
7.6.	Tratamientos evaluados	18
7.7.	Unidad experimental	18
7.8.	Planta indicadora	19
7.9.	Manejo del experimento	19
7.10.	Variables respuesta	20
7.11.	Determinación de la materia seca	21
7.12.	Cuantificación del nitrógeno en la planta	21
7.13.	Análisis de datos	21
8.	RESULTADOS Y DISCUSION	23
8.1.	ANALISIS DE LOS TRATAMIENTOS	23
8.2.	EFFECTO DEL NIVEL Y DE LA EPOCA DE INCORPORACIÓN DEL ABONO VERDE	28
8.3.	PORCENTAJE DE UTILIZACIÓN DEL NITRÓGENO DEL FERTILIZANTE Y DEL ABONO VERDE	33
9.	CONCLUSIONES	37
10.	RECOMENDACIONES	38
11.	BIBLIOGRAFIA	39
12.	APENDICE	41

Apéndice 1A: FORMULAS UTILIZADAS PARA EL CALCULO DEL porcentaje de nitrógeno ABSORBIDO DEL FERTILIZANTE Y DE LOS TRATAMIENTOS CON MUCUNA (*Mucuna pruriens* L.).

Apéndice 2A: RESUMEN DE LOS ANALISIS DE VARIANZA PARA LOS TRATAMIENTOS Y LA INTERACCION DE FACTORES.

INDICE DE CUADROS

CUADRO	T I T U L O	Página
1	Composición química de la mucuna (<i>Mucuna pruriens</i> L).	16
2	Características fisicoquímicas del suelo.	16
3	Características químicas del suelo.	17
4	Tratamientos, niveles de abono verde, nivel de fertilizante marcado y niveles de nitrógeno potencial en el abono verde.	18
5	Cantidad y fuente de nutrientes aplicados por litro de solución.	20
6	Comparación de medias en los tratamientos para la materia seca, porcentaje de nitrógeno total, porcentaje de nitrógeno derivado del fertilizante, porcentaje de nitrógeno derivado del suelo y porcentaje de nitrógeno derivado del abono verde, en el <i>Sorghum vulgare</i> L.	23
7	Comparación de medias Dunnett, en los tratamientos para la materia seca y porcentaje de nitrógeno total.	26
8	Comparación de medias Dunnett, en los tratamientos que utilizaron fertilizante marcado, para el porcentaje de nitrógeno total, porcentaje de nitrógeno derivado del fertilizante y porcentaje de nitrógeno derivado del suelo.	27
9	Comparación de medias por efecto de los factores época de incorporación antes de la siembra y niveles de nitrógeno del abono verde para la materia seca, porcentaje de nitrógeno total, porcentaje de nitrógeno derivado del fertilizante, porcentaje de nitrógeno derivado del suelo y porcentaje de nitrógeno derivado del abono verde.	28
10	Comparación de medias del porcentaje de eficiencia de uso del fertilizante y porcentaje de eficiencia de uso del abono verde, y valores de la relación de equivalencia del abono verde con el fertilizante.	33
11A	F calculada y probabilidades para el rendimiento de materia seca, porcentaje de nitrógeno total, porcentaje de nitrógeno derivado del fertilizante, porcentaje de nitrógeno derivado del suelo y porcentaje de nitrógeno derivado del abono verde en los tratamientos.	46
12A	F calculada y probabilidades para el rendimiento de materia seca, porcentaje de nitrógeno total, porcentaje de nitrógeno derivado del fertilizante, porcentaje de nitrógeno derivado del suelo y porcentaje de nitrógeno derivado del abono verde en el <i>Sorghum vulgare</i> L., por efecto de la interacción de factores.	47

13A	Datos iniciales obtenidos de la materia seca y nitrógeno total, y datos derivados del cálculo matemático en las unidades experimentales.	48
-----	--	----

INDICE DE FIGURAS

FIGURA	T I T U L O	Página
1	Fraccionamiento del nitrógeno total en el sorgo de acuerdo a las fuentes, en los diferentes tratamientos.	24
2	Porcentaje de nitrógeno total en el sorgo, según el nivel y la época de incorporación del abono verde antes de la siembra.	29
3	Porcentaje de nitrógeno derivado del fertilizante en el sorgo, según el nivel y la época de incorporación del abono verde.	30
4	Porcentaje de nitrógeno derivado del suelo en el sorgo, según el nivel y la época de incorporación del abono verde antes de la siembra.	31
5	Porcentaje de nitrógeno derivado del abono verde en el sorgo, según el nivel y la época de incorporación del abono verde antes de la siembra.	32
6	Eficiencia de uso del nitrógeno del fertilizante cuando se incorporan niveles de abono verde en diferentes épocas antes de la siembra.	34
7	Eficiencia de uso nitrógeno del abono verde cuando se incorpora en distintos niveles y épocas de incorporación antes de la siembra, en combinación con un fertilizante.	35

**EVALUACION DEL FRIJOL TERCIOPELO (*Mucuna Pruriens* L.) COMO ABONO VERDE,
CON DIFERENTES NIVELES DE NITROGENO Y EPOCAS DE INCORPORACIÓN ANTES
DE LA SIEMBRA, EN CONDICIONES DE INVERNADERO,
UTILIZANDO LA TECNICA DEL ^{15}N**

**ASSESSMENT OF VELVET BEAN (*Mucuna pruriens* L.) AS GREEN MANURE, IN DIFERENTS
LEVELS OF NITROGEN AND TIMING INCORPORATION BEFORE SEEDLING, IN
GREENHOUSE CONDITIONS, USING ^{15}N TECHNIQUE.**

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue evaluar el aporte de nitrógeno del frijol terciopelo (*Mucuna pruriens* L.) aplicado como abono verde, en diferentes niveles y épocas de incorporación previo a la siembra de un cultivo.

La investigación se desarrolló en el invernadero de la Dirección General de Energía Nuclear del Ministerio de Energía y Minas, en un diseño experimental completamente al azar y el diseño de tratamientos en estructura factorial que consistió en tres niveles de abono verde y cinco épocas de incorporación antes de la siembra (80, 60, 40, 20 y 00 días). Los niveles de abono verde evaluados correspondieron a su contenido de nitrógeno total que consistió en 130, 260 y 390 mg/maceta. Además se adicionó un tratamiento que consistió en la incorporación de 130 mg de N/maceta en forma de sulfato de amonio marcado con 3 % de átomos en exceso de ^{15}N , y otro tratamiento sin adición de sulfato de amonio ni abono verde. Cada tratamiento se evaluó en cinco repeticiones. La unidad experimental consistió en una maceta plástica de 1.5 litros de capacidad, a la que se adicionó 1.3 kilogramos de suelo proveniente de la serie Polochic.

Las variables respuesta evaluadas fueron: materia seca, porcentaje de nitrógeno total, porcentaje de nitrógeno derivado del fertilizante, porcentaje de nitrógeno derivado del suelo y porcentaje de nitrógeno derivado del abono verde.

Se concluye que existen diferencias significativas en la producción de materia seca por efecto del abono verde y del sulfato de amonio, pues se obtuvieron rendimientos mayores en comparación con el tratamiento sin aplicación de estas fuentes, que rindió 8.14 gramos.

La época de incorporación de abono verde antes de la siembra, afecta el rendimiento de materia seca por la adición de abono verde. La incorporación a los 20 días antes de la siembra propició mayor rendimiento de materia seca en comparación con las demás épocas evaluadas.

En cuanto al aporte de nitrógeno, el mayor contenido de nitrógeno total en la planta, se obtuvo a los 40 días de incorporación antes de la siembra y el nivel de abono verde con 390 mg de N/maceta.

Para el porcentaje de nitrógeno derivado del fertilizante, el tratamiento con fertilizante, en forma de sulfato de amonio, y sin abono verde, aporta el 37.6 por ciento de nitrógeno a la planta. En los tratamientos con fertilizante y abono verde, el mayor aporte de nitrógeno del fertilizante fue de 33.4 por ciento, y se obtuvo con la incorporación a los 80 días y nivel de abono verde con un contenido de 130 mg de N/maceta.

El mayor porcentaje de nitrógeno derivado del abono verde, se obtiene a los 60 y 40 días de incorporación antes de la siembra, con un nivel de nitrógeno en el abono verde equivalente a 390 mg/maceta.

Al relacionar el nitrógeno derivado del abono verde con el nitrógeno derivado del fertilizante, se obtuvieron relaciones de equivalencia de 1.54 y 1.59 del abono verde respecto al sulfato de amonio, a los 40 y 60 días de incorporación antes de la siembra con un nivel de 130 mg de N/maceta.

Se recomienda evaluar a nivel de campo, la incorporación del frijol terciopelo (*Mucuna pruriens* L.) como abono verde, cosechado a los 70 días después de la siembra al inicio de la floración, a los 20, 40 y 60 días antes de la siembra del cultivo de interés, con un contenido de nitrógeno equivalente a 390 mg por postura, complementado con 130 mg de nitrógeno en forma de fertilizante.

1. INTRODUCCION

Guatemala, por su situación sociocultural y económica, es un país donde prevalece la producción agrícola. Sin embargo, su agricultura se desarrolla sobre suelos que, en su mayor parte, son de vocación forestal.

El uso continuo del suelo para la agricultura, sin un manejo sostenible, ocasiona agotamiento de la fertilidad del mismo. La adición de fertilizantes para proporcionar a los cultivos los nutrientes requeridos tiene un costo, lo que dificulta su acceso a los agricultores de escasos recursos, por lo que las cantidades de nutrientes que el agricultor aplica, en forma de fertilizantes, no se adecua a las necesidades de los cultivos.

Existe necesidad de buscar fuentes de nutrientes alternativos a bajo costo que proporcionen al suelo los nutrientes requeridos, mejoren, en general, las características físico-químicas de los suelos, así como a reducir la utilización de fertilizantes. Estas son las razones más importantes que han motivado a algunos investigadores a realizar estudios para evaluar las fuentes orgánicas. En nuestro país, esos estudios se han orientado a medir su efecto en el rendimiento de los cultivos. No se toma en cuenta que el aprovechamiento de los nutrientes, que un cultivo puede hacer del aporte de nutrientes de una fuente orgánica, depende de la tasa entre la mineralización de la misma y el periodo de absorción máxima del cultivo.

El frijol terciopelo (*Mucuna pruriens* L.) es una fuente orgánica que se utiliza como abono verde, incorporado al suelo o aplicado sobre la superficie, en algunos lugares de México, Guatemala y Honduras (5, 23). De acuerdo a la experiencia, conviene sembrar el cultivo dos a tres semanas luego de incorporar una fuente orgánica en forma de abono verde. Hace falta profundizar en ello para conocer el momento adecuado de incorporación así como la dosis o nivel de aplicación para obtener el máximo aprovechamiento del abono.

En esta marco se sitúa la presente investigación que, de manera general, pretende contribuir a la generación de información sobre las fuentes orgánicas. Concretamente, evaluar el frijol terciopelo (*Mucuna pruriens* L.) como fuente natural de nutrientes cuando se aplica incorporado al suelo en diferentes niveles y épocas antes de la siembra, específicamente en su aporte de nitrógeno a las plantas,

utilizando, para ello, la técnica isotópica con ^{15}N .

Se cuantificaron las cantidades de nitrógeno, presentes en la planta, derivados del fertilizante, del suelo y del abono verde, y, en consecuencia, se estableció la conveniencia de utilizar el abono verde para la incorporación o restitución de nitrógeno en un suelo determinado.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Desde hace muchos años los agricultores de la zona del Polochic, utilizan el frijol terciopelo (*Mucuna pruriens* L.) como abono verde para los cultivos de granos básicos y hortícolas con el objeto de aprovechar los nutrientes que aporta la fuente orgánica.

Actualmente, hay interés de instituciones como la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos, el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas y la Sección Agropecuaria de la Dirección General de Energía Nuclear, entre otras, por contribuir, desde el punto de vista científico, a mejorar el uso y aprovechamiento de esta fuente orgánica. Se toma en cuenta que es realmente útil para el mantenimiento de la fertilidad del suelo sin que provoque riesgos de contaminación, como puede suceder con el uso de fertilizantes. Por otra parte es preciso establecer y validar tecnología agrícola que se adapte a la situación socioeconómica de los agricultores guatemaltecos y más aún, cuando esta es una práctica comúnmente aceptada y que puede ser mejorada para obtener un mayor beneficio de la incorporación del frijol terciopelo al suelo.

Se planteó como problema a resolver mediante la investigación:

Cuál es el efecto del nitrógeno del frijol terciopelo (*Mucuna pruriens* L.), cuando se aplica como abono verde, incorporado en distintos niveles y épocas antes de la siembra, bajo condiciones de invernadero, sobre el rendimiento de materia seca, porcentaje de nitrógeno total, porcentaje de nitrógeno derivado del fertilizante, porcentaje de nitrógeno derivado del suelo y porcentaje de nitrógeno derivado del abono verde en el *Sorghum vulgare* L.?

3. MARCO TEORICO

3.1. MARCO CONCEPTUAL

3.1.1. Materia orgánica del suelo: definición

Según Barreda (1), se entiende por materia orgánica:

- a. Las materias vegetales, vivas o muertas, introducidas recientemente en el suelo.
- b. Cualquier planta que se siembre con el propósito de enterrarla.
- c. Los restos vegetales o animales, en cualquier grado de descomposición.
- d. El humus, materia orgánica en estado avanzado de descomposición.
- e. Los organismos vivos o muertos del suelo.

3.1.2. El nitrógeno en el suelo

El contenido de nitrógeno total en los suelos comprende entre 0.2 y 0.7 por ciento para la denominada capa arable. El porcentaje tiende a disminuir al aumentar la profundidad del perfil. Dentro de los factores de formación del suelo, el clima es el que influye más directamente en el contenido total del nitrógeno, cuyo porcentaje tiende a incrementarse al disminuir la temperatura y al aumentar la precipitación, dentro de ciertos límites. (8)

El nitrógeno orgánico representa comúnmente entre el 85 y 95 por ciento del nitrógeno total en el suelo. Mientras el nitrógeno inorgánico tiene un ámbito generalmente comprendido entre 5 y 15 por ciento. (8)

3.1.3. El nitrógeno y la materia orgánica: la relación carbono:nitrógeno

Fassbender (8), indica que el contenido de nitrógeno en los microorganismos y los materiales orgánicos están en proporción al contenido de carbono y se denomina relación carbono:nitrógeno (relación C:N).

Los residuos vegetales con una relación C:N de 20:1 o menores, aportan nitrógeno suficiente para suministrarle a los organismos que descomponen la materia orgánica y a las plantas. Residuos con relación C:N de 20:1 a 30:1 suministran nitrógeno suficiente para la descomposición pero no lo suficiente para ser utilizado por las plantas. Residuos con relaciones C:N mayores de 30:1 se descomponen lentamente porque carecen de nitrógeno suficiente para ser utilizados por los microorganismos para su reproducción, originando el uso del nitrógeno propio del suelo. Si las condiciones ambientales son favorables, la velocidad de descomposición de los residuos es máxima durante las dos primeras semanas, después de incorporado al suelo. (7)

La relación C:N es determinante en la velocidad de descomposición de la materia orgánica y a su vez condiciona la mineralización del nitrógeno. (8)

La mineralización del nitrógeno consiste en una serie de procesos a través de los cuales los componentes orgánicos, se transforman en nitrógeno inorgánico en forma de NH_4^+ , NO_2^- y NO_3^- . (8)

La amonificación, según Fassbender (8), comprende los primeros procesos de transformación hasta que las sustancias orgánicas se convierten en NH_4^+ , el cual puede ser:

- a) absorbido por las plantas;
- b) absorbido por minerales arcillosos o por la materia orgánica;
- c) fijado por minerales 2:1 no expandibles;
- d) inmovilizado por microorganismos;
- e) lixiviado a través del suelo; y
- f) oxidado hasta el nivel de nitratos (nitrificación).

