

**DETERMINACIÓN DEL DESTINO DEL NITRÓGENO APLICADO A UN  
CULTIVO DE SÉSAMO MEDIANTE LA TÉCNICA ISOTÓPICA**

**ALBA LIZ GONZÁLEZ**

Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción, como requisito para la obtención del título de Magíster en Ciencia del Suelo y Ordenamiento Territorial.

Universidad Nacional de Asunción  
Facultad de Ciencias Agrarias  
Dirección de Posgrado

San Lorenzo – Paraguay

2012

**DETERMINACIÓN DEL DESTINO DEL NITRÓGENO APLICADO A UN  
CULTIVO DE SÉSAMO MEDIANTE LA TÉCNICA ISOTÓPICA**

**ALBA LIZ GONZÁLEZ**

Orientador: Prof. Ing. Agr. (Ph.D.) **HÉCTOR JAVIER CAUSARANO MEDINA**

Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción, como requisito para la obtención del título de Magíster en Ciencia del Suelo y Ordenamiento Territorial.

Universidad Nacional de Asunción  
Facultad de Ciencias Agrarias  
Dirección de Posgrado

San Lorenzo – Paraguay

2012

**DPTO. DE BIBLIOTECA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS / UNA**

González, Alba Liz.

Determinación del destino del Nitrógeno aplicado a un cultivo de sésamo mediante la técnica isotópica. / Alba Liz González. – San Lorenzo, Paraguay, FCA, UNA, 2012.

xi, 100 h. : il., tablas, figuras ; 29 cm.

Incluye bibliografías y anexos.

Tesis (Magíster) – Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Agrarias, Dirección de Post-Grado. Ciencia del Suelo y Ordenamiento Territorial. 2012.

1. Sésamo – Abonos y fertilizantes. 2. Trazadores. 3. Suelos – Asociación y absorción. 4. Fisiología vegetal. 5. Nitrificación. I. Título.

CDD: 633.8984

Universidad Nacional de Asunción  
Facultad de Ciencias Agrarias  
Maestría en Ciencia del Suelo y Ordenamiento Territorial

**DETERMINACIÓN DEL DESTINO DEL NITRÓGENO APLICADO A UN  
CULTIVO DE SÉSAMO MEDIANTE LA TÉCNICA ISOTÓPICA**

Esta tesis fue examinada y aprobada por la mesa examinadora como requisito para optar por el título de Magíster en Ciencia del Suelo y Ordenamiento Territorial, otorgado por la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción.

Autora: Ing. Agr. ALBA LIZ GONZÁLEZ.....

Orientador: Prof. Ing. Agr. (Ph.D.) Héctor Javier Causarano Medina.....

Miembros del Comité Asesor:

Prof. Ing. Agr. (Dr.) Carlos Andrés Leguizamón Rojas.....

Prof. Ing. Agr. (M.Sc.) María del Pilar Galeano Samaniego.....

Prof. Ing. Agr. (M.Sc.) Julio Renán Paniagua Alcaráz.....

San Lorenzo – Paraguay

Diciembre, 2012

“If we knew what it was we were doing, it would not be called research, would it?”

Albert Einstein

## AGRADECIMIENTOS

A Dios Todopoderoso por el don tan preciado de la vida, por mantenerme con salud, guiar mis pasos y darme la fortaleza necesaria para alcanzar mis sueños.

A mi querida madre, gracias por ser la luz de mis días, iluminándome en cada amanecer para dar un paso adelante; por ser mi apoyo incondicional.

A mi querido Carsten, por todo lo que hemos compartido, momentos llenos de sentimientos y pensamientos, sueños y anhelos, secretos, risas y lágrimas, y sobre todo, amistad. Estarás en mis pensamientos, en mi corazón y en mi vida por siempre.

Al Prof. Ing. Héctor Javier Causarano Medina, por su siempre brillante orientación, enseñanzas, ejemplos y amistad, y por sobre todo por el profesionalismo demostrado a lo largo de los años que llevamos trabajando juntos.

Al Prof. Dr. Takashi Muraoka, por su predisposición y apoyo para la interpretación de los datos y resultados obtenidos, y por su tan apreciado sentido del humor.

A mis compañeros de la Maestría en Ciencia del Suelo y Ordenamiento Territorial, en especial a Alcira Valdez, Felicita Leguizamón y Aníbal Fleitas, por todos los momentos compartidos en estos años de estudio.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por la concesión de la beca que me permitió finalizar con éxito mis estudios de maestría.

A la Organización Internacional de Energía Atómica, por la concesión del financiamiento para la conducción del experimento, por el fertilizante enriquecido y los análisis laboratoriales.

Al Prof. Ing. Lider Ayala y al Prof. Ing. Valeriano Espínola por permitirnos el uso del Campo experimental y por el apoyo logístico otorgado.

A todos los integrantes del Departamento de Suelos y a los que me han llenado de fe y de verdad, para terminar este nuevo reto, inspirada en todo lo que recibí de todos.

Con estas palabras y el corazón lleno de emoción mi eterno agradecimiento.

## CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABLAS.....	viii
RESUMEN.....	ix
RESUMO.....	x
SUMMARY.....	xi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 Dinámica del Nitrógeno en el sistema suelo-planta-atmosfera.....	3
2.1.1 Ciclo del Nitrógeno.....	5
2.2 Fertilización nitrogenada en la producción de cultivos.....	12
2.2.2 Destino del N aplicado como fertilizante.....	14
2.3 El cultivo del sésamo.....	15
2.3.1 Fertilización nitrogenada en el cultivo de sésamo.....	18
2.4 Prácticas de manejo de suelos.....	21
2.5 Técnicas isotópicas para el estudio del Nitrógeno.....	30
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	34
3.1 Localización del experimento.....	34
3.2 Diseño experimental y tratamientos.....	35
3.3 Implantación y manejo de las parcelas.....	35
3.3.1 Siembra del abono verde.....	36
3.3.2 Siembra del sésamo.....	36
3.3.3 Cuidados culturales.....	37
3.3.4 Fertilización.....	37
3.3.5 Cosecha.....	37
3.4 Evaluaciones y variables de medición.....	38
3.4.1 Tramo de carga y número de cápsulas por rama.....	38

3.4.2	Altura de la planta.....	38
3.4.3	Número de plantas cosechadas .....	39
3.4.4	Número de ramas fructíferas.....	39
3.4.5	Peso de mil semillas.....	39
3.4.6	Rendimiento de granos .....	39
3.4.7	Cuantificación del Nitrógeno.....	39
3.5	Análisis estadístico.....	42
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	43
4.1	Características agronómicas del sésamo .....	43
4.2	Cuantificación del Nitrógeno.....	48
4.2.1	Contenido de Nitrógeno en el grano de sésamo.....	48
4.2.2	Contenido de Nitrógeno en la materia seca de sésamo.....	49
4.2.3	Contenido de Nitrógeno en el suelo.....	49
4.3	Destino del Nitrógeno aplicado como fertilizante .....	50
4.4	Eficiencia en el uso de fertilizante nitrogenado.....	52
5.	CONCLUSIONES .....	56
6.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	57
7.	ANEXOS .....	69

## LISTA DE FIGURAS

	Página
1. Esquema representativo de la dinámica del Nitrógeno en un sistema de producción agrícola.....	4
2. Destino del Nitrógeno aplicado como fertilizante en parcelas experimentales con o sin laboreo. San Lorenzo, 2011.....	51
3. Efectos del abono verde y el laboreo en la Eficiencia Agronómica. Medias que comparten una misma letra no son estadísticamente diferentes ( $\alpha=0,05$ ). San Lorenzo, 2011.....	53
4. Efectos del abono verde y el laboreo en la Eficiencia de Recuperación. San Lorenzo, 2011. (s.r: sin respuesta).....	54
5. Efectos del abono verde y el laboreo en la Eficiencia en el Uso del Fertilizante. San Lorenzo, 2011.....	55

## LISTA DE TABLAS

	Página
1. Recuperación y pérdidas (%) de urea como fertilizante nitrogenado en sistemas agrícolas determinado por el balance de $^{15}\text{N}$ .....	15
2. Materia seca y nutrientes por órgano de plantas de sésamo.....	16
3. Isótopos del Nitrógeno estables y radioactivos.....	31
4. Tratamientos evaluados en el experimento donde se utilizó la técnica isotópica para determinar el destino del Nitrógeno aplicado a un cultivo de sésamo.....	35
5. Rendimiento del grano, materia seca de la parte aérea e índice de cosecha de sésamo en parcelas experimentales donde se evaluó el efecto del laboreo, abonos verdes y fertilización nitrogenada. San Lorenzo, 2011.....	44
6. Altura de plantas, peso de mil semillas, N° ramas planta <sup>-1</sup> , tramo de carga y N° cápsulas rama <sup>-1</sup> de plantas de sésamo en parcelas experimentales donde se evaluó el efecto del laboreo, abonos verdes y fertilización nitrogenada. San Lorenzo, 2011.....	45
7. Contenido total de Nitrógeno en granos de sésamo, y la contribución del fertilizante, del abono verde y del suelo, en parcelas experimentales con o sin laboreo. San Lorenzo, 2011.....	48
8. Contenido total de Nitrógeno en la materia seca de la parte aérea del sésamo, y la contribución del fertilizante, del abono verde y del suelo, en parcelas experimentales con o sin laboreo. San Lorenzo, 2011.....	49
9. Contenido total de Nitrógeno en el suelo, y la contribución del fertilizante, del abono verde y del suelo, en parcelas experimentales con o sin laboreo. San Lorenzo, 2011.....	50

# DETERMINACIÓN DEL DESTINO DEL NITRÓGENO APLICADO A UN CULTIVO DE SÉSAMO MEDIANTE LA TÉCNICA ISOTÓPICA

Autora: ALBA LIZ GONZÁLEZ

Orientador: Prof. Ing. Agr. (Ph.D.) HÉCTOR JAVIER CAUSARANO MEDINA

## RESUMEN

El sésamo es el principal rubro de renta para pequeños productores en Paraguay y su productividad ha disminuido debido a problemas de fertilidad de suelo, siendo la fertilización nitrogenada una alternativa para mejorar esta situación. El objetivo de este trabajo fue determinar el destino del Nitrógeno aplicado a un cultivo de sésamo mediante la técnica isotópica, utilizando urea marcada con  $^{15}\text{N}$ . Para el efecto, se condujo un experimento en el Campo Experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción, en San Lorenzo. El diseño experimental fue bloques completos al azar, con ocho tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos consistieron de tres factores (fertilizante nitrogenado, abono verde y laboreo) con dos niveles (con y sin) que fueron comparados por sus efectos en el contenido de Nitrógeno en el sistema suelo-planta. Fue utilizada una mezcla de avena + lupino como abono verde de invierno. El sésamo fue sembrado a continuación de los abonos verdes con semillas de la variedad Escoba. Microparcelas no confinadas (3,0 x 2,0 m) fueron fertilizadas con urea (5,0% átomos  $^{15}\text{N}$ ) a razón de 50 kg N ha<sup>-1</sup>. Muestras de suelo (0-15 cm), materia seca y granos fueron tomadas en las microparcelas y se analizaron en su contenido de N total y abundancia de  $^{15}\text{N}$ . Para determinar la proporción de N derivado del abono verde se utilizó un modelo de dilución isotópica de  $^{15}\text{N}$ . Bajo las condiciones de este experimento, la labranza, abono verde y N no influyeron significativamente en el rendimiento de sésamo. En promedio, se contabilizó en los granos, materia seca y suelo: 84, 104 y 938 kg N ha<sup>-1</sup>, respectivamente. El 20% del N aplicado fue absorbido por la planta, el 42% permaneció en el suelo, y 38% se perdió o no pudo ser contabilizado. Los abonos verdes juegan un papel importante en la dinámica del N en suelos degradados, su uso puede permitir disminución de la dosis de fertilizantes nitrogenados en sistemas de pequeñas fincas en Paraguay.

**Palabras clave:** sésamo, técnicas isotópicas,  $^{15}\text{N}$

# DETERMINAÇÃO DO DESTINO DO NITROGÊNIO APLICADO A UMA CULTURA DE GERGELIM POR A TÉCNICA DE ISÓTOPOS

Autora: ALBA LIZ GONZÁLEZ

Orientador: Prof. Ing. Agr. (Ph.D.) HÉCTOR JAVIER CAUSARANO MEDINA

## RESUMO

Gergelim é o principal item de renda para os pequenos agricultores do Paraguai e sua produtividade diminuiu devido à baixa fertilidade do solo, sendo adubação nitrogenada uma alternativa para melhorar esta situação. O objetivo deste estudo foi determinar o destino do nitrogênio aplicado a uma cultura de gergelim pela técnica dos isótopos marcados  $^{15}\text{N}$  com uréia. Para isso, foi conduzido um experimento no campo experimental da Facultad de Ciencias Agrarias, da Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com oito tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos consistiram de três fatores (adubação nitrogenada, adubação verde e plantio direto) com dois níveis (com e sem) foram comparadas por seus efeitos sobre o teor de nitrogênio no sistema solo-planta. Foi utilizada uma mistura de aveia + tremoço como adubo verde de inverno. O gergelim foi plantado seguindo sementes de adubos verdes da variedade Escoba. Microparcels não confinados (3,0 x 2,0 m) foram adubadas com uréia (5,0% em átomos de  $^{15}\text{N}$ ) a  $50 \text{ kg N ha}^{-1}$ . As amostras de solo (0-15 cm), matéria seca e os grãos foram colhidos e analisados microparcels em abundância teor de N total e  $^{15}\text{N}$ . Para determinar a proporção de N derivado de adubo verde foi utilizado um modelo de diluição isotópica de  $^{15}\text{N}$ . Sob as condições deste experimento, plantio direto, adubação verde e N não influenciaram significativamente a produção de gergelim. Em média foi registrada em grãos, matéria seca e solo: 84, 104 e  $938 \text{ kg N ha}^{-1}$ , respectivamente. 20% do N aplicado foi absorvido pela planta, 42% permaneceram no solo, e 38% foram perdidos ou não pôde ser quantificada. Adubos verdes desempenham um papel importante na dinâmica do N em degradada, seu uso pode permitir a redução da dose de fertilizante nitrogenado em sistemas de pequenas propriedades no Paraguai

**Palavras-chave:** gergelim, técnicas de isótopos,  $^{15}\text{N}$

# DETERMINING THE FATE OF NITROGEN APPLIED TO A CROP OF SESAME THROUGH AN ISOTOPE TECHNIQUE

Author: ALBA LIZ GONZÁLEZ

Adviser: Prof. Ing. Agr.(Ph.D.) HÉCTOR JAVIER. CAUSARANO MEDINA

## SUMMARY

Sesame is the main cash crop for small farmers in Paraguay and its productivity has declined due to soil fertility problems, nitrogen fertilization being an alternative to improve this situation. The aim of this study was to determine the fate of nitrogen applied to a crop of sesame by an isotope technique using  $^{15}\text{N}$  labeled urea. An experiment was conducted in the experimental field of the Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asuncion, in San Lorenzo. The experimental design was a randomized complete block with eight treatments and four replications. Treatments consisted of three factors (nitrogen fertilizer, green manure and tillage) with two levels (with and without) that were compared for their effects on the nitrogen content in the soil-plant system. It was used a mixture of oats + lupine as green manure in winter. The sesame was planted following green manure with seeds of the Escoba variety. Unconfined microplots (3.0 x 2.0 m) were fertilized with urea (5.0 atom%  $^{15}\text{N}$ ) at 50 kg N ha<sup>-1</sup>. Soil samples (0-15 cm), dry matter and grain were taken in the microplots and analyzed for their total N content and  $^{15}\text{N}$  abundance. A model based on  $^{15}\text{N}$  isotope dilution was used to determine the proportion of N derived from green manure. Under the conditions of this experiment, tillage, green manure and N did not significantly influenced sesame yields. On average, it was recorded 84, 104 and 938 kg N ha<sup>-1</sup> in grains, dry matter and soil, respectively. Of the total N applied, 20% was absorbed by the plant, 42% remained in the soil, and 38% was lost or unaccounted. The use of green manure plays an important role in N dynamics of degraded soils; therefore, it has the potential to reduce nitrogen fertilizer doses in small farm systems of Paraguay.

**Keywords:** Sesame, isotope technique,  $^{15}\text{N}$

## 1. INTRODUCCIÓN

Existen aproximadamente 268.000 pequeñas fincas (<20 ha) en Paraguay, que ocupan 1,7 millones de hectáreas, representan el 14% de la superficie agrícola del país y generan el 35% del valor total de la producción agrícola. El nivel tecnológico de estas fincas es bajo. Se emplean preferentemente herramientas manuales y equipos a tracción animal, con casi nulo uso de fertilizantes, de cultivares mejorados o de pesticidas modernos. Los principales cultivos son el maíz, algodón, mandioca, poroto y sésamo, que crecen durante el ciclo estival, permaneciendo el suelo en barbecho durante el invierno.

El sésamo constituye el principal rubro de renta en las pequeñas fincas, con aproximadamente 110.000 hectáreas sembradas. La productividad ha disminuido en los últimos años, alcanzando rendimientos promedios de  $700 \text{ kg ha}^{-1}$ , debido principalmente a problemas de fertilidad del suelo, como consecuencia de la degradación de su estructura, laboreos excesivos, altas tasas de erosión y la falta de reposición de nutrientes exportados.

Se estima que el 2% de la superficie ocupada por pequeñas fincas emplean buenas prácticas de manejo de suelo, que incluye la siembra directa con rotación de cultivos y empleo de abonos verdes, pero el empleo de fertilizantes químicos sigue siendo muy limitado, debido principalmente a las dificultades económicas de los agricultores y al relativo alto costo de los mismos.

La fertilización nitrogenada puede ayudar a mejorar los rendimientos, pero la dinámica del Nitrógeno en el sistema suelo-planta es un tema complejo y el costo de

la fertilización es alto. Por ello, se requieren métodos que evalúen la eficiencia del uso de Nitrógeno y su potencial de incrementar la producción en estos sistemas. El uso de técnicas isotópicas con elementos modificados en su composición nuclear, como es el caso del  $^{15}\text{N}$ , es apropiado para este tipo de estudio ya que permite conocer el destino del Nitrógeno aplicado como fertilizante y determinar la eficiencia de su uso.

La hipótesis planteada en esta investigación es que la aplicación de fertilizante nitrogenado puede mejorar la productividad del sésamo pero su eficiencia es baja y afectada por el laboreo y el uso de abonos verdes.

El objetivo principal de este trabajo fue determinar el destino del Nitrógeno aplicado a un cultivo de sésamo mediante una técnica isotópica, utilizando urea marcada con  $^{15}\text{N}$ , de manera a generar información que contribuya a un uso eficiente de fertilizantes nitrogenados, reducir costos de producción e impactos ambientales negativos.

## **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1 Dinámica del Nitrógeno en el sistema suelo-planta-atmosfera**

El Nitrógeno (N), es un elemento esencial para la vida de todos los seres vivos, en especial para las plantas que lo necesitan en altas cantidades y su crecimiento, desarrollo y producción dependen del mismo. Es el nutriente que más despierta el interés de la comunidad científica de las ciencias agrícolas, debido a la complejidad de las formas en el medio ambiente y su importancia para la productividad de los cultivos agrícolas (Addiscott 2004).

Siendo un elemento químico altamente dinámico, está presente en todos los estratos de la tierra, en la litósfera, contenido en las rocas, en el fondo de los océanos y los sedimentos. En forma gaseosa, la atmósfera está compuesta de 78% de N<sub>2</sub>, que corresponde a la fuente primaria de Nitrógeno para el suelo, pero que no puede ser utilizado directamente por las plantas superiores ya que no son capaces de metabolizarlo, además forma parte de numerosas biomoléculas y participa de numerosos procesos bioquímicos (Havlin et al. 2005). Del total de Nitrógeno orgánico terrestre, el 96% está en la materia orgánica muerta y sólo el 4% en los organismos vivientes (Moreira y Siqueira 2002).

Entre los elementos esenciales de las plantas, el Nitrógeno es el que sufre mayor número de transformaciones biogeoquímicas en el sistema suelo-planta (Stevenson 1982), siendo todas las transformaciones en el suelo mediadas por microorganismos (Victoria et al. 1992). Algunas transformaciones del N ocurren en un corto espacio de tiempo, como por ejemplo la nitrificación, y en años como la

mineralización del N en fracciones recalcitrantes de la materia orgánica del suelo (Smith et al. 1994).

En los sistemas de producción agrícolas, los principales ingresos de Nitrógeno son a través de la fertilización (orgánica, inorgánica y órgano-mineral), fijación biológica del Nitrógeno (en nódulos de leguminosas o por bacterias fijadoras libres), y los aportes atmosféricos, principalmente en áreas con desarrollo industrial cercano a los campos. La fijación biológica es responsable de la mayor proporción de Nitrógeno incorporado anualmente al suelo (Navarro y Navarro 2003). Mientras que las pérdidas se dan por extracción de cultivos, lixiviación, volatilización y desnitrificación, como se muestra en la Figura 1.

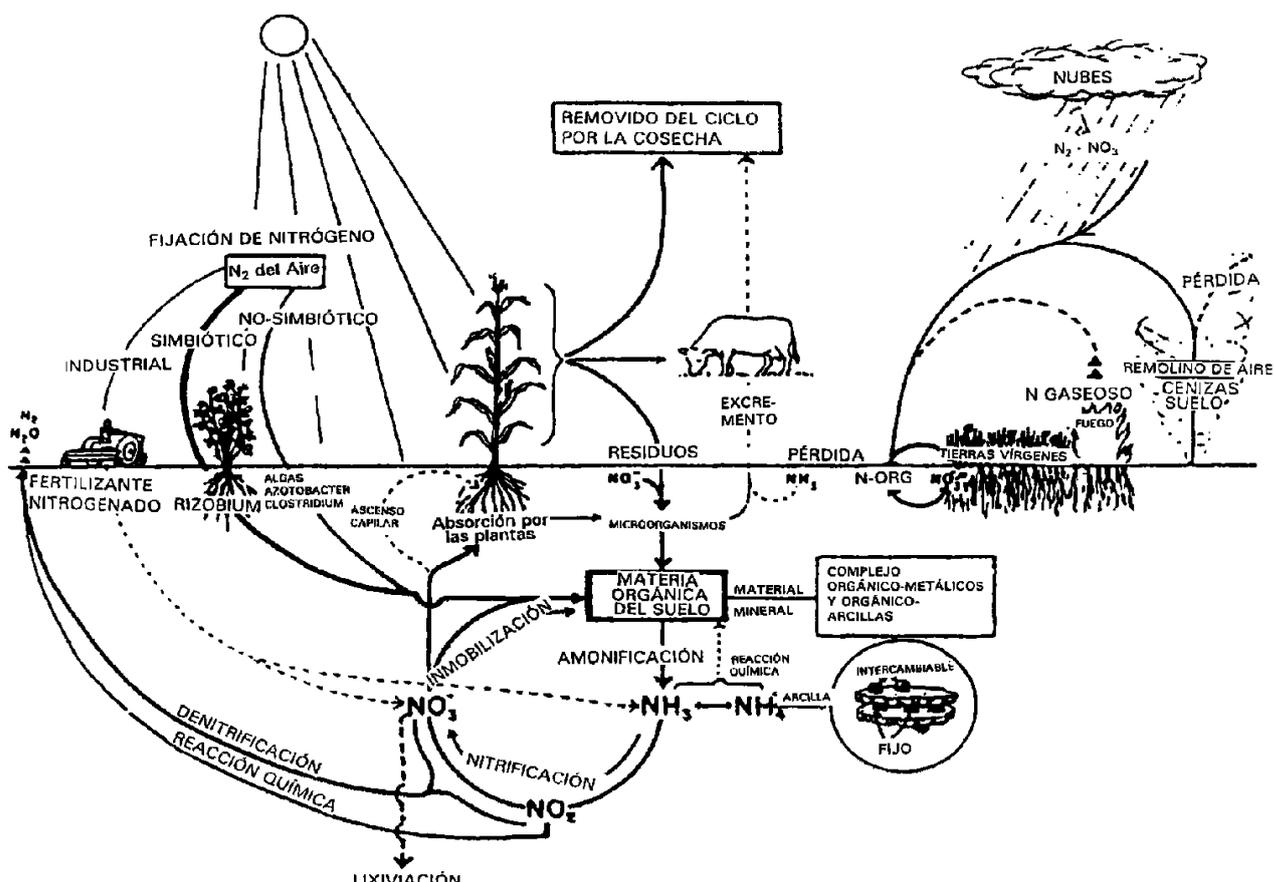


Figura 1 Esquema representativo de la dinámica del Nitrógeno en un sistema de producción agrícola (Stevenson 1965).

### **2.1.1 Ciclo del Nitrógeno**

La característica principal del ciclo del Nitrógeno, que ocurre en los agroecosistemas, es la interacción entre las actividades de los organismos autótrofos y heterótrofos. A través de la fotosíntesis, las plantas (autótrofos) convierten la energía solar en biomasa, y cuando son incorporados al suelo, los residuos de cultivos son utilizados como fuente de carbono y energía para los microorganismos heterótrofos, ocurriendo la transformación de Nitrógeno orgánico a formas inorgánicas que son absorbidas por las plantas, nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y amonio ( $\text{NH}_4^+$ ). Tanto el Nitrógeno como los otros elementos esenciales se utilizan repetidamente para la circulación continua entre las fases autótrofas y heterótrofas en el agroecosistema (Camargo et al. 1999).

#### **2.1.1.1 Mineralización e inmovilización de Nitrógeno**

La mineralización e inmovilización son procesos de transformación del Nitrógeno del suelo, de naturaleza bioquímica, ambas realizadas por la actividad enzimática de microorganismos heterótrofos (Camargo et al. 1999).

