



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Maestría en Producción Vegetal

Tesis de Maestría

**FERTILIZACIÓN ORGÁNICA DEL CULTIVO DE LECHUGA EN UN SUELO DE
CHACO. USO DE CAUPÍ COMO ABONO VERDE**

Autor: Ing. Agr. Mauro Masakichi Jeremías Fabrizio Shindoi

Director: Ing. Agr. (*MSc. PhD.*) Pedro Luis Jover

Co-Director: Ing. Agr. (Dr.) Juan Prause

2015

INDICE GENERAL

	Página
Abreviaturas	III
Agradecimientos	VI
Resumen	VII
Introducción	1
General	1
Suelo	4
Abonos Verdes	7
Caupí	9
Lechuga	16
Hipótesis, Objetivo General y Específicos	20
Materiales y Métodos	21
Aporte de Nutrientes del Abono Verde de Caupí	22
Descomposición del Abono Verde de Caupí	23
Análisis de Suelo	24
Respuesta del Cultivo de Lechuga	25
Análisis Foliar de Lechuga. Calidad Nutricional. Nitratos en Hojas	26
Análisis Estadístico	27
Resultados	28
Producción de Materia Seca Aérea del Caupí	28
Aportes de Macro y Micronutrientes del Caupí como Abono Verde	30
Descomposición del Caupí como Abono Verde	31
Tasa de Liberación de N P K del Caupí como Abono Verde	33
Análisis de Suelo	33
Respuesta del Cultivo de Lechuga	54
Análisis Foliar de Lechuga. Calidad Nutricional	58

Nitratos en Hojas de Lechuga	59
Discusión	63
Producción de Materia Seca Aérea del Caupí	63
Aportes de Macro y Micronutrientes del Caupí como Abono Verde	65
Descomposición del Caupí como Abono Verde	68
Tasa de Liberación de N P K del Caupí como Abono Verde	69
Análisis de Suelo	71
Respuesta del Cultivo de Lechuga	83
Análisis Foliar de Lechuga. Calidad Nutricional	87
Nitratos en Hojas de Lechuga	90
Conclusión	93
Anexo	96
Bibliografía	105

ABREVIATURAS

°C	grado Celsius
Ca	Calcio
cc	centímetros cúbicos
CE	conductividad eléctrica
cm	centímetro
cm ³	centímetros cúbicos
Cu	Cobre
CV	coeficiente de variación
Da	densidad aparente
DDS	días después de la siembra
DDT	días después del trasplante
dS	decisiemens
EEA	Estación Experimental Agropecuaria
ETP	evapotranspiración potencial
FAO	Organización de las Naciones Unidas para Agricultura y la Alimentación
FBN	fijación biológica del nitrógeno
Fe	Hierro
g	gramo
Gral	general
h	hora
ha	hectárea
hl	hectolitro
HP	horsepower
H.R.	humedad relativa
INDEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
INTA	Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

K	Potasio
kg	kilogramo
km	kilómetro
m	metro
m ²	metros cuadrado
m.e.	mili equivalentes
MEcon	Ministerio de Economía del Chaco
mg	miligramo
Mg	Magnesio
MJ	Megajulio
mm	milímetros
Mn	Manganeso
MO	materia orgánica
MS	materia seca
MSA	materia seca aérea
msnm	metros sobre el nivel del mar
MSR	materia seca remanente
N°	número
N	Nitrógeno
NH ₄ ⁺	amonio
NO ₃ ⁻	nitratos
P	Fósforo
pH	potencial hidrógeno
pl	plantas
posLECH	pos cosecha de lechuga
ppm	partes por millón
preAV	previo al abono verde
preLECH	previo al trasplante de lechuga

SAGPyA	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación
sp	especie
TBR	resistente a tipburn
TD	tasa de descomposición
TLN	tasa de liberación de nutriente
UNNE	Universidad Nacional del Nordeste
VBP	valor bruto de la producción
Zn	Zinc

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo pudo realizarse gracias al aporte económico del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria y la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Nordeste.