La nitrificación comprende la transformación del NH_4^+ en nitratos (NO_3^-) pasando previamente por la forma de nitritos (NO_2^-). (8)

Fassbender (8), indica también que ocurre el proceso opuesto denominado desnitrificación, la cual agrupa una serie de procesos bióticos y abióticos que conducen a la reducción de nitratos. La desnitrificación biológica es causada por los microorganismos cuando utilizan el nitrógeno para sus procesos metabólicos. La desnitrificación no biológica (volatilización del amonio) resulta de reacciones

químicas entre los diferentes componentes nitrogenados inorgánicos presentes en el suelo y los aplicados como fertilizante. La volatilización del amonio tiene cada día más importancia debido a:

- 1) el marcado incremento en las dosis aplicadas de nitrógeno en la fertilización;
- 2) el uso creciente de amonio anhidro; y
- 3) la preferencia de la urea como fuente de nitrógeno.

3.1.4. El nitrógeno en la planta

El nitrógeno es el elemento más crítico en el crecimiento de las plantas. Es constituyente de proteínas, clorofila, ácidos nucleicos y otras sustancias de las plantas. Un suministro adecuado de nitrógeno produce paredes celulares más delgadas, originando plantas más delicadas y suculentas, significando plantas mejor desarrolladas y más productivas. (7)

Una deficiencia de nitrógeno se traduce en una palidez gradual de las hojas maduras que llegan a tornarse amarillentas y se desprenden. La clorosis se extiende de las hojas maduras a las jóvenes, las que usualmente no muestran los síntomas característicos de deficiencia hasta que están muy avanzados en las partes viejas de la planta. Un síntoma típico de deficiencia de nitrógeno, es la producción de antocianinas en los tallos, nervaduras foliares y pecíolos, los cuales pueden volverse rojos o púrpuras. Las hojas jóvenes de plantas deficientes a veces son más erguidas y se extienden menos de lo normal, y la ramificación o ahijamiento se suprime debido al continuo letargo de yemas laterales. Las plantas responden de varias maneras a suministros altos o bajos de nitrógeno. La sobreabundancia de nitrógeno causa con frecuencia una gran proliferación de tallos y hojas, pero determinan una reducción de frutos en plantas de cultivo. Un suministro de nitrógeno ligeramente reducido (aunque no a una disminución crítica), con relación al suministro de potasio y fósforo, da generalmente una producción mucho mayor de semilla y fruto de los cultivos agrícolas. (2)

Este elemento, para ser absorbido por la mayoría de las plantas (excepto las leguminosas), debe estar en forma diferente que la del nitrógeno elemental. Las formas más comúnmente asimiladas por las plantas son los iones de nitrato (NO_3^-) y el amonio (NH_4^+), aunque la urea (NH_2CONH_2) puede ser también absorbida por las plantas. (24)

3.1.5. Las Leguminosas y los abonos verdes

Las leguminosas son utilizadas como abonos verdes debido al requerimiento no muy elevado de nitrógeno y porque son capaces de fijar el nitrógeno atmosférico. Cuando estas plantas se entierran como abonos verdes aportan nitrógeno al suelo. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que el contenido de materia orgánica y nitrógeno de las plantas varía con la edad; en general se ha evaluado que en las primeras fases de la etapa vegetativa, contiene un valor alto de nitrógeno en los tejidos y la mayor cantidad de nitrógeno total es acumulada al momento de la floración y este es el momento más oportuno para enterrar en el suelo. (22)

Hay que considerar que el momento de siembra del cultivo depende del momento de incorporar el abono verde. De manera general, deben dejarse transcurrir dos o tres semanas. La razón es que al ingresar al suelo grandes cantidades de materia orgánica, se presenta una corta deficiencia transitoria de nitrógeno, debido a la proliferación de bacterias que atacan los tejidos vegetales, las cuales utilizan el nitrógeno en su alimentación; además, durante los primeros días de descomposición, el agua de lluvia solubiliza algunos constituyentes de las hojas, los cuales parece que absorben oxígeno del suelo en una proporción tan alta que privan a las semillas de las plantas de la cantidad necesaria para su germinación. (22)

3.1.6. El frijol terciopelo (*Mucuna pruriens* L.)

La *Mucuna* (o frijol terciopelo) es una planta perteneciente a la familia Leguminosae cuyo nombre es *Mucuna pruriens* L. o *Stizolobium deeringianum* Bort. (20, 23)

Como muchas leguminosas, la mucuna es fuente abundante de materia seca; su producción de materia seca/hectárea durante su ciclo es de 3 a 8 ton, más que el rastrojo producido por el maíz. Los cambios en las propiedades químicas y físicas del suelo como efecto de la aplicación de mucuna, son:

- El efecto sobre la capacidad de intercambio catiónico, que es más importante cuando las arcillas son del tipo caolinita.
- Existe cierto riesgo de acidificación con el uso de mucuna, debido a la mineralización de grandes cantidades de nitrógeno orgánico. Si no es absorbido este nitrógeno por el cultivo, y si las

lluvias son abundantes, puede ser lixiviado (bajo formas de nitratos) junto con calcio y magnesio, lo que acidifica el suelo a lo largo de los años. (5)

Las tasa de descomposición de la mucuna, está directamente relacionada con el método de aplicación, la relación C:N, y la temperatura, la humedad, y acidez del suelo. (5)

Resulta difícil cuantificar el nitrógeno que se adiciona con el abono verde para el cultivo. Primero, la cantidad fijada simbióticamente es muy variable y depende de las condiciones de crecimiento de la leguminosa durante su ciclo. Es muy variable también la cantidad que será liberada por un cultivo de mucuna, y de este, cuánto será absorbido por el siguiente cultivo. La eficiencia del abono verde como fuente de nitrógeno depende de la sincronización entre mineralización del abono verde y el periodo de absorción máxima del cultivo. (5)

No existen datos precisos sobre la descomposición de la mucuna pero algunos agricultores, en busca de un mejor éxito, están usando abonos verdes con hortalizas. Si el abono verde intercalado con maíz de primera se entierra en agosto y se siembra frijoles u hortalizas en septiembre, pueden haber resultados positivos para el mes de noviembre o diciembre. (23)

3.1.7. Los isótopos del nitrógeno y su uso en la medición de la absorción del nitrógeno por la planta

Se conocen diversos isótopos radiactivos y estables del nitrógeno, con números de masa que fluctúan entre 12 y 17. El isótopo radiactivo de nitrógeno de período más largo es ^{13}N , con un período de semidesintegración muy corto de sólo 10.05 minutos. Esto limita considerablemente su aplicación a la investigación agrícola. (12, 16)

El nitrógeno tiene dos isótopos estables: ^{14}N y ^{15}N . La composición isotópica de ^{15}N en la atmósfera es aproximadamente 0.366 por ciento del nitrógeno total en la atmósfera, en tanto que la de ^{14}N es de alrededor de 99.634 por ciento; a éstos niveles se les conoce como la abundancia natural de ^{15}N y ^{14}N , respectivamente. La relación más o menos constante de $^{14}\text{N}:^{15}\text{N}$ en la atmósfera o en sustancias naturales permite que los materiales de nitrógeno artificialmente enriquecidos o empobrecidos en ^{15}N se utilicen como trazadores en muchos estudios. Debido a que el ^{15}N y el ^{14}N no son radiactivos, el uso de

relaciones $^{14}\text{N}:^{15}\text{N}$ en la investigación no entraña riesgos ni peligros para la salud, y su naturaleza estable permite realizar experimentos a largo plazo. (12)

La cantidad de ^{15}N contenida en una muestra con nitrógeno se expresa adecuadamente como por ciento de átomos en exceso de ^{15}N (por ciento ^{15}N a.e.) con respecto a la abundancia natural de 0.366 por ciento de ^{15}N atmosférico. En los estudios de trazadores isotópicos de nitrógeno, al sistema que se investiga se le suministran materiales con proporciones $^{15}\text{N}:^{14}\text{N}$ apreciablemente diferentes de la abundancia natural de ^{15}N . Así mismo, al tomar una muestra del sistema que se investiga es indispensable que la relación de isótopos de nitrógeno sea también marcadamente diferente a la abundancia natural de ^{15}N . En el caso de las plantas, por ejemplo, la absorción del fertilizante enriquecido con ^{15}N que se añade al suelo arrojará una relación $^{15}\text{N}:^{14}\text{N}$ superior al 0.3663 por ciento dentro de la planta. El aumento en la relación de $^{15}\text{N}:^{14}\text{N}$ en la planta con respecto a la de la abundancia natural es un reflejo del grado de absorción de fertilizante marcado con ^{15}N , mientras que la disminución del átomo por ciento en exceso ^{15}N del nitrógeno del fertilizante que contiene la planta es un indicio de la magnitud en que la planta absorbió el nitrógeno no marcado. Los isótopos del nitrógeno pueden utilizarse en la forma gaseosa de N_2 o como sustratos marcados en forma sólida o líquida. (12)

3.1.8. Determinación del nitrógeno total y ^{15}N en una muestra vegetal

La medición de la relación isotópica $^{15}\text{N}:^{14}\text{N}$ en material biológico se realiza mediante espectrometría de masas o de emisión. En ambos casos, para el análisis sólo puede usarse el nitrógeno gaseoso. En consecuencia, los compuestos de nitrógeno de una muestra tienen que convertirse en nitrógeno gaseoso de la misma manera en que se analiza el nitrógeno en un análisis de rutina. Para ello existen varios métodos, aquí se utilizó el método de Kjeldahl-oxidación Rittenberg para el análisis de nitrógeno total y el de espectrometría de emisión óptica para el análisis de ^{15}N . Información más detallada puede encontrarse en Faust et al (9), Jackson (11), IAEA (12 y 13).

3.1.9. El concepto del valor A

De acuerdo a la Internacional Atomic Energy Agency (13), se denomina Valor a la cantidad de nutrientes disponibles en el suelo o al suministro de nutrientes del suelo, medidos en unidades equivalentes del fertilizante estándar. Matemáticamente es expresado así:

Nutriente del fertilizante en la planta	=	Nutriente del suelo en la planta
-----		-----
Cantidad disponible de nutriente del fertilizante (B)		Cantidad disponible de nutriente del suelo (A)

En los experimentos biológicos en que una de las fuentes de fertilizantes a usar no puede ser marcado (fertilizantes tales como los productos naturales -roca fosfatada- y materiales orgánicos, por ejemplo). "el Valor A se define como la cantidad de nutrientes que una fuente de nutrientes dada suministra a la planta, medida en unidades equivalentes del fertilizante estándar". (13)

Matemáticamente se expresa así:

Nutriente del fertilizante marcado en la planta	=	(Nutriente del suelo + nutriente de la fuente no marcada) en la planta
-----		-----
Cantidad disponible de nutriente del fertilizante marcado (B)		Cantidad disponible de nutriente del suelo + cantidad disponible de nutriente de la fuente no marcada

Según la Internacional Atomic Energy Agency (13), para poder establecer el Valor A del suelo y de la fuente no marcada, se parte de los principios siguientes:

1. Los nutrientes de las fuentes de fertilizantes y el suelo, presentes en la planta, son las proporciones respectivas de nutrientes absorbidas de cada fuente.
2. La cantidad disponible de nutriente del fertilizante (B), es la tasa de la aplicación del nutriente como fertilizante estándar (marcado).
3. La cantidad disponible de nutrientes del suelo y de la fuente no marcada (Valor A del suelo y Valor A de la fuente no marcada), se expresan en unidades equivalentes del fertilizante estándar.

3.2. ANTECEDENTES DE INVESTIGACION

Los estudios de investigación son muy escasos en este campo.

Para el frijol terciopelo solamente se encontró reportado el estudio de Soto Estrada (19), quien a nivel de campo evaluó el efecto del frijol terciopelo como abono verde en el cultivo del maíz. En este estudio se utilizaron distintos niveles de frijol terciopelo y se realizó la siembra en dos fechas distintas luego de la incorporación: a los 7 y a los 30 días. Los resultados indicaron que las fechas de siembra usadas después de la incorporación no influyeron significativamente en la producción. De acuerdo a este estudio, el nivel óptimo de incorporación se da cuando se incorpora 50000 kilogramos de abono verde por hectárea (50 toneladas/hectárea).

Con respecto a evaluar fuentes nitrogenadas para fertilización utilizando la técnica del ^{15}N , se tiene el estudio realizado por Vásquez et al (25). En dicho estudio se evaluó el aporte de nitrógeno de distintas fuentes orgánicas: estiércoles de ganado vacuno, caprino, conejo y gallinaza, así como el abono verde *Azolla filiculoides* en niveles que proporcionaron una dosis de 200 ppm de nitrógeno aplicados al momento de la siembra. Como planta indicadora se utilizó pasto ballico (*Lolium multiflorum*). El aporte de nitrógeno de las fuentes orgánicas se evaluó midiendo la cantidad de nitrógeno, derivado de estas fuentes, presente en la planta y expresando los resultados equivalencias con respecto al fertilizante marcado utilizado, que fue el sulfato de amonio. El estudio concluyó que la gallinaza y *Azolla* fueron rápidamente mineralizados dado que a la primera fecha de corte de follaje (30 días) mostraron una equivalencia con el sulfato de amonio de 1.49 y 1.90, respectivamente. El estiércol de ganado vacuno mostró la mineralización más lenta, mientras que los estiércoles de caprino y de conejo se comportaron de manera intermedia. Esto estuvo en relación directa con el porcentaje de nitrógeno total, por ciento de materia orgánica y relación C:N de cada fuente. Para la *Azolla* estos valores fueron 0.18, 3.76 y 12.10, respectivamente.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1. CARACTERISTICAS DEL SITIO EXPERIMENTAL

El experimento se desarrolló en el invernadero de la Dirección General de Energía Nuclear (DGEN), del Ministerio de Energía y Minas, ubicado en la 24 calle 21-12, Zona 12, Ciudad de Guatemala.

Sus coordenadas son 14°35'11" Latitud Norte y 90°31'58" Longitud Oeste; su altitud es de 1,502.32 msnm. Las características climáticas de la región son las siguientes: precipitación anual de 1,246 mm. distribuidos en 110 días del año, temperatura media de 18.2 °C, y humedad relativa de 79 por ciento. (10)

Las condiciones de temperatura y humedad relativa que se mantuvieron en el invernadero durante la etapa de campo de la presente investigación, fueron medidas haciendo uso de un higrotermógrafo. De esta manera, durante el periodo de 120 días en que se usó el invernadero, se tuvo una temperatura mínima media de 14.5 °C y una temperatura máxima media de 44.5 °C. En cuanto a humedad relativa, la mínima media fue de 29.5 por ciento y la máxima media fue de 100 por ciento. (18)

4.2. CARACTERISTICAS GENERALES DEL SUELO

De acuerdo a Simmons et al (18), el suelo utilizado en este experimento pertenece a la serie Polochic.

Las principales características de esta serie son: suelos aluviales profundos, mal drenados, derivados mayormente de las áreas de caliza, pero la cuenca en que se localiza dicha serie incluye áreas de esquisto, esquisto arcilloso, serpentina y algunas pequeñas de ceniza volcánica. El suelo superficial a una profundidad cerca de 15 cm., es franco arcillo limoso, friable, de color gris cafésáceo. El contenido de materia orgánica es alrededor del 6 por ciento. la estructura es granular fina poco desarrollada. La reacción es de ligeramente ácida a neutra, pH alrededor de 6.5.

El área entera está sujeta a inundaciones periódicas y es necesario construir diques y drenajes artificiales para controlar la inundación antes de poder cultivarla. Si estuviera debidamente drenada y

protegida de las inundaciones, sería conveniente para la producción de cosechas que se adaptan al clima, particularmente bananos y arroz. (18)

4.3. CARACTERISTICAS DEL FRIJOL TERCIOPELO (*Mucuna pruriens* L.)

Según Standley y Steyermark (20), el frijol terciopelo es una especie vegetal perteneciente a la familia Leguminosae, del Género *Mucuna* o *Stizolobium*. La especie está clasificada como *Mucuna pruriens* L. o *Stizolobium deeringianum* Bort..

Esta planta, cuya forma originaria es una enredadera tardía de guías muy largas y vigorosas, según Burkart, citado por Soto Estrada (19), es originaria del Sudeste de Asia, de la cual se ha difundido en muchos países tropicales unas diez especies, entre silvestres y cultivadas, pero su introducción y adaptación a la agricultura moderna, como planta forrajera, de cubierta y abono verde, ha partido del Sureste de Estados Unidos. La especie más difundida es la *Stizolobium deeringianum* Bort. llamada "Florida velvet bean" en los Estados Unidos, en Argentina se le conoce con el nombre de "Poroto Aterciopelado de Florida" y en Guatemala con el nombre de "Frijol Terciopelo". La rapidez del desarrollo, la gran masa de forraje verde, la semilla de alto valor alimenticio que producen, así como su capacidad de enriquecer el suelo y ahogar las peores malezas hacen muy estimables a los diversos Porotos Aterciopelados para el agricultor de regiones cálidas húmedas.