La mineralización, es la transformación del N orgánico a la forma mineral ( $\text{NH}_4^+$ ) mediante dos reacciones: aminización, que es la descomposición hidrolítica de proteínas y liberación de aminas y aminoácidos; y la amonificación, que es el proceso de retorno del Nitrógeno incorporado a la forma de amonio. El proceso es realizado por organismos heterótrofos del suelo que utilizan sustancias orgánicas nitrogenadas como fuente de C, N y energía (Havli et al. 2005).

De acuerdo con Barber (1995), aproximadamente 2% del Nitrógeno en el suelo es mineralizado cada año. Asumiendo una camada de suelo de 20 cm de profundidad y densidad de  $1,3 \text{ g cm}^{-3}$ ; representa de 10 a  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  de Nitrógeno anual liberado del suelo.

La mineralización, en los agroecosistemas es regulada por las condiciones edafoclimáticas, donde la temperatura, la humedad, la relación C/N de los residuos vegetales, la textura del suelo, el pH y el tipo de arcilla son los principales controladores de la misma (Victoria et al. 1992).

La fase llevada a cabo por la mineralización heterotrófica es un fenómeno biológico multiplicativo, traducido por el crecimiento, cambios y renovaciones que resultan en la formación de la materia orgánica y la biomasa microbiana. Por lo tanto, en cualquier actividad de mineralización existe un componente de inmovilización, representado por la asimilación de nutrientes responsables de la multiplicación, crecimiento y mantenimiento de la microbiota (Franzluebbers et al. 1994).

Por otro lado, la inmovilización es la transformación del Nitrógeno inorgánico ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ) proveniente de fertilizantes minerales u orgánicos a formas orgánicas microbianas (Camargo et al. 1999). Los microorganismos asimilan compuestos inorgánicos nitrogenados, incorporándolos en los aminoácidos que irán a participar en la síntesis de proteínas de sus células durante la formación de la biomasa en el suelo y con la disminución gradual de los residuos de carbono, comienza el proceso de la depredación y muerte de los microorganismos debido a la falta de suministro de energía. En esta etapa, el Nitrógeno acumulado en la biomasa microbiana comienza a ser reciclado, quedando disponible de nuevo para plantas (Bartz 1998; Camargo et al. 1999). Básicamente, la inmovilización es un proceso inverso a la mineralización. Entretanto, este proceso además de ser promovido por microorganismos quimiorganotróficos, es realizado también por las plantas a través de la asimilación e incorporación en sus tejidos (Barber 1995).

A pesar de la reducción drástica del tenor de Nitrógeno mineral en el suelo en presencia de residuos de alta relación C/N (>30/1), la inmovilización no representa una pérdida irreversible de Nitrógeno para el cultivo subsecuente, en virtud de que la población microbiana no crece indefinidamente, comenzando a ocurrir una

progresiva liberación de Nitrógeno a partir del punto en que el carbono fácilmente oxidable empieza a desaparecer (Victoria et al. 1992).

La mayoría de los investigadores considera la relación C/N de 25/1 como un punto de equilibrio, donde inferior a esta comienza a ocurrir la liberación de Nitrógeno para el suelo. Resaltándose que esos procesos ocurren en el suelo simultáneamente pudiendo ocurrir reinmovilización y remineralización de la misma fracción de Nitrógeno (Victoria et al. 1992).

La mineralización y la inmovilización están incluidas en el subciclo heterotrófico, estando ambos conectados a la producción heterótrofa de biomasa. Los dos procesos funcionan en direcciones opuestas, rompiendo o formando enlaces entre compuestos orgánicos. La velocidad en la cual el Nitrógeno orgánico se convierte en amonio y nitrato se expresa como la tasa de mineralización, representada por la cantidad de Nitrógeno inorgánico liberado por la acción microbiana en un momento dado. El efecto resultante de los procesos de inmovilización y mineralización determinan la provisión de Nitrógeno para los otros dos subciclos, condicionando la producción de cultivos en suelos donde no se ha añadido ningún fertilizante (Camargo et al. 1999).

#### **2.1.1.2 Nitrógeno en el Suelo**

Los suelos, en su mayoría, no proporcionan la cantidad adecuada de Nitrógeno durante ciertas etapas del desarrollo de la planta, en parte debido a la alta demanda y además a las transformaciones bioquímicas a las que el Nitrógeno del suelo está sujeto y pueden alterar significativamente su disponibilidad (Wiethölter, 1996).

Según Barber (1995), el Nitrógeno en el suelo se encuentra en cinco formas: en la materia orgánica, mineral en el suelo y los sitios de intercambio, en los residuos de las plantas que llegan al suelo, amonio fijado en minerales arcillosos y en la atmósfera del suelo.

Más del 95% del Nitrógeno del suelo está complejado en forma orgánica, sólo una pequeña porción es mineralizada por los microorganismos del suelo durante el ciclo de un cultivo dado, que puede ser estar directamente disponible para las plantas (Keeney 1982). Según Ceretta (1998), la cantidad de Nitrógeno mineralizado en el suelo depende de la naturaleza química de la materia orgánica, pero fundamentalmente a su protección física debido a la interacción con las partículas minerales coloidales y la intensidad de la perturbación del suelo.

El aumento en las cantidades totales de Nitrógeno en el suelo puede ocurrir a través de la fijación biológica atmosférica, por las lluvias o por la fertilización orgánica y mineral. Por otro lado, pueden ocurrir pérdidas debido a la exportación de cultivos, lixiviación, la erosión y la volatilización (Schulten y Schnitzer 1998).

De acuerdo con un estudio realizado por Paul y Clark (1996), la principal fuente de adición de Nitrógeno en el sistema suelo-planta es a través de la fijación de  $N_2$  por microorganismos, que comprende el 56% del total de adiciones, contribuyendo con más del doble de lo que se aplica a través de los fertilizantes minerales (26%). En el mismo estudio, los autores estimaron que las pérdidas por desnitrificación y lixiviación son los principales procesos de pérdidas de Nitrógeno en el suelo y contribuyen en conjunto a un 72% de esta. Los autores también estimaron valores para los principales flujos de Nitrógeno, que abarca los procesos más importantes de adición y pérdida de Nitrógeno en el suelo: adición-fijación biológica de Nitrógeno de 50 a 500  $kg\ ha^{-1}\ año^{-1}$ , mineralización 2–5% del Nitrógeno orgánico, reposición por las lluvias 5–20  $kg\ ha^{-1}\ año^{-1}$ , la erosión del suelo 40 a 150  $kg\ ha^{-1}\ año^{-1}$ , la extracción de los cultivos de 10 a 300  $kg\ ha^{-1}\ año^{-1}$ , volatilización / desnitrificación de 10 a 80% del Nitrógeno aplicado y la inmovilización 25 a 30% del Nitrógeno aplicado a través de la fertilización.

La nitrificación constituye la oxidación del Nitrógeno amoniacal (forma más reducida del Nitrógeno en el suelo) a nitrito y después a nitrato (forma más oxidada de Nitrógeno en el suelo). Este proceso es mediado predominantemente, por microorganismos quimiolitotróficos especializados, donde las bacterias del genero

*Nitrosomonas* transforman  $\text{NH}_4^+$  a  $\text{NO}_2^-$ , y las del genero *Nitrobacter* transforman  $\text{NO}_2^-$  a  $\text{NO}_3^-$ . El proceso es acidificante para el medio en virtud de la liberación de  $\text{H}^+$  durante las reacciones (Victoria et al. 1992).

La lixiviación del Nitrógeno ocurre en orden decreciente como sigue:  $\text{NO}_3^- > \text{NH}_4^+ > \text{N-orgánico}$ . La mayor lixiviación en forma de nitrato ocurre por su carga negativa que es repelida por los coloides del suelo donde predominan la misma carga (Gonçalves et al. 2000).

La mayor lixiviación de Nitrógeno en Sistemas de Siembra Directa comparada con la siembra convencional, es atribuida a la mayor infiltración de agua al suelo condicionada por la continuidad de poros y por la rugosidad de la superficie del suelo propiciada por la presencia de rastros en el suelo (Amado et al. 2002).

Según Schlegel et al. (1996), cuando se combina una cantidad apropiada de nutriente, como por ejemplo el fosforo, tasas suficientemente altas de Nitrógeno pueden ser aplicadas con seguridad para estimular el crecimiento de la planta, lo que protege al suelo de la erosión y aumenta la absorción y el uso eficiente de los nutrientes, al mismo tiempo en que permite al productor mayores rendimientos y rentabilidad. En el caso de pérdidas de Nitrógeno en forma de nitrato, el agravante es su efecto dañino a la salud humana, animal y para el medio ambiente (Tundisi 2003).

La volatilización se caracteriza por ser una forma de perdida gaseosa de nitrógeno como  $\text{NH}_3$ , condicionada por diversos factores como temperatura del suelo, vientos, humedad del suelo, humedad relativa del aire, residuos vegetales, tenor de materia orgánica del suelo, textura del suelo y la presencia de la enzima ureasa (Lara Cabezas et al. 1997).

La pérdida de Nitrógeno por volatilización en sistemas de siembra directa es favorecida, principalmente cuando se utiliza urea sobre residuos vegetales sin su

incorporación, pero una incorporación de 5 a 7 cm reduce drásticamente las pérdidas (Lara Cabezas et al. 1997).

La desnitrificación también es una forma de pérdida gaseosa de Nitrógeno como  $N_2$ ,  $N_2O$  y  $NO_x$ , promovida principalmente, por bacterias anaeróbicas facultativas (*Pseudomonas*, *Bacillus*, *Thiobacillus denitrificans* y otras), que en ausencia de oxígeno y presencia de materia orgánica energética, utilizan el nitrato como receptor final de electrones. Este es el único proceso microbiológico que resulta en pérdida real de nitrógeno del suelo (Victoria et al. 1992).

En el Sistema de Siembra Directa, se ha especulado que la mayor pérdida de Nitrógeno por desnitrificación ocurre debido al surgimiento de micrositios anaeróbicos, en virtud de la mayor retención de humedad, mayor densificación del suelo por causa de la re acomodación natural de las partículas o por la compactación proporcionada por el paso de maquinarias con humedad de suelo no adecuada (Doran 1987).

Las pérdidas por erosión involucran a todas las formas de Nitrógeno en el suelo y son dependientes de la topografía de la región, erodabilidad del suelo (textura y estructura), régimen pluviométrico, naturaleza de la vegetación y la adopción de prácticas conservacionistas. La remoción por los productos agrícolas de origen vegetal o animal, necesariamente no constituye una pérdida de nitrógeno, porque el elemento es parte integrante del producto e indispensable para su obtención. A pesar de esto, desde el punto de vista del retiro del suelo si puede ser considerada una pérdida. En el proceso de erosión por escurrimiento superficial, la principal forma arrastrada es la materia orgánica y/o residuos en fase de descomposición, debido a su menor densidad y localización principalmente en la superficie del suelo (Victoria et al. 1992).

### 2.1.1.3 Nitrógeno en la planta

El Nitrógeno ocupa un lugar destacado entre los elementos esenciales para el crecimiento vegetal. A pesar de estar en la capa arable del suelo, en algunos casos, en cantidades relativamente grandes (más de 7.000 kg ha<sup>-1</sup>), la baja disponibilidad, junto con la gran necesidad de la vegetación, lo convierte en uno de los nutrientes más limitantes para la productividad de la mayoría de los cultivos (Camargo 1996).

Entre los nutrientes, el Nitrógeno generalmente tiene el mayor efecto sobre el crecimiento de plantas, siendo que su disponibilidad estimula el desarrollo y la actividad de la raíz, incrementando la absorción no solamente del Nitrógeno, sino también de otros nutrientes (Yanai 1996). Actúa en la planta como un constituyente de moléculas de proteína, enzimas, coenzimas, ácidos nucleicos y citocromos, así como tener un papel importante en la molécula de clorofila (Bull 1993).

Para convivir con grandes variaciones de disponibilidad de Nitrógeno, las plantas han desarrollado un sofisticado sistema de absorción. Según Purcino et al. (1994), la entrada de Nitrógeno hacia el interior de las células ocurre en contra de un gradiente de concentración, es decir, la concentración de Nitrógeno dentro de la célula es mayor que la concentración en el suelo. En situaciones como ésta, se dice que la absorción es activa, ya que la planta necesita energía para realizar este proceso. Esta energía deriva del proceso respiratorio, que a su vez consume parte de los fotoasimilados acumulados durante la fotosíntesis. Por lo tanto, para ser metabólicamente eficiente, una determinada planta debe ser eficiente en la partición de los recursos energéticos (fotoasimilados) entre las actividades metabólicas que compiten por estos recursos.

Las plantas absorben el Nitrógeno como ion  $\text{NO}_3^-$  o  $\text{NH}_4^+$ , o en regiones muy frías, también en forma orgánica. En los sistemas cultivados, el Nitrógeno es absorbido principalmente como nitrato, y en los sistemas naturales predomina la absorción de amonio (Navarro y Navarro 2003).

## 2.2 Fertilización nitrogenada en la producción de cultivos

En la mayoría de los ecosistemas, el Nitrógeno se mueve del suelo a la planta y de la planta (residuos) de nuevo al suelo, a través de la biomasa microbiana, pasando por numerosas transformaciones. En los ecosistemas naturales, este ciclo es más o menos cerrado, es decir, aportes de Nitrógeno están en equilibrio con las pérdidas de Nitrógeno. En los ecosistemas agrícolas, sin embargo, este ciclo se ve perturbado por la exportación de importantes cantidades de N con la producción de cultivos (cosechas). Por lo tanto, el uso de fertilizantes nitrogenados ha sido esencial para mantener y/o aumentar la productividad del suelo. En los últimos 50 años, el aumento del uso de los fertilizantes nitrogenados y un mejor manejo del Nitrógeno fueron los principales contribuyentes a grandes aumentos de la producción de alimentos a nivel mundial (Smil 2001).

La mayoría de los suelos son deficientes en N en relación con la demanda del cultivo, por lo menos en alguna etapa del desarrollo de la planta, debido a las transformaciones químicas y biológicas a las que el Nitrógeno está sujeto en el suelo y puede alterar significativamente la cantidad del elemento disponible para las plantas (Wiethölter 1996).

Los nutrientes del suelo se agotan y los rendimientos decrecientes son inevitables si se cultiva y cosecha sin reposición de nutrientes. La producción agrícola no se puede sostener sin el uso de fertilizantes industriales, la incorporación de cultivos fijadores de N y fuentes orgánicas de N. La importancia relativa de estas fuentes difiere mucho según la región en cuestión. Según Meirelles et al. (1980) la importancia del Nitrógeno se destaca principalmente en suelos de clima tropical, donde existe gran movilidad de N e intensa mineralización de la materia orgánica, además de los costos de los fertilizantes nitrogenados. Siendo de esta manera fundamental el uso eficiente de fertilizantes nitrogenados, para lo cual es necesario el conocimiento de los procesos e interacciones que ocurren en el sistema suelo-planta-atmosfera en la búsqueda de su máximo aprovechamiento por la planta.

La cantidad de Nitrógeno liberado durante el año es contrarrestado por la inmovilización de N a partir de otras fuentes en la materia orgánica del suelo recién formada. Por lo tanto, una liberación neta anual sólo se produce cuando el contenido de materia orgánica decrece, condición que debe evitarse, ya que esto conduce generalmente a una reducción de la capacidad de producción del suelo a través del tiempo (Stevenson 1986).

Los fertilizantes son utilizados esencialmente para impulsar la producción de alimentos en el mundo y considerando que los fertilizantes nitrogenados son importados, se hace aún más necesario maximizar la eficiencia de su uso. Existen varias posibilidades en la elección de la fuente de N a ser utilizada. En general, para la elección del fertilizante nitrogenado, el productor considera el costo, la disponibilidad en el mercado y la eficiencia de la fuente aplicada (Tavares y Dalto 2004).

Las principales fuentes nitrogenadas son: urea, nitrato de amonio y sulfato de amonio. Sin embargo, la más utilizada en el mundo es la urea [ $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ], ya que es más concentrada (46% N) y tiene un costo más bajo por unidad de nutriente, lo que también disminuye el costo de transporte. Entre sus ventajas, además de la elevada concentración de N, se puede mencionar facilidad de transporte, almacenamiento y aplicación; alta solubilidad, baja corrosividad y facilidad de mezcla con otras fuentes. Sin embargo, presenta alta higroscopicidad y para ser utilizado por las plantas, la urea sufre transformaciones (hidrólisis), y en este caso, el Nitrógeno puede perderse debido a la volatilización en forma de  $\text{NH}_3$ , especialmente cuando se aplica a la superficie del suelo, es decir es una fuente con mayor potencial de pérdida de N por volatilización (Melgar et al. 1999).

Existe un concepto generalizado entre técnicos y productores, que al aumentar el número de fraccionamiento de la fertilización nitrogenada se incrementa la eficiencia y se reducen las pérdidas de Nitrógeno, especialmente por lixiviación (Coelho 2007).

Después de varias investigaciones, y de acuerdo con la información disponible, Coelho et al. (1991) señalan que, en general, es necesario utilizar un mayor número de fragmentación en las condiciones: a) altas dosis de Nitrógeno (120 a 200 kg ha<sup>-1</sup>), b) suelos arenosos, c) áreas sometidas a lluvias de alta intensidad. Una sola aplicación puede realizarse bajo las siguientes condiciones: a) dosis baja o media de Nitrógeno (60 a 120 kg ha<sup>-1</sup>), b), con suelos de textura media y/o arcillosa, c) cultivos intensivos, sin el uso de riego, en donde la distribución de fertilizantes se realiza mecánicamente.

### **2.2.2 Destino del N aplicado como fertilizante**

El Nitrógeno aplicado como fertilizante puede tener varios destinos, una parte es absorbida por las plantas, otra permanece en el suelo formando parte de la materia orgánica y otra se pierde por lixiviación, volatilización o desnitrificación. De acuerdo con Hauck (1984), la estimación de partición de Nitrógeno adicionado entre la planta, suelo, agua y aire puede ser de la siguiente manera: 50% del Nitrógeno aplicado como fertilizante puede ser absorbido por las plantas, este valor puede disminuir hasta 25% en suelos con mal drenaje, o alcanzar el 80% en pasturas con gramíneas creciendo en suelos con baja disponibilidad de Nitrógeno.

Al evaluar el uso de fertilizantes nitrogenados en cultivos como arroz, caña de azúcar, maíz, soja, trigo, cítricos y pasturas, se observó que, en la mayoría de los estudios, independientemente del cultivo, la recuperación fue del 50% o menos, permaneciendo en el suelo, para efecto residual, 30% o menos del Nitrógeno utilizado como fertilizante (Stipp y Prochnow 2008).

A manera de comparación, en la Tabla 1 se presentan resultados de investigaciones con varios cultivos y en diferentes localidades, donde se utilizó urea como fertilizante nitrogenado.

Tabla 1. Recuperación y pérdidas de urea como fertilizante nitrogenado en sistemas agrícolas, determinado por el balance de  $^{15}\text{N}$ .

Cultivo	País	Consumo	Recuperación	Pérdidas	Referencia
		Planta (%)	planta y suelo (%)	(%)	
Algodón	Australia	29	57	43	Freney 1993
Arroz	Australia	17	54	46	Simpson 1984
Cebada	Canadá	13-54	64-91	9-36	Malhi y Nyborg 1991
Maíz	Indonesia	32-36	42-50	50-58	Sisworo 1990
Pastura	Australia	38-55	55-80	20-45	Catchpoole 1983
Sorgo	India	30-55	72-94	6-28	Moraghan 1994
Trigo	EUA	34-49	70-72	28-30	Recous 1988

### 2.3 El cultivo del sésamo

El sésamo es considerado como uno de los más importantes cultivos entre las oleaginosas en el mundo, debido a que sus semillas tienen alto contenido de aceite y proteína. La planta de sésamo presenta una gran heterogeneidad en sus características morfológicas: su ciclo varía de 70 a 120 días, desde la siembra hasta la cosecha, conforme al cultivar escogido y el fotoperiodo de la región (De Oliveira 2007); sus hojas son alternadas u opuestas, siendo las de partes inferiores de la planta adulta más largas, irregularmente dentadas o lobuladas, mientras que de la parte superior son lanceoladas; sus flores son completas y axilares, variando de 1 a 3 por axila foliar; su fruto es una cápsula alargada, pilosa, dehiscente o indehiscente de 2 a 8 cm de largo, dependiendo de la variedad; las semillas son pequeñas, de color variado (del blanco al negro) dependiendo del cultivar y el ambiente (EMBRAPA 2006).

La variedad más sembrada en el Paraguay es la Escoba, de porte alto (1,5 a 2m de altura), ciclo largo (130 días desde la siembra hasta la cosecha), de tallo ramificado, hojas inferiores polilobuladas, con flores de color blanco y semillas de color claro, blanco-crema (Duarte 2008).

El sésamo se caracteriza por presentar un nivel razonable de resistencia a las condiciones de baja humedad y fertilidad del suelo. A pesar de adaptarse bien a los diferentes tipos de suelo, la planta se desarrolla mejor en suelos con profundidad media encima de 60 cm, con buen drenaje y con buena capacidad de aireación, moderada fertilidad, desde franco-arenosos hasta franco-arcillosos. Es una planta extremadamente sensible a la salinidad. (Milhomemy Castro 2008; EMBRAPA 2007).

El sésamo extrae del suelo cantidades elevadas de Nitrógeno, Fosforo y Potasio, que varían conforme a la producción, el estado nutricional, la variedad utilizada y parte de la planta cosechada. En la Tabla 2 se presenta el total de materia seca en kg ha<sup>-1</sup> y la cantidad de nutrientes por órganos de las plantas de sésamo obtenidos en la cosecha (EMBRAPA 2007).

Tabla 2. Materia seca y nutrientes por órgano de plantas de sésamo.

<b>Parte de la planta</b>	<b>Materia seca</b>	<b>Nitrógeno</b>	<b>Fosforo</b>	<b>Potasio</b>
	-----kg ha <sup>-1</sup> -----			
Raíces	779	2,84	0,95	4,33
Ramas	2.846	10,24	7,94	42,98
Hojas	2.058	34,98	12,30	16,74
Frutos	4.429	71,74	10,63	72,42
<b>Total</b>	<b>10.112</b>	<b>119,8</b>	<b>31,82</b>	<b>136,47</b>

Fuente: Bascones y Ritas (1961)

Según el MAG (2005), la preparación del suelo se puede realizar utilizando dos sistemas de labranza. La preparación convencional que consiste en realizar una arada profunda, aproximadamente un mes antes de la siembra, incorporando al suelo los restos vegetales; y la preparación conservacionista o laboreo mínimo donde se realizan carpidas de la vegetación existe, limpieza en franjas de 20 cm de ancho para las hileras del cultivo, abriendo pequeños surcos con azada, escardillo, ganchos de madera u otras herramientas disponibles, de 2 a 3 cm de profundidad, donde serán depositadas las semillas. La época de siembra recomendada para el Paraguay se extiende de octubre a diciembre siendo la mejor época la segunda quincena de octubre y la primera de noviembre.

La siembra de sésamo puede ser manual, a tracción animal o motorizada, dependiendo del tamaño del área de cultivo, del nivel tecnológico y de las condiciones económicas del productor (Ribeiro et al. 2007).

Los espaciamientos más comúnmente utilizados en el cultivo del sésamo van desde 0,7 m hasta 1,5 m entre líneas, para las variedades ramificadas (Milhomem y Castro 2008) y de 60 a 70 cm para la variedad de tallo único, dependiendo de la fertilidad del suelo (Ayala 2000).

El raleo se realiza cuando el cultivo tiene de 15 a 20 días de emergido y 5 a 10 cm de altura, para asegurar una adecuada población de plantas. Si se realiza después de los 30 días puede ocasionar significativa reducción del rendimiento, siendo ideal dejar 10 a 15 plantas por metro lineal (Queiroga et al. 2009).

El sésamo tiene un crecimiento inicial lento, y por tanto, se recomienda que el cultivo sea mantenido libre de malezas en los primeros 45 días después de la emergencia de las plántulas, pues es el período crítico del cultivo con las invasoras, debiendo realizarse 2 a 3 carpidas durante todo su ciclo, manual o mecanizado o la aplicación de herbicidas (Milani et al. 2005).

El sésamo puede consorciarse con varios cultivos (algodón, tártago, maíz, sorgo, soja, habilla), dependiendo de la región, de las condiciones climáticas, de la configuración y población de plantas (EMBRAPA 2006).

La cosecha es una de las etapas más importantes para el rendimiento final del sistema productivo del sésamo, ya que pérdidas de 50% o más pueden ocurrir. Una manera de determinar la época más oportuna de corte de las plantas de sésamo es mediante la observación del amarillamiento de los frutos, tallos y hojas durante la maduración. Generalmente, la época de corte de las plantas es determinada por el productor cuando maduran los frutos de la base del tallo, mismo que los frutos de los ápices del tallo estén inmaduros, si el productor anticipa la cosecha aumenta la producción de semillas inmaduras con menor tenor de aceite, influyendo en el

rendimiento. Cuando las cápsulas de la base se abren, en variedades dehiscentes, y cuando el cultivo está desfoliado, es indicativo del momento exacto para iniciar la cosecha (Queiroga et al. 2009).

Los tallos del sésamo se cortan con machetillos y se amontonan en el campo en sentido vertical, con los ápices para arriba. Luego de un período de secado de 15 a 20 días se realiza la trilla sobre lonas plásticas, las plantas son viradas y sacudidas para que caigan todas las semillas. Posteriormente las semillas se limpian y son embolsadas y almacenadas en un lugar seco y ventilado (EMBRAPA 2006).

### **2.3.1 Fertilización nitrogenada en el cultivo de sésamo**

El sésamo es una oleaginosa, en la cual la práctica de fertilización es uno de los temas más discutidos, presentando resultados positivos para determinados locales y variedades, y negativos en otras situaciones demostrando la complejidad y la gran dificultad de entender las relaciones suelo, planta y atmósfera en el cultivo de esta pedaliaceae (Silva, 2005).