Muchas personas han contribuido de forma directa o indirecta a la elaboración de esta investigación, y en estas páginas quisiera expresarles mi profundo agradecimiento.

A Pedro Jover y Juan Prause quienes me dirigieron y alentaron a terminar esta tesis, por el tiempo dedicado y por compartir conmigo sus conocimientos.

Al director de la EEA INTA Colonia Benítez, Ing. Agr. Tortarolo Gabriel, por haberme brindado el apoyo necesario para realizar la maestría y esta tesis.

A Gloria Martínez, María Yfrán, Gladis Arce de Caram, Stella Maris Contreras, Laura Ortiz y José Llamas, por el trabajo de laboratorio.

A Pamela Sarco, Laura Giménez, Flora Céspedes Flores y Julieta Rojas, por su gran ayuda con estadística.

A Takeo y Lucas Shindo, a Emmanuel Musante, Ignacio Nardelli, Cristyan Quiroz, Diego Monteros, Juan Valussi, Rubén Acevedo, Toledo Alberto, Jorge Vagabculow, Juan José Verdoljak, Dardo López, Fabián Collman, Edgardo Romero, Cristina Sotelo, Omar Belazque, Pedro Phipps, Rodolfo Márquez, Federico Miranda, María Iglesias, Walter Ibarra Zamudio, Juan Carlos Sánchez, Juan José Joos y Urbano Fernández, por darme “una mano” cuando la necesité en los trabajos de campo.

A mi esposa Andrea y a mis hijos Kazuo, Azumi y Hikari, por comprender mi ausencia y darme fuerzas para llegar a la meta.

Y por el apoyo incondicional en todo momento, de mi familia, amigos y compañeros de trabajo ¡¡¡Muchas Gracias!!!

RESUMEN

Una fuente alternativa de nutrientes para la producción de lechuga en el Chaco, es el abono verde de caupí [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.], cuya biomasa rica en N es liberada al suelo durante la mineralización. En dos experimentos realizados en Colonia Benítez (Chaco), se evaluó la producción de tres cultivares de lechuga (Brisa, Grand Rapids y Slobolt) conjuntamente con tres niveles de manejos de fertilidad de suelo (caupí abono verde; Triple 15 y Triple 15 + Urea). Se determinó la materia seca aérea del caupí; sus concentraciones de nutrientes; la velocidad de descomposición de su biomasa; y la tasa de mineralización de N, P y K. Antes de la siembra del abono verde, previo al trasplante de la lechuga y luego de su cosecha, se analizaron el pH, la CE, N, P, etc., del suelo, para detectar cambios debidos al tratamiento de fertilidad. Los rendimientos comerciales medios de lechuga, así como los tenores de nutrientes y proteína bruta en hoja, no fueron influidos por la interacción entre el manejo de la fertilidad y los cultivares utilizados. La relación de extracción de macronutrientes de la lechuga fue $K > N > Ca > Mg > P$, mientras que la de micronutrientes fue $Fe > Zn > Cu > Mn$. El abono verde produjo un incremento en el pH, la CE y el K y disminuyó el contenido de Mn. Los tenores de nitratos en hoja de lechuga fueron inferiores a los límites establecidos para consumo humano, observándose los valores más bajos con el abono verde. El rendimiento promedio de materia seca aérea del caupí superó los $6.000 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Su descomposición y la tasa de liberación del N, P y K, fue máxima durante los primeros 30 días. La concentración de macronutrientes en su biomasa fue $N > K > Ca > P > Mg$, y la de micronutrientes $Fe > Mn > Zn > Cu$.

Palabras claves: *Vigna*, abono verde, descomposición, lechuga, nitratos.