De acuerdo a la misma cita de Soto Estrada (19), los *Stizolobium* se presentan bien para el cultivo mixto, con maíz, caña de azúcar y otras gramíneas robustas, lo que aumenta el rendimiento en forraje verde. El aprovechamiento se hace por el pastoreo, cuando están en flor, o más tarde, en otoño cuando se secan las hojas y hay muchas vainas maduras. También se cortan para forraje de vacas lecheras estabuladas y se prestan para ser empacadas.

En algunas regiones de México, Guatemala y Honduras, los agricultores cultivan el maíz en asocio con el frijol terciopelo el cual lo utilizan como abono verde así como para eliminar malezas (5, 23). En Guatemala, es en la zona del Polochic donde se ha usado mayormente el frijol terciopelo en asocio con el maíz y como abono verde aplicado como mulch. (23)

5. OBJETIVOS

1. Evaluar el efecto de niveles de abono verde frijol terciopelo (*Mucuna pruriens* L.) sobre el rendimiento de materia seca, porcentaje de nitrógeno total, porcentaje de nitrógeno derivado del fertilizante, porcentaje de nitrógeno derivado del suelo y porcentaje de nitrógeno derivado del abono verde en el sorgo (*Sorghum vulgare* L.), al ser incorporado en diferentes épocas antes de la siembra, en condiciones de invernadero.
2. Establecer la cantidad de unidades de nitrógeno aportados por el abono verde (*Mucuna pruriens* L.), el fertilizante y el suelo al contenido de nitrógeno total del sorgo (*Sorghum vulgare* L.), utilizando la técnica del ^{15}N .

6. HIPOTESIS

1. Existen diferencias en la materia seca, porcentaje de nitrógeno total, porcentaje de nitrógeno derivado del fertilizante, porcentaje de nitrógeno derivado del suelo y porcentaje de nitrógeno derivado del abono verde, por efecto de los diferentes niveles del frijol terciopelo (*Mucuna pruriens* L.) incorporados como abono verde en diferentes épocas antes de la siembra.
2. Existen diferencias en los porcentajes de nitrógeno derivados del fertilizante, suelo y abono verde, por efecto de los diferentes niveles y épocas de incorporación del abono verde antes de la siembra.

7. METODOLOGIA

7.1. Obtención del abono verde (*Mucuna pruriens* L.)

Dadas las características de la investigación, en cuanto a las épocas de incorporación del abono verde, fue necesario tener disponible materia verde de mucuna a cada 20 días, de la misma edad y etapa fenológica.

Para ello, en la zona del Polochic, se sembraron con mucuna 5 parcelas de 100 m² de extensión cada una. La siembra entre cada parcela se intercaló un lapso de 20 días. En cada parcela se hicieron dos limpiezas mecánicas de malezas previo a la cosecha que, para cada parcela, se realizó a los 70 días luego de la germinación. Al cosecharse, se trasladó al invernadero una cantidad para el tratamiento respectivo. Se obtuvo una muestra para los análisis químicos que adelante se detallan. Esto se hizo igual para el abono verde cosechado en cada parcela.

7.2. Obtención del suelo

Previo a la preparación de cada tratamiento, según la época de incorporación, se obtuvo el suelo necesario de la estación Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA) ubicada en la zona del Polochic. Para la obtención del suelo se tomaron alrededor de unas 20 muestras a una profundidad de 15 a 20 cm, con la cual se hizo una muestra compuesta de 20 kg. Posteriormente se secó al aire, homogenizó y tamizó a 2 mm previo a su análisis físico y químico y al estudio de invernadero. Todo el procedimiento citado se realizó para el suelo obtenido para cada uno de las épocas de incorporación.

7.3. Análisis físico y químico del material experimental

A continuación se presentan las características químicas del material orgánico y del suelo utilizados en la investigación:

7.3.1. Características del Abono verde

Cuadro 1. Composición química de la mucuna (*Mucuna pruriens* L.).

No.	Porcentaje de materia orgánica	Porcentaje						ppm				Relación C:N	Porcentaje de materia seca
		N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Cu	Mn	Zn		
1	57.48	2.9	0.17	1.84	3.21	0.32	0.01	251	24.5	50	30	11.50	20.9
2	56.14	3.0	0.19	1.43	4.54	0.35	0.03	310	30.5	50	30	10.85	19.1
3	58.16	3.0	0.17	1.75	4.05	0.31	0.01	286	32.0	35	28	11.24	19.2
4	56.95	3.1	0.21	1.77	3.95	0.31	0.01	271	28.5	31	35	10.66	19.0
5	57.36	2.9	0.20	1.68	3.68	0.30	0.02	292	28.0	40	32	11.47	20.0

FUENTE: Análisis químico realizados en los laboratorios de suelos del ICTA y DGEN.

En el cuadro 1 se observa que los valores de la relación C:N son menores que 20:1, lo cual indica que el abono verde aporta N suficiente para que se mineralice rápidamente por lo que los demás nutrientes pueden estar en poco tiempo disponibles en el suelo.

7.3.2. Características del suelo

Como se aprecia en el cuadro 2, la textura del suelo puede considerarse adecuada y corresponde a la clase textural franco limoso. Se caracteriza por tener buena filtración y drenaje. Se observa también que la CIC es adecuada aunque la saturación de bases se considera baja.

Cuadro 2. Características físico-químicas del suelo

No.	Porcentaje de TEXTURA			CLASE TEXTURAL	CIC	meq/100g de suelo					Porcentaje de Saturación de Bases	ppm			
	Arc	Limo	Arena			Ca	Mg	Na	K	H		Fe	Cu	Mn	Zn
1	24.44	52.50	23.06	F L	24.29	6.67	3.45	0.34	0.37	11.22	51.70	101.0	4.5	94.5	11.0
2	24.32	49.40	26.22	R I	23.86	6.24	3.87	0.37	0.20	13.18	44.76	102.0	4.8	104.5	10.0
3	24.59	50.20	25.21	A M	25.08	6.49	4.69	0.38	0.20	13.32	46.89	111.5	4.8	80.0	10.5
4	24.73	51.38	23.84	N O	25.08	6.99	4.90	0.39	0.22	13.03	48.05	112.5	4.9	85.0	10.5
5	22.36	55.90	21.74	C S O O	24.93	6.74	4.86	0.36	0.20	12.77	48.78	111.0	4.5	89.0	10.0

FUENTE: Análisis físicos y químicos efectuados en los laboratorios de suelos del ICTA.

Las características químicas del suelo (cuadro 3), especialmente en lo que se refiere a los contenidos de calcio y magnesio son inadecuados por presentar altos valores lo cual puede ser la causa que los contenidos de potasio y fósforo sean bajos, además se observa desbalance en las relaciones de Ca:Mg y (Ca + Mg):K El p^H es ligeramente ácido. En cuanto al nitrógeno del suelo, apenas se aproxima al contenido de nitrógeno total en los suelos que comprende entre 0.2 y 0.7 por ciento. (8)

Cuadro 3. Características químicas del suelo

No.	p ^H	microgramos/ml		mcg/100 ml suelo		Relaciones		Porcentaje		Relación C:N
		P	K	Ca	Mg	Ca:Mg	(Ca+Mg):K	M. O.	N	
1	5.6	4.4	56	4.93	3.41	1.44	43.89	3.60	0.17	12.28
2	5.4	4.0	53	5.05	3.21	1.57	45.89	3.76	0.19	11.48
3	5.3	4.8	62	6.18	4.54	1.36	51.05	3.56	0.17	12.14
4	5.4	4.8	59	5.61	4.26	1.32	49.35	3.43	0.15	13.26
5	5.3	4.6	47	4.49	3.09	1.45	47.37	3.56	0.17	12.14

M.O. significa materia orgánica.

FUENTE: Análisis químico efectuado en los laboratorios de suelos del ICTA y DGEN.

7.4. Metodología experimental

Se usó el diseño completamente al azar con un arreglo factorial 3 x 5 con 5 repeticiones más dos tratamientos de comparación a los que no se incorporó abono verde. Se tuvieron 17 tratamientos y 85 unidades experimentales.

7.5. Factores de evaluación

Los factores evaluados fueron: niveles del abono verde según contenido de nitrógeno total (factor A) y épocas de incorporación antes de la siembra, en días (factor B). Los cuales son los siguientes:

Factor A	Factor B
Niveles de abono verde según contenido de nitrógeno total	Épocas de incorporación antes de la siembra (en días)
a. 0 mg N/maceta (tratamiento de comparación)	a. 80 días
b. 130 mg N/maceta	b. 60 días
c. 260 mg N/maceta	c. 40 días
d. 390 mg N/maceta	d. 20 días
	e. 0 días (Al momento de la siembra)

7.6. Tratamientos evaluados

Con base en los objetivos del estudio, los factores de evaluación definidos, se establecieron los siguientes tratamientos:

Cuadro 4. Tratamientos, niveles de abono verde, nivel de fertilizante marcado y niveles de nitrógeno potencial en el abono verde.

Tratamientos	Epocas de incorporación previo a la siembra (en días)	Nivel de fertilizante marcado mg/maceta	Niveles de nitrógeno en el fertilizante marcado mg/maceta	Niveles del abono verde g/maceta	Nivel potencial de nitrógeno en el Abono Verde mg/maceta
1	0	0	0	0	0
2	0	612.92	130	0	0
3	0	612.92	130	22.41	130
4	0	612.92	130	44.82	260
5	0	612.92	130	67.23	390
6	20	612.92	130	22.07	130
7	20	612.92	130	44.14	260
8	20	612.92	130	66.21	390
9	40	612.92	130	22.57	130
10	40	612.92	130	45.14	260
11	40	612.92	130	67.71	390
12	60	612.92	130	22.68	130
13	60	612.92	130	45.36	260
14	60	612.92	130	68.04	390
15	80	612.92	130	21.45	130
16	80	612.92	130	42.90	260
17	80	612.92	130	64.35	390

7.7. Unidad experimental

Cada unidad experimental estuvo compuesta de 1 maceta de 1.5 lt de capacidad a la que se incorporó 1.3 kg de suelo con un número de 4 plantas. El número total de unidades experimentales fue de 85.

7.8. Planta indicadora

Para cuantificar el nitrógeno aportado por el abono verde se utilizó como planta indicadora el *Sorghum vulgare* L. que pertenece a la familia de las gramíneas. Esta decisión se tomó con base a lo postulado por Díaz y Hunter (6), quienes manifiestan que a nivel de invernadero han sido utilizados como indicadores plantas como sorgo, arroz, trigo y girasol, y que el sorgo es sensible a la mayoría de deficiencias, crece rápido, semillas pequeñas y se adapta en un amplio rango de condiciones climáticas.

7.9. Manejo del experimento

Preparación del sustrato: para cada tratamiento, la preparación consistió en incorporar la mucuna como abono verde al suelo para luego colocarlo en la maceta. Para su incorporación al suelo, el material verde se cortó en trozos de aproximadamente 5 cms. de largo.

Unidad Experimental: se utilizó una maceta de polyetileno por unidad experimental, sin drenaje; seguidamente se llenó con 1.3 kilogramos de suelo con el agregado del nivel de mucuna. Se utilizaron bolsas plásticas para evitar pérdidas de material isotópico, como de los nutrientes en general, por lavado o lixiviación. La humedad que tenía el sustrato en cada maceta hasta el momento de la siembra, fue la necesaria para mantenerla a capacidad de campo.

Fertilización: se hizo al momento de la siembra utilizando Sulfato de Amonio con un enriquecimiento de 3 por ciento de átomos en exceso de ^{15}N a una dosis de 130 mg de N/maceta. Esta dosis se aplicó disuelta en 200 mililitros de agua para lograr una distribución uniforme en el sustrato.

Siembra: para cada uno de los tratamientos, la siembra se realizó el mismo día considerando que la preparación del sustrato se hizo en función de las épocas de incorporación antes de la siembra. Se sembraron 10 semillas por maceta; a los 10 días de sembrado se realizó el entresaque dejando 4 plantas por maceta, uniformemente distribuidas, para tener un total de 4 plantas por unidad experimental.

Riego: a partir de la preparación de los sustratos para los diferentes tratamientos, el riego se efectuó diariamente para mantener la humedad del suelo a capacidad de campo. Se aplicó agua destilada con el fin de no alterar la relación de nutrientes en el sustrato. Realizada la siembra, se añadió al suelo una

solución nutritiva, a manera de incorporar los nutrientes que, de acuerdo a los análisis químicos y de fijación, eran necesarios. En el cuadro 5 se detallan las cantidades aplicadas.

Cuadro 5: Cantidad y fuentes de nutrientes aplicadas por litro de solución.

ELEMENTO	FUENTE mg/lt.	ELEMENTO NIVEL CRITICO	CANTIDAD DE LAS FUENTES APLICADAS (g)
P	H ₃ PO ₄	12 mg/lt.	4.47
K	KCl	0.2 centimol/10 ml	14.90
S	H ₂ SO ₄	12 mg/lt.	4.50
B	H ₃ BO ₃	0.2 mg/lt	1.15
Cu	CuCl ₂ ·H ₂ O	2 mg/lt	0.61
Mo	(NH ₄) ₆ (Mo ₇ O ₂₄ ·4H ₂ O)	2 mg/lt.	1.01

FUENTE: Elaboración propia en base a los datos de los análisis químico y de fijación realizados, y en base a lo que postula Díaz y Hunter. (6)

Cuidados fitosanitarios: el control de plagas y enfermedades se efectuó mediante el manejo adecuado del ensayo. Respecto al control de malezas, se efectuó manualmente.

Cosecha: la cosecha se efectuó después de 6 semanas de sembrado el cultivo. Se realizó el corte de las plántulas a 1 cm por encima de la superficie del suelo. Las raíces se extrajeron del suelo, se lavaron con agua destilada. Luego, la biomasa de la parte aérea y raíces, por separado, se pesó y posteriormente se trasladó a la fase de laboratorio.

7.10. Variables respuesta

De acuerdo a los objetivos planteados, las variables respuesta medidas son las siguientes:

1. Rendimiento de materia seca por unidad experimental, expresado en g/maceta.
2. Porcentaje de nitrógeno total en la planta
3. Porcentaje de nitrógeno derivado del fertilizante marcado
4. Porcentaje de nitrógeno derivado del suelo
5. Porcentaje de nitrógeno derivado del abono verde.

7.11. Determinación de la materia seca

De la cosecha, se tomó las partes aérea y de raíces de la planta y se secaron en horno de aire caliente durante 24 horas a una temperatura de 65 °C. Posteriormente se pesó la materia seca por unidad experimental, parte aérea y raíces por separado, utilizando la balanza analítica.

7.12. Cuantificación del nitrógeno en la planta

a. Cuantificación del nitrógeno total

Se efectuó por el método de combustión húmeda utilizando la técnica de semi-micro Kjeldahl.

b. Cuantificación del ^{15}N

Cada muestra proveniente del análisis Kjeldahl se sometió a un proceso de vaporización durante 10 minutos para su lectura en el espectrómetro de emisión óptica NOI-6e, donde se determinó su abundancia ^{15}N por medio de la reacción Rittemberg, que combina el nitrógeno con hipobromito de sodio, para liberarlo en forma gaseosa y ser así detectado por emisión óptica.