Malavolta et al. (1997), indican que cantidades adecuadas de Nitrógeno son necesarios para obtener un crecimiento satisfactorio, pero el problema radica en estimar qué cantidad aplicar. Entre tanto, la fertilización cuando es empleada en cantidades excesivas, activa el crecimiento vegetativo, lo que es desfavorable para la producción de semillas y en su tenor de aceite (Franco 1970).

Varios investigadores han reportado los efectos positivos de la aplicación de fertilizantes nitrogenados sobre el crecimiento, los componentes de rendimiento, el rendimiento de semillas y calidad de plantas de sésamo (Noorka et al. 2011).

Mazzani (1983) obtuvo, experimentalmente, incrementos de hasta el 100% en rendimientos de semillas de sésamo por la aplicación de abonos nitrogenados.

Basha (1994) encontró que el número de cápsulas planta<sup>-1</sup>, índice de cosecha, peso de semillas planta<sup>-1</sup> y rendimiento de semillas por unidad de superficie se incrementó al aumentar la cantidad de Nitrógeno de 35,7 a 178,5 kg ha<sup>-1</sup>, pero se redujo el contenido de aceite.

Bassiem y Anton (1998) observaron que los componentes del rendimiento se incrementaron al pasar de la dosis 71 a 142 kg ha<sup>-1</sup> de Nitrógeno, mientras que el rendimiento de granos ha<sup>-1</sup> aumentó hasta 214 kg ha<sup>-1</sup> adicionales. Sin embargo, a una dosis de Nitrógeno de 71 kg ha<sup>-1</sup>, que corresponde al nivel más bajo, se produjo el más alto contenido de aceite en semillas.

Fayed et al. (2000) detectaron que la altura de planta, altura de la primera cápsula, número de cápsulas planta<sup>-1</sup>, peso de semillas planta<sup>-1</sup> y rendimiento de semilla ha<sup>-1</sup> se incrementaron mediante el aumento de los niveles de fertilización nitrogenada a 150 kg de Nitrógeno ha<sup>-1</sup>. También, Ashfaq et al. (2001) demostraron que la altura de planta, número de ramas y cápsulas planta<sup>-1</sup>, el índice de cosecha y producción por unidad de superficie se incrementaron al aumentar la dosis de Nitrógeno a 120 kg ha<sup>-1</sup>.

En suelos de sabana de Nigeria, con bajo nivel de nutrientes, Haruna et al. (2011) encontraron mayores respuestas a la fertilización nitrogenada con 120 kg de Nitrógeno ha<sup>-1</sup>, entre las variables se citan: altura de plantas, número de hojas planta<sup>-1</sup>, número de ramas por planta<sup>-1</sup> y la materia seca total.

Shehu et al. (2010), obtuvieron respuesta significativa a la aplicación de 112,5 kg N ha<sup>-1</sup> para número de ramas, hojas, vainas, semillas por capsulas, rendimiento de semilla, materia seca. En cambio, el número óptimo de capsulas y el rendimiento de semillas se obtuvieron en 75 kg de N ha<sup>-1</sup>.

Vázquez (2009) en suelos degradados del departamento de Paraguairí, encontró mayores rendimientos de granos de sésamo en dosis de 80 kg N ha<sup>-1</sup>. En suelos con características similares de la misma localidad, González (2010), encontró

mayores rendimientos de granos de sésamo en dosis de 60 kg N ha<sup>-1</sup>, pero por otro lado la altura y cantidad de capsulas planta<sup>-1</sup> respondieron mejor a dosis de 120 kg N ha<sup>-1</sup>.

### **2.3.1.1 Destino del Nitrógeno en plantas de sésamo**

Atta y Van Cleemput (1988), reportaron que aplicando 238 kg N ha<sup>-1</sup> en suelos arenosos en forma de fertilizante, las plantas de sésamo recuperaron el 12% de lo aplicado, 13% permaneció en el suelo para el siguiente cultivo y el 75% fue atribuido a pérdidas. Esta alta cantidad de Nitrógeno se debió probablemente a la desnitrificación y volatilización. También hubo pérdidas por lixiviación ya que se detectó fertilizante nitrogenado en el suelo por debajo de 100 cm de profundidad.

La recuperación por el cultivo del Nitrógeno aplicado, sea proveniente de residuos o fertilizantes, es el producto de mineralización neta y eficiencia con la cual el Nitrógeno inorgánico es asimilado por las plantas. En general, estudios utilizando fertilizantes marcados (<sup>15</sup>N) han encontrado que entre 20 y 87% del N aplicado es recuperado en el primer cultivo, 10 a 35% es retenido en el suelo, y 1 a 35% es asignado a pérdidas (Kumar y Goh 2000; Urquiaga, 2000). El rango de variación en el N recuperado en el cultivo en estos estudios se explica por las diferentes fuentes de N aplicadas, diferentes niveles de fertilización usados, clima, prácticas de manejo, y cultivo utilizado (Kumar y Goh 2000).

La baja utilización de N a partir de fuentes minerales y fuentes orgánicas, muestra el efecto residual de este nutriente en los cultivos durante el crecimiento con posterioridad a su aplicación (Scivittaro et al. 2003). Algunos estudios con abonos verdes marcados con <sup>15</sup>N indican que la mayor parte del Nitrógeno contenido en la materia seca tiene como destino el suelo (Harris y Hesterman 1990).

## 2.4 Prácticas de manejo de suelos

El contenido de nutrientes en el suelo depende en gran medida, además de las prácticas de manejo, del tipo de suelo y de la condición en que éste se encuentre (Havlin et al. 1990; Janzen et al. 1998). El principal indicador de la calidad de un suelo es el contenido de la materia orgánica (Reeves 1997) y para que un suelo sea capaz de capturar, almacenar y reciclar nutrientes, un alto contenido de materia orgánica es de vital importancia, ya que constituye un lugar de almacenamiento temporal de energía y nutrientes. Cuando ésta energía almacenada es usada por los microorganismos, los nutrientes liberados pueden ser absorbidos por las plantas (Jansson y Persson, 1982).

En las regiones tropicales y subtropicales, la disminución del potencial productivo de los suelos agrícolas se atribuye principalmente a los procesos de erosión y descomposición de la materia orgánica del suelo (Sá et al. 2001).

Los suelos degradados en Paraguay, son ejemplos de su mal manejo, con excesivo laboreo y el consecuente deterioro del nivel de materia orgánica (Soler 1991). Según un estudio realizado por Villalba et al. (2000) en el departamento de San Pedro, después de tan solo 20 años de uso agrícola (a partir del desmonte) los principales rubros comerciales sufrieron pérdidas de productividad de hasta el 60%, con una drástica disminución de los tenores de la materia orgánica del suelo, que en apenas 5 años disminuyeron de 2,4 a menos de 0,9%.

El mejoramiento de la calidad del suelo, a menudo relacionado con un incremento de la materia orgánica del suelo, no sólo está vinculado al rol de ésta en la nutrición de cultivos, sino también con aumentos en la aireación, la capacidad de retención de agua, y mejoramiento de su estructura, lo cual minimiza la erosión y crea condiciones para un buen desarrollo radicular (Rasmussen y Collins, 1991).

Los incrementos en materia orgánica del suelo y N por la adición de residuos de cosechas, dependen fundamentalmente de la cantidad del residuo agregado,

condiciones ambientales del entorno (ej. temperatura, humedad, pH), y frecuencia de adición (Kumar y Goh, 2000).

El conocimiento de la dinámica de las propiedades del suelo sensibles al manejo (rotaciones, sistemas de labranza, etc.) contribuirá al diagnóstico y a la toma de decisiones respecto a qué prácticas implementar para el logro de una agricultura ambiental, económica y productivamente sostenible (Eiza et al. 2005).

La labranza agresiva, generalmente denominada labranza convencional, se asocia a pérdidas del Carbono orgánico debido a la destrucción de agregados y la consecuente exposición de fracciones anteriormente protegidas, y a la sobreoxigenación del suelo provocando incrementos instantáneos en la actividad microbiana (Allmaras et al. 2000; Janzen et al. 1998). Comprende el uso del arado de rejas o discos para la inversión del suelo en un primer paso, seguido de uno o más laboreos en la preparación de la cama de siembra en el segundo paso. Las tasas de degradación del suelo (pérdida de materia orgánica, ruptura de la estructura, erosión) son mayores en los sistemas de labranzas intensivos (Cursack y Travadelo 1997).

Para evitar la disminución del contenido de materia orgánica del suelo es necesario eliminar la preparación del mismo y practicar una agricultura basada en su cobertura permanente, como por ejemplo la siembra directa; sembrar abonos verdes que retornen al suelo la cantidad de materia orgánica consumida y lo mantengan cubierto en las épocas en que no crecen cultivos; y practicar la rotación de cultivos, con inclusión de especies productoras de grandes cantidades de materia orgánica. Es conveniente recordar que la restitución de la fertilidad a un suelo degradado es un proceso lento, y que solamente aparecerán resultados después de varios años de persistencia (Soler 1991). Villar-Sánchez et al. (2003) mencionan que la correcta elección de una combinación de rotaciones y labranzas puede ser una herramienta útil para reducir los riesgos de degradación del suelo y para maximizar la producción con el mínimo compromiso para el ambiente.

Los sistemas de manejo conservacionistas, como labranza mínima y el uso de abonos verdes, han sido propuestos como sistemas de manejo alternativos para reducir pérdidas de suelo por erosión (Taylor et al. 1964), y para el mejoramiento de la eficiencia en el uso del agua (Smika y Unger 1986) e incremento de la concentración de carbono del suelo superficial (Karlen et al. 1994). Por labranza conservacionista se entiende a cualquier sistema que reduzca la pérdida de suelo respecto a la labranza convencional. Frecuentemente se refiere a una forma de laboreo sin inversión del suelo que retiene residuos orgánicos protectores de la superficie. Por rotación de cultivos se entiende un sistema de manejo de un cultivo o una secuencia de cultivos en una unidad productiva, en cuyo caso se asume alternancia. La incorporación de leguminosas forrajeras, además del aporte de Nitrógeno, tiene el efecto positivo de la no roturación durante su vida útil.

La adopción de la siembra directa para mantener los residuos de cosecha en la superficie del suelo promueve, a través del tiempo, un aumento en la existencia de materia orgánica del suelo (Diekow 2003). Asimismo, la elección de la secuencia de cultivos y la alternancia de cultivos agrícolas con pasturas, influyen sobre la dinámica de la materia orgánica del suelo, a través del momento y la cantidad de aporte de residuos vegetales que contribuyen a la recomposición del contenido de materia orgánica (Eiza et al. 2005).

El no revolvimiento del suelo junto con la adición de carbono orgánico, por medio del cultivo de plantas de cobertura y/o de cultivos comerciales que adicionan grandes cantidades de residuos al suelo, son medidas fundamentales en la preservación y búsqueda del equilibrio de la materia orgánica del suelo, que se caracteriza como principal responsable de la capacidad de intercambio cationico de los suelos tropicales y en una importante fuente de nitrógeno para los cultivos (Silva 2005).

Uno de los principales beneficios de la Siembra Directa es el aumento del contenido de materia orgánica del suelo después de un tiempo de adopción de este sistema, y debido al no revolvimiento del suelo y el mantenimiento de los residuos

vegetales en la superficie, en Sistemas de Siembra Directa ocurre una alteración en la dinámica y en la transformación de las formas de Nitrógeno en el suelo (Amado et al. 2002), en consecuencia la mineralización de los residuos depositados en la superficie del suelo es más lenta, por causa de su menor contacto, disminuyendo la acción de los microorganismos y también por la mayor adición de materia seca de los cultivos en rotación o sucesión (Sá et al. 2001).

En la etapa inicial del Sistema de Siembra Directa se observa la necesidad de aplicar mayores cantidades de Nitrógeno, debido a la intensificación del proceso de inmovilización en el suelo por los microorganismos quimiorganotróficos como respuesta a la mayor oferta de carbono orgánico en el sistema. Normalmente, después de cuatro años, parece ocurrir el inicio del restablecimiento del equilibrio de las transformaciones en el sistema, a medida de que ocurre la reposición de los residuos culturales (Sá 1993).

La absorción de Nitrógeno por las plantas en los dos sistemas puede ser considerado equivalente por unidad de producto cosechado, es decir, la eficiencia de utilización de N por las plantas es similar (Wiethölter 1996). Sin embargo, la disponibilidad es sin duda diferente, a medida que la velocidad de descomposición de los residuos es menor en el Sistema de Siembra Directa, al menos en el periodo inicial de implementación, la demanda de Nitrógeno es mayor que en el sistema convencional (Sá 1996).

De acuerdo con Mendonça y Oliveira (2000), los procesos de mineralización e inmovilización de Nitrógeno, ejercidos por los microorganismos quimiorganotróficos en los suelos bajo Siembra Directa conducen a la materia orgánica del suelo a funcionar como fuente o drenaje de Nitrógeno, debido a que la acumulación de materia orgánica del suelo excede su descomposición.

La Siembra Directa es introducida en la mayoría de los casos, en áreas con alto índice de degradación. En este sentido, Sá (1996) observó que hasta el cuarto año de implantación de la Siembra Directa el carácter de drenaje de la materia

orgánica del suelo fue mayor que el carácter de fuente, y después de 9 a 12 años de implementación de la Siembra Directa ocurre la mayor liberación de Nitrógeno en el sistema. En virtud de todo esto, normalmente se recomienda para el manejo de la fertilización nitrogenada en Sistemas de Siembra Directa, principalmente en la fase inicial de adopción, dosis de nitrógeno de 10 a 30% mayores que las utilizadas en un sistema convencional de manejo (Ceretta 1997).

El suministro inadecuado de Nitrógeno para las plantas en los Sistemas de Siembra Directa, comparado con el Sistema Convencional, se debe a la mayor pérdida de nitrato por la lixiviación, a razón de un mayor flujo de drenaje condicionado por la continuidad de poros y por la mayor rugosidad de la superficie del suelo debido a la presencia de los rastros (Muzilli 1983). También debido a la menor descomposición de los residuos de cultivos, mayor volatilización de amonio y mayor inmovilización microbiana (Lopes et al. 2004).

Para reducir el proceso de pérdida por volatilización en Siembra Directa, según Cantarella (1993), cuando la fuente de Nitrógeno a ser utilizada es la urea, esta deberá ser incorporada de 0,05 a 0,10 m de profundidad, debido a que los restos de cultivos en la superficie promueven la rápida hidrólisis de este fertilizante por la acción de la ureasa y dificultan la retención de amonio producido.

De acuerdo con Phillips y Young (1973), la demanda en el Sistema de Siembra Directa es de 20 a 25% mayor, o incluso mayor si el cultivo anterior es una gramínea y la cantidad de residuos es elevada. Por lo tanto, en áreas donde el Sistema de Siembra Directa tiene menos de cuatro años (fase de implementación), se recomienda aumentar el aporte de Nitrógeno, para compensar los efectos negativos del aporte de los residuos de alta relación C/N.

Después de esta fase de alta inmovilización inicial de Nitrógeno y, por lo tanto, de menor disponibilidad para las plantas, comienza lentamente, el establecimiento del equilibrio entre mineralización e inmovilización, a medida que los aportes de residuos de cultivos proporcionan acumulación de Nitrógeno orgánico

en la capa superior del suelo y, una vez que se llegue a un nuevo equilibrio de formación y descomposición de la materia orgánica, las demandas de ambos sistemas deben convertirse en equivalentes o inferiores para el Sistema de Siembra Directa (Sá 1996).

El uso de cultivos de cobertura o abonos verdes en la rotación de cultivos para mejorar la fertilidad del suelo y aumentar la productividad agrícola es una práctica muy antigua (Reeves 1994). Durante la primera mitad del siglo XX, las legumbres se utilizaron intensamente como fuente de Nitrógeno, pero después de la Segunda Guerra Mundial, hubo una reducción significativa en el uso de estas especies debido a la mayor disponibilidad de fertilizantes minerales de origen industrial (Calegari 1993).

El uso de abonos verdes consiste en incorporar plantas verdes no leñosas (o sus partes) al suelo, por medio del laboreo. Pueden ser plantas que crecen al mismo tiempo o después del cultivo principal, con la finalidad de disponibilizar nutrientes, aumentar o preservar el contenido de materia orgánica del suelo y la capacidad del suelo de retener humedad, además de proteger al suelo contra la erosión hídrica y eólica (Scholl y Nieuwenhuis 2003).

Con la práctica del uso de los abonos verdes es posible recuperar la fertilidad del suelo, proporcionando aumento de la materia orgánica, de la capacidad de intercambio catiónico y de la disponibilidad de macro y micronutrientes; formación y estabilización de agregados, mejoramiento de la infiltración de agua y aireación, disminución diurna de la amplitud de la variación térmica, control de nematodos, y en el caso de leguminosas, incorporación al suelo de nitrógeno a través de la fijación biológica (Igue 1984).

Además de estos beneficios, estudios recientes han demostrado que las plantas de cobertura liberan, durante su descomposición ácidos orgánicos de bajo peso molecular, que pueden competir por los sitios de absorción con el Fosforo,

dejando a este nutriente mas disponible para las plantas en la solución del suelo (Meurer 2004).

La adición regular de residuos de abonos verdes en los suelos tropicales, en los cuales la Materia orgánica del suelo es generalmente inferior a 3%, contribuye a la conservación del suelo y del agua (Sá et al. 2004).

Una de las desventajas del uso de abonos verdes en la agricultura consiste en la dificultad de coincidir la disponibilidad de Nitrógeno de las fuentes orgánicas con la demanda del cultivo (Pang y Letey 2000). La liberación gradual de Nitrógeno por la descomposición de los residuos de los abonos verdes puede ser mejor sincronizada con la absorción de ese nutriente por la planta, posibilitando una mayor eficiencia de absorción de Nitrógeno, mejores rendimientos agrícolas y la reducción de las pérdidas por lixiviación (Cline y Silvernail 2002).

La calidad del residuo vegetal, principalmente su relación C/N, influencia directamente la tasa de descomposición e inmovilización/mineralización del Nitrógeno (Muraoka et al. 2002) y consecuentemente el aprovechamiento del Nitrógeno de estos residuos, del Nitrógeno del fertilizante y del nitrógeno propio del suelo (Lara Cabezas et al. 2004)

Las especies de cobertura del suelo en invierno deberían proteger el suelo y mejorar sus propiedades físicas, químicas y biológicas para el cultivo siguiente. Por otra parte, debe aumentar la oferta de N y rendimiento de los granos. La avena, es la gramínea más utilizada como cobertura de invierno, que precede a los cultivos comerciales, principalmente maíz y soja (Pöttker y Romano 1994).

Entre los factores determinantes para la utilización intensiva de la avena se puede destacar: el alto rendimiento en materia seca, facilidad de obtención de semillas y de implantación, la rusticidad y velocidad de cobertura (Santi et al. 2003). Entre los beneficios de la avena para el Sistema de Siembra Directa se pueden citar:

la mejora de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y la eficiente protección del suelo proporcionada por sus residuos.

Sin embargo, dependiendo de las características del cultivo a ser implantado en la sucesión de avena negra, puede existir una reducción en la absorción de N y rendimiento de granos sobre todo si el mismo posee una alta relación C/N de sus residuos. La adición de grandes cantidades de residuos con alta relación C/N hace que los organismos quimiorganotróficos que trabajan en la descomposición materia orgánica se multipliquen, produciendo CO<sub>2</sub> en grandes cantidades, como resultado, el nitrato y el amonio presentes en el suelo llegan a ser inmovilizados (Victoria et al. 1992).

Por otra parte, la velocidad de liberación de Nitrógeno de los residuos de avena es lenta. Sólo el 38% de la Nitrógeno contenido en la planta de avena está disponible en las primeras cuatro semanas después de su incorporación al suelo. Esto promueve la asincronía entre la disponibilidad de este nutriente en el suelo y el desarrollo inicial de las plantas de cultivos comerciales (Amado et al, 2003).

Varios estudios recomiendan el uso de leguminosas (Sá 1996; Amado 1997; Amado et al. 2002), como fuente adicional de Nitrógeno para la producción de cultivos de interés económico.

Las leguminosas, como cobertura de invierno son capaces de fijar el Nitrógeno atmosférico mediante simbiosis con bacterias específicas. Debido a la baja relación C/N de las mismas, la velocidad de liberación de Nitrógeno de los residuos es muy rápida en comparación con las gramíneas, además su uso permite una liberación más lenta de Nitrógeno en relación con los fertilizantes químicos nitrogenados, representando de esta manera menos riesgo de contaminación para el medio ambiente (Giller y Wilson 1993).

Muraoka et al. (2002), utilizando leguminosas como abonos verdes reportaron un efecto equivalente a la fertilización de 40 kg ha<sup>-1</sup> de urea, indicando que constituyen una importante fuente alternativa de Nitrógeno y de otros nutrientes

para las plantas, en función a la liberación lenta y en sincronía con las necesidades de los cultivos.

A pesar de todas estas características, su uso no es muy frecuente debido a los altos costos de implementación en comparación con las gramíneas, por tener menor rendimiento en materia seca, por el desarrollo inicial lento y sobre todo, la rápida descomposición de sus residuos. Esta rápida descomposición de los residuos de leguminosas hace que el suelo quede sin protección, especialmente en el Sistema de Siembra Directa, en la fase inicial de implementación (Giller y Wilson 1993).

Heinrichs (2001), destaca que la combinación de leguminosas y no leguminosas favorece la mayor producción de materia seca total, al controlar la velocidad de descomposición y liberación de N de los residuos, ya que la biomasa obtenida presenta una relación C/N intermedia a la de los cultivos en forma no asociada. Por lo tanto, es muy importante la combinación de ambos tipos de cultivos de cobertura como la avena negra y una leguminosa de manera a asegurar la disponibilidad de Nitrógeno para los cultivos futuros (Giller y Wilson 1993).

Evaluando abonos verdes de invierno en suelos degradados del departamento Central de Paraguay, Filippini (2007) encontró una respuesta favorable en la producción de materia seca en la combinación de avena+ lupino de 4.300 kg de materia seca ha<sup>-1</sup>.

González (2011), estudiando el efecto de las plantas de cobertura en la dinámica del Nitrógeno mineral en suelos del departamento de Caaguazú, demostró que las plantas de cobertura afectan la dinámica del N en el suelo y obtuvo una producción de materia seca en la combinación de avena + lupino de 3.264 kg ha<sup>-1</sup> y una acumulación de 47 kg N ha<sup>-1</sup>.

## 2.5 Técnicas isotópicas para el estudio del Nitrógeno

La utilización de isótopos provee un medio para estimar no solo la absorción de nutrientes por la planta sino también el movimiento del elemento en el suelo y el efecto de la fertilización y otras prácticas de manejo sobre la absorción de nutrientes. Por esta razón, los isótopos estables, como el  $^{15}\text{N}$ , son el único medio de obtener una medida directa y cuantitativa de la influencia de variados factores que inciden en el uso eficiente de fertilizantes por un cultivo. Así, la cantidad del nutriente absorbido por un cultivo desde un fertilizante se puede medir directamente en el campo marcando un fertilizante con una cantidad conocida de un isótopo estable (Pino 2010; Bowen y Zapata 1991).

En el pasado, los principales factores que obstaculizaban su uso en las investigaciones agrícolas radicaban en la necesidad de contar con instrumentos sofisticados y costosos, incluidos las instalaciones de preparación de la muestra, el alto costo y la disponibilidad limitada de materiales marcados (Hauck y Bremner 1976). Estas limitaciones no se aplican en la actualidad; ya que existe una gran gama de instrumentación disponible para las determinaciones de isótopos estables. Debido al aumento de la demanda, el costo de estos materiales es ahora una parte normal de los gastos involucrados en la realización de experimentos de campo bien diseñados. Como resultado, los isótopos marcados o trazadores isotópicos se convirtieron en tecnologías ampliamente utilizadas en prácticamente todos los países desarrollados y en un número cada vez mayor de los países en desarrollo en la investigación ambiental, agronómica, biológica, ecológica y relacionadas a las mismas (Faust 1981).

Las técnicas de isótopos marcados por lo general proporcionan resultados que tienen una menor variabilidad y son de mayor sensibilidad, dando como resultado una información más precisa en un corto período de tiempo. Además, su utilización y las aplicaciones requieren que el personal científico y técnico cuente con las habilidades y conocimientos adecuados, recursos financieros y que los laboratorios

cuenten con instalaciones adecuadas para llevar a cabo experimentos, realizar las mediciones de isótopos e interpretar los resultados (Axmann y Zapata 1990).

Los isótopos de un elemento poseen un mismo número de protones y por tanto el mismo número atómico, pero difieren en su masa, la cual está definida por el número de neutrones del núcleo. El Nitrógeno elemental tiene seis isótopos, cuyos números de masa varían de 12 a 17. Los isótopos del N y sus principales características se presentan en la Tabla 3, de estos,  $^{14}\text{N}$  y  $^{15}\text{N}$  son isótopos estables (definido por su abundancia), mientras que los otros son radiactivos (en proceso de desintegración o descomposición, emitiendo radiación) con vidas medias relativamente cortas, lo que hace difícil llevar a cabo experimentos con plantas durante la temporada de crecimiento (Van Cleemput et al. 2008).

Tabla 3. Isótopos del Nitrógeno estables y radioactivos.

Número de masa	Abundancia natural (% átomos)	Vida Media (tiempo)
12	-----	0,0126 segundos
13	-----	10,05 minutos
14 (Liviano)	99,634	-----
15 (Pesado)	0,366	-----
16	-----	7,36 segundos
17	-----	4,14 segundos

En varios trabajos de investigación con Nitrógeno, se ha utilizado el isótopo estable  $^{15}\text{N}$ . Desde los años 1950 y 1960 se produjo un importante desarrollo y uso de trazadores isotópicos en investigaciones en suelos y fertilizantes nitrogenados.

Materiales (enriquecidos o empobrecidos) de  $^{15}\text{N}$  se han utilizado como marcadores en una amplia gama de cultivos, suelos y ambientes. Los trabajos pioneros fueron llevados a cabo principalmente en los Estados Unidos de América, así como en Canadá, el Reino Unido, Francia, Bélgica, Australia y otros países desarrollados (Van Cleemput et al. 2008).