ABSTRACT

Cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.], as a green manure, is an alternative nutrient source in leaf lettuce production, because it possesses an N rich biomass, which is easily mineralized. During two years, at Colonia Benítez (Chaco, Argentina), the production of three leaf lettuce cultivars (Brisa, Grand Rapids and Slobolt) under three levels of soil fertility management (cowpea green manure, Triple 15 y Triple 15 + Urea) was evaluated. Above ground dry biomass, leaf nutrients concentrations, biomass speed decomposition, and mineralization rate of N, P, and K were determined. Previous to the green manure sowing, lettuce transplanting, and lettuce post-harvest, pH, CE, N, P, etc., from soil were analyzed in order to detect changes due to fertility management levels. Mean commercial leaf lettuce yields, levels of nutrients, and raw protein content in leaf lettuce tissue were not influenced by the interaction between soil fertility management and lettuce cultivars. The lettuce macronutrient extraction relationship was K>N>Ca>Mg>P while that of the micronutrients was Fe>Zn>Cu>Mn. An increase in soil pH, CE and K was observed due to the cowpea green manure, with a decrease in Mn. Leaf nitrate lettuce concentration levels were lower than that of the established limits for human consumption, with the lowest levels observed in the cowpea green manure soil fertility management level. Above ground mean biomass dry matter of cowpea reached more than 6.000 kg.ha⁻¹ for the two years. Its mineralization and rate of N, P, and K liberation was highest during the first 30 days. Its biomass macronutrient content was N>K>Ca>P>Mg, while that of the micronutrients was Fe>Mn>Zn>Cu.

Keywords: *Vigna*, green manure, decomposition, lettuce, nitrates.

INTRODUCCIÓN

General

El Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), se creó el 4 de diciembre de 1956 por medio del Decreto Ley Nº 21.680/56. Este organismo tiene como finalidad, impulsar, vigorizar y coordinar el desarrollo de la investigación y extensión agropecuaria, acelerando con los beneficios de estas funciones, la tecnificación y el mejoramiento de la empresa agraria y la vida rural (INTA, 2013).

La Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Doctor Augusto G. Schulz del INTA ubicada en la localidad de Colonia Benítez (Chaco), fue creada en julio de 1958, ocupando las instalaciones de la que fuera desde 1908, la primera Escuela de Agricultura de la Provincia del Chaco (INTA, 2013).

Si bien la misma tiene un perfil predominantemente ganadero; también desarrolla destacable labor en manejo sustentable de los ecosistemas y apoyo a productores hortícolas y apícolas, a través de programas de intervención como Cambio Rural y Pro Huerta. Este último programa está basado en los principios de la agricultura orgánica y tiene como objetivo mejorar la seguridad y la soberanía alimentaria de la población. Durante la campaña otoño invierno 2010 el programa contó con alrededor de 7.720 huertas en el área de influencia de la EEA INTA Colonia Benítez (INTA, 2010).

La importancia de la producción hortícola dentro del área de influencia de la EEA se ha ido incrementando, debido a la gran demanda de verduras por parte de la población de la ciudad de Resistencia y sus alrededores. Esta área concentra el 43% de la población provincial (450.000 habitantes), debido a que en ella se encuentra el Área Metropolitana del Gran Resistencia, conformada por las ciudades de Resistencia (capital de la provincia), Puerto Vilelas, Puerto Barranqueras y Fontana (Foschiatti, 2012).

Desde el punto de vista económico provincial, la participación de la horticultura a campo en el Valor Bruto de la Producción (VBP) Primaria es del 8%, por debajo de los

cereales que aportan el 9% y del algodón que aporta un 12%. Sin embargo, el dato importante a destacar es que dentro del estrato de producción familiar, este sector aporta el 40% del VBP, por encima de los otros sectores primarios (INDEC, 2002). En lo que respecta a la comercialización, la Cooperativa Fruti-Hortícola Limitada es la que abastece con frutas y verduras a gran parte de Resistencia. En un estudio realizado en el 2008 sobre 16 productos hortícolas, concluyó que solo el 24% de los mismos correspondía a producción local (MEcon, 2009).

Según estadísticas del Plan de Competitividad del Conglomerado Productivo Hortícola del Chaco, 127 productores se dedicaban a la actividad hortícola en el Cinturón Verde de Resistencia, cubriendo entre todos una superficie de 310 has., de ese total de productores, aproximadamente 53 eran los que aportaban el 68% de la producción de verduras de hoja, tales como lechuga, acelga, rúcula, apio, perejil y cebollita de verdeo (MEcon, 2009). Otros autores estimaron que en el área de influencia de la EEA del INTA de Colonia Benítez, alrededor de 200 productores sembraban lechuga, totalizando unas 120 ha, entre todas las épocas de siembra, con rendimientos medios del orden de 15.000 a 20.000 kg.ha⁻¹ en invierno y de 9.000 a 12.000 kg.ha⁻¹ en verano (Jover & Tortarolo, 2005).