7.13. Análisis de datos

Con los resultados de materia seca, porcentaje de nitrógeno total y porcentaje de átomos en exceso de ^{15}N presentes en la muestra vegetal analizada, se procedió al cálculo de las variables respuesta: porcentaje de nitrógeno derivado del fertilizante (NDDF), porcentaje de nitrógeno derivado del suelo (NDDS) y porcentaje de nitrógeno derivado del abono verde (NDDAV), de acuerdo al apéndice 1. Así mismo, el porcentaje de nitrógeno total fue transformado de acuerdo a la ecuación $Y'' = Y$, en virtud de que los datos se encontraban en el rango de 0 a 20 por ciento y de acuerdo a lo establecido en el Boletín Biométrico. (3)

El modelo lineal estadístico utilizado en el análisis de todos los tratamientos para la materia seca y porcentaje de nitrógeno total, es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \varepsilon_{ij} \quad \text{En donde,}$$

Y_{ij} = variable respuesta en la ij -ésima unidad experimental

μ = efecto de la media general

T_i = efecto del i -ésimo tratamiento

ε_{ij} = efecto del error experimental asociado a la ij -ésima unidad experimental

Para el análisis del efecto de los factores en la materia seca en porcentaje de nitrógeno total, porcentaje de nitrógeno derivado del abono verde, porcentaje de nitrógeno derivado del fertilizante marcado y porcentaje de nitrógeno derivado del suelo, se utilizó el modelo lineal siguiente:

$$Y_{klm} = \mu + A_l + B_m + AB_{lm} + \varepsilon_{klm}$$

Y_{klm} = variable respuesta en la klm -ésima unidad experimental

μ = efecto de la media general

A_l = efecto del l -ésimo nivel del factor A

B_m = efecto del m -ésimo nivel del factor B

AB_{lm} = interacción del l -ésimo nivel del factor A con el m -ésimo nivel del factor B

ε_{klm} = error experimental en la klm -ésima unidad experimental

Se realizaron los análisis de varianza respectivos y por las diferencias significativas existentes, se determinaron los mejores tratamientos por medio de pruebas comparativas de TUKEY.

Para establecer la relación de cada tratamiento con interacción con los tratamientos a los que no se aplicó abono verde, se utilizó la prueba de DUNNET. (21)

8. RESULTADOS Y DISCUSION

A continuación se presentan las comparaciones de medias de los tratamientos y de la interacción. Resumen de los análisis de varianza respectivos pueden encontrarse en el apéndice 2 (Cuadros 11A y 12A).

8.1. ANÁLISIS DE LOS TRATAMIENTOS

El cuadro 6 muestra la comparación de medias de los tratamientos. Se observa que para el rendimiento de **materia seca**, los tratamientos que tuvieron aplicación de fuentes nitrogenadas mostraron diferencias significativas con relación al tratamiento que no tuvo aplicación de ninguna fuente nitrogenada. El menor rendimiento de materia seca, en los tratamientos a los que aplicó fuentes nitrogenadas, se obtuvo con la época de incorporación 80 días antes de la siembra y 260 mg de N/maceta del abono verde, superando al tratamiento sin fertilizante y sin abono verde en prácticamente un 50 por ciento en el rendimiento de materia seca/maceta.

CUADRO 6. Comparación de medias en los tratamientos para la materia seca, porcentaje de nitrógeno total, porcentaje de nitrógeno derivado del fertilizante, porcentaje de nitrógeno derivado del suelo y porcentaje de nitrógeno derivado del abono verde, en el *Sorghum vulgare* L.

Días de incorporación antes de la siembra.	mg de nitrógeno		gramos de materia seca	Porcentaje de nitrógeno			
	En el fertilizante	En el abono verde		Total	Derivado del fertilizante	Derivado del suelo	Derivado del abono verde
0	0	0	8.14 B	1.45 G		100	
0	130	0	16.02 A	1.38 G	37.60 A	62.40	
0	130	130	15.64 A	1.53 FG	32.94 BC	54.68 BC	12.38 EF
0	130	260	15.24 A	1.74 DEF	29.65 DEF	49.21 DE	21.14 BCD
0	130	390	15.88 A	1.78 CDE	28.45 EF	47.23 E	24.32 BC
20	130	130	16.10 A	1.68 EF	33.26 B	55.21 A	11.52 F
20	130	260	17.04 A	1.77 CDE	31.34 CD	52.02 CD	16.64 DE
20	130	390	19.02 A	1.77 CDE	28.78 F	46.94 E	24.79 B
40	130	130	17.04 A	2.03 AB	30.23 DE	50.18 D	19.59 CD
40	130	260	16.32 A	2.00 ABC	28.11 F	46.65 F	25.24 B
40	130	390	16.28 A	2.20 A	27.99 F	43.14 B	30.87 A
60	130	130	16.82 A	2.01 ABC	30.42 D	50.50 E	19.07 D
60	130	260	16.60 A	1.95 ABCD	27.95 F	46.39 E	25.66 B
60	130	390	15.30 A	1.94 BCD	25.73 F	42.71 F	31.56 A
80	130	130	16.84 A	1.77 CDE	33.44 B	55.50 B	11.07 F
80	130	260	15.18 A	1.74 DEF	32.50 BC	53.94 BC	13.56 EF
80	130	390	15.34 A	1.68 EF	30.42 D	50.48 D	19.10 D

Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticamente significativas.

Esto indica que la incorporación de fertilizante nitrogenado al suelo, incrementa la materia seca producida por las plantas.

El contenido de **nitrógeno total** varió de 1.38 a 2.20. La mejor respuesta se obtuvo con la época de incorporación 40 días antes de la siembra y 360 mg de N/maceta del abono verde. Se observa que la incorporación de abono verde tuvo efecto significativo con relación a los tratamientos sin abono verde con y sin fertilizante, que obtuvieron valores de 1.28 y 1.45, respectivamente.

La figura 1 muestra el fraccionamiento del nitrógeno total en el sorgo según la fuente, es decir, se separa el **nitrógeno derivado del suelo (NDDS)**, el **nitrógeno derivado del fertilizante(NDDF)** y el **nitrógeno derivado del abono verde (NDDAV)**, expresados como porcentaje. Se observan diferencias significativas entre los tratamientos, y que el porcentaje nitrógeno derivado del suelo y el porcentaje nitrógeno derivado del fertilizante varió en función de la época y del nivel de incorporación del abono verde.

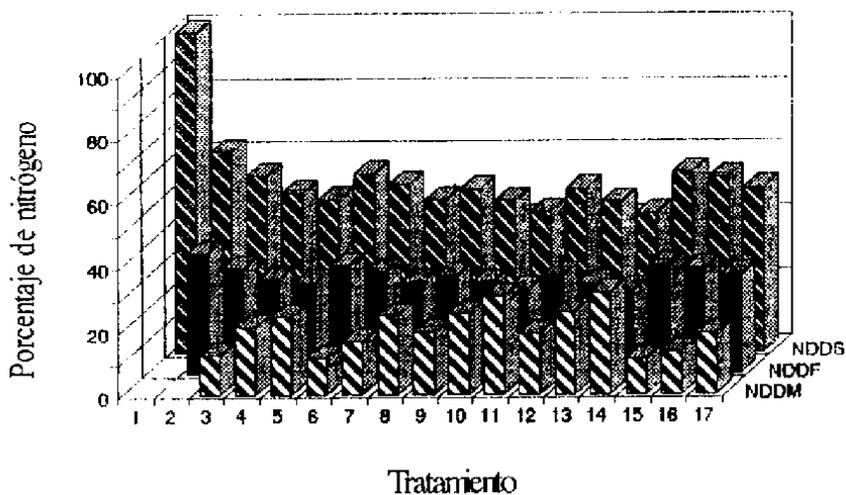


Figura 1: Fraccionamiento del nitrógeno total en el sorgo de acuerdo a las fuentes, en los diferentes tratamientos.

Para el análisis del porcentaje **de nitrógeno derivado del fertilizante**, se tomaron en cuenta los tratamientos donde se aplicó fertilizante, debido a que el tratamiento sin fertilizante y sin abono verde se utilizó únicamente como referencia para cuantificar el efecto de la adición de nitrógeno del fertilizante y del abono verde.

Se observa que el tratamiento 2, con fertilizante y sin abono verde, absorbió más nitrógeno del fertilizante (37.60 %). Los tratamientos con menor nivel de abono verde mostraron también altos valores de nitrógeno derivado del fertilizante, comparados a los restantes tratamientos.

En el cuadro 6 se observa que el tratamiento con fertilizante y sin abono verde derivó más nitrógeno del fertilizante. Esto sucedió porque dicho tratamiento contaba únicamente con dos fuentes de nitrógeno: el suelo y el fertilizante. Mientras que los tratamientos que menos nitrógeno obtuvieron del fertilizante son los que tuvieron incorporación de abono verde, particularmente con las épocas de incorporación 60 y 40 días antes de la siembra y el nivel 390 mg de N/maceta del abono verde.

Para el porcentaje de **nitrógeno derivado del suelo**, se observa que en el tratamiento sin fertilizante y sin abono verde, todo el nitrógeno derivó del suelo, sin embargo, en el resto de tratamientos, el nitrógeno que derivó del suelo se encuentra entre un rango que va del 62.4 % para el tratamiento con fertilizante y sin abono verde y 42.7 % para la época de incorporación 60 días antes de la siembra y nivel 390 mg N/maceta del abono verde.

La comparación de medias, indica que el tratamiento con fertilizante y sin abono verde fue en el cual el sorgo absorbió más nitrógeno del suelo, y que las épocas de incorporación 40 y 60 días antes de la siembra, y el nivel 390 de N/maceta del abono verde, son con los que menos nitrógeno se derivó del suelo.

El porcentaje de **nitrógeno derivado del abono verde** varió en un rango que va de 11.07 al 31.56% para las épocas 80 días nivel 130 mg de N/maceta del abono verde incorporado antes de la siembra y 60 días nivel 390 mg de N/maceta del abono verde incorporado antes de la siembra, respectivamente. Se observa que a mayor nivel de abono verde, mayor fue el porcentaje de nitrógeno derivado de esta fuente y menor el derivado del suelo y del fertilizante. Se observa también que los tratamientos con mayor nivel de abono verde en los tiempos 40 y 60 días fueron los que derivaron más nitrógeno de esta fuente. En las épocas 40 y 60 días y nivel 390 mg N/maceta en el abono verde incorporado ante. de la siembra, el sorgo absorbió más nitrógeno del abono verde, lo contrario ocurrió en las épocas 20 y 80 días con un nivel de 130 mg de N/maceta en el abono verde incorporado antes de la siembra.

En el cuadro 7, se comparan los rendimientos de materia seca y porcentaje de nitrógeno total entre los tratamientos con fertilizante y sin abono verde y de los tratamientos con fertilizante y con abono verde, respecto al tratamiento sin fertilizante y sin abono verde.

Para el rendimiento de **materia seca**, se observan diferencias significativas en todas las comparaciones, y que el tratamiento sin fertilizante y sin abono verde obtuvo el rendimiento inferior. La mayor diferencia se obtuvo al comparar el tratamiento sin fertilizante y sin abono verde con el tratamiento con época de 20 días y 390 mg N/maceta del abono verde incorporado antes de la siembra.

La comparación del rendimiento en el porcentaje de **nitrógeno total**, mostró que los tratamientos con fertilizante y sin abono verde y con fertilizante y época 0 días nivel 130 mg N/maceta del abono verde incorporado antes de la siembra, no mostraron diferencias significativas. Lo contrario ocurrió en el resto de tratamientos.

Cuadro 7. Comparación de medias Dunnett, en los tratamientos para la materia seca y porcentaje de nitrógeno total.

TRATAMIENTOS EN COMPARACION			TRATAMIENTO COMPARADOR			VARIABLES COMPARADAS	
Días de incorporación antes de la siembra	mg de nitrógeno en el fertilizante marcado	mg de nitrógeno en el abono verde	Días de aplicación antes de la siembra	mg de nitrógeno en el Fertilizante marcado	mg de nitrógeno en el abono verde	gramos de materia seca	porcentaje de nitrógeno total
0	130	0	0	0	0	7.88 *	0.069 ns
0	130	130	0	0	0	7.50 *	0.079 ns
0	130	260	0	0	0	7.10 *	0.286 *
0	130	390	0	0	0	7.74 *	0.323 *
20	130	130	0	0	0	7.96 *	0.225 *
20	130	260	0	0	0	8.90 *	0.319 *
20	130	390	0	0	0	10.88 *	0.317 *
40	130	130	0	0	0	8.90 *	0.573 *
40	130	260	0	0	0	8.18 *	0.544 *
40	130	390	0	0	0	8.14 *	0.748 *
60	130	130	0	0	0	8.68 *	0.558 *
60	130	260	0	0	0	8.46 *	0.500 *
60	130	390	0	0	0	7.16 *	0.491 *
80	130	130	0	0	0	8.70 *	0.322 *
80	130	260	0	0	0	7.04 *	0.288 *
80	130	390	0	0	0	7.20 *	0.226 *

ns Indica que no hay diferencias significativas

* Indica que hay diferencias significativas

En el cuadro 8 se hace la comparación de medias de los tratamientos con fertilizante y con abono verde respecto al tratamiento con fertilizante y sin abono verde con relación al porcentaje de nitrógeno total, porcentaje de nitrógeno derivado del fertilizante y porcentaje de nitrógeno derivado del suelo.

Cuadro 8. Comparación de medias Dunnett, en los tratamientos que utilizaron fertilizante marcado, para el porcentaje de nitrógeno total, porcentaje de nitrógeno derivado del fertilizante y porcentaje de nitrógeno derivado del suelo.

TRATAMIENTOS EN COMPARACION			TRATAMIENTO COMPARADOR			VARIABLES COMPARADAS		
Días de incorporación antes de la siembra	mg de nitrógeno en el Fertilizante marcado	Nivel de nitrógeno en el abono verde	Días de Aplicación antes de la siembra	mg de nitrógeno en el Fertilizante marcado	mg de nitrógeno en el abono verde	Porcentaje de nitrógeno total	Porcentaje de nitrógeno derivado del fertilizante	Porcentaje de nitrógeno derivado del suelo
0	130	130	0	130	0	0.148 ns	- 4.659 *	- 7.717 *
0	130	260	0	130	0	0.355 *	- 7.952 *	- 13.184 *
0	130	390	0	130	0	0.392 *	- 9.149 *	- 15.170 *
20	130	130	0	130	0	0.294 *	- 4.338 *	- 7.185 *
20	130	260	0	130	0	0.389 *	- 6.261 *	- 10.378 *
20	130	390	0	130	0	0.386 *	- 9.325 *	- 15.463 *
40	130	130	0	130	0	0.643 *	- 7.372 *	- 12.220 *
40	130	260	0	130	0	0.613 *	- 9.496 *	- 15.746 *
40	130	390	0	130	0	0.817 *	- 11.612 *	- 19.258 *
60	130	130	0	130	0	0.627 *	- 7.177 *	- 11.897 *
60	130	260	0	130	0	0.569 *	- 9.654 *	- 16.008 *
60	130	390	0	130	0	0.560 *	- 11.871 *	- 19.689 *
80	130	130	0	130	0	0.391 *	- 4.166 *	- 6.900 *
80	130	260	0	130	0	0.358 *	- 5.120 *	- 8.453 *
80	130	390	0	130	0	0.295 *	- 7.188 *	- 11.915 *

ns Indica que no hay diferencias significativas

* Indica que hay diferencias significativas

En el porcentaje de nitrógeno total, la comparación con el tratamiento época 0 días nivel 130 mg de N/maceta del abono verde incorporado antes de la siembra, no mostró diferencias significativas. Los demás tratamientos mostraron diferencias significativa. La mayor diferencia se encontró con la época 40 días y 390 mg N/maceta del abono verde incorporado antes de la siembra.

Con relación a los porcentajes de nitrógeno derivados del fertilizante y del suelo, se observan diferencias significativas. Dichas diferencias revelan que los rendimientos obtenidos por el tratamiento con fertilizante y sin abono verde fue mayor al resto de los tratamientos. Esto se debe a que en el tratamiento con fertilizante y sin abono verde, el sorgo derivó más nitrógeno del fertilizante y del suelo.

8.2. EFECTO DEL NIVEL Y DE LA EPOCA DE INCORPORACION DEL ABONO VERDE

El Cuadro 9, muestra los resultados y la comparación de medias para las variables sometidas a evaluación de factores.

Cuadro 9. Comparación de medias por efecto de los factores época de incorporación antes de la siembra y niveles de nitrógeno del abono verde para la materia seca, porcentaje de nitrógeno total, porcentaje de nitrógeno derivado del fertilizante, porcentaje de nitrógeno derivado del suelo y porcentaje de nitrógeno derivado del abono verde.