La proporción  $^{14}\text{N}:^{15}\text{N}$  ( $272,0 \pm 0,3$ : 1) más o menos constante en la atmósfera y sustancias naturales, hace posible que compuestos nitrogenados con sus

proporciones alteradas artificialmente (enriquecido o empobrecido) puedan ser utilizadas como trazadores en sistemas ecológicos (Hauck 1973).

Hart y Myrold (1996) propusieron la siguiente clasificación de las técnicas que utilizan el  $^{15}\text{N}$  en estudios de procesos de transformación de N en el suelo: (i) técnica del trazador  $^{15}\text{N}$ , cuando un sustrato o fuente es marcado con  $^{15}\text{N}$ , y el movimiento del isótopo en el sistema es monitoreado en el tiempo; (ii) técnica de dilución del isótopo  $^{15}\text{N}$ , cuando una fracción del N del suelo es marcado con  $^{15}\text{N}$  y es monitoreada la tasa en la cual su contenido cambia por la influencia de  $^{14}\text{N}$ ; (iii) técnica de abundancia natural de  $^{15}\text{N}$ , cuando pequeñas diferencias en el enriquecimiento de  $^{15}\text{N}$ , como resultado de la discriminación biológica durante largo tiempo, son usadas para evaluar las relaciones sustrato-producto a largo plazo; y (iv) técnica de la distribución de los isótopos de N, la cual es una nueva variante de la técnica del trazador para Nitrógeno y se aplica exclusivamente para la reacción de desnitrificación cuando el N del  $\text{NO}_3^-$  da origen a  $\text{N}_2\text{O}$  y  $\text{N}_2$ .

La técnica del trazador isotópico se fundamenta en el principio de la dilución isotópica, por la cual el  $^{15}\text{N}$  del compuesto enriquecido introducido en el sistema es homogéneamente distribuido dentro del N del sistema. Por tanto, el enriquecimiento isotópico, en cualquier momento, de un producto uniformemente mezclado con el trazador es inversamente proporcional a la concentración del trazador en el sustrato adicionado (IAEA 1976).

El principio de la dilución isotópica se basa en las siguientes premisas: (i) elementos complejos (con por lo menos dos isótopos) en estado natural presentan una composición isotópica constante; (ii) los sistemas biológicos no pueden distinguir entre un isótopo y otro; y (iii) la identidad química de los isótopos se mantiene en los sistemas bioquímicos (Hauck y Bremner 1976).

El uso de  $^{15}\text{N}$  como trazador consiste en la alteración de la proporción isotópica natural, aumentando o disminuyendo el tenor de  $^{15}\text{N}$  en la molécula o compuesto que se quiere monitorear su destino en el sistema. Los isótopos  $^{14}\text{N}$  y  $^{15}\text{N}$ ,

por ser estables pueden ser utilizados en experimentos de larga duración, siendo ampliamente usados para estudios de procesos que intervienen en el ciclo del Nitrógeno y en el movimiento de compuestos nitrogenados en los sistemas agrícolas (Axmann y Zapata 1990).

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

Numerosas investigaciones han demostrado que la disminución del laboreo del suelo y la inclusión de abonos verdes en la rotación de cultivos contribuye a la recuperación de suelos en pequeñas fincas. En base a esto, se condujo un experimento que permitió evaluar el efecto del laboreo del suelo, el uso de abonos verdes y la fertilización nitrogenada sobre algunas características agronómicas del sésamo, y donde se utilizó la técnica isotópica para determinar el destino del Nitrógeno aplicado como fertilizante.

#### **3.1 Localización del experimento**

El experimento fue instalado en el Campo Experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias (FCA) de la Universidad Nacional de Asunción (UNA) en San Lorenzo (25°19'35" latitud Sur y 57°31'18" longitud Oeste), durante el periodo de julio de 2010 a marzo de 2011.

El suelo es un Rhodic Paleudult con textura superficial arenosa, baja fertilidad y estructura en bloques subangulares pequeños y débilmente desarrollados (López et al.1995), características típicas de suelos degradados en las pequeñas fincas; históricamente utilizado para cultivos de maíz, soja y sésamo. El cultivo anterior a la plantación de sésamo fue maíz con sistema convencional de preparación del suelo.

En cuanto a la composición química, el suelo presentó un pH de 6,3; contenido de materia orgánica de 1%, fósforo 8,9 ppm; y concentración de Ca, Mg y K de 1,6; 0,6 y 0,12 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, respectivamente

Estos valores, teniendo en cuenta rangos utilizados en el laboratorio de Suelos y Ordenamiento Territorial de la FCA/UNA, corresponden a un pH ligeramente ácido, y niveles bajos de materia orgánica, fósforo, Ca, Mg y K.

### 3.2 Diseño experimental y tratamientos

El diseño experimental fue bloques completos al azar, con ocho tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos constituyeron en tres factores (fertilizante nitrogenado, abono verde y laboreo) y dos niveles (con y sin) que fueron comparados por sus efectos en el contenido de Nitrógeno en el sistema suelo-planta como se detalla en la Tabla 4.

Tabla 4. Tratamientos evaluados en el experimento donde se utilizó la técnica isotópica para determinar el destino del Nitrógeno aplicado a un cultivo de sésamo.

Tratamientos	Abono verde	Sistema de labranza	Fertilización Nitrogenada
1	Con abono verde	Convencional	Con Nitrógeno
2	Con abono verde	Convencional	Sin Nitrógeno
3	Con abono verde	Siembra Directa	Con Nitrógeno
4	Con abono verde	Siembra Directa	Sin Nitrógeno
5	Sin abono verde	Convencional	Con Nitrógeno
6	Sin abono verde	Convencional	Sin Nitrógeno
7	Sin abono verde	Siembra Directa	Con Nitrógeno
8	Sin abono verde	Siembra Directa	Sin Nitrógeno

Los tratamientos con abonos verdes consistieron en la utilización de una mezcla de lupino + avena negra a razón de una cantidad equivalente a 50 kg ha<sup>-1</sup> de semilla de avena y 80 kg ha<sup>-1</sup> de semilla de lupino.

Las parcelas con sistema convencional de labranza fueron preparadas con aradas y rastreadas, en cambio las de siembra directa no recibieron ninguna preparación.

Las parcelas con fertilización nitrogenada recibieron 20 kg N ha<sup>-1</sup> al momento de la siembra y 30 kg N ha<sup>-1</sup> en cobertura. Todas las parcelas recibieron fertilización fosfatada (60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>) y potásica (40 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>).

### **3.3 Implantación y manejo de las parcelas**

En las parcelas con labranza convencional, la preparación del terreno se realizó mediante dos rastreadas, la primera fue realizada 15 días antes de la siembra del abono verde y la segunda 5 días antes de la siembra.

La delimitación y marcado de las parcelas experimentales se realizó dos días antes de la siembra. Cada parcela contó con una dimensión de 4 m de ancho por 5 m de largo, es decir cada unidad experimental con una dimensión de 20 m<sup>2</sup>. En total el experimento tuvo una superficie de 640 m<sup>2</sup>. La distribución de las parcelas se muestra en el Anexo 1.

#### **3.3.1 Siembra del abono verde**

La siembra del lupino +avena negra se realizó en la primera quincena del mes de junio de 2010 en forma manual, echando las semillas en surcos separados a 0,3 m y depositándolas a 3 cm de profundidad. (Anexos 2 y 3).

#### **3.3.2 Siembra del sésamo**

Previo a la siembra del sésamo, en las parcelas de labranza convencional se incorporaron los abonos verdes mediante una rastreada, mientras que en las parcelas de siembra directa se pasó un rollo cuchillo.

Se sembraron semillas de sésamo de la variedad Escoba, en la primera quincena del mes de octubre de 2010. El espaciamiento entre hileras fue de 0,8 m. Las semillas fueron depositadas a una profundidad de 2 a 3 cm y en cantidad equivalente a 4 kg semilla ha<sup>-1</sup> (Anexos 4 y 5).

### 3.3.3 Cuidados culturales

El raleo del sésamo se realizó en forma manual cuando las plantas tenían aproximadamente 4 a 8 hojas desplegadas. En la operación del raleo se ajustó la población de plantas de 8 a 12 plantas por metro lineal. Se realizaron limpiezas periódicas de las parcelas con el objetivo de mantenerlas libre de malezas (Anexos 6 y 7).

Se realizaron observaciones semanales durante todo el ciclo del cultivo para detectar la incidencia de plagas y enfermedades. No fue necesario realizar aplicación de ningún tipo de producto fitosanitario para el control de plagas y/o enfermedades, ya que estas no se presentaron.

### 3.3.4 Fertilización

Las parcelas donde se aplicó Nitrógeno recibieron  $20 \text{ kg N ha}^{-1}$  al momento de la siembra y  $30 \text{ kg N ha}^{-1}$  en cobertura, a los 40 días después de la emergencia. Se utilizó urea  $^{15}\text{N}$  con 5% de enriquecimiento como fertilizante nitrogenado. El Fósforo y el Potasio se aplicaron en su totalidad en el momento de la siembra a razón de  $60 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$  y  $40 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$ , respectivamente.

Los fertilizantes fueron depositados en surcos abiertos paralelos a las líneas de siembra con aproximadamente 8-10 cm de profundidad, que fueron cubiertos con suelo.

### 3.3.5 Cosecha

La cosecha fue realizada en la primera semana del mes de marzo de 2011, cuando aproximadamente el 90% de las plantas estaban amarillas, las hojas se desfoliaron naturalmente y las primeras cápsulas maduras empezaron a abrirse. Fueron tomadas las tres hileras centrales para la selección del área útil, que correspondió a  $1 \text{ m}^2$ .

Las plantas fueron cortadas con machetillo bien afilado al ras del suelo y colocadas en bolsas con buena aireación para facilitar su secado y posterior trilla. Al momento de colocar las plantas en las bolsas, se procedió a su pesaje y luego fueron llevadas a un galpón bien aireado y protegido de la humedad (Anexos 8 y 9).

Una vez que las plantas se secaron y que todas las cápsulas se abrieron, se procedió a su pesaje. Las semillas fueron retiradas, pasadas por zarandas, pesadas y embolsadas en bolsas de polietileno según cada tratamiento. La materia seca restante (cápsulas, hojas y tallos) fueron pesadas y embolsadas.

### **3.4 Evaluaciones y variables de medición**

Se midieron las siguientes variables: tramo de carga, número de cápsulas por rama, número de ramas por planta, número de plantas cosechadas, altura de plantas, número de semillas por cápsula, peso de 1.000 semillas y número de plantas cosechadas. La abundancia de  $^{15}\text{N}$  (átomos %) en follaje, grano y suelo se determinó por espectrometría de masa.

#### **3.4.1 Tramo de carga y número de cápsulas por rama**

Esta variable corresponde a la longitud de las ramas que contienen cápsulas con semillas. Las mediciones se realizaron con la ayuda de una cinta métrica. Al mismo tiempo se realizó el conteo de las cápsulas por rama.

#### **3.4.2 Altura de la planta**

La altura de las plantas se determinó midiendo la distancia comprendida entre la superficie del suelo y el punto de inserción de la última hoja. Cuando las plantas presentaron el ápice doblado fueron extendidas para la medición. Las alturas de las plantas fueron sumadas y promediadas por tratamiento para cada repetición. Los resultados fueron expresados en  $\text{cm pl}^{-1}$ .

### **3.4.3 Número de plantas cosechadas**

Se cuantificó la cantidad de plantas cosechadas por tratamiento, para luego ajustar el rendimiento por la densidad de plantas y analizar si los tratamientos tienen efecto en cantidad de plantas por hectárea. Se expresaron en número de plantas cosechadas por hectárea.

### **3.4.4 Número de ramas fructíferas**

De la totalidad de las plantas cosechadas, se cuantificó el número de ramas fructíferas, se calculó el promedio por tratamiento para cada repetición, los resultados se expresaron en número de ramas fructíferas por planta.

### **3.4.5 Peso de mil semillas**

Para la determinación del peso de mil semillas se tomaron 3 muestras de cápsulas de la parte superior, media e inferior, luego para cada tratamiento y repetición, se contaron 1.000 semillas y se pesaron. Los resultados se expresaron en gramos.

### **3.4.6 Rendimiento de granos**

El rendimiento fue determinado al cosechar las plantas incluidas en el área útil. Los granos fueron pesados en una balanza electrónica. El rendimiento obtenido del área útil fue convertido a  $\text{kg ha}^{-1}$  y ajustado al número de plantas cosechadas.

### **3.4.7 Cuantificación del Nitrógeno**

Muestras de suelo fueron tomadas del área útil de estudio para cada tratamiento a una profundidad de 0-15 centímetros, luego secadas al aire, tamizadas y envasadas. Para las muestras de granos de sésamo, se eliminaron las impurezas, se tamizaron, pesaron y envasaron. Las muestras de materia seca (ramas + hojas +

cápsulas) fueron secadas al aire, molidas y envasadas (Anexo 10, 11 y 12). Para los análisis isotópicos de N, se enviaron estas muestras de granos, follaje (tallo, hojas, cápsulas) y suelo al Laboratorio de Seibersdorf, Austria, del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) para su determinación por la técnica de espectrometría de masa. Mediante esta técnica se puede llevar a cabo el análisis de los isótopos estables de los principales elementos ligeros de la biosfera (C, H, N, O, S). La espectrometría de masas de relación isotópica permite el análisis de las relaciones isotópicas de estos elementos ligeros ( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ,  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ,  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ,  $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ ) con la precisión y la exactitud necesarias para medir las pequeñas variaciones en la abundancia isotópica (fraccionamiento), provocadas por múltiples procesos naturales, tanto físicos como químicos. Estos elementos, como el N presentan dos isótopos estables, de los cuales el más ligero es el más abundante.

La técnica también permite el análisis de abundancias isotópicas en muestras enriquecidas, y por esta razón es una buena alternativa al uso de marcadores radiactivos para el seguimiento de rutas metabólicas naturales o sintéticas

La espectrometría de masas se fundamenta en la separación de partículas moleculares o atómicas por su diferente masa. El proceso de la espectrometría de masas comprende básicamente cuatro etapas: ionización de la muestra, aceleración de los iones por un campo eléctrico, dispersión de los iones según su masa/carga, detección de los iones y producción de la correspondiente señal eléctrica.

Una vez obtenidos los datos de laboratorio se utilizaron las fórmulas (1), (2) y (3) propuestas por Zapata (1990) para cuantificar la cantidad de N en el cultivo derivado del fertilizante (Nddf), la cantidad de N derivado del suelo (Ndds). Para determinar la proporción de N derivado del abono verde se utilizó un modelo basado en la dilución isotópica de  $^{15}\text{N}$  (Barraclough 1991).

$$\text{Nddf (\%)} = \frac{\% \text{ at.exceso planta}}{\% \text{ at.exceso fertilizante}} * 100 \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{Nddf (kg ha}^{-1}\text{)} = \text{N Total (kg ha}^{-1}\text{)} * \frac{\% \text{ N}}{100} \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{Ndds (\%)} = 100 - \text{Nddf (\%)} \dots\dots\dots(3)$$

También se calcularon la cantidad total de N, la Eficiencia en el Uso del Fertilizante nitrogenado (EUN), la Eficiencia Agronómica (EA), la Eficiencia Fisiológica (EF), y la Eficiencia de Recuperación (ER), cuyas ecuaciones se definen a continuación:

$$\text{N Total (kg ha}^{-1}\text{)} = \text{MST (kg ha}^{-1}\text{)} * \frac{\% \text{ N}}{100} \dots\dots\dots(4)$$

$$\text{EUN (\%)} = \frac{\text{Nddf (kg ha}^{-1}\text{)}}{\text{Dosis de N aplicado}} * 100 \dots\dots\dots(5)$$

$$\text{EA (kg de grano kg de fertilizante}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Yn} - \text{Yo}}{\text{Dosis de N aplicado}} \dots\dots\dots(6)$$

$$\text{ER (kg de grano kg de fertilizante}^{-1}\text{)} = \frac{\text{An} - \text{Ao}}{\text{Dosis de N aplicado}} \dots\dots\dots(7)$$

$$\text{EF (kg de grano kg de fertilizante}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Yn} - \text{Yo}}{\text{An} - \text{Ao}} \dots\dots\dots(8)$$

Donde:

MST: Materia seca total (kg ha<sup>-1</sup>)

Y<sub>n</sub> y Y<sub>0</sub> son los rendimientos de los cultivos (kg ha<sup>-1</sup>) en un cierto nivel de aplicación de fertilizantes y en el tratamiento de control, respectivamente.

A<sub>n</sub> y A<sub>0</sub> constituyen el N total (kg ha<sup>-1</sup>) absorbido en las plantas en un determinado nivel de aplicación de fertilizantes y en el control, respectivamente.

La Eficiencia Agronómica (EA), es la cantidad de producto cosechable, es decir, kg de grano de cereal, tubérculos de papa, fruto del tomate, etc., por kg de nutriente aplicado (N). La mayoría de los estudios de fertilizantes se centran en este parámetro, por el método clásico para evaluar el uso de fertilizantes.

La Eficiencia de Recuperación (ER), es un parámetro eco fisiológico, que representa la cantidad total de N absorbido (incluyendo la presente en las raíces, que a menudo se pasa por alto) por kg de N aplicado.

La Eficiencia Fisiológica (EF), es un parámetro fisiológico que indica el total de materia seca o el rendimiento de grano producido por unidad de N absorbido. La EF representa la capacidad de una planta para transformar una determinada cantidad de fertilizante N adquirido en el rendimiento de grano y por lo tanto depende de las características del genotipo (por ejemplo, índice de cosecha) y los factores ambientales y de manejo, particularmente durante el crecimiento reproductivo.

La Eficiencia del uso de fertilizante nitrogenado (EUN), también conocida como coeficiente de utilización, es la cantidad de fertilizante N absorbido por la planta por kg de N aplicado como fertilizante.

### **3.5 Análisis estadístico**

Los valores obtenidos fueron sometidos a análisis de varianza, la separación de medias se realizó con el Test de Tukey al 5% de probabilidad de error. Para los análisis estadísticos se utilizó el programa InfoStat (Di Rienzo et al. 2011).

#### **4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En las siguientes secciones se presentan y discuten los resultados obtenidos en el experimento conducido en el Campo Experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción. En el Anexo 13 se encuentra la Tabla general de datos del experimento

A los 70 días después de la siembra, se pudo observar una gran variabilidad en la altura de las plantas, la que probablemente estuvo relacionada con la variabilidad espacial de las propiedades del suelo, lo cual se reflejó en los Coeficientes de Variación en los análisis estadísticos. Las alturas de plantas en ese tiempo fueron utilizadas como covariable, que resultó altamente influyente en el tramo de carga y en la altura final de las plantas de sésamo, obteniéndose las siguientes relaciones (Anexos 14 y 15):

$$\begin{aligned}\text{Tramo de carga (cm)} &= 55,67 + 0,42 \text{ Altura Inicial} \\ \text{Altura final de plantas (cm)} &= 1,59 + 0,01 \text{ Altura Inicial.}\end{aligned}$$

Por otro lado, la altura de las plantas medidas en este tiempo no influyó en el rendimiento de los granos ni en las demás variables agronómicas del sésamo.

##### **4.1 Características agronómicas del sésamo**

En la Tabla 5, se presentan el rendimiento del grano, la materia seca de la parte aérea y el índice de cosecha de sésamo, que variaron de 1.797 a 2.336 kg ha<sup>-1</sup>, 8.347 a 10.654 kg ha<sup>-1</sup> y 0,20 a 0,25; respectivamente. No hubo diferencias significativas en estas variables productivas por efecto de los tratamientos; es decir, no hubo

respuesta a la fertilización, al tipo de labranza o al uso de abonos verdes, en forma individual o combinada (Anexo 16).

Tabla 5. Rendimiento del grano, materia seca de la parte aérea e índice de cosecha de sésamo en parcelas experimentales donde se evaluó el efecto del laboreo, abonos verdes y fertilización nitrogenada. San Lorenzo, 2011.

Tratamiento	Rendimiento Grano	Masa Seca Follaje	Índice de Cosecha
	-----kg ha <sup>-1</sup> -----		
--, LC, --	2.336	10.654	0,22
--, LC, N	2.105	8.507	0,25
--, SD, --	1.962	8.347	0,23
--, SD, N	2.392	10.461	0,24
AV, LC, --	2.193	9.072	0,25
AV, LC, N	2.224	9.920	0,23
AV, SD, --	1.924	9.774	0,20
AV, SD, N	1.797	8.737	0,20
DMS (p < 0,05)	ns	ns	ns

LC: Labranza convencional; SD: Siembra Directa; N: Fertilización nitrogenada; AV: Abonos verdes; DMS: diferencia mínima significativa; ns: no significativo.

El rendimiento promedio del grano fue 2.117 kg ha<sup>-1</sup>, que es mayor a lo obtenido por Vera (2011) y Macchi (2003), quienes obtuvieron rendimientos de 950 y 595 kg ha<sup>-1</sup> de grano, respectivamente, en experimentos conducidos bajo condiciones similares a las de este experimento, es decir en suelos degradados, con el uso de fertilización, abonos verdes y preparación del suelo. Por otro lado, los rendimientos están en concordancia con los obtenidos por Vázquez (2009) que obtuvo 2.100 kg ha<sup>-1</sup> de grano de sésamo, en suelos similares, en el Departamento de Paraguarí.

El alto rendimiento de los granos en comparación con la media nacional de 605 kg ha<sup>-1</sup> de grano (MAG 2011), es de esperarse en ensayos de esta naturaleza, ya que las mayores pérdidas de grano a nivel de campo se producen en el momento de la cosecha, llegando inclusive a pérdidas del 50% del rendimiento, estas pérdidas fueron mínimas para este ensayo.

El rendimiento de grano se relacionó de manera significativa ( $R^2 = 0,60$ ) con el rendimiento de materia seca y el número de rama por planta (Anexo 17), la relación fue:

$$\text{Rendimiento de Grano (kg ha}^{-1}\text{)} = 150 + 0,15 \text{ Materia seca (kg ha}^{-1}\text{)} + 92,6 \text{ N}^{\circ} \text{ ramas planta}^{-1}$$

Se registró un promedio de 9.434 kg ha<sup>-1</sup> en la materia seca de la parte aérea, lo cual coincide con datos publicados de EMBRAPA (2001), donde se indica que ésta varía de 9.000 a 10.000 kg ha<sup>-1</sup>. El índice de cosecha promedio fue de 0,23, es decir que de cada 100 kg ha<sup>-1</sup> de materia seca producida por las plantas de sésamo, 23 kg ha<sup>-1</sup> son transformados en granos.

De los principales componentes del rendimiento del sésamo, se puede observar en la Tabla 6 que solamente se detectó diferencias estadísticas significativas en el número de ramas por planta (Anexos 18, 19 y 20).

Tabla 6. Altura de plantas, peso de mil semillas, N° ramas planta<sup>-1</sup>, tramo de carga y N° cápsulas rama<sup>-1</sup> de plantas de sésamo en parcelas experimentales donde se evaluó el efecto del laboreo, abonos verdes y fertilización nitrogenada. San Lorenzo, 2011.

Tratamiento	Altura de plantas (cm)	Peso mil semillas (g)	N° ramas planta <sup>-1</sup>	Tramo de carga (cm)	N° cápsulas rama <sup>-1</sup>
--, LC, --	230	1,4	8	77	48
--, LC, N	230	1,3	5	85	48
--, SD, --	240	1,6	5	89	48
--, SD, N	240	1,4	6	79	42
AV, LC, --	230	1,4	6	83	42
AV, LC, N	240	1,5	6	90	52
AV, SD, --	220	1,4	5	80	45
AV, SD, N	230	1,6	5	76	37
Mínimo	220	1,3	5	76	37
Máximo	240	1,6	8	90	52
CV (%)	18,5	15,5	2,8	16,7	22,1
DMS (p < 0,05)	ns	ns	1,8	ns	ns

LC: Labranza convencional; SD: Siembra Directa; N: Fertilización nitrogenada; AV: Abonos verdes; DMS: diferencia mínima significativa; ns: no significativo.

La altura de plantas varió entre 220 y 240 cm, con un promedio de 230 cm, que supera ampliamente a lo observado por Asghar Malik et al. (2003) quienes obtuvieron una altura promedio de 120 cm, y por lo encontrado por Vázquez (2009) y González (2010) quienes obtuvieron 110 y 192 cm, respectivamente. Pero está en concordancia con Valdez et al. (2011) que obtuvo en promedio 264 cm de altura en condiciones de suelos degradados del Departamento de San Pedro.

El peso de mil semillas promedio fue de 1,5 gramos, que difiere a los 3,3 gramos obtenido por González (2010) y a los 2,6 gramos obtenidos por Valdez et al. (2011). Los promedios de número de ramas por planta, tramo de carga y número de cápsulas por rama fueron 6, 82 cm y 45, respectivamente. Estas discrepancias indican que hubo mayor desarrollo vegetativo, expresado por la mayor altura de plantas, mayor tramo de carga y mayor cantidad de cápsulas, en detrimento del llenado de los granos.

En cuanto a la falta de respuesta significativa en el rendimiento del grano como en las demás variables productivas del sésamo, por efecto de los tratamientos (fertilización, tipo de labranza y uso de abonos verdes), cabe mencionar primeramente que fue utilizada una sola dosis de fertilizante nitrogenado en forma de urea, a razón de 50 kg de N ha<sup>-1</sup>, que probablemente fue relativamente baja, a pesar que la misma es la que se recomienda para suelos similares en fincas de agricultores.

Parwar et al. (1993) reportan que la producción de semillas de sésamo fue aumentada a partir de la aplicación de 120 kg N ha<sup>-1</sup>, mientras que Sumathi y Jaganadham (1994) obtuvieron rendimientos máximos con 60 kg N ha<sup>-1</sup>, por lo que existe una amplia variabilidad de rendimientos con la aplicación de fertilizantes nitrogenados, con resultados positivos en determinados lugares y negativos en otras situaciones, demostrando la complejidad y dificultad al estudiar las relaciones del suelo, planta y la atmósfera en el cultivo del sésamo relacionadas con la dinámica del Nitrógeno.