Según Alcalá *et al.* (2002), la deficiencia de Nitrogeno (N) constituye una de las principales limitantes para la obtención de buenos rendimientos de lechuga en la zona este del Chaco, más precisamente en el Departamento 1º de Mayo (Fig. 1).

La fertilización con N es una práctica relativamente común entre los productores que siembran verduras de hoja; sin embargo ésta no sigue parámetros técnicos establecidos, y se carecen de datos experimentales sobre dosis y respuestas de fertilizantes en cultivos hortícolas (Jover & Tortarolo, 2005).

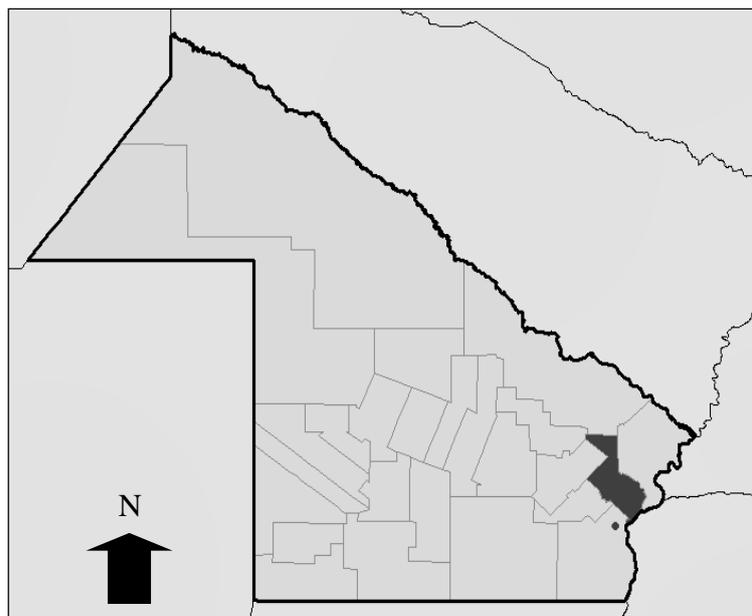


Fig. 1. Provincia del Chaco. Ubicación del departamento 1° de Mayo.

El uso de fertilizantes a nivel país se ha ido incrementado desde mediados de los 90', y en 2005 su consumo se estimó en alrededor de $120 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Melgar, 2005), alcanzando según Satorre (2005), alrededor de 1,6 millones de toneladas anuales. Representando el sector hortícola el 4% del total nacional (FAO, 2004).

En lo que a fertilización química de hortalizas se refiere, aproximadamente el 90% del área sembrada es fertilizada. Siendo el nitrógeno el elemento más utilizado con una dosis promedio de $72 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N. Con frecuencia, además de fertilizantes minerales, se utiliza estiércol o abonos de origen animal. El estiércol como fuente de nutrientes es utilizado en el 50% de la superficie hortícola fertilizada de la Argentina, siendo la dosis por lo general de $20 \text{ tn}\cdot\text{ha}^{-1}$ (FAO, 2004).

Este aumento del uso de fertilizantes químicos principalmente nitrogenados a escala global, ha contribuido a la contaminación de los ecosistemas terrestres y acuáticos con grave riesgo para la salud humana (Sebilo *et al.*, 2013; Álvarez *et al.*, 2010; Rimski-Korsakov *et al.*, 2008; Ratto & Giuffré, 2006 y Lacasta *et al.*, 2003). En los últimos años, las cuestiones ambientales han llevado a renovar el interés en el uso de alternativas más sustentables, como los abonos verdes, para aprovechar procesos

ecológicos y biológicos y recuperar la fertilidad de los suelos (Schroeder *et al.*, 1998; Aulakh *et al.*, 2000; Dinnes *et al.*, 2002).