Días de incorporación antes de la siembra		gramos de materia seca	Porcentaje de nitrógeno total	Porcentaje de nitrógeno derivado del fertilizante	Porcentaje de nitrógeno derivado del suelo	Porcentaje de nitrógeno derivado del abono verde
00		15.587 B	1.682 B	30.349 B	50.374 B	19.277 B
20		17.387 A	1.739 B	30.961 B	51.389 B	17.650 B
40		16.547 AB	2.074 A	28.109 C	46.656 C	25.234 A
60		16.240 AB	1.969 A	20.035 C	46.533 C	25.432 A
80		15.787 AB	1.731 B	32.117 A	53.308 A	14.575 C
Nivel de nitrógeno del abono verde (mg/maceta)						
130		16.488	1.804 B	32.060 A	53.214 A	14.726 C
260		16.076	1.840 AB	29.909 B	49.664 B	20.447 B
390		16.364	1.874 A	27.773 C	46.099 C	26.128 A
Interacción de Factores						
Días de incorporación	mg de nitrógeno del abono verde					
00	130	15.64 A	1.53 F	32.94 AB	54.68 AB	12.38 EF
00	260	15.24 A	1.74 DEF	29.65 CDE	49.21 CDE	21.14 BCD
00	390	15.88 A	1.78 CDE	28.45 DE	47.23 DE	24.32 BC
20	130	16.10 A	1.68 EF	33.26 A	55.21 A	11.52 F
20	260	17.04 A	1.77 CDE	31.34 BC	52.02 BC	16.64 DE
20	390	19.02 A	1.77 CDE	28.78 E	46.94 E	24.79 B
40	130	17.04 A	2.03 AB	30.23 CD	50.18 CD	19.59 CD
40	260	16.32 A	2.00 ABC	28.11 E	46.65 E	25.24 B
40	390	16.28 A	2.20 A	25.99 F	43.14 F	30.87 A
60	130	16.82 A	2.01 ABC	30.42 C	50.50 C	19.07 D
60	260	16.60 A	1.95 ABCD	27.95 E	46.39 E	25.66 B
60	390	15.30 A	1.94 BDC	25.73 F	42.71 F	31.56 A
80	130	16.84 A	1.77 CDE	33.44 A	55.50 A	11.07 F
80	260	15.18 A	1.74 DEF	32.50 AB	53.94 AB	13.56 EF
80	390	15.34 A	1.68 EF	30.42 C	50.48 C	19.10 D

Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticamente significativas.

Para la **materia seca** se observa que la época de incorporación 20 días propició un mayor rendimiento. Este resultado fue significativo con relación al rendimiento propiciado por la época de aplicación 0 días (momento de siembra).

Se observa que existió un efecto positivo al aplicar el abono verde 20 días antes de la siembra ya que se incrementó el rendimiento de materia seca. Se observa también la tendencia a disminuir el rendimiento de materia seca en la medida en que la época de incorporación antes de la siembra se hace más prolongada. También se observa que, con excepción de las épocas 80 y 0 días de incorporación antes de la siembra, todos los tratamientos con abono verde presentaron mayor rendimiento en materia seca. La explicación de este comportamiento se debe al efecto benéfico de la adición de materia orgánica sobre las propiedades químicas y físicas del suelo lo cual favorece el suministro de nutrientes y agua del suelo. Esto se traduce en una mejor nutrición para la planta y, como consecuencia de ello, un mejor rendimiento. (7, 8, 15, 17)

Para el porcentaje de **nitrógeno total en la planta**, la interacción que propició mayor acumulación es la época de incorporación 40 días con el nivel 390 mg de N/maceta del abono verde. El menor valor se obtuvo con la época de incorporación 0 días antes de la siembra con el nivel 130 mg de N/maceta del abono verde, tal como se representa en la figura 2.

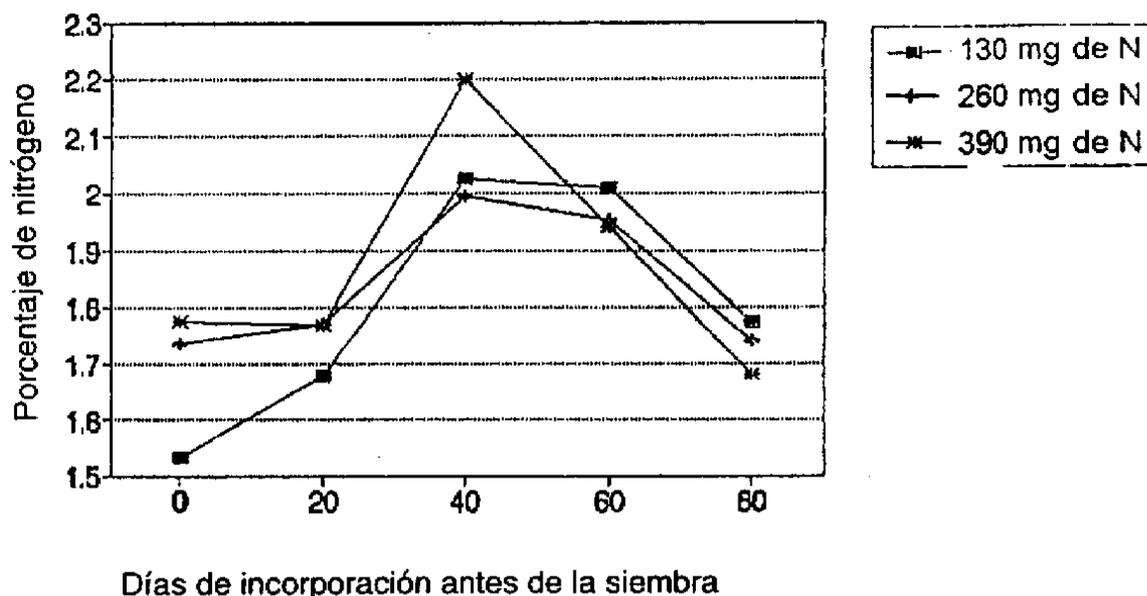


Figura 2. Porcentaje de nitrógeno total en el sorgo, según nivel y época de incorporación del abono verde antes de la siembra.

En general, se observa que la época de incorporación 40 días propició mayor acumulación de nitrógeno en la planta y que hay un período en el que se aplica abono verde y el efecto parece ser mínimo, lo cual es comprensible por la dinámica del proceso de descomposición de la materia orgánica verde, que en determinado momento dificulta la asimilación de nitrógeno por la planta. Luego de este período, que es de 20 días, existe otro en el que aumenta el contenido de nitrógeno en la planta, para luego descender.

Una explicación hipotética, es que en el período de 0 a 20 días, el nitrógeno del abono verde permanece en forma orgánica y recién se inicia el proceso de descomposición por lo que no hay suficiente nitrógeno en el medio que esté disponible a las plantas, en tanto que en el período de 60 a 80 días el nitrógeno se ha involucrado a otros procesos como los que realizan las bacterias o, en todo caso, a la planta le es mucho más fácil absorber el nitrógeno que se va liberando lentamente que el que ya está en el suelo.

Para el porcentaje de **nitrógeno derivado del fertilizante**, en la figura 3 se observa que la interacción que favoreció la absorción de nitrógeno del fertilizante por la planta fue la época de incorporación de 80 días antes de la siembra con 130 mg de N/maceta del abono verde. Las menos favorables fueron las épocas de incorporación 60 y 40 días con nivel 390 mg de N/maceta.

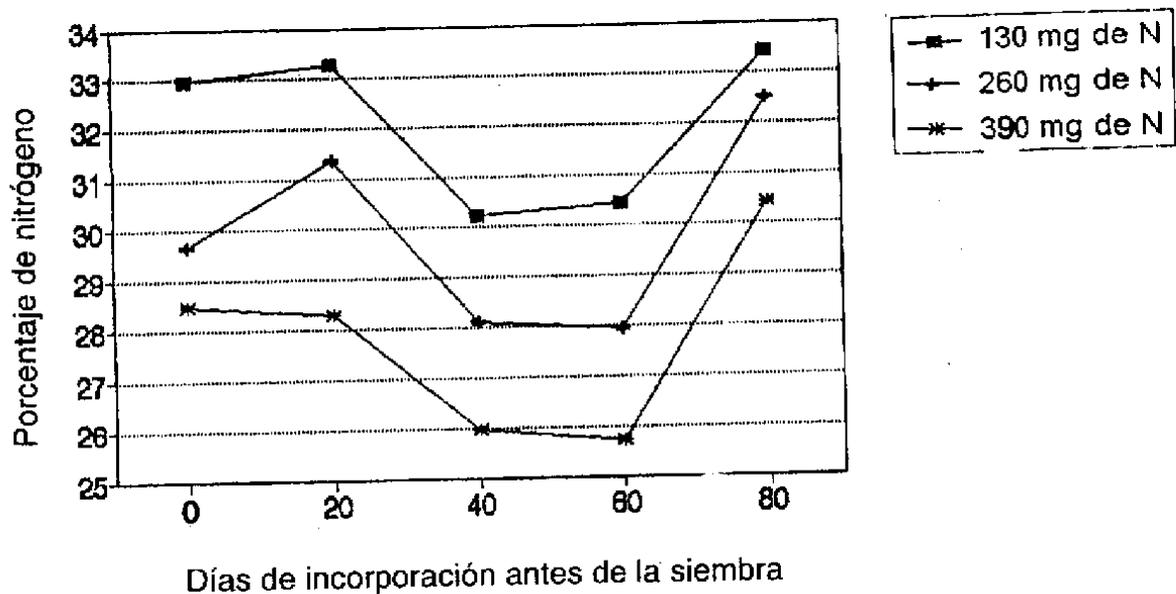


Figura 3. Porcentaje de nitrógeno derivado del fertilizante en el sorgo, según el nivel y la época de incorporación del abono verde.

En la figura 3, se observa también que a menor nivel de abono verde incorporado, más nitrógeno fue derivado del fertilizante. Con respecto a las épocas de incorporación antes de la siembra, hubo un período (40 y 60 días) en el cual se redujo el nitrógeno derivado del fertilizante en la planta; antes y después de este período se observa mayor absorción.

Respecto al porcentaje de **nitrógeno derivado del suelo**, se observan resultados similares al porcentaje de nitrógeno derivado del fertilizante, es decir que a mayor nivel de abono verde menor fue el nitrógeno derivado del suelo y viceversa.

Con la interacción época de incorporación antes de la siembra de 80 días y un nivel 130 mg de N/maceta del abono verde, la planta derivó mayor porcentaje de nitrógeno del suelo. Con las interacciones épocas de incorporación 40 y 60 días con un nivel de 390 mg de N/maceta del abono verde, la planta derivó menor porcentaje de nitrógeno del suelo. Esto puede observarse mejor en la figura 4.

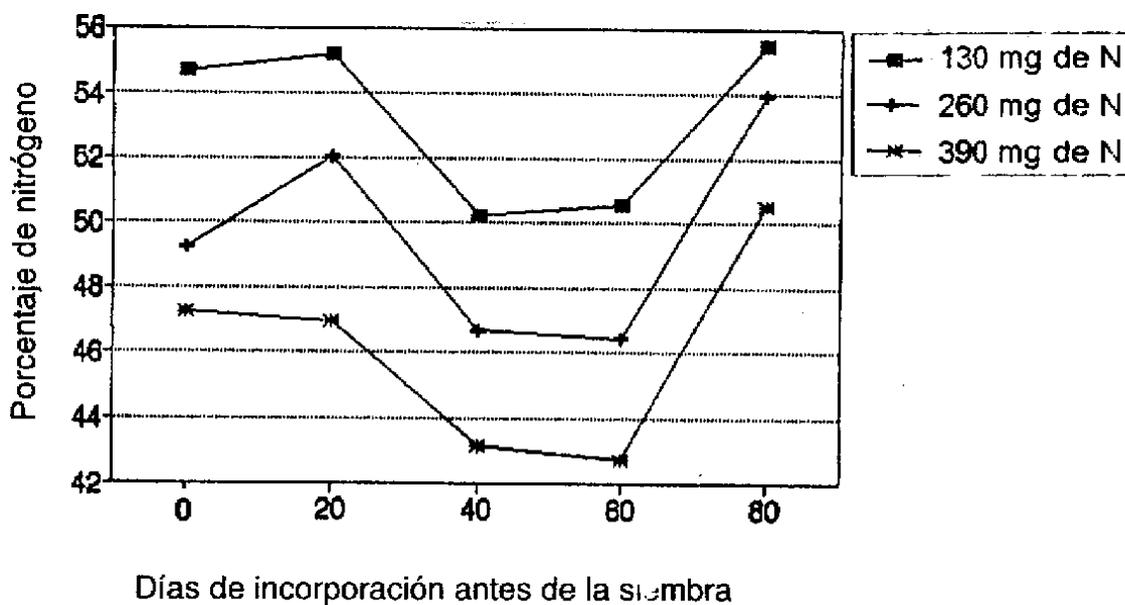


Figura 4. Porcentaje de nitrógeno derivado del Suelo en el sorgo, según el nivel y la época de incorporación del abono verde.

Los mayores porcentajes de **nitrógeno derivado del abono verde**, se obtuvieron con las épocas de incorporación 60 y 40 días, con un nivel de 390 mg de N/maceta del abono verde. Con las épocas de incorporación 80 y 0 días antes de la siembra y nivel 130 mg de N/maceta, el sorgo absorbió los menores porcentaje de nitrógeno del abono verde.

En lo que se refiere al efecto de las épocas de incorporación, con 40 y 60 días antes de la siembra se derivó más nitrógeno del abono verde, comportamiento que fue significativamente mayor a la obtenida con las épocas 80, 20 y 0. Este efecto en las épocas de incorporación 20 y 0 días antes de la siembra, se explica por la poca descomposición de la materia orgánica, en tanto que en la época de incorporación 80 días antes de la siembra se debe a la utilización del nitrógeno por las poblaciones microbianas, aunque esto no fue corroborado.

De los resultados que se observan en la figura 5, se concluye que la incorporación del abono verde tiene efecto con relación a la cantidad de nitrógeno que la planta derivará de cada fuente, el abono verde tiene un período de descomposición mínimo de 20 días, el aprovechamiento adecuado de la mineralización del nitrógeno está entre los 40 y 60 días y a mayor nivel de abono verde incorporado al suelo mayor es la cantidad de nitrógeno que aportará a la planta.

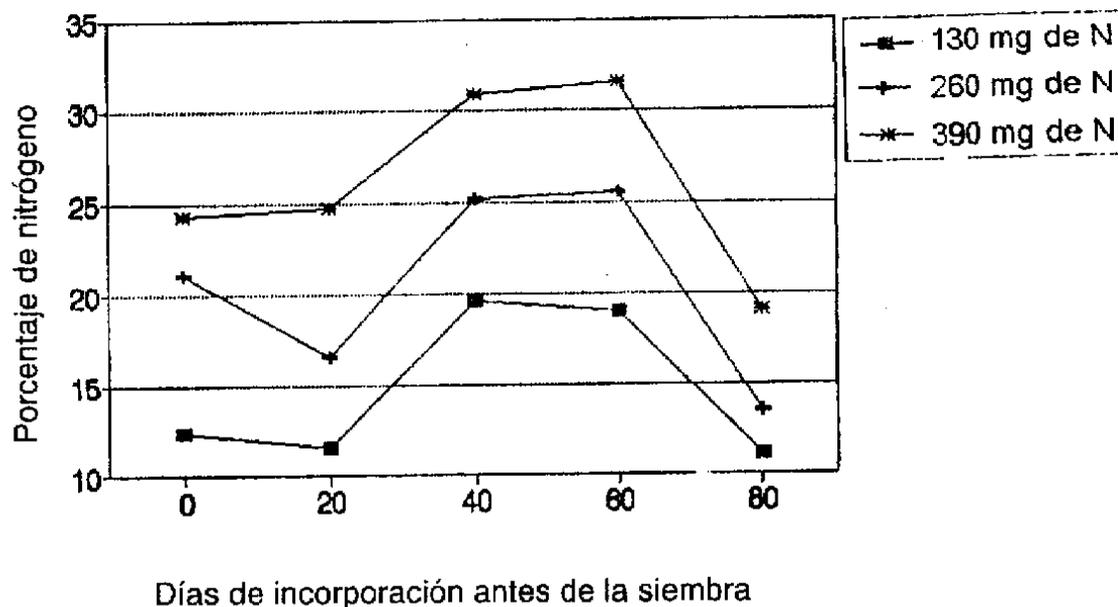


Figura 5. Porcentaje de nitrógeno derivado del abono verde, según el nivel y la época de incorporación del abono verde.