Además, según lo reportado por Sá (1993), en la etapa inicial del Sistema de Siembra Directa se observa la necesidad de aplicar mayores cantidades de Nitrógeno, debido a la intensificación del proceso de inmovilización en el suelo por los microorganismos quimiorganotróficos como respuesta a la mayor oferta de carbono orgánico en el sistema. En virtud de todo esto, normalmente se recomienda para el manejo de la fertilización nitrogenada en Sistemas de Siembra Directa, dosis de nitrógeno de 10 a 30% mayores que las utilizadas en un sistema convencional de manejo (Ceretta 1997).

Por otro lado, el área destinada a la experimentación ha sido laboreada permanentemente en cultivos anteriores, de tal manera que los efectos o beneficios de la siembra directa, si bien probablemente han mejorado las propiedades del suelo, aún no han afectado positivamente los rendimientos del sésamo. Esto está en concordancia con lo expuesto por Sá (1993), que indica que después de cuatro años de implementación del Sistema de Siembra Directa se inicia el restablecimiento del equilibrio de las transformaciones en el sistema, a medida de que ocurre la reposición de los residuos culturales y solo después de 9 a 12 años ocurre la mayor liberación de Nitrógeno en el sistema.

En cuanto a la utilización de la mezcla de avena negra + lupino como abonos verdes de invierno, hay que mencionar que el aporte de estos ha sido muy bajo. En promedio se obtuvo  $1.800 \text{ kg ha}^{-1}$  de materia seca, mientras que Filippini (2007) obtuvo  $4.300 \text{ kg ha}^{-1}$  de materia seca, en parcelas en condiciones similares de manejo. Esto puede obedecer a que fueron sembradas fuera de la época óptima recomendada para la Región Oriental de Paraguay que corresponde al mes de abril (Florentín et al. 2001). De esta manera, si bien el uso de abonos verdes pudo favorecer el mantenimiento de la humedad en el suelo y controlar malezas, no ha mejorado el rendimiento del sésamo.

## 4.2 Cuantificación del Nitrógeno

### 4.2.1 Contenido de Nitrógeno en el grano de sésamo

Entre 74 y 93 kg N ha<sup>-1</sup> fueron exportados por los granos, lo que concuerda con datos de Bascones y Ritas (1961) que indican que alrededor de 71,74 kg ha<sup>-1</sup> de N se encuentran en los granos de sésamo. Los contenidos de N total y N derivados del fertilizante, de abono verde o desde el suelo no fueron significativamente diferentes entre las parcelas con y sin laboreo (Tabla 7) (Anexos 21 y 22).

Tabla 7. Contenido total de Nitrógeno en granos de sésamo, y la contribución del fertilizante, del abono verde y del suelo, en parcelas experimentales con o sin laboreo. San Lorenzo, 2011.

Tipo de laboreo	Total	Del Fertilizante	Del Abono verde	Del Suelo
	----- kg N ha <sup>-1</sup> -----			
Sin laboreo	93,2	5,2	25,2	62,8
Con laboreo	74,4	4,1	15,7	54,6
DMS ( $p < 0,05$ )	ns	ns	ns	ns

DMS: diferencia mínima significativa; ns: no significativo

El mayor aporte de N en los granos provino del suelo que fue de 57,2 kg en promedio para ambos sistemas de laboreo, el aporte de los residuos de Abonos Verdes también fue considerable, alrededor de 20 kg de N y el aporte del fertilizante fue solo de 4,7 kg de N, es decir que por más que las parcelas fueron fertilizadas la mayor cantidad de N provino del suelo; estos resultados son coincidentes con los de Lara Cabezas (2005). De esta manera se puede destacar la gran importancia de la incorporación de residuos vegetales que formarán parte de la materia orgánica del suelo como fuente de N para las plantas.

González (2011) utilizó la combinación de avena negra + lupino y encontró una producción de materia seca de 3.264 kg ha<sup>-1</sup>, con una concentración de N de 1,3%, que corresponde a 46,7 kg de N ha<sup>-1</sup> acumulado. Normalmente, la avena negra produce entre 1.000 y 3.000 kg ha<sup>-1</sup> de materia seca con una concentración de N de

1,2%. El lupino produce 4.000 kg ha<sup>-1</sup> de materia seca, con una concentración de N de 1,6% (Florentín et al. 2006).

#### 4.2.2 Contenido de Nitrógeno en la materia seca de sésamo

La materia seca de la parte aérea de sésamo está conformada por restos de hojas, cápsulas y ramas, y generalmente la masa de la misma alcanza 10.000 kg ha<sup>-1</sup> (Bascones y Ritas 1961). En la Tabla 8 se observa que existió de 97 a 110 kg N ha<sup>-1</sup> en la parte aérea de las plantas de sésamo, de los cuales, alrededor del 85% provino del suelo, 9% del abono verde, y apenas 5% del fertilizante aplicado. No se registró diferencia estadística significativa entre las parcelas laboreadas y no laboreadas (Anexos 23 y 24).

Tabla 8. Contenido total de Nitrógeno en la materia seca de la parte aérea del sésamo, y la contribución del fertilizante, del abono verde y del suelo, en parcelas experimentales con o sin laboreo. San Lorenzo, 2011.

Tipo de laboreo	Total	Del Fertilizante	Del Abono verde	Del Suelo
	----- kg N ha <sup>-1</sup> -----			
Sin laboreo	97,3	5,0	7,3	85,0
Con laboreo	109,7	6,2	12,0	91,5
DMS ( <i>p</i> < 0,05)	ns	ns	ns	ns

DMS: diferencia mínima significativa; ns: no significativo

#### 4.2.3 Contenido de Nitrógeno en el suelo

Al finalizar el ciclo del sésamo, apenas alrededor del 2% del contenido total de Nitrógeno provino del fertilizante aplicado, la mayor parte provino de los abonos verdes y de la fracción encontrada en el suelo (40 y 58%, respectivamente). El aporte estimado de los abonos verdes fue 364 kg ha<sup>-1</sup>, mayor en las parcelas laboreadas que en las no laboreadas (Tabla 9) (Anexos 25 y 26).

Tabla 9. Contenido total de Nitrógeno en el suelo, y la contribución del fertilizante, del abono verde y del suelo, en parcelas experimentales con o sin laboreo. San Lorenzo, 2011.

Tipo de laboreo	Total	Del Fertilizante	Del Abono verde	Del Suelo
	----- kg N ha <sup>-1</sup> -----			
Sin laboreo	870,3	24,2	207,6	638,5
Con laboreo	1006,5	18,0	572,0	416,5
DMS ( $p < 0,05$ )	ns	ns	154	ns

DMS: diferencia mínima significativa; ns: no significativo

El alto aporte de N proveniente de los abonos verdes está siendo claramente sobrestimado, ya que la producción de materia seca de los abonos verdes (avena negra + lupino) fue solo de 1.800 kg ha<sup>-1</sup>, y el aporte de N es normalmente de 1,3% de la materia seca, lo que aproximadamente corresponde a 23 kg N ha<sup>-1</sup>, de acuerdo a lo encontrado por González (2011) con la misma combinación de abonos verdes.

### 4.3 Destino del Nitrógeno aplicado como fertilizante

El Nitrógeno aplicado como fertilizante puede tener varios destinos, una parte es absorbida por las plantas, otra permanece en el suelo formando parte de la materia orgánica y otra se pierde por lixiviación, volatilización o desnitrificación. En la Figura 2 se muestra el destino del N aplicado como fertilizante en forma de urea.

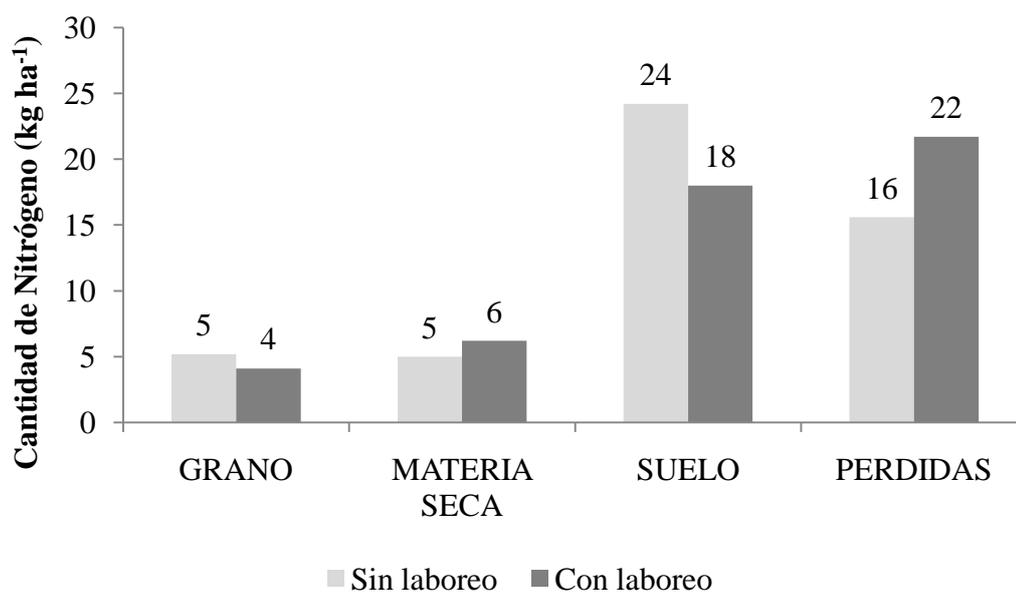


Figura 2. Destino del Nitrógeno aplicado como fertilizante en parcelas experimentales con o sin laboreo. San Lorenzo, 2011.

No hubo diferencias estadísticas significativas entre las parcelas laboreadas y no laboreadas en el contenido de N (Anexo 27). De los 50 kg N ha<sup>-1</sup> que fueron aplicados, menos del 50% quedó en el suelo, 8% fue a la producción de granos, el 10% a la materia seca de la parte aérea (ramas, hojas y cápsulas) y el resto (32%) no se pudo contabilizar y se atribuyó a pérdidas. Estas pérdidas están en concordancia con las encontradas por varios investigadores que afirman que esta fracción varía de 15 a 40% dependiendo del manejo (Coelho et al. 1991; Trivelin et al. 1995; Gava et al. 2002).

A pesar de que las diferencias no fueron estadísticamente significativas, se detectó que el mayor promedio de N al suelo y el menor promedio de pérdidas se dio en aquellas parcelas que no fueron laboreadas (24 y 16 kg N ha<sup>-1</sup>, respectivamente) por la incorporación de residuos como fuente de N y la no remoción que ayudó a reducir las pérdidas por lixiviación en estas parcelas.

Se constató que el 68% del N aplicado fue recuperado en la planta y el suelo, y el 32% probablemente se perdió. Esta distribución porcentual se encuentra en el

rango de los datos presentados en la Tabla 1. Por otro lado, no coincide con lo encontrado por Atta y Van Cleemput (1988), que reportaron que aplicando 238 kg N ha<sup>-1</sup> en suelos arenosos, las plantas de sésamo recuperaron el 12% de lo aplicado en forma de fertilizante, 13% permaneció en el suelo para el siguiente cultivo y el 75% fue atribuido a pérdidas.

#### **4.4 Eficiencia en el uso de fertilizante nitrogenado**

La aplicación de fertilizantes nitrogenados y la eficiencia de su uso por un cultivo requieren la consideración de diferentes aspectos, como ser Eficiencia Agronómica (kg de grano por kg de N aplicado), Eficiencia de Recuperación (kg de N absorbido por kg de N aplicado) y Eficiencia en la Utilización de Fertilizante (%).

En el 56% de las parcelas (9/16) que recibieron fertilización nitrogenada se registró aumento en la producción de granos por efecto de la aplicación de Nitrógeno. Estos efectos se presentan en la Figura 3, donde también se indica el efecto del laboreo y uso de abonos verdes en la Eficiencia Agronómica (EA), que varió de 3,6 a 21,3 kg de grano por kg de N aplicado.

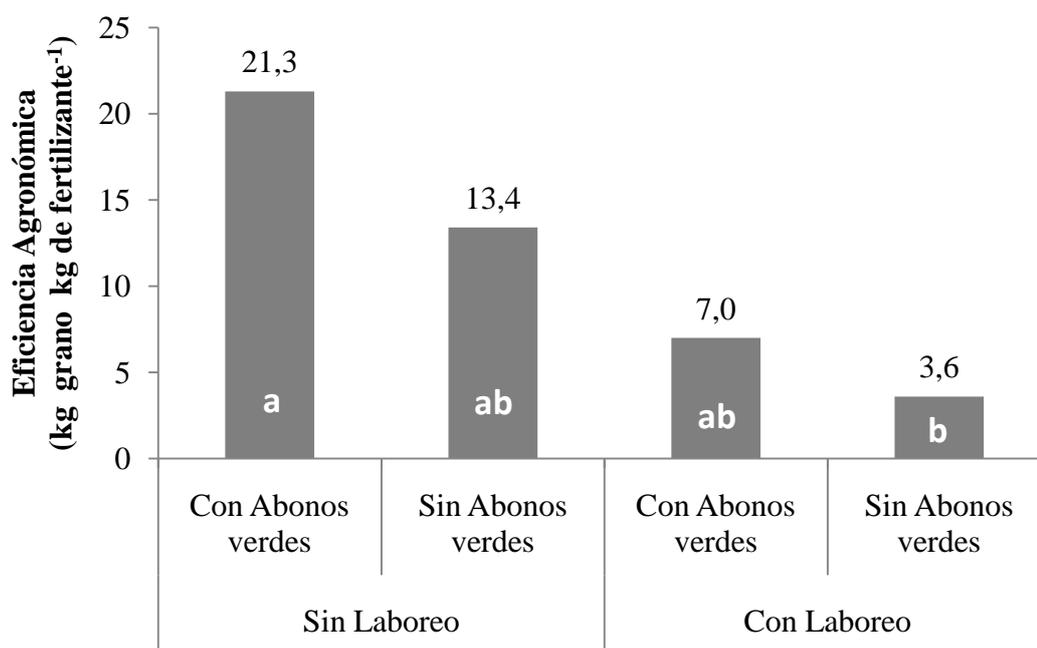


Figura 3. Efectos del abono verde y el laboreo en la Eficiencia Agronómica. Medias que comparten una misma letra no son estadísticamente diferentes ( $\alpha=0,05$ ). San Lorenzo, 2011.

Las parcelas que fueron laboreadas presentaron menor EA, con valores de 3,6 a 7,0 kg de grano por kg de N aplicado. Los bajos valores obtenidos se deben al bajo incremento en el rendimiento de los granos de sésamo por efectos de la aplicación de fertilizante nitrogenado.

Las parcelas que no fueron laboreadas (Siembra Directa) presentaron EA de 13,4 a 31,3 kg de grano por kg de N aplicado, que coinciden con los valores que Zapata (2008) menciona como normales, con rangos de 10 a 25 kg de grano por kg de N aplicado. En ambos tipos de preparación del suelo, se obtuvieron mayores EA en las parcelas donde hubo incorporación de residuos de Abonos verdes, de esta manera queda en evidencia que el uso de abonos verdes y la no remoción del suelo favorecen la eficiencia en la utilización de fertilizantes nitrogenados, probablemente por mantener la humedad del suelo y disminuir los efectos de la erosión hídrica.

En cuanto a la Eficiencia de Recuperación (ER), que indica la cantidad total de N absorbido por la planta por kg de N aplicado, sólo el 25% (4/16) de las parcelas que recibieron fertilización nitrogenada tuvieron una respuesta a esta práctica (Figura 4). Las parcelas que fueron laboreadas y sin uso de abonos verdes no tuvieron respuesta alguna a la fertilización y por lo tanto no tuvieron un incremento en la absorción de N.

La ER varió de 1,8 a 3,8 kg de N absorbido por la planta por kg de N aplicado. Se obtuvo mayores respuestas en las parcelas que utilizaron abonos verdes, lo que indica la importancia de la incorporación de residuos vegetales para la mejor absorción del N.

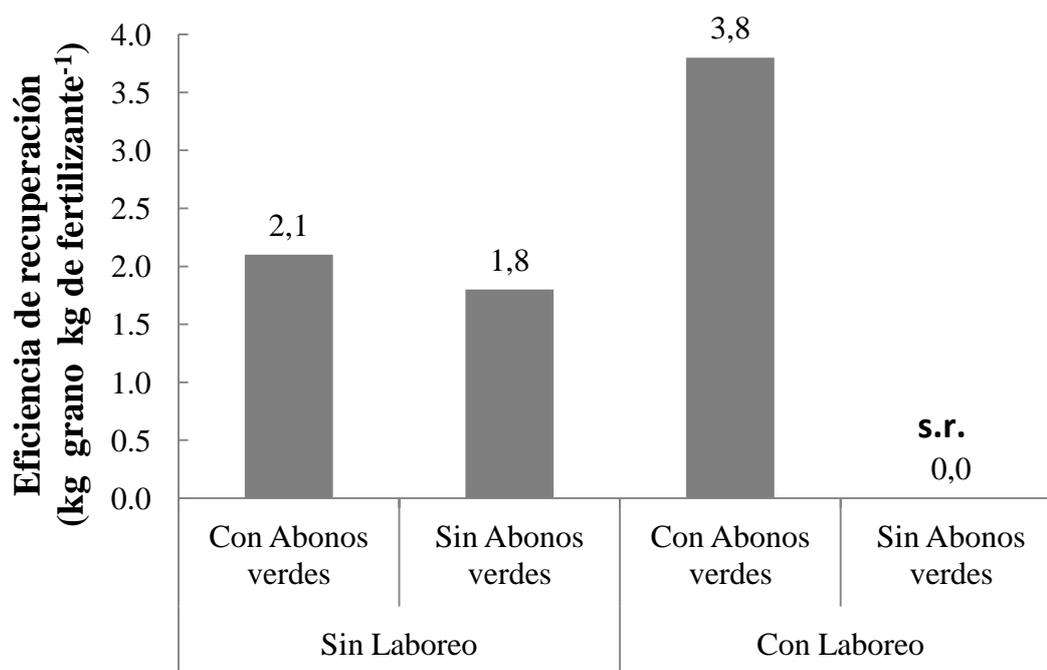


Figura 4. Efectos del abono verde y el laboreo en la Eficiencia de Recuperación. San Lorenzo, 2011. (s.r: sin respuesta)

En la Figura5 se presenta la Eficiencia de Utilización del Fertilizante (EUF), que varió de 18 a 26%. No hubo diferencias significativas en estos valores por efecto de los tratamientos, es decir no hubo respuesta al tipo de labranza o al uso de abonos verdes, en forma individual o combinada.

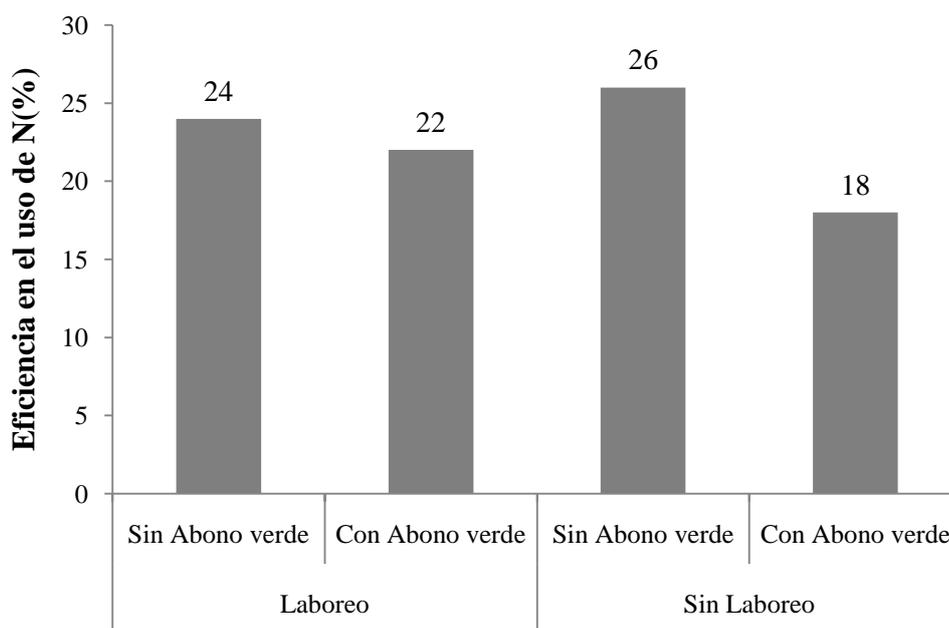


Figura 5. Efectos del abono verde y el laboreo en la Eficiencia en el Uso del Fertilizante. San Lorenzo, 2011

Los valores obtenidos fueron inferiores a lo reportado por Pino (1996) que alcanzó una EUF de 38,5% pero están en coincidencia con lo esperado para América Latina, donde el rango de recuperación de fertilizantes nitrogenados es de 19 a 89% dependiendo del clima, suelo, tratamientos y manejo agrícola (Urquiaga 2000). Se estima que existen mayores pérdidas, sobre todo por volatilización y lixiviación en la utilización de urea como fuente nitrogenada. En promedio se tiene que por cada 100 kg de N aplicado en forma de fertilizante, 22,5 kg de N se translocaron a los granos.

## 5. CONCLUSIONES

Bajo las condiciones de este experimento, el laboreo, los abonos verdes y la fertilización nitrogenada no tuvieron efecto estadísticamente significativo sobre el rendimiento de sésamo y los componentes del rendimiento.

El sistema de laboreo no influyó en el contenido de N en el grano, en la materia seca y en el suelo. En promedio, se contabilizó en el grano, materia seca y suelo: 84, 104 y 938 kg N ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

El 20% del total de fertilizante aplicado en forma de urea fue absorbido y utilizado por la planta, el 9% fue a granos y el 11% permaneció en la materia seca (hojas + ramas + cápsulas). La mayor proporción permaneció en el suelo (42%) y el 38% no se pudo contabilizar y posiblemente se perdió del sistema por volatilización y lixiviación.

El sistema de laboreo influyó significativamente en la Eficiencia Agronómica. En parcelas no laboreadas se obtuvo en promedio 17 kg de grano de sésamo adicionales por kg de fertilizante aplicado, mientras que en parcelas laboreadas se obtuvo 5 kg.

El método de dilución isotópica fue útil para determinar el destino del Nitrógeno aplicado pero sobreestimó el aporte de los residuos de los abonos verdes en el contenido de N en el suelo. No obstante, se pudo demostrar que el uso de abonos verdes de cobertura juega un papel importante en la dinámica del N en suelos degradados, por lo tanto su inclusión en la rotación de cultivos puede permitir la reducción de la aplicación de fertilizantes nitrogenados en los sistemas productivos de las pequeñas fincas en Paraguay.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Addiscott, T.M. 2004. Nitrate, agriculture and the environment. Wallingford, CABI Publishing. 279 p.

Allmaras, R.; Schomberg, H.; Douglas, C.; Dao, T. 2000. Soil organic carbon. Sequestration potential of adopting conservation tillage in U.S. croplands. J. Soil Water Cons. 55:365-373.

Amado, T.J.C. 1997. Disponibilidade de nitrogênio para o milho em sistemas de cultura e preparo do solo. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência do Solo) – Programa de Pós-graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 201 p.

Amado, T.J.C.; Mielniczuk, J.; Aita, C. 2002. Recomendação da adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema plantio direto. R. Bras. Ci Solo. 26: 241-248.

Amado, T.J.C.; Santi, A.; Acosta J.A.A. 2003. Adubação nitrogenada na aveia preta: influência na decomposição de resíduos, liberação de nitrogênio e rendimento de milho sob sistema plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo. 27: 1085-1096.

Asghar Malik, M.; Farrukh Saleem, M.; Mumtaz Akhtar, C.; Shamim, A. 2003. Influence of different nitrogen levels on productivity of sesame (*Sesamum indicum* L.) under varying planting patterns. Department of Agronomy. University of Agriculture. Faisalabad, PK. J. Agri. Biol. 5(4): 490-492.

Ashfaq, A.; Akhtar, M.; Hussain, A.; Ehsanullah, A.; Musaddique, M. 2001. Genotypic response of sesame to nitrogen and phosphorus application. Pak. J. Agric. Sci., 38(2): 12-15.

Atta, S.K.H.; Van Cleemput, O. 1988. Field study of the fate of labeled fertilizer ammonium applied to sesame and sunflower in a sandy soil. Plant and soil. 107: 123-126.

Axmann, H.; Zapata, F. 1990. Stable and radioactive isotopes. In: Hardarson, G. (Ed.). Use of nuclear techniques in studies of soil –plant relationships. Vienna: IAEA. p 9 -34 (Training Course Series No. 2).

Ayala, C.F.2000. Produção de sésamo influenciado por doses de fertilizantes nitrogenados e fosfatados em el Departamento de Amambay.; PY: FCA-UNA.17 p (Estudio de Casos).

Barber, S. 1995. Soil bioavailability: s mechanistic approach. 2nd ed. New York: Jonh Wilwy. 414 p.

Barraclough, D. 1991. The use of mean pool abundances to interpret nitrogen-15 tracer experiments. I. Theory. Plant and Soil 131: 89–96.

Bartz, H.R. 1998. Dinâmica dos nutrientes e adubação em sistemas de produção sob Plantio Direto. In: Fries, M.R. (Ed.). Plantio Direto em solos arenosos: alternativas para a sustentabilidade agropecuária. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria: Ed. Pallotti. p. 52-81.

Bascones, L.; López Ritas, J. 1961. La nutrición mineral del ajonjolí. Agronomía Tropical Venezuela 2:17-32.

Basha, H.A. 1994. Response of two sesame cultivars to nitrogen level in newly reclaimed sandy soil. Zagazig J. Agric. Res., 21 (3): 603-616.