Varios países ya han adoptado alternativas como los abonos verdes, la aplicación de compuestos orgánicos, la rotación de cultivos y las consociaciones, a fin de reducir el uso de fertilizantes minerales, maximizar los rendimientos y mejorar la calidad alimenticia de los vegetales (Thönnissen *et al.*, 2000b; Sullivan, 2003; Perin *et al.*, 2004; Ambrosano *et al.*, 2005).

Suelo

La fertilidad del horizonte A está íntimamente relacionada con el ciclo biogeoquímico de la materia orgánica, un ciclo limitado por efecto del clima, el suelo y la composición vegetal. Por otra parte el contenido de materia orgánica en el horizonte A y el espesor de éste, influyen decisivamente en las propiedades del suelo. En este horizonte, se presentan la mayor cantidad de raíces finas por lo que es fundamental una adecuada disponibilidad de elementos nutritivos para lograr un buen nivel de producción (Picone, 2006; Fassbender & Bornemisza, 1987).

Los componentes abióticos, geológicos y edafológicos, juegan un papel muy importante en el modelo de los elementos químicos nutritivos de un ecosistema agrícola, ya que representan la fuente primaria de acumulación de elementos en forma orgánica y mineral. La mayor parte de los nutrientes existentes en la capa superficial del suelo proceden del material originario o de los residuos vegetales, y algunos nutrientes que se acumulan en la capa superficial, son provenientes de la atmósfera (Natscher & Schwertmann, 1993).

Cuando una superficie geológicamente estable ha estado cubierta por vegetación por un largo tiempo, el suelo tiende a un nivel de equilibrio, en el que las pérdidas anuales de materiales orgánicos son compensadas por aportes en el mismo período. El contenido en materia orgánica se mantiene constante hasta que se produzcan cambios en la vegetación o alteraciones geológicas (Wild, 1992). La conservación del

contenido orgánico de la capa superficial del suelo y el reciclado rápido de los nutrientes mediante la descomposición de los residuos vegetales, son contribuciones importantes para el mantenimiento de la fertilidad del suelo (Hammermeister *et al.*, 2005; Picone, 2006)

La importancia del conocimiento sobre la dinámica de la materia orgánica y los nutrientes está en que pueden alterar la fertilidad del suelo en periodos cortos de tiempo (Echeverría & Sainz Rozas, 2006). El corto plazo está relacionado con la entrada de nutrientes, materia orgánica fresca adicionada, el cambio de sorción de agua y nutrientes, las variaciones de temperatura y el régimen de humedad del suelo. A largo plazo, la respuesta se asocia más, con la variación del ambiente del suelo y sus propiedades físicas (Domínguez *et al.*, 2006; Paré & Van Cleve, 1993).

La solución del suelo proporciona el medio químico para las raíces y comprende el agua, el suelo y sus electrolitos, con pequeñas cantidades de solutos disueltos y compuestos hidrosolubles. La composición de esta solución, depende del contenido de humedad, del ritmo de crecimiento del cultivo y de la actividad de la población microbiana (Abbate & Andrade, 2006; Berg *et al.*, 1990).

Por lo citado precedentemente, se puede concluir que el suelo tiene una especial importancia en los cultivos hortícolas, ya que la sucesión de dos o tres, e incluso más cosechas en un solo ciclo anual, representa una exigencia extraordinaria, tanto para su fertilidad física, como en la química (Cadahía López *et al.*, 2005), principalmente a la profundidad de exploración del sistema radical de la planta (Álvarez *et al.*, 2010).

El mantenimiento de las condiciones físicas, principalmente de una buena estructura, es muy difícil debido al continuo trabajo al que están sometidos: siembras, trasplantes, escardas, apertura de surcos, raleos, cosechas, etc. En consecuencia se requiere la frecuente utilización de acondicionadores de la estructura del suelo. La materia orgánica, desempeña en este sentido un papel de suma importancia y que ha sido tradicionalmente reconocido, ya que el aporte de diferentes tipos de materiales

orgánicos al suelo en la horticultura, es de hecho muy frecuente y abundante (Álvarez *et al.*, 2010).