8.3. PORCENTAJE DE UTILIZACION DEL NITROGENO DEL FERTILIZANTE Y DEL ABONO VERDE

La técnica isotópica permite establecer los porcentajes de utilización del nitrógeno del fertilizante y del abono verde empleados en la investigación, así como la equivalencia del nitrógeno de la mucuna respecto al nitrógeno del fertilizante.

Debe tenerse presente que éstas variables se desprenden de las analizadas con anterioridad, y que los porcentajes de utilización del nitrógeno se desprenden de los porcentajes de nitrógeno derivado de las fuentes respecto al nitrógeno total en la planta y al nitrógeno incorporado al suelo, tanto en el fertilizante (130 mg de N/maceta) como en el que contenían los distintos niveles del abono verde (130, 260 y 390 mg de N/maceta, respectivamente).

De acuerdo al cuadro 10, solo existen diferencias significativas en la eficiencia de uso del fertilizante, entre la interacción 40 días 130 mg N/maceta en el abono verde incorporado antes de la siembra y la interacción 60 días 390 mg N/maceta en el abono verde incorporado antes de la siembra.

Cuadro 10. Comparación de medias del porcentaje de eficiencia de uso del fertilizante y del porcentaje de eficiencia de uso del abono verde, y valores de la relación de equivalencia del abono verde con el fertilizante.

Características de los tratamientos			Porcentaje de eficiencia de uso		Relación por Unidad		
Días de incorporación antes de la siembra	mg de nitrógeno en el fertilizante mg/maceta	mg de nitrógeno en el abono verde incorporado mg/maceta	Del fertilizante	Del abono verde	nitrógeno derivado del abono verde por unidad de nitrógeno del fertilizante	materia seca del abono verde por unidad de fertilizante.	materia verde del abono verde por unidad de fertilizante.
0	130	130	60.75 AB	22.76 BCDE	2.66	19.42	92.92
0	130	260	60.17 AB	21.54 BCDE	2.81	20.47	97.94
0	130	390	61.70 AB	17.53 CDE	3.51	25.52	122.10
20	130	130	69.22 AB	24.02 BCDE	2.89	20.25	106.02
20	130	260	72.79 AB	19.36 CDE	3.80	26.53	138.90
20	130	390	73.33 AB	21.41 BCDE	3.42	24.07	126.02
40	130	130	80.02 A	52.30 A	1.54	10.99	57.24
40	130	260	70.37 AB	31.64 B	2.23	15.75	82.03
40	130	390	71.53 AB	28.37 BC	2.52	17.71	92.24
60	130	130	78.97 AB	49.54 A	1.59	11.02	58.00
60	130	260	69.52 AB	31.87 B	2.18	14.93	78.58
60	130	390	59.05 B	24.22 BCDE	2.45	16.62	87.47
80	130	130	76.83 AB	25.37 BCD	3.03	22.28	111.40
80	130	260	66.13 AB	13.69 DE	4.79	34.98	174.90
80	130	390	60.10 AB	12.64 E	4.77	35.22	176.10

Letras iguales indican que no hay diferencias significativas.

La eficiencia de uso del fertilizante, para cualquier nivel de nitrógeno por maceta en el abono verde incorporado en las épocas 0 a 20 días antes de la siembra, se incrementa de 62 hasta 73 %. En tanto que para estas mismas épocas de incorporación, la eficiencia de uso del abono verde se mantuvo constante sin llegar al 25 % de eficiencia.

Estadísticamente, los porcentajes de eficiencia de uso del nitrógeno del fertilizante y del nitrógeno del abono verde más recomendables, se obtienen con la época de incorporación 40 días antes de la siembra y 130 mg de N/maceta del abono verde. Los valores menores de porcentaje de eficiencia de uso, para ambas fuentes, se obtuvo con el nivel de incorporación 390 mg de N/maceta del abono verde.

De acuerdo a la figura 6, para aumentar la eficiencia de uso del nitrógeno del fertilizante, debe aplicarse un nivel de 130 mg de N/maceta del abono verde 20 a 80 días antes de la siembra. Con la incorporación de abono verde 0 días antes de la siembra se obtiene la menor eficiencia de uso del fertilizante por lo que no se recomienda. Esto es porque la descomposición de la materia orgánica es un proceso que requiere energía y crecimiento bacteriano, por lo que el nitrógeno del fertilizante pudo haberse utilizado en dicho proceso, disminuyendo así la disponibilidad para la planta.

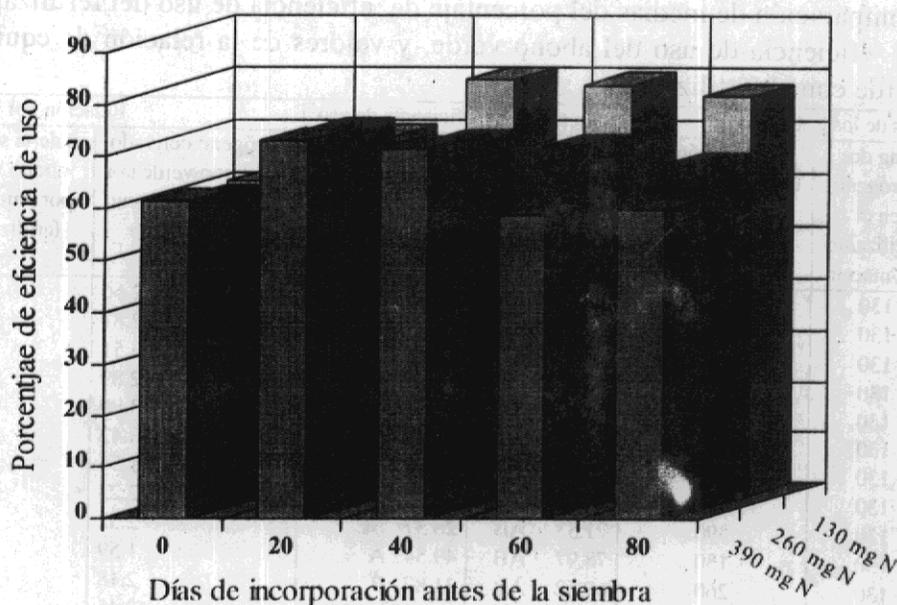


Figura 6: Eficiencia de uso del nitrógeno del fertilizante cuando se incorporan niveles de abono verde en diferentes épocas antes de la siembra.

En la figura 7, se observa que para obtener mayor eficiencia de uso del nitrógeno del abono verde, debe aplicarse un nivel de 130 mg de N/maceta del abono verde a los 40 o 60 días antes de la siembra. Las otras épocas y niveles de incorporación presentan valores bajos de eficiencia de uso del nitrógeno de ambas fuentes.

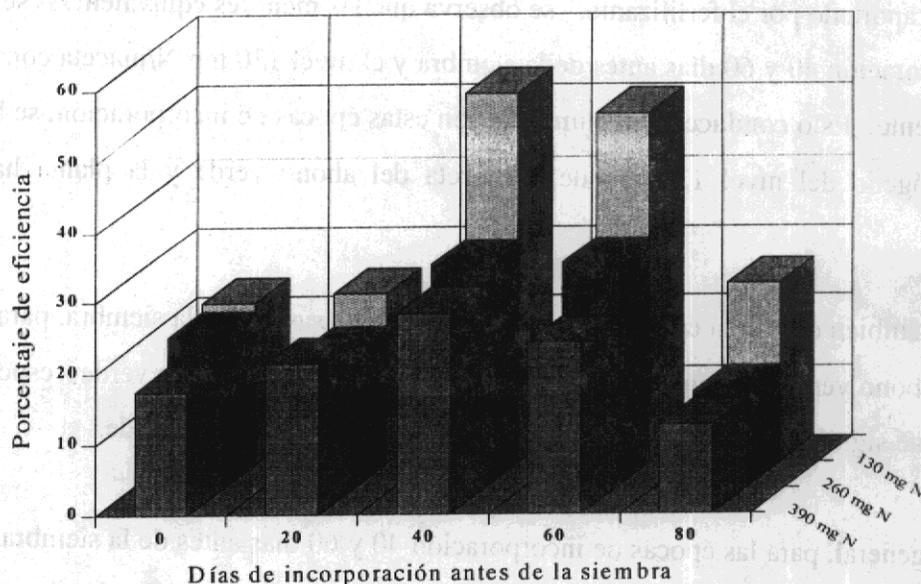


Figura 7: Eficiencia de uso del nitrógeno del abono verde cuando se incorpora en distintos niveles y épocas de incorporación antes de la siembra, en combinación con un fertilizante.

Con la época de incorporación 40 días y el nivel 130 mg N/maceta del abono verde, la eficiencia de uso del nitrógeno de ambas fuentes es alto, en tanto que en los niveles 260 y 390 mg N/maceta se incrementó ligeramente la eficiencia de uso del nitrógeno del abono verde, incluso con la época de incorporación 60 días. Esto es así porque la eficiencia de uso de una fuente es inversamente proporcional a la dosis aplicada, es decir, a menor dosis mayor eficiencia de uso.

Es importante notar la relación existente entre la eficiencia de uso del nitrógeno de las fuentes respecto al nitrógeno absorbido por la planta a partir de las fuentes. La planta derivó más nitrógeno del abono verde a partir del nivel 390 mg N/maceta y la época de incorporación 60 días antes de la siembra, sin

embargo, la eficiencia de uso fue baja comparada al nivel 130 mg N/maceta (figura 7). Ello es así porque el porcentaje de utilización de una fuente es inversamente proporcional a la dosis aplicada, es decir a menor dosis mayor porcentaje de utilización. Es sumamente importante considerar también que el análisis de la utilización del nitrógeno se hace con respecto a las cantidades de nitrógeno contenidas en los niveles incorporados y no a los porcentajes o cantidades de nitrógeno que derivaron de estos niveles (Cuadro 13A).

Con relación a la equivalencia del nitrógeno derivado del abono verde incorporado respecto a una unidad de nitrógeno aportado por el fertilizante, se observa que las menores equivalencias se obtuvieron con las épocas de incorporación 40 y 60 días antes de la siembra y el nivel 130 mg N/maceta con valores de 1.54 y 1.59, respectivamente. Esto conduce a concluir que, con estas épocas de incorporación, se ha mineralizado gran parte del nitrógeno del nivel 130 mg de N/maceta del abono verde y la planta ha utilizado este nitrógeno.

Se observa también que en la época de incorporación 80 días antes de la siembra, para cualquier nivel de N/maceta en el abono verde, aumenta la equivalencia del nitrógeno del abono verde respecto al nitrógeno del fertilizante, lo que significa que la planta utiliza menos nitrógeno del abono verde.

De manera general, para las épocas de incorporación 40 y 60 días antes de la siembra, los tres niveles de N/maceta del abono verde incorporado se acercan al sulfato de amonio siendo el valor más alejado 2.52 (del cuadro 10) que corresponde al nivel 390 mg de N/maceta del abono verde. Con fines prácticos, esto significa que puede sustituirse 1 kilogramo de nitrógeno del fertilizante por 1.6 kilogramo de nitrógeno del abono verde en peso seco ya que, teóricamente, se tendría el mismo efecto en la utilización del nitrógeno. Sin embargo, esto tiene otras implicaciones ya que el abono verde es fuente de materia orgánica y otros nutrientes en tanto que el fertilizante únicamente aporta nitrógeno que está disponible inmediatamente para cualquier vegetal o especie fungosa o bacteriana.

9. CONCLUSIONES

- 9.1. Cuando se aplican fuentes nitrogenadas, los rendimientos de materia seca son mayores de 15.18 gramos de materia seca por maceta. Estos rendimientos fueron significativos en comparación al tratamiento sin aplicación de las fuentes nitrogenadas.
- 9.2. La época de incorporación del abono verde antes de la siembra, afecta el rendimiento de materia seca. Con la época de 20 días donde se obtiene el mayor rendimiento de materia seca.
- 9.3. Se obtienen diferencias significativas en el porcentaje de nitrógeno total en los tratamientos con incorporación de abono verde comparado con los tratamientos a los que no se adicionó abono verde.
- 9.4. Existen diferencias significativas por efecto del nivel y de la época de incorporación del abono verde antes de la siembra, en el contenido de nitrógeno total. Con la incorporación a los 40 días antes de la siembra y el nivel 390 mg de N/maceta del abono verde, se obtiene el mayor porcentaje de nitrógeno total.
- 9.5. La interacción del nivel y de la época de incorporación del abono verde antes de la siembra, afecta significativamente el rendimiento del porcentaje de nitrógeno derivado del fertilizante. Los valores más bajos de nitrógeno derivado del fertilizante, corresponden a las épocas de incorporación 40 y 60 días con 390 mg de N/maceta del abono verde. Y los valores más altos, corresponden a Las épocas de incorporación 40 y 60 días con 390 mg de N/maceta del abono verde.
- 9.6. Existen diferencias significativas en el aporte de nitrógeno del abono verde, en función de la época y del nivel a incorporar antes de la siembra. Con la incorporación del abono verde, con un contenido de 390 mg de N/maceta, a los 60 y 40 días antes de la siembra, las concentraciones de nitrógeno en la planta, que se derivaron del abono verde, fueron 31.56 y 30.87 por ciento.

- 9.7. El mayor porcentaje de eficiencia de uso del nitrógeno de las fuentes evaluadas se obtiene a los 40 y 60 días de incorporación antes de la siembra con un nivel de 130 mg de N/maceta en el abono verde, con relaciones de equivalencia de 1.54 y 1.59 de abono verde por unidad de fertilizante, respectivamente.

10. RECOMENDACIONES

Considerando que el frijol terciopelo (*Mucuna pruriens* L.) es utilizado por muchos agricultores de la Zona del Polochic y que este trabajo permitió establecer el efecto del sulfato de amonio y del abono verde sobre el rendimiento de materia seca, la eficiencia de uso de las fuentes evaluadas y la equivalencia del abono verde respecto al sulfato de amonio en su aporte de nitrógeno, se recomienda evaluar, a nivel de campo, la incorporación del frijol terciopelo (*Mucuna Pruriens* L.) como abono verde, cosechado 70 días después de la siembra y al inicio de la época de floración, a los 20, 40 y 60 días antes de la siembra del cultivo de interés, con un nivel equivalente de 390 mg de nitrógeno por postura, y la adición de 130 mg de nitrógeno en forma de fertilizante.

II. BIBLIOGRAFIA

1. BARREDA AVENDAÑO, L.L. 1966. Rehabilitación de los suelos agrícolas de Guatemala, mediante la incorporación de materia orgánica. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 53 p.
2. BIDWELL, R.G.S. 1987. Fisiología vegetal. Trad. por Guadalupe Gerónimo Cano y Cano y Manuel Rojas Garcidueñas. México, D.F., México, AGT. p. 280-281.
3. BARRIENTOS, M.; ALVAREZ, V. 1982. Algunas transformaciones necesarias para el análisis de varianza. Boletín Biométrico (Gua.). 1(1): 9-19.
4. BORNEMISZA, E. 1983. Introducción a la química de suelos. Costa Rica, O.E.A. Serie de Química, no. 25. 83 p.
5. DEPARTAMENT DES SYSTEMES AGROALIMENTAIRES ET RURAUX CIRAD-SAR. El papel de la mucuna y experimentación con agricultores. En: Seminario taller de la Ceiba (1992, Ceiba, Honduras). Memoria. Honduras, s.e. p. 27-50.
6. DIAZ-ROMEY, R.; HUNTER, A. 1982. Metodología de muestreos de suelos, análisis de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 61 p.
7. DONAHUE, R.L.; MILLER, R.W.; SHICKLUNA, J.C. 1988. Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas. México, D.F., México, Prentice-Hall Hispanoamericana. p. 123-140, 142-154.
8. FASSBENDER, H.W. 1984. Química de suelos con énfasis en suelos de América Tropical. Turrialba, Costa Rica, IICA. p. 66-103, 221-262.
9. FAUST, H.; SEBASTIANELLI, J.A.; AXMAN, H. 1987. Manual de laboratorio sobre métodos de rutina para la preparación y análisis de material biológico marcado con ^{15}N . En: Curso internacional de entrenamiento sobre el uso de ^{15}N en ciencias de suelos, nutrición vegetal y biotecnología agrícola (1987. Viena, Austria). Viena, Austria, FAO/IAEA. 122 p.
10. GUATEMALA, INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGIA, VULCANOLOGIA, METEOROLOGIA E HIDROLOGIA. 1980. Registros climáticos. Guatemala. 296 p.
11. JACKSON, M.L. 1976. Análisis químico de suelos. Trad. José Beltrán. 3 ed. Barcelona, España, Omega. p. 254-281.
12. INTERNACIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. 1983. A guide to the use of nitrogen-15 and radioisotopes in studies of plant nutrition: calculation and interpretation of data. Viena, Austria, IAEA. 65 p.
13. ----- 1990. Empleo de técnicas nucleares en los estudios de la relación suelo-planta. Viena, Austria, OIEA (IAEA). p. 51-215. Colección de cursos de capacitación no. 2.