Bassiem, M.M.; Anton, N.A. 1998. Effect of nitrogen and potassium fertilizers and foliar spray with ascorbic acid on sesame plant in sandy soil. Ann. Agric. Sci., Moshtohor, 36(1): 95-103.

Bowen, G.D., Zapata, F.1991. Efficiency in uptake and use of nitrogen by plants. Stable Isotopes in Plant Nutrition, Soil Fertility and Environmental Studies, IAEA, Vienna. p 349–362.

Bull, L. T. 1993. Nutrição mineral do milho. In: Bull, L.T.; Cantarella, H. (Eds). Cultura do Milho: fatores que afetam a produtividade. Informações Agrônômicas, Piracicaba, p. 63- 146.

Calegari, A. 1993. Adubação verde no sul do Brasil. AS-PTA, Rio de Janeiro. 346 p.

Camargo, F. A. O. 1996. Fracionamento e dinâmica do nitrogênio orgânico em solos do Rio Grande do Sul. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 151 p.

Camargo, F.A.O. Gianello, C.; Vidor, C. 1999. Nitrogen fractions in the microbial biomass in soils of Southern Brazil. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa. 23: 181-185.

- Cantarella, H. 1993. Calagem e adubação do milho. Piracicaba, POTAFOS. 148-196
- Catchpoole, V.R. 1983. Transformation and recovery of urea applied to a pasture in South-Eastern Queensland, Aust. J. Exp. Agr. Anim. Husb. 23:80–86.
- Ceretta, C. A. 1997. Manejo da adubação nitrogenada na sucessão aveia/milho no sistema plantio direto. Santa Maria. UFSM, Departamento de Solos. p 112-124.
- Cline, G.R.; Silvernail, A.F. 2002. Effects of cover crops, nitrogen, and tillage on sweet corn. Horttechnology, Alexandria. 12: 118-125.
- Coelho, A.M. 2007. Nutrição e Adubação de Milho. Embrapa milho e Sorgo. Sistema de Produção. Versão eletrônica – 3ª Edição. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/deficiencia/deficiencia/html>. Acesso em: 22 de novembro de 2012.
- Coelho, A.M.; França, G.E. De; Bahia Filho, A.F.C. 1991. Nutrição e adubação do milho forrageiro. In: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo. Milho para silagem: tecnologias, sistemas e custo de produção. Sete Lagoas, p 29-73.
- Cursack, A.; Travadelo, M. 1997. El análisis económico en la conservación de suelos: aspectos metodológicos. Revista Fave 1: 48–61.
- De Oliveira, R.C. 2007. Recomendação técnica e cultivo de cultura do gergelim, no sistema safrinha, fazenda Palmeirinha município de Campinaçu (G) (em línea). Consultado el 11 de mayo de 2011. Disponível em [http://74.125.113.132/search?q=cache:PjM42JZSbM0J:www.upis.br/pesquisas/pdf/agronomia/2008/Robero\\_Carlos\\_Oliveira\\_BT\\_Recomenda%25E7%25E3o\\_t%25E9cnica\\_cultivo\\_cultura\\_georgilim\\_sistema\\_safrinha\\_fazenda\\_Palmeirinha\\_munic%25EDpio\\_Campina%25E7%25FA\\_GO.pdf+sintomas+de+deficiencia+de+fosforo+en+sesamum+indicum&cd=23&hl=pt-BR&ct=clnk.deficiencia/deficiencia/html](http://74.125.113.132/search?q=cache:PjM42JZSbM0J:www.upis.br/pesquisas/pdf/agronomia/2008/Robero_Carlos_Oliveira_BT_Recomenda%25E7%25E3o_t%25E9cnica_cultivo_cultura_georgilim_sistema_safrinha_fazenda_Palmeirinha_munic%25EDpio_Campina%25E7%25FA_GO.pdf+sintomas+de+deficiencia+de+fosforo+en+sesamum+indicum&cd=23&hl=pt-BR&ct=clnk.deficiencia/deficiencia/html). Acesso em: 22 de novembro de 2012.
- Di Rienzo, JA; Casanoves, F; Balzarini, MG; González, L; Tablada, M; Robledo, CW. 2011. Infostat versión 2008. Grupo Infostat. Universidad Nacional de Cordoba, AR. 336 p.
- Diekow, J. 2003. Estoque e qualidade da matéria orgânica do solo em função de sistemas de culturas e adubação nitrogenada no sistema plantio direto. Porto Alegre, 2003. 182f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003
- Doran, J. W. 1987. Microbial biomass and mineralizable nitrogen distributions in no tillage and plowed soils. Biology and Fertility of soils, Berlin. 5: 68-75.

Duarte, C. 2008. Análisis de la producción de sésamo. Agencia financiera de desarrollo. (en línea). Consultado el 11 de setiembre de 2009. Disponible en <http://www.google.com.py/search?hl=es&source=hp&q=el+cultivo+de+sesamo&btnG=Buscar+con+Google%meta=6aq=f&oq>.

Eiza, M.; Fioriti, N.; Studdert, G.; Echeverría, H. 2005. Fracciones de carbono orgánico en la capa arable: efecto de los sistemas de cultivo y de la fertilización nitrogenada. *Cienc. Suelo. Argentina*. 23 (1): 59-67.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). 2001. O agronegócio do gergelim no Brasil. Campina Grande, BR. 348 p.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). 2006. Cultivar BRS 196 CNPA G4 e seu sistema de cultivo. (en línea). Consultado el 12 de abril de 2011. Disponible en [http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/CNPA/19950/1/FolderCultivar\\_BRS\\_196\\_CNPA\\_G4.pdf](http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/CNPA/19950/1/FolderCultivar_BRS_196_CNPA_G4.pdf).

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). 2007. A Cultura do gergelim. Informação tecnológica. Brasília, BR. 72 p.

Faust, H. 1981. Nitrogen-15 in Agriculture: 1978–1980, ZfI-Mitteilungen No. 49, Central Institute for Radiation and Research, Leipzig.

Fayed, E.H.M.; Hassan, A.A.; Hussain, S.M.A. 2000. Sesame performance as affected by seeding rate and nitrogen levels under drip irrigation system in newly cultivated sandy soil. I. Yield and yield attributes. *Ann. Agric. Sci., Moshtohor*, 38(1): 65-73.

Filippini, L.E. 2007. Evaluación de abonos verdes de invierno en suelos degradados del Departamento Central. Tesis: (Ing. Agr.). Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción. Departamento de Producción Agrícola. San Lorenzo, PY. 30 p.

Florentín, M.; Calegari, A.; Derpsch, R. 2001. Abonos verdes y rotación de cultivos en siembra directa: Pequeñas propiedades. San Lorenzo, PY. MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). 84 p.

Florentín, M.A. Peñalva, M. Calegari, A.; Derpsch, R. 2006. Abonos verdes y rotación de cultivos en siembra directa: Pequeñas propiedades. San Lorenzo, PY.

Franco, J.A.A. 1970. A cultura do gergelim e suas possibilidades no Nordeste. Fortaleza: BNB. 69 p.

Franzluebbers, A.J.; Hons, F.M.; Zuberer, D.A. 1994. Seasonal change in soil microbial biomass and mineralizable C and N in wheat management systems. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford. 26:1469-1475.

Frenay, J.R. 1993. Use of nitrification inhibitors to increase fertilizer nitrogen recovery and lint yield in irrigated cotton, *Fert. Res.* 34:37–44.

Gava, G. J. C.; Trivelin, P. C. O.; Vitti, A. C.; Oliveira, M. W. 2002. Recuperação do nitrogênio ( $^{15}\text{N}$ ) da uréia e da palhada por soqueira de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*). Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas. 27: 621-630.

Giller, K. E.; Wilson, K. J. 1993. Nitrogen fixation in tropical cropping systems. CAB International, The Netherlands. 54 p.

Gonçalves, C.N.; Ceretta, C.A.; Basso, C.J. 2000. Sucessões de culturas com plantas de cobertura e milho em plantio direto e sua influencia sobre o nitrogênio do solo. R. Bras. Ci Solo. 24: 153-159.

González Salomón, J.M. 2010. Fertilización nitrogenada del sésamo (*Sesamum indicum* L.), en un suelo de Escobar, Departamento de Paraguari. Tesis (Ing. Agr.) Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Suelos y Ordenamiento Territorial. 34 p.

González, H.A. 2011. Evaluación de plantas de cobertura de otoño invierno en un ultisol bajo siembra directa en el Departamento de Caazapá. Tesis (Ing. Agr.). Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción, Departamento de Suelos y Ordenamiento Territorial. San Lorenzo, PY. 65 p.

Harris, G.H.; Hesterman, O.B. 1990. Quantifying the nitrogen contribution from alfalfa to soil and two succeeding crops using nitrogen-15. Agron. J., 82:129-134.

Hart, S.; Myrold, D. 1996.  $^{15}\text{N}$  tracer studies of soil nitrogen transformations. In: Botton, W.; Yamasaki, S. Mass spectrometry of soils. New York: Marcel Dekker. P 225-245.

Haruna, I.M.; Aliyu, L.; Olufajo, O.; Odion, E. C. 2011. Growth of Sesame (*Sesamum indicum* L.) as influenced by Poultry Manure, Nitrogen and Phosphorus in Samaru, Nigeria.

Hauck, R.D. 1973. Nitrogen tracers in nitrogen cycle: Past use and future needs, J. Env. Qual. 2: 317-327.

Hauck, R.D. 1984. Epilogue. In: HAUCK, R.D., (Ed.). Nitrogen in crop production. Soil Science Society of America, Madison. p 782-787.

Hauck, R.D., Bremner, J.M. 1976. Use of tracers for soil and fertilizer nitrogen research, Adv. Agron. 28:219-266.

Havlin, J.; Beaton, J. Tisdale, S.; Nelson, W. 2005. Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management. New Jersey: Pearson Prentice hall, upper Saddle River. 516 p.

Havlin, J.; De Kassel; L.; Maddux; M.; Claassen, M.; Long, J. 1990. Crop rotation and tillage effects on soil organic carbón and nitrogen. Soil Sci. Soc. Am. J., 54: 448-452.

Heinrichs, R. 2001. Cultivo consorciado de aveia e ervilhaca: relação C/N da fitomassa e produtividade do milho em sucessão. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 25: 331- 340.

IAEA (International Atomic Energy Agency). 1976. Nitrogen-15 in Soil-Plant Studies, IAEA, Vienna. 120 p.

Igue, K. 1984. Dinâmica da matéria orgânica e seus efeitos na propriedade do solo. *Fundacion Cargill, Campinas,SP, Brasil*. p 232-267.

Jansson, S.J.; Persson, J. 1982. Mineralization and immobilization of soil nitrogen. . *Soil Sci. Soc. Am. Inc., Madison, Wisconsin, USA*.22: 229-251

Janzen, H.; Campbell, C.A; Izaurrealde; R.C.; Ellert, B.H.; Juma, N.; McGill, W.B.; Zentner, R.P. 1998. Management effects on soil C storage on the Canadian Prairies. *Soil Tillage Res*. 47:181–95.

Karlen, D.L.; Wollenhaupt, N.C.; Erbach, D.C.; Berry, E.C.; Swan, J.B.; Eash, N.S.; Jordahl, J.L. 1994. Crop residues effects on soil quality following 10-years of no-till corn. *Soil Tillage Res*. 31:149–167.

Keeney, D.R. 1982. Nitrogen management for maximum efficiency and minimum pollution. In: STEVENSON, F.J. Nitrogen in agricultural soils. Soil Science Society of America, Madison, p. 605-649.

Kumar, K.; Goh; K.M. 2000. Crop residues and management practices: Effects on soil quality, soil nitrogen dynamics, crop yield, and nitrogen recovery. *Adv. Agron*. 68:197-319.

Lara Cabezas, W. A. R; Alves, B.J.; Urquiaga, S.; Santana, D. 2004. Influencia da cultura antecessora e da adubação nitrogenada na produtividade do milho em sistema plantio direto e solo preparado. *Ci Rural*. 34: 1005-1013.

Lara Cabezas, W.A.R. 2005. Influencia da cultura antecessora e da adubação nitrogenada na produtividade do milho em sistema de plantio direto e solo preparado. *Ciência Rural*, Santa Maria, BR. 34(4): 1005-1013.

Lara Cabezas, W.A.R; Kornodorf, G.H.; Motta, S.A. 1997. Volatilização de N-NH<sub>3</sub> na cultura do milho: II Avaliação de fontes sólidas e fluidas em sistema de plantio direto e convencional. *Revista Brasileira de Ciência do solo*. Viçosa. 21: 481-487.

Lopes, S. A.; Wietholter, S.; Guilherme, L. R. G. Silva, C. A. 2004. Sistema plantio direto: bases para o manejo da fertilidade do solo. São Paulo. *ANDA*. 110 p.

López G., O.; González E., E.; De Llamas G., P. A.; Molinas, A.; Franco S., E. S.; García S., S.; Ríos A., E. 1995. Estudio de reconocimiento de suelos, capacidad de uso de la tierra y propuesta de ordenamiento territorial preliminar de la región

oriental del Paraguay. MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). Asunción, Paraguay. 246 p.

Macchi Leite, G. 2003. Rendimiento del sésamo (*Sesamum indicum* L.) variedad Escoba, en suelos degradados, en el sistema de siembra directa. (Ing. Agr.). Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción, Departamento de Producción Agrícola. 66 p.

MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). 2011. Diagnostico de rubros agrícolas. Asunción, PY. 116 p.

MAG-DEA (Ministerio de Agricultura y Ganadería, Dirección de Extensión Agraria). 2005. Cultivo del sésamo. San Lorenzo, Paraguay. 80 p.

Malavolta, E.; Vitti, G. C.; Oliveira, S. A. 1997. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: Potafos. 319p.

Malhi, S.S., Nyborg, M. 1991. Recovery of <sup>15</sup>N-labelled urea: Influence of zero tillage, and time and method of application, Fert. Res. 28:263-269.

Mazzani, B. 1983. Cultivo y mejoramiento de plantas oleaginosas. Caracas, VN. P 175-177.

Meirelles, N.; Libardi, P.; Reichardt, K. 1980. Absorção e lixiviação de nitrogênio em cultura de feijão. Revista Brasileira de Ciência de Solo. Viçosa, 4:83-88.

Melgar, R.; Camozzi, M.; Figueroa, M. 1999. Guía de fertilizantes, enmiendas y productos nutricionales. Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Cap 1, p. 13 - 25

Mendonça, E. S.; Oliveira, F. H. T. 2000. Fornecimento de nutrientes pela matéria orgânica do solo. In: Simpósio sobre fertilidade do solo, nutrição de plantas no sistema plantio direto. Ponta Grossa. Associação dos Engenheiros Agrônomos dos Campos Gerais. p 70- 81.

Meurer, E. J. 2004. Fundamento em química do solo. Porto Alegre. 110 p.

Milani, M.; Gondim, T.M.; Coutinho, D. 2005. Cultura do Gergelim. (en línea). Consultado el 10 de julio de 2010. Disponible en <http://www.cnpa.embrapa.br/publicacoes/2005/CIRTEC83.pdf>.

Milhomen, C.L.; Castro, N.H. 2008. Diretrizes técnicas para o cultivo do gergelim no Estado do Mato Grosso. (en línea). Consultado el 28 de setiembre de 2009. Disponible en <http://www.gestaoct.org.br/documentos/manualgergelim.pdf>.

Moraghan, J.T. 1994. Labeled nitrogen fertilizer research with urea in the semi-arid tropics, II. Field studies on a Vertisol, Plant Soil 80:21-33.

Moreira, F.M.S.; Siqueira, J.O. 2002. Transformações bioquímicas e ciclos dos elementos do solo. In: MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. (EDS). Microbiologia e bioquímica do solo. Editora UFLA, Lavras. 626 p.

Muraoka, T.; Ambrosano, E.J.; Zapata, F.; Bortoletto, N.; Martins, A.L.M.; Trivelin, P. Boaretto, A.E.; Scivittaro, W.B. 2002. Eficiencias de abonos verdes (crotalaria y mucuna) y urea, aplicados solos o juntamente, como fuentes de N para el cultivo de arroz. Terra, Chapingo. 20 (1): 17-23.

Muzilli, O. 1983. Influencia do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa. 7: 95 – 102.

Navarro, S.; Navarro, G. 2003. Química Agrícola: El Suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. Ed. Mundi Prensa. Madrid, España. p 183 – 215.

Noorka, I.R.; Hafiz, S.I.; Bramawy, M. A. S. 2011. Response of sesame to population densities and nitrogen fertilization on newly reclaimed sandy soils. Pak. J. Bot., 43(4): 1953-1958.

Pang, X.P.; Letey, J. 2000. Organic farming: challenge of timing nitrogen availability to crop nitrogen requirements. Soil Science Society of America Journal, Madison. 64(1): 247-253.

Parwar, P.R.; Pathi, R. A.; Khanvilkar, S.A.; Mahadkar, U.N.; Bhagat, S.B. 1993. Effect of different levels of nitrogen and phosphorous on yield and quality of sesamum. J. Maharashtra Agric. Univ., 18: 310–328.

Paul, E. A.; Clark, F.E. 1996. Soil microbiology and biochemistry. 2.ed. California, Academic Press. 340 p.

Phillips, S.H.; Young, H.M. 1973. No tillage farming. Milwaukee, Reiman Associates. 224 p.

Pino, I. 1996. Evaluation of nitrogen sources ( $^{15}\text{N}$ ) on three wheat varieties in an andisol and an ultisol. Isotopic parameters and fertilizer use efficiency. Agr. Tec. Chile. 56 (3): 187-192.

Pino, I. 2010. Técnicas isotópicas en estudios de suelos. Comisión chilena de energía Nuclear. Biblioteca Digital de la Universidad de Chile. (en línea). Consultado el 10 de setiembre de 2012. Disponible en [http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/lb/ciencias\\_agronomicas/miscelaneasagronomicas38/C15.html](http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/lb/ciencias_agronomicas/miscelaneasagronomicas38/C15.html)

Pöttker, D.; Romano, E. S. 1994. Efeito de resíduos de culturas e do pousio de inverno sobre a resposta do milho a nitrogênio. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília. 29: 763- 770.

Produção. Versão eletrônica – 3ª Edição. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/>

Purcino, A. A. C.; Magnavaca, R.; Machado, A. T.; Marriel, E. E. 1994. Atividade da redutase do nitrato em genótipos antigos e modernos de milho, cultivados sob dois níveis de nitrogênio. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, Londrina. 6 (1): 41-46.

Queiroga, V.P.; Gondim, T.M.; Ribeiro, O.R. 2009. Características do gergelim indeiscente e semidescente para semeadura e colheita no sistema produtivo mecanizado. (em linha). Consultado el 10 de julio de 2010. Disponível em [http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/item/17975/1/DOC229.pdf+Avaliação+da+maturação+fisiológica+do+gergelim+\(Sesamun+indicum+L\)+para+obtenção+do+ponto+ideal+de+colheita.&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=py](http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/item/17975/1/DOC229.pdf+Avaliação+da+maturação+fisiológica+do+gergelim+(Sesamun+indicum+L)+para+obtenção+do+ponto+ideal+de+colheita.&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=py).

Rasmussen, P.E.; Collins, H.P. 1991. Long-term impact of tillage, fertilizer, and crop residue on soil organic matter in temperate semi-arid regions. *Adv. Agron.* 45:93-134.

Recous, S. 1988. The fate of labeled <sup>15</sup>N urea and ammonium nitrate applied to winter wheat crop, II. Plant uptake and N efficiency, *Plant Soil* 112 (1988) 215–224.

Reeves, D.W. 1994. Cover crops and rotations. In: HATFIELD, J.L.; STEWART, B.A. Crops residue management. *Advances in soil science*. Lewis publishers, Florida, p.125-172,

Reeves, D.W. 1997. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil Tillage Res.* 43:131–167.

Ribeiro, O.R.; Sofiatti, V.; Silveira, O.; Beltrao, N.E.; Vieira, W.; Cunha, J.; De Lima, G.; Magnun, F. 2007. Pequenos Equipamentos para a semeadura do Gergelim. (em linha). Consultado el 10 de julio de 2010. Disponível em <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/CNPA/20978/1/CIRTEC114.pdf>.

Sá J. C. M., Cerri, C. C.; Venzke Filho, S.P.; Piccolo, M. c. Feigl, B. E.; Feller, C. 2004. Palha: a base de sustentação do plantio direto. *Revista Plantio Direto*. Passo Fundo. 80: 29-32.

Sá, J. C. M. 1996. Manejo de nitrogênio na cultura de milho no sistema plantio direto. *Passo Fundo. Aldeia Norte*. 23 p.

Sá, J.C.M. 1993. Manejo da fertilidade do solo no plantio direto. *Fundação ABC*. 96 p.

Sá, J.C.M.; Cerri, C.C.; Dick, A.W.; Lal, R. Venzke Filho, S.P.; Piccolo, M.C.; Feiglo, B.E. 2001. Soil organic matter dynamics and sequestration rates for a tillage chronosequence in Brazilian Oxisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65:1476-1499.

Santi, A.; Amado, T. J.C.; Acosta, J.A.A. 2003. Adubação nitrogenada na aveia preta. Influência na produção de matéria seca e ciclagem de nutrientes sob sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 27: 1075-1083.

Schlegel, A.J.; Dhuyvetter, K. C; Havlin, J.L. 1996. Economic and environmental impacts of long term nitrogen and phosphorous fertilization. *Journal of Production Agriculture*. Madison. 9: 114-118.

Shehu, H. E.; Kwari J. D.; Sandabe; M. K. 2010. Effects of N, P and K fertilizers on yield, content and uptake of N, P and K by sesame (*Sesamum indicum* L.). *Int. J. Agric. Biol.*, 12 (6): 845-850

Scholl, L.; Nieuwenhuis, R. 2003. Manejo da fertilidade do solo. Wageningen: Agromisa Foundation. 97 p.

Schulten, H.R.; Schnitzer, M. 1998. The chemistry of soil organic nitrogen: a review. *Biologic Fertility Soils*, Berlin. 26: 1-15

Scivittaro; O. W.B.; Muraoka, T.; Boaretto, A. E.; Trivelin, P. C. O. 2003. Transformações do nitrogênio proveniente de mucuna-preta e uréia utilizados como adubo na cultura do milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília. 38 (12): 1427-1433.

Silva, E. C. 2005. Manejo da adubação nitrogenada e utilização do nitrogênio (15N) da uréia, do milho e da crotalaria pelo milho sob semeadura direta em solo de cerrado. Tese Doutor. Centro de Energia Nuclear na Agricultura. Universidade de São Paulo. 111 p.

Simpson, J.R. 1984. Transformations and losses of urea nitrogen after application to flooded rice, *Aust. J. Agr. Res.* 35:189–200.

Sisworo, W.H. 1990. The relative roles of N fixation, fertilizer, crop residues and soil in supplying N in multiple cropping systems in a humid, tropical upland cropping system, *Plant Soil* 121:73–82.

Smika, D.E.; Unger, P.W. 1986. Effect of surface residues on soil water storage. *Adv. Soil Sci.* 5:111–138.

Smil, V. 2001. *Enriching the earth: Fritz Haber, Carl Bosch, and the transformation of world food production*. The MIT Press, Cambridge, MS, London.

Smith, C.J.; Chalk, P.M.; Crawford, D.M.; Wood, J.T. 1994. Estimating gross nitrogen mineralization and immobilization rates in anaerobic aerobic soil suspensions. *Soil Science Society America Journal*. Madison. 8: 1652-1660.

Soler, A. 1991. Aspectos económicos del proceso de erosión de suelos en la zona de Alto Paraná y Norte de Itapúa – Paraguay. *Banco Mundial*. 23 p.

Stevenson, F.J. 1965. Origin and distribution of nitrogen in soil. En: Soil Nitrogen. W.V. Bartholomew and F.E. Clark (comps.). Amer. Soc. Agron. Madison, Wisconsin. American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci., 10 (4): 561-568.

Stevenson, F.J. 1986. Cycles of soil-carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients. John Willey & Sons, New York. 380 p.

Stevenson, F.J. 1982. Origin and distribution of nitrogen in soil. Madison. ASA. Agronomy Monograph. 22: 142.

Stipp, S.R.; Prochnow, L.I. 2008. Maximização da eficiência e minimização dos impactos ambientais da adubação nitrogenada. Informações agronômicas, Piracicaba. 124: 1-7.

Sumathi, V. A. Jaganadham, 1994. Effect of nitrogen levels on yield, dry matter and nitrogen uptake by sesame (*Sesamum indicum* L.) varieties. J. Res. Agron., 27:63–66.

Tavares Junior, J.; Dalto, G. 2004. Manejo eficiente da adubação nitrogenada. Divulgação técnica, 22, n 165.

Taylor, R.E.; Hays, O.E.; Bay, C.E.; Dixon, R.M. 1964. Corn stover mulch for control of runoff and erosion on land planted to corn after corn. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 28:123–125.

Trivelin, P. C. O.; Lara Cabezas, Victoria, R. L.; Reichardt, K. 1995. Evaluation of a <sup>15</sup>N plot design for estimating plant recovery of fertilizer nitrogen applied to sugar cane. Scientia agrícola, Piracicaba. 51: 226-234.

Tundisi, J. G. 2003. Água no século XXI: Enfrentando a escassez. São Carlos: RiMA IIE. 248 p.

Urquiaga, S. 2000. Eficiencia de la fertilización nitrogenada en los principales cultivos anuales. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria. Agrobiología. Rio de Janeiro, Brasil. p 31–49.

Valdez, A.S.; Florentín, M.; Mendoza, F. 2011. Curva de respuesta de NPK y micronutrientes (B, Zn) en el cultivo de sésamo (*Sesamum indicum* L.). In: II Simposio Paraguayo de Manejo y Conservación de Suelos. Sociedad Paraguaya de Ciencia del Suelo. Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción. p 136 - 139.

Van Cleemput, O.; Zapata, F. Vanlauwe, B. 2008. Guidelines on Nitrogen Management in Agricultural Systems. Training Course Series No. 29. International Atomic Energy Agency. Austria. February. 243 p.