La cantidad de elementos nutritivos que extraen del suelo los diferentes cultivos hortícolas, permite hacerse una idea de la explotación agrícola cuando se suman dos o tres cosechas. Por otro lado, no solo se debe considerar las cantidades totales de elementos nutritivos que se han de aportar al suelo anualmente, sino también la intensificación de la producción agrícola y el uso de prácticas de manejo tradicionales que han provocado el deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos (Wynggaard, 2010). La degradación del recurso suelo está asociado a la intensidad de las labranzas, duración de los ciclos agrícolas, las rotaciones y la fertilización. Requiriendo años e incluso décadas para que estos cambios sean cuantificables (Steinbach & Álvarez, 2005; Studdert *et al.*, 1997; Studdert & Echeverría, 2000).

Según Wynggaard (2010), la fertilización aumentó la producción de biomasa de los cultivos y al mismo tiempo incrementó los residuos que quedan en el suelo. De esta manera, el balance entre el aporte de carbono y la oxidación, tiende a favorecer la acumulación de carbono, este efecto es variable ya que también depende de: el fertilizante utilizado (N, P, K, otros), la residualidad, la movilidad, el nivel de carencia del elemento y la características de los residuos generados.

Como el cultivo de lechuga tiene un ciclo muy corto y grandes exigencias nutritivas, exige al suelo un suministro puntual de nutrientes, en esos momentos críticos (Domínguez Vivancos, 1984). Suplir estas demandas solo es posible en suelos con una gran fertilidad, que tengan el potencial adecuado para atender no solo las demandas totales de elementos, sino el aumento de la intensidad de explotación agrícola (Álvarez *et al.*, 2010).

Abonos Verdes

El uso de abonos verdes no es reciente ya que en la antigua Grecia, Jenofonte (en el año 400 antes de Cristo), mencionaba el uso de abonos verdes; al igual que Teofrasto (en siglo III y IV antes de Cristo) quien, en sus escritos, hacía referencia a cómo los agricultores de Tesalia y Macedonia enterraban cultivos de fabáceas con el fin de enriquecer sus tierras. En la Roma del siglo I después de Cristo, Columela, en su extensa obra sobre agronomía, ya explicaba cómo se debían utilizar los abonos verdes (Herrero, 2004).

Un abono verde, se define como cualquier tipo de cultivo que tiene como finalidad primaria ser incorporado al suelo estando verde o en floración para mejorar su fertilidad (Martin & Rivera, 2004; Sullivan, 2003). Algunas de las características que un buen abono verde debe reunir según Hall *et al.* (2003) son: fotoperíodo corto; un tallo vigoroso para suprimir malezas; semillas pequeñas y redondeadas para facilitar la cosecha y la siembra; y resistencia a nemátodes y otras plagas.

Cuando un suelo es sometido a un manejo con abonos verdes, se producen cambios físicos, químicos y biológicos, entre los que se pueden mencionar conservación de la humedad, mejoramiento de la infiltración, control de la escorrentía, regulación de la temperatura del suelo, mejoramiento de la estructura del suelo y disminución de la lixiviación de nutrientes. Si se lo compara con la fertilización inorgánica, los abonos verdes son más beneficiosos ya que pueden incrementar temporalmente el N potencialmente inmovilizado y evitar las pérdidas por lixiviación (Cheer *et al.*, 2006). También se pueden mencionar aumentos en el contenido de materia orgánica del suelo, de la capacidad de intercambio catiónico, de la actividad microbiana y, principalmente, el aporte de N al suelo, gracias a la fijación biológica del nitrógeno del aire (FBN) (Thönnissen *et al.*, 2000b; Alcántara *et al.*, 2000; INTA Famaillá, 2002; Herrero, 2004) que, a diferencia de los fertilizantes químicos, se puede considerar una fuente renovable de N (Cherr *et al.*, 2006).