14. MARTINEZ GARCIA, J.R. 1988. Respuesta de seis materiales de sorgo (*Sorghum* spp.) a la fertilización nitrogenada para la producción de forraje. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 32 p.
15. MONTERROSO SANTELIS, E.R. 1979. Fertilización orgánica y fertilización química en dos suelos de Tiquizate, Río Bravo, Suchitepéquez, y su influencia en el rendimiento del maíz (*Zea mays* L.) Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 64 p.
16. PINO, I. et al. 1990. Uso de isótopos en agricultura. Revista Simiente (CI). 60(3):221-224.
17. SANCHEZ, P.A. 1981. Suelos del trópico; características y manejo. Trad. por Edilberto Camacho. San José, Costa Rica, IICA. 634 p.
18. SIMMONS, CH.; TARANO, J.M.; PINTO, J.H. 1959. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Trad. por Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, José de Pineda Ibarra. 1000 p.
19. SOTO ESTRADA, A.D. 1982. Evaluación del frijol terciopelo (*Stizolobium deeringianum* Bort.) como abono verde en el cultivo del maíz (*Zea mays* L.). Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 34 p.
20. STANDLEY, P.; STEYERMARK, J. 1946. Flora of Guatemala. United States of America, Chicago, Chicago Natural History Museum. Fieldiana:Botany v.24, pte. 5, p. 5-302.
21. STEEL, R.; TORRIE, J. 1989. Bioestadística: Principios y Procedimientos. Trad. por Ricardo Martínez B. México, D.F., México, McGraw-Hill. p. 179-183.
22. SUAREZ DE CASTRO, I. 1982. Conservación de suelos. 3 ed. San José, Costa Rica, IICA. p. 154-167.
23. TALLER SOBRE MÉTODOS PARTICIPATIVOS DE INVESTIGACIÓN Y EXTENSIÓN APLICADOS A LAS TECNOLOGÍAS BASADAS EN ABONOS VERDES (1993, CATEMACO, VERACRUZ, MÉXICO 1993. Memoria; gorras y sombreros: caminos hacia la colaboración entre técnicos y campesinos. Veracruz, México, CIMMYT. 123 P.
24. TISDALE, S.L.; NELSON, W.L. 1977. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. México, D.F., México, UTEHA. p. 78-115, 138-204.
25. VASQUEZ, P.; PEÑA, J.J.; BARQUIN, J. 1988. Eficiencia de algunos estiércoles y de abono verde de *Azolla filiculoides* como fuentes de nitrógeno para las plantas. Turrialba (C. R.) 38(4):341-344.

Vo. Bo. *Rolando Barríos*



APENDICE

APENDICE IA:

FORMULAS UTILIZADAS EN LOS CALCULOS PARA DETERMINAR EL PORCENTAJE DE NITROGENO ABSORBIDO DEL FERTILIZANTE Y DE LOS TRATAMIENTOS CON ABONO VERDE

A. CALCULOS GENERALES

1.
$$\text{Porcentaje materia seca} = \frac{\text{peso seco de submuestra}}{\text{peso fresco de submuestra}} \times 100$$
2.
$$\text{Rendimiento materia seca de la planta} = \text{peso fresco de la planta} \times \text{porcentaje materia seca}$$
3.
$$\text{Rendimiento de nitrógeno} = \text{materia seca total de la planta} \times \frac{\text{porcentaje nitrógeno total en planta}}{100}$$

B. CALCULOS UTILIZANDO DATOS OBTENIDOS DEL TRATAMIENTO CON FERTILIZANTE Y SIN ABONO VERDE

1.
$$\text{Porcentaje } ^{15}\text{N Ex} = \text{porcentaje } ^{15}\text{N} - \text{porcentaje Abundancia Natural } ^{15}\text{N} \quad \text{En donde,}$$

Porcentaje $^{15}\text{N Ex}$ es el porcentaje de ^{15}N en exceso en las plantas tratadas y porcentaje ^{15}N es el porcentaje del ^{15}N obtenido con el Espectro de Emisión.

2.
$$\text{Porcentaje de nitrógeno derivado del fertilizante}^* = \frac{\text{porcentaje de } ^{15}\text{N en exceso en la planta}}{\text{porcentaje de } ^{15}\text{N en exceso del fertilizante marcado}} \times 100$$

* Para este cálculo se tomó el promedio ponderado del nitrógeno derivado del fertilizante obtenido en raíz y del nitrógeno derivado del fertilizante en el material vegetativo de la planta.

3. **Porcentaje de nitrógeno derivado del suelo = 100 - porcentaje de nitrógeno derivado del fertilizante**
4. De acuerdo al concepto de Valor A

$$\frac{\text{Nitrógeno del fertilizante en la planta}}{\text{Cantidad disponible del nitrógeno del fertilizante aplicado (B)}} = \frac{\text{nitrógeno del suelo en la planta}}{\text{cantidad disponible del nitrógeno del suelo (A)}}$$

La ecuación anterior puede expresarse como:

$$\text{Porcentaje de nitrógeno derivado del fertilizante/B} = (100 - \text{porcentaje de nitrógeno derivado del fertilizante})/A$$

De donde,

$$A = (100 - \text{porcentaje de nitrógeno derivado del fertilizante}) \times B / \text{porcentaje de nitrógeno derivado del fertilizante}$$

o bien

$$A = \text{Porcentaje Nitrógeno derivado del suelo} \times B / \text{porcentaje de nitrógeno derivado del fertilizante,}$$

que ha sido la fórmula utilizada.

C. CALCULOS PARA LOS TRATAMIENTOS CON ABONO VERDE

1. Para los tratamientos con abono verde, el Valor A del abono verde se determinó de la siguiente manera:

$$\frac{\text{Nitrógeno del fertilizante en la planta}}{\text{Cantidad disponible del nitrógeno del fertilizante aplicado (B)}} = \frac{\text{nitrógeno del suelo + nitrógeno de la abono verde en la planta}}{\text{A(suelo + abono verde)}}$$

De donde,

$$\text{A(suelo + abono verde)} = (100 - \text{porcentaje de nitrógeno derivado del fertilizante})/B$$

$$\text{Valor A del abono verde} = \text{A(suelo + abono verde)} - \text{A suelo (del tratamiento con fertilizante y sin abono verde)}$$

que ha sido la fórmula utilizada.

La relación de utilización fraccionada de cada fuente, es como sigue:

$$2. \quad \frac{\text{Porcentaje de nitrógeno derivado del fertilizante}}{B} = \frac{\text{porcentaje de nitrógeno derivado del suelo}}{\text{Valor A del suelo}} =$$

$\frac{\text{porcentaje de nitrógeno derivado del abono verde}}{\text{Valor A del abono verde}}$

Valor A del abono verde

$$2.a. \quad \text{Nitrógeno derivado del abono verde} = \text{nitrógeno total en la planta} \times \frac{\text{porcentaje nitrógeno derivado del abono verde}}{100}$$

$$2.b. \quad \text{Nitrógeno derivado del suelo} = \text{nitrógeno total en la planta} \times \frac{\text{porcentaje nitrógeno derivado del suelo}}{100}$$

$$2.c. \quad \text{Nitrógeno derivado del fertilizante} = \text{nitrógeno total en la planta} \times \frac{\text{porcentaje nitrógeno derivado del fertilizante}}{100}$$

$$3. \quad \text{Porcentaje de utilización del abono verde} = \frac{\text{nitrógeno derivado del abono verde}}{\text{tasa de aplicación del abono verde}} \times 100$$

$$4. \quad \text{Porcentaje de utilización del fertilizante} = \frac{\text{nitrógeno derivado del fertilizante}}{\text{tasa de aplicación del fertilizante}} \times 100$$

$$5. \quad \text{Nitrógeno en la mucuna/Valor A del abono verde} = \frac{\text{tasa de nitrógeno en el abono verde aplicado}}{\text{Valor A del abono verde}}$$

De donde se establece la equivalencia de los kilogramos de nitrógeno del abono verde por cada kilogramo de nitrógeno del sulfato de amonio.

$$6. \quad \text{Abono verde/s. a.} = \frac{(5) \times \text{porcentaje de nitrógeno del sulfato de amonio}}{\text{porcentaje de nitrógeno en el abono verde aplicado}}$$

De donde se establece la equivalencia de los kilogramos de mucuna por cada kilogramo de sulfato de amonio.

Referencias:

Valor A = Para una fuente de nutrientes dada, el Valor A es la cantidad de nutrientes que dicha fuente suministra a la planta, expresada en unidades equivalentes del fertilizante estándar.

APENDICE 2A: RESUMEN DE LOS ANALISIS DE VARIANZA PARA LOS TRATAMIENTOS Y LA INTERACCION DE FACTORES.

Cuadro 11A.. F calculada y probabilidades para el rendimiento de materia seca y porcentaje de nitrógeno total, porcentaje de nitrógeno derivado del fertilizante, porcentaje de nitrógeno derivado del suelo y porcentaje de nitrógeno derivado del abono verde en los tratamientos.

Fuente de Variación	GL	materia seca (g/maceta)	porcentaje de nitrógeno total/maceta	GL	porcentaje de nitrógeno derivado del fertilizante	porcentaje de nitrógeno derivado del suelo	GL	porcentaje de nitrógeno derivado del abono verde
		Fc Pr>F	Fc Pr>F		Fc Pr>F	Fc Pr>F		Fc Pr>F
Tratamiento	16	8.11* 0.0001	28.82* 0.0001	15	100.71* 0.0001	103.05* 0.0001	14	64.19* 0.0001
Error	68			64			60	
Total	84			79			74	
C. V.		10.876 %	2.532 %		2.259 %	2.232 %		9.059 %

GL = Grados de Libertad

* = Hay diferencias significativas

C. V. = Coeficiente de Variación

Cuadro 12A. F calculada y probabilidad para la materia seca, porcentaje de nitrógeno total, porcentaje de nitrógeno derivado del fertilizante, porcentaje de nitrógeno derivado del suelo y porcentaje de nitrógeno derivado del abono verde en el *Sorghum vulgare* L., por efecto del nivel y de la época de incorporación del abono verde.

Fuente de Variación	GL	materia seca (g/maceta)		porcentaje de nitrógeno total		porcentaje de nitrógeno derivado del fertilizante		porcentaje de nitrógeno derivado del suelo		porcentaje de nitrógeno derivado del abono verde	
		Fc	Pr>F	Fc	Pr>F	Fc	Pr>F	Fc	Pr>F	Fc	Pr>F
Epoca	4	2.47*	0.0542	49.41	0.0001	100.08*	0.0001	100.08*	0.0001	100.08*	0.0001
Nivel	2	0.36 (N.S.)	0.6960	3.53*	0.0355	237.13*	0.0001	237.14*	0.0001	237.13*	0.0001
Epoca * Nivel	8	1.55 (N.S.)	0.1594	4.31*	0.0004	3.01*	0.0066	3.01*	0.0066	3.01*	0.0066
Error	60										
Total	74										
C. V.		10.732 %		2.561 %		2.326 %		2.326 %		9.059 %	

G.L. = Grados de Libertad

* = Hay diferencias significativas

N.S. = No hay diferencias significativas

C.V. = Coeficiente de Variación

Cuadro 13A. Datos iniciales obtenidos del peso seco y nitrógeno total, y datos derivados del cálculo matemático en las unidades experimentales.

U.	PSP	NP	NP	%	%NP/100	% N	% N	Valor	% N	Valor	Valor	% N	% N	NdAV	Nds
Exp.	g	g	mg	NP		dFP	dsTE	As TE	dsAV	AsAV	AAV	dsTAV	dAV	g	g
TABS1	7.2	0.111	110.589	1.536	0.124										
2	7.0	0.101	100.582	1.437	0.120										
3	8.3	0.126	126.083	1.519	0.123										
4	8.1	0.115	114.700	1.416	0.119			0.216							
5	10.1	0.137	136.829	1.355	0.116										
TEST1	14.9	0.204	203.686	1.367	0.117	37.108	62.892	0.220				62.892			0.128
2	14.5	0.204	203.763	1.405	0.119	38.198	61.802	0.210				61.802			0.126
3	17.3	0.246	246.326	1.424	0.119	38.099	61.901	0.211				61.901			0.152
4	15.1	0.213	213.237	1.412	0.119	37.520	62.480	0.216				62.480			0.133
5	18.3	0.239	239.470	1.309	0.114	37.087	62.913	0.221				62.913			0.151
N1-MS	15.2	0.221	221.212	1.455	0.121	32.722			67.278	0.267	0.052	54.313	12.965	0.029	0.120
2	13.9	0.214	213.723	1.538	0.124	32.876			67.124	0.265	0.050	54.567	12.557	0.027	0.117
3	16.6	0.262	262.099	1.579	0.126	33.505			66.495	0.258	0.042	55.612	10.883	0.029	0.146
4	15.8	0.247	247.004	1.563	0.125	33.198			66.802	0.262	0.046	55.102	11.700	0.029	0.136
5	16.7	0.254	254.207	1.522	0.123	32.418			67.582	0.271	0.055	53.808	13.774	0.035	0.137
N2-MS	15.8	0.240	239.666	1.517	0.123	30.389			69.611	0.298	0.082	50.441	19.170	0.046	0.121
2	12.3	0.229	229.452	1.865	0.137	29.719			70.281	0.307	0.092	49.327	20.954	0.048	0.113
3	15.7	0.269	268.615	1.711	0.131	29.283			70.717	0.314	0.098	48.604	22.113	0.059	0.131
4	16.8	0.293	292.744	1.743	0.132	28.684			71.316	0.323	0.107	47.610	23.706	0.069	0.139
5	15.6	0.290	289.799	1.858	0.136	30.176			69.824	0.301	0.085	50.087	19.737	0.057	0.145
N3-MS	10.9	0.197	196.804	1.806	0.134	27.958			72.042	0.335	0.119	46.405	25.638	0.050	0.091
2	17.6	0.308	307.863	1.749	0.132	27.883			72.117	0.336	0.120	46.281	25.837	0.080	0.142
3	17.6	0.317	317.162	1.802	0.134	28.417			71.583	0.327	0.112	47.168	24.415	0.077	0.150
4	19.3	0.342	341.866	1.771	0.133	28.875			71.125	0.320	0.104	47.926	23.199	0.079	0.164
5	14.0	0.245	244.989	1.750	0.132	29.133			70.867	0.316	0.100	48.356	22.511	0.055	0.118
N1-201	17.5	0.302	301.531	1.723	0.131	33.073			66.927	0.263	0.047	54.894	12.033	0.036	0.166
2	14.4	0.226	226.234	1.571	0.125	33.480			66.520	0.258	0.043	55.571	10.949	0.025	0.126
3	15.5	0.257	257.273	1.660	0.129	33.045			66.955	0.263	0.048	54.849	12.106	0.031	0.141
4	16.4	0.288	288.179	1.757	0.133	33.414			66.586	0.259	0.043	55.461	11.125	0.032	0.160
5	16.7	0.280	279.674	1.675	0.129	33.311			66.689	0.260	0.044	55.290	11.399	0.032	0.155
N2-201	14.8	0.256	255.679	1.728	0.131	31.019			68.981	0.289	0.073	51.485	17.496	0.045	0.132
2	20.0	0.359	359.254	1.796	0.134	30.757			69.243	0.293	0.077	51.050	18.193	0.065	0.183
3	16.3	0.301	300.999	1.847	0.136	32.016			67.984	0.276	0.060	53.141	14.843	0.045	0.160
4	16.0	0.279	279.192	1.745	0.132	31.354			68.646	0.285	0.069	52.042	16.604	0.046	0.145
5	18.1	0.315	315.020	1.740	0.132	31.559			68.441	0.282	0.066	52.381	16.060	0.051	0.165
N3-201	19.9	0.365	365.341	1.836	0.135	28.724			71.276	0.323	0.107	47.677	23.599	0.086	0.174
2	16.4	0.280	279.932	1.707	0.131	27.897			72.103	0.336	0.120	46.303	25.800	0.072	0.130
3	20.3	0.387	387.198	1.907	0.138	27.873			72.127	0.336	0.121	46.263	25.864	0.100	0.179
4	18.4	0.325	325.413	1.769	0.133	27.769			72.231	0.338	0.122	46.091	26.140	0.085	0.150
5	20.1	0.327	327.415	1.629	0.128	29.123			70.877	0.316	0.101	48.339	22.538	0.074	0.158
N1-401	15.1	0.301	301.362	1.996	0.141	30.705			69.295	0.293	0.078	50.965	18.330	0.055	0.154
2	17.2	0.356	355.891	2.069	0.144	28.948			71.052	0.319	0.103	48.049	23.003	0.082	0.171
3	20.3	0.394	393.631	1.939	0.139	29.452			70.548	0.311	0.096	48.885	21.663	0.085	0.192
4	16.4	0.335	334.735	2.041	0.143	31.351			68.649	0.285	0.069	52.036	16.613	0.056	0.174
5	16.2	0.338	337.727	2.085	0.144	30.697			69.303	0.294	0.078	50.951	18.353	0.062	0.172
N2-401	14.0	0.276	275.735	1.970	0.140	29.169			70.831	0.316	0.100	48.415	22.415	0.062	0.133
2	20.2	0.392	392.014	1.941	0.139	28.824			71.176	0.321	0.105	47.843	23.333	0.091	0.188
3	18.1	0.369	369.492	2.041	0.143	27.206			72.794	0.348	0.132	45.158	27.636	0.102	0.167
4	13.6	0.273	272.919	2.007	0.142	27.663			72.337	0.340	0.124	45.915	26.421	0.072	0.125
5	15.7	0.318	317.743	2.024	0.142	27.671			72.329	0.340	0.124	45.928	26.402	0.084	0.146