Vázquez Gómez, P. R. 2009. Fertilización nitrogenada y su efecto en la producción de sésamo (*Sesamum indicum* L.), en un alfisol de Escobar, Departamento de

Paraguarí. Tesis (Ing. Agr.) Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Suelos y Ordenamiento Territorial. 38 p.

Vera, H. 2011. Efecto de la fertilización orgánica, órganomineral y mineral en el sésamo (*Sesamum indicum* L.) sobre siembra directa. Tesis (Ing. Agr.). Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción, Departamento de suelos y Ordenamiento Territorial. 60 p.

Victoria R.L.; Piccolo, M.C.; Vargas, A.A.T. 1992. O ciclo do nitrogênio. Microbiologia do solo. Campinas, SBCS. 105-119 p.

Villalba, M.A.; López, O.A.; Bogado, E.L. 2000. Degradación de los suelos agrícolas de la colonia Betoni de san Estanislao. Tesis de grado, Universidad Técnica de Comercialización y Desarrollo. Asunción PY. 85 p.

Villar-Sánchez, B.; López, J.; Pérez, J. Camas, R. 2003. Aplicación del modelo de simulación EPIC en la predicción del efecto de sistemas de labranza del suelo: Terra Latinoamericana.21 (3):381-388

Wiethölter, S. 1996. Adubação nitrogenada no sistema plantio direto. EMBRAPA-CNPT, Passo Fundo. 44 p

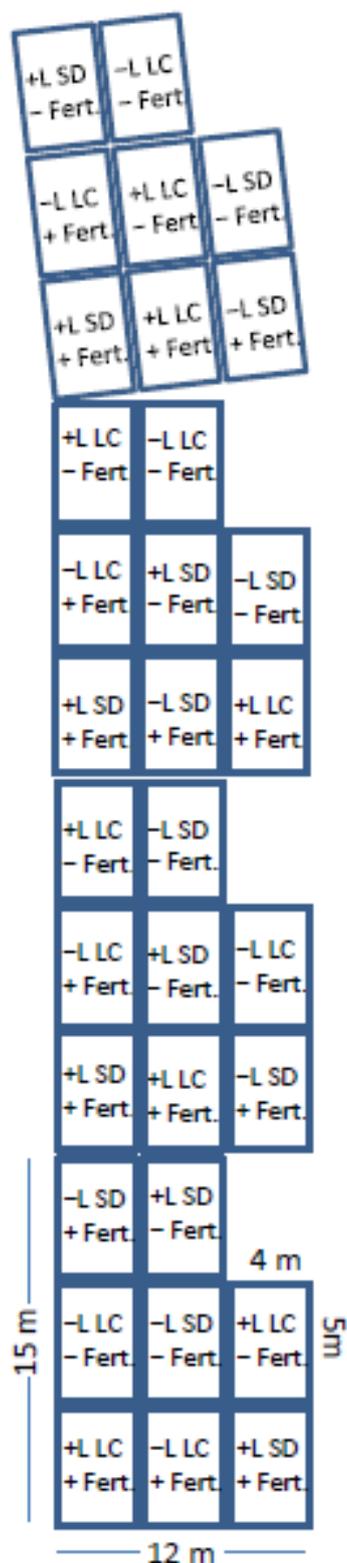
Yanai, J. 1996. Effects of inorganic nitrogen application on the dynamics of the soil solution composition in the root zone of maize. Plant and Soil, The Hague. 180 (1): 1-9.

Zapata, F. 1990. Field experimentation in isotope-aided studies. Use of Nuclear Techniques in Studies of Soil-Plant Relationships. Training Course Series No. 2, IAEA, Vienna. p 35-40.

Zapata, F. 2008. Guidelines on Nitrogen Management in Agricultural Systems: Introduction to nitrogen management in agricultural systems. IAEA (International Atomic Energy Agency) Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture. Vienna, Austria. 243 p.

## **7. ANEXOS**

Anexo 1. Plano de distribución de parcelas, Campo Experimental Facultad de Ciencias Agrarias, UNA.



### Referencias:

+ L = con Lupino

- L = sin Lupino

SD = Siembra Directa

LC = Labranza Conv

- Fert. = sin N15

+ Fert. = con N15

Invierno = Lupino

Verano = Sésamo

Anexo 2. Siembra de Abonos verdes (combinación de Avena negra + Lupino).  
Campo Experimental Facultad de Ciencias Agrarias, UNA. Junio, 2010.



Anexo 3. Abonos verdes en crecimiento (combinación de Avena negra + Lupino).  
Campo Experimental Facultad de Ciencias Agrarias, UNA. Julio, 2010.



Anexo 4. Preparación de suelo y apertura de surcos de siembra para semillas de sésamo. Campo Experimental Facultad de Ciencias Agrarias, UNA. Setiembre – Octubre, 2010.



Anexo 5. Siembra del sésamo y aplicación de fertilizantes. Campo Experimental Facultad de Ciencias Agrarias, UNA. Octubre, 2010.



Anexo 6. Emergencia de plantas de sésamo. Campo Experimental Facultad de Ciencias Agrarias, UNA. Octubre, 2010.



Anexo 7. Altura de plantas a los 70 DDS. Campo Experimental Facultad de Ciencias Agrarias, UNA. Diciembre, 2010.



Anexo 8. Toma de datos y cosecha. Campo Experimental Facultad de Ciencias Agrarias, UNA. Marzo, 2011.



Anexo 9. Pesaje y almacenamiento de plantas de sésamo. Campo Experimental Facultad de Ciencias Agrarias, UNA. Marzo, 2011.

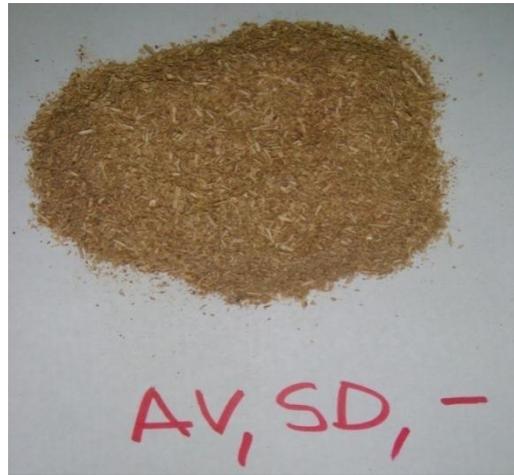


Anexo 10. Muestreo y procesamiento de muestras de suelo. Campo Experimental y Laboratorio del Departamento de Suelos y Ordenamiento Territorial, Facultad de Ciencias Agrarias, UNA. Marzo, 2011.





Anexo 12. Procesamiento de muestras de materia seca (ramas, cápsulas y hojas) de sésamo. Campo Experimental y Laboratorio del Departamento de Suelos y Ordenamiento Territorial, Facultad de Ciencias Agrarias, UNA. Marzo, 2011.



Anexo 13. Tabla general de datos. Campo Experimental y Laboratorio del Departamento de Suelos y Ordenamiento Territorial, Facultad de Ciencias Agrarias, UNA. Marzo, 2011.

Lab_id	Parcela	Rep	AV	SD	N	N° Trat	Trat	Rendim Grano (kg ha <sup>-1</sup> )	Rendim Grano (g planta <sup>-1</sup> )	Peso mil semillas (g)	Tramo (cm)	N° Capsulas	N° ramas planta <sup>-1</sup>	N° plantas m <sup>-1</sup>	Altura de plantas (m)	Masa Verde (kg ha <sup>-1</sup> )
1221-033	1	1	1	0	1	6	AV, LC, N	2749	54.99	1.30	76	49	6.7	5	2	43200
1221-037	2	1	0	0	1	2	--, LC, N	2337	33.38	1.60	91	46	4.7	7	2	39200
1221-041	3	1	1	1	1	8	AV, SD, N	2364	29.54	1.50	72	27	7.0	8	2	49300
1221-045	4	1	1	0	0	5	AV, LC, --	3167	45.25	1.20	100	54	5.3	7	3	65200
1221-049	5	1	0	1	0	3	--, SD, --	2840	31.55	1.70	89	56	4.3	9	2	41400
1221-053	6	1	0	0	0	1	--, LC, --	2132	53.29	1.50	71	49	8.0	4	2	37800
1221-057	7	1	0	1	1	4	--, SD, N	2545	42.42	1.40	58	32	6.7	6	2	36300
1221-061	8	1	1	1	0	7	AV, SD, --	1415	12.86	1.60	77	44	3.3	11	2	35400
1221-034	1	2	1	1	1	8	AV, SD, N	1392	10.71	1.80	93	51	2.3	13	2	34600
1221-038	2	2	1	0	1	6	AV, LC, N	1693	33.85	1.70	69	38	6.7	5	2	25200
1221-042	3	2	0	1	1	4	--, SD, N	2770	55.40	1.30	97	55	6.0	5	3	58300
1221-046	4	2	0	0	0	1	--, LC, --	2160	43.20	1.00	88	58	6.0	5	2	61400
1221-050	5	2	1	1	0	7	AV, SD, --	2530	31.63	1.00	83	49	5.0	8	2	45500
1221-054	6	2	0	0	1	2	--, LC, N	2316	33.08	1.30	78	46	4.7	7	2	34300
1221-058	7	2	1	0	0	5	AV, LC, --	1851	46.28	1.40	95	38	6.7	4	2	25800
1221-062	8	2	0	1	0	3	--, SD, --	1803	25.75	1.50	61	32	7.3	7	2	28300
1221-035	1	3	1	1	1	8	AV, SD, N	1075	17.92	1.60	63	29	4.3	6	2	19200
1221-039	2	3	0	1	1	4	--, SD, N	2715	33.93	1.60	81	42	5.0	8	2	46300
1221-043	3	3	1	0	1	6	AV, LC, N	2289	57.24	1.80	112	59	5.0	4	3	54500
1221-047	4	3	0	1	0	3	--, SD, --	1914	47.85	1.90	96	48	5.3	4	3	38000
1221-051	5	3	1	1	0	7	AV, SD, --	2578	42.96	1.70	100	58	5.3	6	3	65000
1221-055	6	3	0	0	1	2	--, LC, N	1385	34.62	1.20	84	58	3.7	4	2	21500
1221-059	7	3	1	0	0	5	AV, LC, --	1907	47.67	1.40	60	38	8.3	4	2	24600
1221-063	8	3	0	0	0	1	--, LC, --	2290	38.16	1.50	70	38	9.0	6	2	45000
1221-036	1	4	1	1	1	8	AV, SD, N	2356	33.65	1.70	76	42	5.0	7	2	37500
1221-040	2	4	1	0	1	6	AV, LC, N	2164	36.07	1.20	102	61	4.7	6	3	38000
1221-044	3	4	0	1	1	4	--, SD, N	1538	38.45	1.40	81	38	7.3	4	3	32000
1221-048	4	4	0	1	0	3	--, SD, --	1292	32.31	1.50	111	57	4.0	4	3	30400
1221-052	5	4	1	0	0	5	AV, LC, --	1847	23.09	1.70	75	38	4.3	8	2	44000
1221-056	6	4	0	0	1	2	--, LC, N	2383	29.79	1.20	85	41	5.7	8	3	37600
1221-060	7	4	1	1	0	7	AV, SD, --	1175	16.78	1.40	58	30	4.3	7	2	17000
1221-064	8	4	0	0	0	1	--, LC, --	2761	46.02	1.70	80	44	7.3	6	2	44300

Anexo 13. Tabla general de datos. Campo Experimental y Laboratorio del Departamento de Suelos y Ordenamiento Territorial, Facultad de Ciencias Agrarias, UNA. Marzo, 2011 (Continuación).

Lab_id	Parcela	Rep	A V	S D	N	Nº Trat	Trat	% Humedad	Masa Seca (kg ha <sup>-1</sup> )	Indice de Cosecha	% <sup>15</sup> N excess Grano	<sup>15</sup> N in at% Follaje	% N gra	% N Fo	δ <sup>13</sup> C Grano	% C Grano
1221-033	1	1	1	0	1	6	AV, LC, N	77	9958	0.276	0.229	0.585	4.01	1.46	-28.81	61.50
1221-037	2	1	0	0	1	2	--, LC, N	75	9675	0.242	0.349	0.708	4.22	1.22	-29.57	62.25
1221-041	3	1	1	1	1	8	AV, SD, N	79	10463	0.226	0.198	0.576	4.11	1.13	-30.16	62.50
1221-045	4	1	1	0	0	5	AV, LC, --	78	14079	0.225	0.009	0.373	4.25	1.55	-29.54	61.32
1221-049	5	1	0	1	0	3	--, SD, --	77	9488	0.299	0.009	0.373	4.00	0.81	-28.93	62.32
1221-053	6	1	0	0	0	1	--, LC, --	74	9654	0.221	0.010	0.371	4.39	1.89	-28.98	61.53
1221-057	7	1	0	1	1	4	--, SD, N	78	8036	0.317	0.227	0.603	4.15	1.12	-29.17	61.37
1221-061	8	1	1	1	0	7	AV, SD, --	75	8778	0.161	0.022	0.383	4.39	1.82	-28.85	59.86
1221-034	1	2	1	1	1	8	AV, SD, N	75	8650	0.161	0.276	0.608	4.24	1.97	-29.11	60.87
1221-038	2	2	1	0	1	6	AV, LC, N	71	7338	0.231	0.261	0.580	4.47	0.80	-28.60	62.03
1221-042	3	2	0	1	1	4	--, SD, N	75	14683	0.189	0.348	0.645	4.29	1.76	-28.94	59.92
1221-046	4	2	0	0	0	1	--, LC, --	78	13257	0.163	0.012	0.374	4.27	1.76	-29.81	62.14
1221-050	5	2	1	1	0	7	AV, SD, --	76	10887	0.232	0.007	0.372	4.20	1.26	-28.57	61.17
1221-054	6	2	0	0	1	2	--, LC, N	73	9183	0.252	0.381	0.710	4.09	0.94	-29.09	61.85
1221-058	7	2	1	0	0	5	AV, LC, --	74	6622	0.280	0.015	0.378	4.21	0.94	-29.28	61.83
1221-062	8	2	0	1	0	3	--, SD, --	76	6865	0.263	0.010	0.372	4.45	1.38	-28.74	61.78
1221-035	1	3	1	1	1	8	AV, SD, N	69	5867	0.183	0.157	0.525	4.24	1.30	-29.00	63.00
1221-039	2	3	0	1	1	4	--, SD, N	76	11124	0.244	0.273	0.628	4.36	1.36	-27.95	60.77
1221-043	3	3	1	0	1	6	AV, LC, N	76	13171	0.174	0.335	0.689	4.29	1.97	-28.91	61.00
1221-047	4	3	0	1	0	3	--, SD, --	74	9759	0.196	0.022	0.373	4.24	1.93	-29.32	61.44
1221-051	5	3	1	1	0	7	AV, SD, --	77	14696	0.175	0.007	0.374	4.34	1.67	-28.99	62.06
1221-055	6	3	0	0	1	2	--, LC, N	75	5375	0.258	0.322	0.678	4.25	1.69	-28.79	61.55
1221-059	7	3	1	0	0	5	AV, LC, --	74	6474	0.295	0.017	0.378	4.14	0.96	-28.37	61.09
1221-063	8	3	0	0	0	1	--, LC, --	78	10029	0.228	0.005	0.369	3.74	1.56	-29.06	62.19
1221-036	1	4	1	1	1	8	AV, SD, N	73	9968	0.236	0.341	0.672	4.06	1.21	-28.96	62.24
1221-040	2	4	1	0	1	6	AV, LC, N	76	9212	0.235	0.214	0.530	4.11	1.06	-28.96	61.17
1221-044	3	4	0	1	1	4	--, SD, N	75	8000	0.192	0.274	0.622	4.26	1.50	-29.04	60.58
1221-048	4	4	0	1	0	3	--, SD, --	76	7277	0.178	0.008	0.375	4.34	1.79	-29.01	61.23
1221-052	5	4	1	0	0	5	AV, LC, --	79	9112	0.203	0.006	0.371	4.24	2.03	-28.64	61.84
1221-056	6	4	0	0	1	2	--, LC, N	74	9796	0.243	0.355	0.700	3.91	0.94	-29.14	61.92
1221-060	7	4	1	1	0	7	AV, SD, --	72	4738	0.248	0.011	0.374	4.02	1.01	-28.15	60.97
1221-064	8	4	0	0	0	1	--, LC, --	78	9678	0.285	0.004	0.369	4.20	1.26	-28.72	61.17

Anexo 13. Tabla general de datos. Campo Experimental y Laboratorio del Departamento de Suelos y Ordenamiento Territorial, Facultad de Ciencias Agrarias, UNA. Marzo, 2011 (Continuación).

Lab_id	Parcela	Rep	A V	S D	N	Nº Trat	Trat	% C Follaje	NTG (kg ha <sup>-1</sup> )	NGPF (%)	NGPF (kg ha <sup>-1</sup> )	NTFo (kg ha <sup>-1</sup> )	NFoPF(%)	NFoPF (kg ha <sup>-1</sup> )	NGPAV (%)	NGPAV (kg ha <sup>-1</sup> )
1221-033	1	1	1	0	1	6	AV, LC, N	41.61	110.2	5.0	5.5	104.9	4.7	4.9	34.2	37.7
1221-037	2	1	0	0	1	2	--, LC, N	40.71	98.7	7.5	7.4	89.6	7.4	6.6		
1221-041	3	1	1	1	1	8	AV, SD, N	38.06	97.1	4.3	4.2	91.6	4.5	4.2	12.7	12.3
1221-045	4	1	1	0	0	5	AV, LC, --	41.50	134.6	0.2	0.3	169.2	0.2	0.3		
1221-049	5	1	0	1	0	3	--, SD, --	38.49	113.5	0.2	0.2	54.0	0.1	0.1		
1221-053	6	1	0	0	0	1	--, LC, --	39.47	93.5	0.2	0.2	142.5	0.1	0.1		
1221-057	7	1	0	1	1	4	--, SD, N	39.88	105.6	4.9	5.2	61.5	5.1	3.1		
1221-061	8	1	1	1	0	7	AV, SD, --	38.82	62.1	0.5	0.3	133.7	0.4	0.5		
1221-034	1	2	1	1	1	8	AV, SD, N	40.28	59.1	5.9	3.5	142.7	5.2	7.5	20.7	12.2
1221-038	2	2	1	0	1	6	AV, LC, N	40.46	75.6	5.6	4.3	45.1	4.6	2.1	31.4	23.8
1221-042	3	2	0	1	1	4	--, SD, N	43.28	118.9	7.5	8.9	209.5	6.0	12.6		
1221-046	4	2	0	0	0	1	--, LC, --	38.25	92.3	0.3	0.2	195.2	0.2	0.4		
1221-050	5	2	1	1	0	7	AV, SD, --	39.73	106.2	0.2	0.2	105.2	0.1	0.1		
1221-054	6	2	0	0	1	2	--, LC, N	39.36	94.8	8.2	7.8	64.7	7.4	4.8		
1221-058	7	2	1	0	0	5	AV, LC, --	41.28	78.0	0.3	0.2	45.0	0.3	0.1		
1221-062	8	2	0	1	0	3	--, SD, --	39.35	80.2	0.2	0.2	70.0	0.1	0.1		
1221-035	1	3	1	1	1	8	AV, SD, N	41.77	45.6	3.4	1.5	62.3	3.4	2.1	42.6	19.4
1221-039	2	3	0	1	1	4	--, SD, N	41.41	118.4	5.9	7.0	114.3	5.7	6.5		
1221-043	3	3	1	0	1	6	AV, LC, N	40.46	98.1	7.2	7.1	214.5	7.0	15.0	3.9	3.8
1221-047	4	3	0	1	0	3	--, SD, --	42.83	81.1	0.5	0.4	151.0	0.1	0.2		
1221-051	5	3	1	1	0	7	AV, SD, --	40.86	111.8	0.2	0.2	202.7	0.2	0.4		
1221-055	6	3	0	0	1	2	--, LC, N	40.65	58.8	7.0	4.1	67.4	6.7	4.5		
1221-059	7	3	1	0	0	5	AV, LC, --	39.26	78.9	0.4	0.3	43.9	0.3	0.1		
1221-063	8	3	0	0	0	1	--, LC, --	38.46	85.7	0.1	0.1	120.6	0.1	0.1		
1221-036	1	4	1	1	1	8	AV, SD, N	38.74	95.7	7.4	7.0	92.4	6.6	6.1	19.7	18.9
1221-040	2	4	1	0	1	6	AV, LC, N	38.81	89.0	4.6	4.1	74.4	3.5	2.6	39.9	35.5
1221-044	3	4	0	1	1	4	--, SD, N	42.08	65.5	5.9	3.9	96.8	5.5	5.4		
1221-048	4	4	0	1	0	3	--, SD, --	38.29	56.1	0.2	0.1	107.1	0.2	0.2		
1221-052	5	4	1	0	0	5	AV, LC, --	39.56	78.3	0.1	0.1	147.3	0.1	0.2		
1221-056	6	4	0	0	1	2	--, LC, N	38.34	93.1	7.7	7.1	69.4	7.2	5.0		
1221-060	7	4	1	1	0	7	AV, SD, --	39.59	47.3	0.2	0.1	36.0	0.2	0.1		
1221-064	8	4	0	0	0	1	--, LC, --	38.68	116.0	0.1	0.1	86.8	0.1	0.1		

Anexo 13. Tabla general de datos. Campo Experimental y Laboratorio del Departamento de Suelos y Ordenamiento Territorial, Facultad de Ciencias Agrarias, UNA. Marzo, 2011 (Continuación).

Lab_id	Parcela	Rep	A V	S D	N	Nº Trat	Trat	NFoPAV (%)	NFoPAV (kg ha <sup>-1</sup> )	NGPS (%)	NGPS (kg ha <sup>-1</sup> )	NFoPS (kg ha <sup>-1</sup> )	NGPF+NFoP F (kg ha <sup>-1</sup> )	%EUF	C/N Planta	% <sup>15</sup> N excess Suelo
1221-033	1	1	1	0	1	6	AV, LC, N	17.4	18.3	60.9	67.0	81.7	10.4	20.8	15.35	0.09
1221-037	2	1	0	0	1	2	--, LC, N			92.5	91.2	83.0	14.0	28.1	14.74	0.15
1221-041	3	1	1	1	1	8	AV, SD, N	4.4	4.1	83.0	80.6	83.4	8.3	16.6	15.21	0.12
1221-045	4	1	1	0	0	5	AV, LC, --								14.43	0.01
1221-049	5	1	0	1	0	3	--, SD, --								15.59	0.01
1221-053	6	1	0	0	0	1	--, LC, --								14.03	0.01
1221-057	7	1	0	1	1	4	--, SD, N			95.1	100.5	58.3	8.3	16.7	14.78	0.17
1221-061	8	1	1	1	0	7	AV, SD, --								13.64	0.01
1221-034	1	2	1	1	1	8	AV, SD, N	5.7	8.2	73.3	43.3	127.0	11.0	22.0	14.34	0.13
1221-038	2	2	1	0	1	6	AV, LC, N	18.3	8.2	62.9	47.6	34.8	6.3	12.7	13.88	0.07
1221-042	3	2	0	1	1	4	--, SD, N			92.5	110.0	196.8	21.6	43.1	13.96	0.15
1221-046	4	2	0	0	0	1	--, LC, --								14.54	0.01
1221-050	5	2	1	1	0	7	AV, SD, --								14.58	0.01
1221-054	6	2	0	0	1	2	--, LC, N			91.8	87.0	59.9	12.6	25.2	15.11	0.15
1221-058	7	2	1	0	0	5	AV, LC, --								14.67	0.01
1221-062	8	2	0	1	0	3	--, SD, --								13.90	0.01
1221-035	1	3	1	1	1	8	AV, SD, N	16.3	10.2	54.0	24.7	49.9	3.7	7.4	14.84	0.12
1221-039	2	3	0	1	1	4	--, SD, N			94.1	111.4	107.9	13.4	26.9	13.94	0.10
1221-043	3	3	1	0	1	6	AV, LC, N	1.6	3.4	88.9	87.2	196.1	22.1	44.1	14.23	0.14
1221-047	4	3	0	1	0	3	--, SD, --								14.49	0.02
1221-051	5	3	1	1	0	7	AV, SD, --								14.31	0.01
1221-055	6	3	0	0	1	2	--, LC, N			93.0	54.7	62.9	8.6	17.3	14.49	0.13
1221-059	7	3	1	0	0	5	AV, LC, --								14.76	0.01
1221-063	8	3	0	0	0	1	--, LC, --								16.62	0.01
1221-036	1	4	1	1	1	8	AV, SD, N	7.4	6.8	72.9	69.8	79.5	13.1	26.3	15.32	0.13
1221-040	2	4	1	0	1	6	AV, LC, N	24.3	18.1	55.5	49.4	53.7	6.7	13.5	14.88	0.05
1221-044	3	4	0	1	1	4	--, SD, N			94.1	61.7	91.5	9.2	18.5	14.22	0.13
1221-048	4	4	0	1	0	3	--, SD, --								14.11	0.01
1221-052	5	4	1	0	0	5	AV, LC, --								14.58	0.01
1221-056	6	4	0	0	1	2	--, LC, N			92.3	86.0	64.4	12.1	24.3	15.84	0.19
1221-060	7	4	1	1	0	7	AV, SD, --								15.15	0.01
1221-064	8	4	0	0	0	1	--, LC, --								14.56	0.01

Anexo 13. Tabla general de datos. Campo Experimental y Laboratorio del Departamento de Suelos y Ordenamiento Territorial, Facultad de Ciencias Agrarias, UNA. Marzo, 2011 (Continuación).