Ndf	NdAV	Nds	Ndf	% Eficiencia de uso S.A.	% Eficiencia de uso AV	N AV N S.A.	AV S.A.	REFERENCIAS:
g	mg	mg	mg					
0.076		128.102	75.585	58.142				U. Exp. PSP g NP mg % NP % NP/100 % NdFP % NdsTE
0.078		125.929	77.835	59.873				Unidad Experimental
0.094		152.479	93.847	72.190				Peso Seco total de la Planta
0.080		133.230	80.007	61.544				gramos
0.089		150.657	88.813	68.317				Nitrogeno total en la Planta
0.072	28.679	120.147	72.386	55.681	22.061	2.524	18.277	miligramos
0.070	26.837	116.623	70.263	54.048	20.644	2.618	18.959	Porcentaje de Nitrogeno total en la Planta
0.088	28.523	145.759	87.817	67.551	21.941	3.079	22.295	Transformacion de datos del %NP para el ANDEVA
0.082	28.899	136.105	82.000	63.077	22.230	2.837	20.547	Porcentaje de Nitrogeno en la planta derivado del fertilizante
0.082	35.014	136.784	82.409	63.392	26.934	2.354	17.044	Porcentaje de Nitrogeno en la planta, derivado del suelo en el Tratamiento Estandar
0.073	45.944	120.889	72.833	56.025	17.671	3.170	22.959	Valor A del suelo para el Tratamiento Estandar
0.068	48.079	113.183	68.190	52.454	18.492	2.837	20.541	Porcentaje de Nitrogeno en la planta, derivado del suelo
0.079	59.399	130.558	78.658	60.506	22.846	2.648	19.178	Valor AAV
0.084	69.399	139.375	83.970	64.593	26.692	2.420	17.524	Valor A de la Abono Verde
0.087	57.198	145.151	87.450	67.269	21.999	3.058	22.143	Porcentaje de Nitrogeno en la planta, derivado del Abono Verde
0.055	50.456	91.326	55.022	42.325	12.937	3.271	23.690	Nitrogeno en la planta, derivado del Abono Verde
0.086	79.541	142.480	85.841	66.032	20.395	3.238	23.445	Nitrogeno en la planta, derivado del suelo
0.090	77.435	149.598	90.129	69.330	19.855	3.492	25.286	Nitrogeno en la planta, derivado del fertilizante
0.099	79.310	163.844	98.712	75.932	20.336	3.734	27.039	% Eficiencia de uso S.A.
0.071	55.149	118.466	71.373	54.903	14.141	3.883	28.115	% Eficiencia de uso AV
0.100	36.284	165.524	99.724	76.711	27.910	2.748	19.239	N AV
0.076	24.771	125.720	75.743	58.264	19.055	3.058	21.404	N S.A.
0.085	31.145	141.112	85.017	65.398	23.957	2.730	19.108	AV
0.096	32.060	159.827	96.292	74.071	24.661	3.004	21.025	S.A.
0.093	31.880	154.632	93.162	71.663	24.523	2.922	20.456	Relación del N del Abono Verde por unidad de N del sulfato de amonio
0.079	44.733	131.638	79.309	61.007	17.205	3.546	24.821	TABS
0.110	65.359	183.401	110.495	84.996	25.138	3.381	23.668	TEST
0.096	44.677	159.953	96.368	74.129	17.184	4.314	30.198	N1-MS
0.088	46.357	145.297	87.538	67.337	17.830	3.777	26.437	N2-MS
0.099	50.593	165.011	99.416	76.474	19.459	3.930	27.510	N3-MS
0.105	86.217	174.183	104.941	80.724	22.107	3.652	25.561	N1-20
0.078	72.224	129.617	78.091	60.070	18.519	3.244	22.706	Nivel de abono verde con 130 mg de N incorporado al momento de siembra (0 días)
0.108	100.146	179.130	107.922	83.017	25.678	3.235	22.631	Nivel de abono verde con 260 mg de N incorporado al momento de siembra (0 días)
0.090	85.064	149.986	90.363	69.510	21.811	3.187	22.308	Nivel de abono verde con 390 mg de N incorporado al momento de siembra (0 días)
0.095	73.792	158.269	95.354	73.349	18.921	3.877	27.136	Nivel de abono verde con 130 mg de N incorporado a los 20 días antes de la siembra
0.093	55.240	153.589	92.534	71.180	42.492	1.675	11.726	
0.103	81.867	171.000	103.024	79.249	62.974	1.258	8.809	
0.116	85.273	192.426	115.932	89.179	65.595	1.360	9.517	
0.105	55.608	174.184	104.942	80.725	42.776	1.887	13.210	
0.104	61.983	172.074	103.670	79.747	47.679	1.673	11.708	
0.080	61.807	133.499	80.430	61.869	23.772	2.603	18.218	
0.113	91.467	187.551	112.995	86.920	35.180	2.471	17.295	
0.101	102.113	166.854	100.526	77.327	39.274	1.969	13.782	
0.075	72.109	125.312	75.498	58.075	27.734	2.094	14.658	
0.088	83.889	145.933	87.921	67.632	32.265	2.096	14.673	

N3-401	16.9	0.361	361.314	2.138	0.146	26.170	73.830	0.367	0.151	43.437	30.393	0.110	0.157	0.095	109.812	156.945	94.556	72.735	28.157	2.583	18.082
2	14.8	0.334	334.067	2.257	0.150	25.897	74.103	0.372	0.156	42.985	31.118	0.104	0.144	0.087	103.956	143.597	86.514	66.549	26.655	2.497	17.477
3	14.7	0.326	325.775	2.216	0.149	26.506	73.494	0.360	0.145	43.996	29.498	0.096	0.143	0.086	96.096	143.328	86.352	66.424	24.640	2.696	18.870
4	17.4	0.389	388.901	2.235	0.150	25.997	74.003	0.370	0.154	43.149	30.854	0.120	0.168	0.101	119.992	167.809	101.101	77.770	30.767	2.528	17.694
5	17.6	0.380	379.868	2.158	0.147	25.383	74.617	0.382	0.166	42.132	32.485	0.123	0.160	0.096	123.399	160.045	96.424	74.172	31.641	2.344	16.409
N1-601	15.5	0.330	329.768	2.128	0.146	31.970	68.030	0.277	0.061	53.064	14.966	0.049	0.175	0.105	49.352	174.989	105.427	81.098	37.963	2.136	14.471
2	16.8	0.356	356.460	2.122	0.146	30.474	69.526	0.297	0.081	50.582	18.944	0.068	0.180	0.109	67.527	180.304	108.629	83.561	51.944	1.609	10.898
3	16.9	0.337	336.743	1.993	0.141	29.443	70.557	0.312	0.096	48.870	21.687	0.073	0.165	0.099	73.028	164.567	99.148	76.268	56.175	1.358	9.197
4	17.3	0.347	347.040	2.006	0.142	30.136	69.864	0.301	0.086	50.020	19.844	0.069	0.174	0.105	68.865	173.591	104.584	80.450	52.973	1.519	10.288
5	17.6	0.317	317.373	1.803	0.134	30.104	69.896	0.302	0.086	49.967	19.929	0.063	0.159	0.096	63.250	158.581	95.541	73.493	48.654	1.511	10.233
N2-601	15.1	0.295	294.530	1.951	0.140	27.330	72.670	0.346	0.130	45.363	27.307	0.080	0.134	0.080	80.428	133.607	80.495	61.919	30.934	2.002	13.560
2	17.7	0.342	342.458	1.935	0.139	29.072	70.928	0.317	0.101	48.255	22.673	0.078	0.165	0.100	77.646	165.252	99.561	76.585	29.864	2.564	17.372
3	18.0	0.322	321.812	1.788	0.134	28.616	71.384	0.324	0.109	47.497	23.888	0.077	0.153	0.092	76.874	152.850	92.088	70.837	29.567	2.396	16.230
4	15.7	0.338	337.930	2.152	0.147	26.562	73.438	0.359	0.144	44.088	29.351	0.099	0.149	0.090	99.184	148.986	89.760	69.047	38.148	1.810	12.261
5	16.5	0.319	319.417	1.936	0.139	28.163	71.837	0.332	0.116	46.745	25.092	0.080	0.149	0.090	80.148	149.312	89.957	69.198	30.826	2.245	15.207
N3-601	14.9	0.281	280.679	1.884	0.137	25.175	74.825	0.386	0.171	41.785	33.040	0.093	0.117	0.071	92.735	117.283	70.660	54.354	23.778	2.286	15.485
2	13.5	0.232	231.596	1.716	0.131	26.298	73.702	0.364	0.149	43.649	30.054	0.070	0.101	0.061	69.603	101.089	60.904	46.849	17.847	2.625	17.783
3	14.5	0.293	293.218	2.022	0.142	26.124	73.876	0.368	0.152	43.360	30.516	0.089	0.127	0.077	89.480	127.140	76.599	58.922	22.943	2.568	17.397
4	16.2	0.335	335.394	2.070	0.144	25.011	74.989	0.390	0.174	41.514	33.475	0.112	0.139	0.084	112.273	139.235	83.886	64.528	28.788	2.241	15.184
5	17.4	0.352	352.388	2.025	0.142	26.050	73.950	0.369	0.153	43.237	30.713	0.108	0.152	0.092	108.229	152.364	91.796	70.612	27.751	2.544	17.237
N1-801	16.9	0.305	305.005	1.805	0.134	33.915	66.085	0.253	0.038	56.292	9.793	0.030	0.172	0.103	29.870	171.694	103.442	79.570	22.977	3.463	25.077
2	17.7	0.298	297.722	1.682	0.130	33.927	66.073	0.253	0.037	56.313	9.760	0.029	0.168	0.101	29.058	167.655	101.009	77.699	22.353	3.476	25.171
3	16.1	0.289	289.036	1.795	0.134	33.677	66.323	0.256	0.040	55.897	10.426	0.030	0.162	0.097	30.134	161.564	97.338	74.876	23.180	3.230	23.391
4	16.6	0.278	278.492	1.678	0.130	32.477	67.523	0.270	0.055	53.905	13.618	0.038	0.150	0.090	37.925	150.122	90.445	69.573	29.173	2.385	17.270
5	16.9	0.323	322.914	1.911	0.138	33.184	66.816	0.262	0.046	55.080	11.736	0.038	0.178	0.107	37.896	177.861	107.157	82.429	29.151	2.828	20.476
N2-801	12.7	0.228	227.647	1.792	0.134	31.697	68.303	0.280	0.064	52.612	15.691	0.036	0.120	0.072	35.719	119.769	72.158	55.506	13.738	4.040	29.257
2	14.8	0.244	244.393	1.651	0.129	32.483	67.517	0.270	0.054	53.916	13.601	0.033	0.132	0.079	33.240	131.767	79.387	61.067	12.784	4.777	34.589
3	16.0	0.264	264.278	1.652	0.129	32.914	67.086	0.265	0.049	54.632	12.454	0.033	0.144	0.087	32.913	144.380	86.986	66.912	12.659	5.286	38.277
4	16.3	0.310	309.885	1.901	0.138	32.707	67.293	0.267	0.052	54.288	13.005	0.040	0.168	0.101	40.302	168.229	101.354	77.965	15.501	5.030	36.423
5	16.1	0.275	275.079	1.709	0.131	32.699	67.301	0.268	0.052	54.275	13.026	0.036	0.149	0.090	35.831	149.299	89.949	69.192	13.781	5.021	36.357
N3-801	15.6	0.257	256.700	1.646	0.128	31.018	68.982	0.289	0.073	51.484	17.497	0.045	0.132	0.080	44.916	132.160	79.624	61.249	11.517	5.318	38.511
2	15.5	0.261	260.970	1.684	0.130	29.404	70.596	0.312	0.096	48.805	21.790	0.057	0.127	0.077	56.866	127.367	76.736	59.028	14.581	4.048	29.315
3	14.8	0.238	237.949	1.608	0.127	30.682	69.318	0.294	0.078	50.926	18.393	0.044	0.121	0.073	43.765	121.177	73.007	56.159	11.222	5.004	36.239
4	14.0	0.252	252.455	1.803	0.134	31.559	68.441	0.282	0.066	52.382	16.059	0.041	0.132	0.080	40.542	132.241	79.672	61.286	10.395	5.896	42.692
5	16.8	0.277	277.490	1.652	0.129	29.410	70.590	0.312	0.096	48.815	21.775	0.060	0.135	0.082	60.423	135.458	81.610	62.777	15.493	4.052	29.342



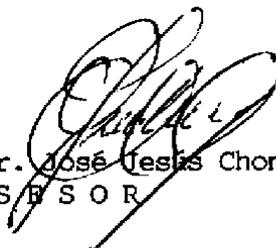
LA TESIS TITULADA: "EVALUACION DEL FRIJOL TERCIOPELO (Mucuna pruriens L.)
COMO ABONO VERDE, CON DIFERENTES NIVELES DE NITROGENO
Y EPOCAS DE INCORPORACION ANTES DE LA SIEMBRA, EN
CONDICIONES DE INVERNADERO, UTILIZANDO LA TECNICA DEL
15^{N.}"

DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE: ELIAS RAYMUNDO RAYMUNDO

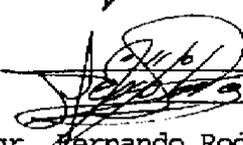
CARNET No: 8813220

HA SIDO EVALUADA POR LOS PROFESIONALES: Dr. Luis Mejía de León
Ing. Agr. Ervin Maxdelio Herrera de León
Ing. Agr. Walter García Tello

Los Asesores y las Autoridades de la Facultad de Agronomía, hacen constar que ha
cumplido con las normas universitarias y reglamentos de la Facultad de Agronomía
de la Universidad de San Carlos de Guatemala.


Ing. Agr. José Jesús Chonay P.
A S E S O R


Inga. Agra. María Antonieta Alfaro
A S E S O R A


Ing. Agr. Fernando Rodríguez
DIRECTOR DEL IIA.



I M P R I M A S E


Ing. Agr. Rolando Lara Alecio
D E C A N O



cc: Control Académico APARTADO POSTAL 1545 • 01091 GUATEMALA, C. A.
Archivo