Lab_id	Parcela	Rep	A V	S D	N	Nº Trat	Trat	% N Suelo	$\delta^{13}\text{C}$ Suelo	% C Suelo	NTS (kg ha <sup>-1</sup> )	NSPF (%)	NSPF (kg ha <sup>-1</sup> )	N sin Contab (kg ha <sup>-1</sup> )	NSPAV (%)	NSPAV (kg ha <sup>-1</sup> )
1221-033	1	1	1	0	1	6	AV, LC, N	0.07	-18.46	0.64	1073	1.86	19.95	19.65	43.1	462.9
1221-037	2	1	0	0	1	2	--, LC, N	0.08	-19.84	0.70	1222	3.27	39.9	-4.0		
1221-041	3	1	1	1	1	8	AV, SD, N	0.06	-18.67	0.56	927	2.67	24.8	16.9	27.3	252.9
1221-045	4	1	1	0	0	5	AV, LC, --	0.07	-19.16	0.63	1051					
1221-049	5	1	0	1	0	3	--, SD, --	0.07	-19.17	0.61	1044					
1221-053	6	1	0	0	0	1	--, LC, --	0.07	-20.01	0.66	1092					
1221-057	7	1	0	1	1	4	--, SD, N	0.08	-20.51	0.71	1186	3.67	43.6	-1.9		
1221-061	8	1	1	1	0	7	AV, SD, --	0.08	-19.45	0.69	1181					
1221-034	1	2	1	1	1	8	AV, SD, N	0.07	-19.64	0.58	1007	2.90	29.2	9.9	21.1	212.9
1221-038	2	2	1	0	1	6	AV, LC, N	0.08	-18.86	0.73	1228	1.43	17.6	26.1	54.6	670.8
1221-042	3	2	0	1	1	4	--, SD, N	0.07	-19.06	0.64	1081	3.22	34.8	-6.4		
1221-046	4	2	0	0	0	1	--, LC, --	0.07	-18.53	0.58	978					
1221-050	5	2	1	1	0	7	AV, SD, --	0.08	-18.90	0.76	1270					
1221-054	6	2	0	0	1	2	--, LC, N	0.07	-20.66	0.60	999	3.16	31.6	5.8		
1221-058	7	2	1	0	0	5	AV, LC, --	0.06	-19.65	0.53	927					
1221-062	8	2	0	1	0	3	--, SD, --	0.08	-19.17	0.74	1228					
1221-035	1	3	1	1	1	8	AV, SD, N	0.05	-19.02	0.44	820	2.69	22.0	24.3	23.3	191.0
1221-039	2	3	0	1	1	4	--, SD, N	0.08	-19.06	0.72	1207	2.06	24.9	11.7		
1221-043	3	3	1	0	1	6	AV, LC, N	0.05	-18.76	0.47	818	3.01	24.6	3.3	57.7	471.9
1221-047	4	3	0	1	0	3	--, SD, --	0.06	-19.22	0.51	876					
1221-051	5	3	1	1	0	7	AV, SD, --	0.08	-19.52	0.65	1137					
1221-055	6	3	0	0	1	2	--, LC, N	0.07	-19.12	0.57	986	2.89	28.5	12.9		
1221-059	7	3	1	0	0	5	AV, LC, --	0.05	-18.32	0.44	794					
1221-063	8	3	0	0	0	1	--, LC, --	0.07	-19.40	0.68	1108					
1221-036	1	4	1	1	1	8	AV, SD, N	0.05	-18.73	0.40	727	2.85	20.7	16.1	23.9	173.7
1221-040	2	4	1	0	1	6	AV, LC, N	0.06	-18.94	0.54	907	1.04	9.4	33.8	75.2	682.1
1221-044	3	4	0	1	1	4	--, SD, N	0.05	-19.13	0.39	690	2.72	18.8	22.0		
1221-048	4	4	0	1	0	3	--, SD, --	0.05	-19.45	0.46	771					
1221-052	5	4	1	0	0	5	AV, LC, --	0.07	-19.04	0.67	1112					
1221-056	6	4	0	0	1	2	--, LC, N	0.06	-19.31	0.46	876	4.21	36.8	1.0		
1221-060	7	4	1	1	0	7	AV, SD, --	0.06	-19.02	0.51	945					
1221-064	8	4	0	0	0	1	--, LC, --	0.08	-18.59	0.77	1259					

Anexo 13. Tabla general de datos. Campo Experimental y Laboratorio del Departamento de Suelos y Ordenamiento Territorial, Facultad de Ciencias Agrarias, UNA. Marzo, 2011 (Continuación).

Lab_id	Parcela	Rep	AV	SD	N	Nº Trat	Trat	NSPS (%)	NSPS (kg ha <sup>-1</sup> )	C/N Suelo	Covar. Altura (cm)
1221-033	1	1	1	0	1	6	AV, LC, N	55.0	590	8.93	42
1221-037	2	1	0	0	1	2	--, LC, N	96.7	1182.2	8.61	76
1221-041	3	1	1	1	1	8	AV, SD, N	70.1	649.6	8.98	77
1221-045	4	1	1	0	0	5	AV, LC, --			9.06	92
1221-049	5	1	0	1	0	3	--, SD, --			8.71	59
1221-053	6	1	0	0	0	1	--, LC, --			9.04	36
1221-057	7	1	0	1	1	4	--, SD, N	96.3	1142.5	9.00	52
1221-061	8	1	1	1	0	7	AV, SD, --			8.80	51
1221-034	1	2	1	1	1	8	AV, SD, N	76.0	765.0	8.63	64
1221-038	2	2	1	0	1	6	AV, LC, N	43.9	539.3	8.96	52
1221-042	3	2	0	1	1	4	--, SD, N	96.8	1046.6	8.86	52
1221-046	4	2	0	0	0	1	--, LC, --			8.85	37
1221-050	5	2	1	1	0	7	AV, SD, --			8.92	78
1221-054	6	2	0	0	1	2	--, LC, N	96.8	967.8	8.96	82
1221-058	7	2	1	0	0	5	AV, LC, --			8.51	77
1221-062	8	2	0	1	0	3	--, SD, --			9.05	47
1221-035	1	3	1	1	1	8	AV, SD, N	74.0	607.0	8.03	57
1221-039	2	3	0	1	1	4	--, SD, N	97.9	1181.8	8.91	74
1221-043	3	3	1	0	1	6	AV, LC, N	39.3	321.8	8.68	71
1221-047	4	3	0	1	0	3	--, SD, --			8.76	101
1221-051	5	3	1	1	0	7	AV, SD, --			8.58	77
1221-055	6	3	0	0	1	2	--, LC, N	97.1	957.9	8.62	74
1221-059	7	3	1	0	0	5	AV, LC, --			8.29	46
1221-063	8	3	0	0	0	1	--, LC, --			9.18	48
1221-036	1	4	1	1	1	8	AV, SD, N	73.2	532.3	8.27	56
1221-040	2	4	1	0	1	6	AV, LC, N	23.7	215.1	8.90	48
1221-044	3	4	0	1	1	4	--, SD, N	97.3	671.5	8.49	66
1221-048	4	4	0	1	0	3	--, SD, --			8.88	77
1221-052	5	4	1	0	0	5	AV, LC, --			9.04	42
1221-056	6	4	0	0	1	2	--, LC, N	95.8	839.1	7.92	81
1221-060	7	4	1	1	0	7	AV, SD, --			8.08	60
1221-064	8	4	0	0	0	1	--, LC, --			9.22	78

Anexo 14. Análisis de la varianza de variables afectadas por covarianza altura inicial de plantas. San Lorenzo, 2011.

### Tramo de carga (cm)

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Tramo de carga (cm)	32	0,37	0,15	16,67

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Coef
Modelo	2494,06	8	311,76	1,66	0,1630	
AV	8,21	1	8,21	0,04	0,8363	
SD	170,81	1	170,81	0,91	0,3504	
N	0,93	1	0,93	5,0	0,9444	
<b>Covar.</b>	<b>1730,06</b>	<b>1</b>	<b>1730,06</b>	<b>9,20</b>	<b>0,0059</b>	<b>0,53</b>
AV*SD	389,00	1	389,00	2,07	0,1638	
AV*N	256,84	1	256,84	1,37	0,2544	
SD*N	66,45	1	66,45	0,35	0,5580	
AV*SD*N	137,65	1	137,65	0,73	0,4010	
Error	4323,94	23	188,00			
Total	6818,00	31				

### Altura final de plantas (cm)

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Altura de plantas (cm)	32	0,37	0,15	18,46

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Coef
Modelo	2,39	8	0,30	1,68	0,1563	
AV	3,1E-03	1	3,1E <sup>-03</sup>	0,02	0,896	
SD	2,9E-04	1	2,9E <sup>-04</sup>	1,6	0,9683	
N	0,02	1	0,02	0,10	0,7548	
<b>Covar.</b>	<b>1,17</b>	<b>1</b>	<b>1,17</b>	<b>6,60</b>	<b>0,0172</b>	<b>0,01</b>
AV*SD	0,93	1	0,93	5,23	0,0317	
AV*N	0,02	1	0,02	0,10	0,7563	
SD*N	0,05	1	0,05	0,29	0,5953	
AV*SD*N	0,33	1	0,33	1,89	0,1827	
Error	4,08	23	0,18			
Total	6,47	31				

Anexo 15. Análisis de regresión de variables afectadas por covarianza altura inicial de plantas. San Lorenzo, 2011.

### Tramo de carga (cm)

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	ECMP	AIC	BIC
<b>Tramo de carga (cm)</b>	32	0,22	0,17	204,25	262,39	268,26

*Selección Stepwise.*

*Máximo p-valor para entrar: 0,05*

*Máximo p-valor para retener: 0,05*

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coefficiente	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor
Constante	55,67	9,41	36,43	74,92	5,92	<0,0001
Altura inicial (cm)	0,42	0,14	0,13	0,71	2,92	0,0068

*Error cuadrático medio: 177,053785*

### Altura final de plantas (cm)

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	ECMP	AIC	BIC
<b>Altura de plantas (cm)</b>	32	0,16	0,10	0,21	42,10	47,96

*Selección Stepwise.*

*Máximo p-valor para entrar: 0,05*

*Máximo p-valor para retener: 0,05*

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coefficiente	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor
Constante	1,59	0,30	0,97	2,20	5,27	<0,0001
Altura inicial (cm)	0,01	4,6	1,6	0,02	2,38	0,0238

*Error cuadrático medio: 0,181259*

Anexo 16. Análisis de la varianza de variables del rendimiento del sésamo no afectadas por covarianza altura inicial de plantas. San Lorenzo, 2011.

### Rendimiento del Grano (kg ha<sup>-1</sup>)

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Rendimiento Grano (kg ha <sup>-1</sup> )	32	0,13	0,00	27,21

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1217396,47	7	173913,78	0,52	0,8075
AV	215988,78	1	215988,78	0,65	0,4277
SD	305957,53	1	305957,53	0,92	0,3465
N	5227,53	1	5227,53	0,02	0,9012
AV*SD	185288,28	1	185288,28	0,56	0,4622
AV*N	43882,03	1	43882,03	0,13	0,7193
SD*N	125876,53	1	125876,53	0,38	0,5437
AV*SD*N	335175,78	1	335175,78	1,01	0,3249
Error	7963542,75	24	331814,28		
Total	9180939,22	31			

### Masa Seca (kg ha<sup>-1</sup>)

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Masa Seca (kg ha <sup>-1</sup> )	32	0,11	0,00	28,98

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	22211298,00	7	3173042,57	0,42	0,8773
AV	108811,13	1	108811,13	0,01	0,9050
SD	347361,13	1	347361,13	0,05	0,8311
N	24976,13	1	24976,13	3,3E <sup>-03</sup>	0,9544
AV*SD	7938,00	1	7938,00	1,1E <sup>-03</sup>	0,9743
AV*N	12168,00	1	12168,00	1,6E <sup>-03</sup>	0,9681
SD*N	2820312,50	1	2820312,50	0,38	0,5448
AV*SD*N	18889731,13	1	18889731,3	2,53	0,1250
Error	179369055,50	24	7473710,65		
Total	201580353,50	31			

Anexo 16. Análisis de la varianza de variables del rendimiento del sésamo no afectadas por covarianza altura inicial de plantas. San Lorenzo, 2011 (Continuación).

### Índice de Cosecha

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Índice de Cosecha	32	0,16	0,00	19,63

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,01	7	1,3E <sup>-03</sup>	0,66	0,7010
AV	1,6E <sup>-03</sup>	1	1,6E <sup>-03</sup>	0,81	0,3757
SD	3,0E <sup>-03</sup>	1	3,0E <sup>-03</sup>	1,50	0,2321
N	1,5E <sup>-06</sup>	1	1,5E <sup>-06</sup>	7,6E <sup>-04</sup>	0,9782
AV*SD	2,5E <sup>-03</sup>	1	2,5E <sup>-03</sup>	1,24	0,2757
AV*N	1,3E <sup>-03</sup>	1	1,3E <sup>-03</sup>	0,63	0,4360
SD*N	7,0E <sup>-06</sup>	1	7,0E <sup>-06</sup>	3,5E <sup>-03</sup>	0,9533
AV*SD*N	8,9E <sup>-04</sup>	1	8,9E <sup>-04</sup>	0,44	0,5117
Error	0,05	24	2,0E <sup>-03</sup>		
Total	0,06	31			

Anexo 17. Análisis de regresión lineal de variables que afectan el rendimiento de granos del sésamo. San Lorenzo, 2011.

Análisis de regresión lineal

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	ECMP	AIC	BIC
Rendimiento Grano (kg ha <sup>-1</sup> )	32	0,60	0,58	149385,58	471,27	477,14

*Selección Stepwise.*

*Máximo p-valor para entrar: 0,05*

*Máximo p-valor para retener: 0,05*

*Número original de regresoras: 8, regresoras retenidas en el modelo 2*

Variables regresoras: Materia seca, Número de ramas por planta, Número de cápsulas por planta, Peso de mil semillas, Tramo de carga, Número de plantas por metro, Altura de plantas

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coefficiente	Est.	E.E.	LI (95%)	LS (95%)	T	p-valor
Constante	150,11	327,80	520,32	820,53	0,46	0,6504
Materia seca (kg ha <sup>-1</sup> )	0,15	0,02	0,10	0,20	6,15	<0,0001
Nº ramas planta <sup>-1</sup>	92,6	41,28	8,17	177,03	2,24	0,0327

*Error cuadrático medio: 125219,323354*

Anexo 18. Análisis de la varianza de la altura de plantas y peso de mil semillas de sésamo. San Lorenzo, 2011.

### Altura final de plantas (cm)

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Altura de plantas (cm)	32	0,37	0,15	18,46

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Coef
Modelo	2,39	8	0,30	1,68	0,1563	
AV	3,1E <sup>-03</sup>	1	3,1E <sup>-03</sup>	0,02	0,896	
SD	2,9E <sup>-04</sup>	1	2,9E <sup>-04</sup>	1,6	0,9683	
N	0,02	1	0,02	0,10	0,7548	
<b>Covar.</b>	<b>1,17</b>	<b>1</b>	<b>1,17</b>	<b>6,60</b>	<b>0,0172</b>	<b>0,01</b>
AV*SD	0,93	1	0,93	5,23	0,0317	
AV*N	0,02	1	0,02	0,10	0,7563	
SD*N	0,05	1	0,05	0,29	0,5953	
AV*SD*N	0,33	1	0,33	1,89	0,1827	
Error	4,08	23	0,18			
Total	6,47	31				

### Peso de mil semillas (g)

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Peso mil semillas (g)	32	0,23	0,01	15,49

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,38	7	0,05	1,03	0,4374
AV	0,02	1	0,02	0,29	0,5938
SD	0,11	1	0,11	2,15	0,1553
N	3,1E <sup>-04</sup>	1	3,1E <sup>-04</sup>	0,01	0,9391
AV*SD	0,02	1	0,02	0,29	0,5938
AV*N	0,20	1	0,20	3,73	0,0654
SD*N	3,1E <sup>-04</sup>	1	3,1E <sup>-04</sup>	0,01	0,9391
AV*SD*N	0,04	1	0,04	0,72	0,4040
Error	1,26	24	0,05		
Total	1,63	31			

Anexo 19. Análisis de la varianza y comparación de medias del número de ramas por planta de sésamo. San Lorenzo, 2011.

### Nº ramas planta<sup>-1</sup>

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Nº ramas planta <sup>-1</sup>	32	0,42	0,25	23,78

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	31,10	7	4,44	2,51	0,0440
AV	3,65	1	3,65	2,06	0,1646
SD	6,48	1	6,48	3,65	0,0679
N	2,10	1	2,10	1,18	0,2872
AV*SD	2,00	1	2,00	1,13	0,2988
AV*N	1,36	1	1,36	0,77	0,3896
<b>SD*N</b>	<b>9,90</b>	<b>1</b>	<b>9,90</b>	<b>5,58</b>	<b>0,0266</b>
AV*SD*N	5,61	1	5,61	3,16	0,0879
Error	42,56	24	1,77		
Total	73,66	31			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=1,83677

Error: 1,7733 gl: 24

SD	N	Medias	n	E.E.		
0	0	6,86	8	0,47	A	
1	1	5,45	8	0,47	A	B
0	1	5,24	8	0,47	A	B
1	0	4,85	8	0,47		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ )

Anexo 20. Análisis de la varianza del tramo de carga y número de cápsulas por ramas de sésamo. San Lorenzo, 2011.

### Tramo de carga (cm)

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Tramo de carga (cm)	32	0,37	0,15	16,67

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Coef
Modelo	2494,06	8	311,76	1,66	0,1630	
AV	8,21	1	8,21	0,04	0,8363	
SD	170,81	1	170,81	0,91	0,3504	
N	0,93	1	0,93	5,0	0,9444	
<b>Covar.</b>	<b>1730,06</b>	<b>1</b>	<b>1730,06</b>	<b>9,20</b>	<b>0,0059</b>	<b>0,53</b>
AV*SD	389,00	1	389,00	2,07	0,1638	
AV*N	256,84	1	256,84	1,37	0,2544	
SD*N	66,45	1	66,45	0,35	0,5580	
AV*SD*N	137,65	1	137,65	0,73	0,4010	
Error	4323,94	23	188,00			
Total	6818,00	31				

### Nº Cápsulas rama<sup>-1</sup>

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Nº Cápsulas rama <sup>-1</sup>	32	0,20	0,00	22,05

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	592,97	7	84,71	0,85	0,5549
AV	38,28	1	38,28	0,39	0,5402
SD	132,03	1	132,03	1,33	0,2598
N	9,03	1	9,03	0,09	0,7654
AV*SD	19,53	1	19,53	0,20	0,6611
AV*N	30,03	1	30,03	0,30	0,5871
SD*N	306,28	1	306,28	3,09	0,0915
AV*SD*N	57,78	1	57,78	0,58	0,4526
Error	2379,25	24	99,14		
Total	2972,22	31			

Anexo 21. Análisis de la varianza del contenido del Nitrógeno total en el grano y Nitrógeno en el grano proveniente del fertilizante. San Lorenzo, 2011.

### Nitrógeno Total en el Grano ( $\text{kg ha}^{-1}$ )

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
NTG ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	16	0,23	0,03	24,27

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1641,49	3	547,16	1,17	0,3610
AV	434,72	1	434,72	0,93	0,3536
SD	9,61	1	9,61	0,02	0,8883
AV*SD	1197,16	1	1197,16	2,56	0,1352
Error	5601,15	12	466,76		
Total	7242,64	15			

### Nitrógeno en el Grano Proveniente del Fertilizante ( $\text{kg ha}^{-1}$ )

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
NGPF ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	16	0,26	0,08	34,59

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	15,73	3	5,24	1,43	0,2829
AV	12,60	1	12,60	3,43	0,0886
SD	2,40	1	2,40	0,65	0,4342
AV*SD	0,72	1	0,72	0,20	0,6651
Error	44,03	12	3,67		
Total	59,76	15			

Anexo 22. Análisis de la varianza del contenido del Nitrógeno en el grano proveniente del abono verde y Nitrógeno en el grano proveniente del suelo. San Lorenzo, 2011.

### Nitrógeno en el Grano Proveniente del Abono Verde ( $\text{kg ha}^{-1}$ )

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
NGPAV ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	8	0,19	0,05	55,40

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	180,50	1	180,50	1,41	0,2805
SD	180,50	1	180,50	1,41	0,2805
Error	770,00	6	128,33		
Total	950,50	7			

### Nitrógeno en el Grano Proveniente del Suelo ( $\text{kg ha}^{-1}$ )

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
NGPS ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	16	0,43	0,28	29,04

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4047,89	3	1349,30	2,98	0,0739
AV	3390,15	1	3390,15	7,49	0,0180
SD	63,60	1	63,60	0,14	0,7143
AV*SD	594,14	1	594,14	1,31	0,2743
Error	5432,43	12	452,70		
Total	9480,32	15			

Anexo 23. Análisis de la varianza del contenido del Nitrógeno total en el follaje y Nitrógeno en el follaje proveniente del fertilizante. San Lorenzo, 2011.

### Nitrógeno Total en el Follaje ( $\text{kg ha}^{-1}$ )

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
NTFo ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	16	0,14	0,00	51,73

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5058,38	3	1686,13	0,63	0,6100
AV	187,01	1	187,01	0,07	0,7961
SD	1244,33	1	1244,33	0,46	0,5085
AV*SD	3627,05	1	3627,05	1,35	0,2673
Error	32158,67	12	2679,89		
Total	37217,05	15			

### Nitrógeno en el Follaje Proveniente del Fertilizante ( $\text{kg ha}^{-1}$ )

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
NFoPF ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	16	0,05	0,00	66,15

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	9,37	3	3,12	0,21	0,8866
AV	1,00	1	1,00	0,07	0,7992
SD	0,25	1	0,25	0,02	0,8987
AV*SD	8,12	1	8,12	0,55	0,4728
Error	177,39	12	14,78		
Total	186,76	15			

Anexo 24. Análisis de la varianza del contenido del Nitrógeno en el follaje proveniente del abono verde y Nitrógeno en el follaje proveniente del suelo. San Lorenzo, 2011.

#### Nitrógeno en el Follaje Proveniente del Abono Verde (kg ha<sup>-1</sup>)

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
NFoPAV (kg ha <sup>-1</sup> )	8	0,19	0,06	57,47

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	43,71	1	43,71	1,42	0,2788
SD	43,71	1	43,71	1,42	0,2788
Error	185,01	6	30,83		
Total	228,72	7			

#### Nitrógeno en el Follaje Proveniente del Suelo (kg ha<sup>-1</sup>)

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
NFoPS (kg ha <sup>-1</sup> )	16	0,13	0,00	55,48

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4355,22	3	1451,74	0,59	0,6334
AV	21,62	1	21,62	0,01	0,9269
SD	1556,30	1	1556,30	0,63	0,4420
AV*SD	2777,29	1	2777,29	1,13	0,3091
Error	29539,72	12	2461,64		
Total	33894,93	15			

Anexo 25. Análisis de la varianza del contenido del Nitrógeno total en el suelo y Nitrógeno en el suelo proveniente del fertilizante. San Lorenzo, 2011.

### Nitrógeno Total en el Suelo (kg ha<sup>-1</sup>)

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
NTS (kg ha <sup>-1</sup> )	16	0,16	0,00	18,08

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	72173,25	3	24057,75	0,76	0,5384
AV	34225,00	1	34225,00	1,08	0,3193
SD	13456,00	1	13456,00	0,42	0,5270
AV*SD	24492,25	1	24492,25	0,77	0,3967
Error	380400,50	12	31700,04		
Total	452573,75	15			

### Nitrógeno en el Suelo Proveniente del Fertilizante (kg ha<sup>-1</sup>)

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
NSPF (kg ha <sup>-1</sup> )	16	0,51	0,38	26,50

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	619,67	3	206,56	4,13	0,0317
AV	513,59	1	513,59	10,26	0,0076
SD	6,83	1	6,83	0,14	0,7184
AV*SD	99,25	1	99,25	1,98	0,1845
Error	600,73	12	50,06		
Total	1220,39	15			

Anexo 26. Análisis de la varianza del contenido del Nitrógeno en el suelo proveniente del abono verde y Nitrógeno en el suelo proveniente del suelo. San Lorenzo, 2011.

### Nitrógeno en el Suelo Proveniente del Abono Verde (kg ha<sup>-1</sup>)

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
NSPAV (kg ha <sup>-1</sup> )	8	0,85	0,82	22,78

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	265428,98	1	265428,98	33,66	0,0011
SD	265428,98	1	265428,98	33,66	0,0011
Error	47311,20	6	7885,20		
Total	312740,18	7			

**Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=153,64189**

Error: 7885,1992

gl: 6

AV	SD	Medias	n	E.E.	
Con	Sin	571,93	4	44.40	A
Con	Con	207,63	4	44.40	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0.05$ )

### Nitrógeno en el Suelo Proveniente del Suelo (kg ha<sup>-1</sup>)

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
NSPS (kg ha <sup>-1</sup> )	16	0,74	0,67	22,29

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	987615,46	3	329205,15	11,38	0,0008
AV	887976,41	1	887976,41	30,68	0,0001
SD	60405,35	1	60405,35	2,09	0,1741
AV*SD	39233,71	1	39233,71	1,36	0,2669
Error	347292,79	12	28941,07		
Total	1334908,25	15			

Anexo 28. Análisis de la varianza del destino del Nitrógeno aplicado como fertilizante en el suelo. San Lorenzo, 2011.

### Nitrógeno en el Grano ( $\text{kg ha}^{-1}$ )

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
NG ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	8	0,12	0,00	40,46

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2,88	1	2,88	0,81	0,4018
SD	2,88	1	2,88	0,81	0,4018
Error	21,24	6	3,54		
Total	24,12	7			

### Nitrógeno en el Follaje ( $\text{kg ha}^{-1}$ )

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
NF ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	8	0,02	0,00	82,19

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2,76	1	2,76	0,13	0,7287
SD	2,76	1	2,76	0,13	0,7287
Error	125,40	6	20,90		
Total	128,16	7			

### Nitrógeno en el Suelo ( $\text{kg ha}^{-1}$ )

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
NS ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	8	0,33	0,21	24,85

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	79,07	1	79,07	2,89	0,1398
SD	79,07	1	79,07	2,89	0,1398
Error	163,88	6	27,31		
Total	242,94	7			