La FBN es el proceso por el cual algunas bacterias libres o en simbiosis con vegetales pueden reducir el nitrógeno molecular (N_2) de la atmósfera a amonio (NH_4^+). Las fabáceas tienen la capacidad de interactuar simbióticamente con estas bacterias fijadoras de N_2 y formar nódulos en sus raíces donde se lleva a cabo el proceso de FBN (Salisbury & Ross, 1994; Relic *et al.*, 1994).

En la naturaleza la mayor concentración de N se halla en la atmósfera. El 78% del mismo corresponde a N y se encuentra en la forma de N_2 (Strahler & Strahler, 1997). Este N en forma de N_2 no puede ser asimilado por las plantas; estas absorben mayormente el N en forma de nitratos (NO_3^-) y en forma de amonio (NH_4^+) (Sívori, *et al.*, 1980).

Según Castro *et al.* (2004), del total del N aportado por un abono verde, entre un 60 y 80% del N corresponde al proveniente de la FBN. La biomasa producida también es rica en otros nutrientes aparte del N, ya que con su sistema radical profundo toma los nutrientes del suelo asimilándolos en sus tejidos, para luego cuando se produce su descomposición, retornarlos al suelo en formas fácilmente disponibles para los cultivos siguientes (Gama Rodrigues *et al.*, 2007). Estos efectos producidos por los abonos verdes dependen de la especie utilizada como abono verde, del manejo de su biomasa, de la época de siembra e incorporación, del tiempo de permanencia de los residuos en el suelo, de las condiciones ambientales locales, de la cepa inoculante y de la interacción entre todos estos factores (Thönnissen *et al.*, 2000b; Fontanetti *et al.*, 2006; Figueiredo *et al.*, 1999; Baginsky *et al.*, 2005).

Otro aspecto no menos importante del empleo de abonos verdes es el ahorro económico que supone para el agricultor (Guzmán & Alonso, 2001; INTA Famaillá, 2002) ya que muchos trabajos realizados en sistemas orgánicos con utilización de abonos orgánicos como fuente de nutrientes (estiércol vacuno, de aves, etc.), han demostrado ser una práctica onerosa, por la necesidad de grandes volúmenes de estos materiales para obtener una buena producción (Padovan *et al.*, 2002; Fontanetti *et al.*, 2006). Por otra parte, estas prácticas pueden generar dependencia de insumos

externos, en el caso de no contar con estos materiales o con las cantidades necesarias (Castro *et al.*, 2004).

A pesar de la existencia de numerosos trabajos que demuestran el potencial de la FBN de las fabáceas, son pocos los estudios sobre la cantidad de nutrientes suministrados por los abonos verdes a los cultivos en la rotación (Perin *et al.*, 2004; Ambrosano *et al.*, 2005). Según Cheer *et al.* (2006) existen áreas de estudio sin investigar o sin información en lo referido a abonos verdes, sobre todo para zonas no tropicales y en suelos de textura arenosa.

Caupí

El caupí (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.) es una planta autógama ($2n=2x=22$) que pertenece al género *Vigna* (nombrado así en honor al médico y botánico italiano Doménico Vigna). Taxonómicamente se clasifica como una planta *Dicotiledónea*, perteneciente al orden de las *Fabales*, familia de las *Fabaceae*, subfamilia de las *Faboideae*, tribu de las *Phaseoleae*, subtribu de las *Phaseolinae*, género *Vigna*, sección *Catiang* y especie *Vigna unguiculata* (L.) Walp. A pesar de ser una planta autógama, se detecta en ella un bajo grado de cruzamiento a campo, probablemente debido a abejas del género *Trigona* o a abejorros (*Bombus* spp.) (Jover, 2006).

Es una planta herbácea, anual, de crecimiento determinado o indeterminado; con hábito de crecimiento erecto, semi-erecto, postrado, semi-postrado, o trepador según las diferentes variedades cultivadas. Tiene hojas compuestas por tres folíolos (aunque el primer par de hojas es simple y opuesto), de forma globosa, sub-globosa, astada o sub-astada, de unos 10 a 25 cm de longitud y de unos 7 a 15 cm de ancho, con bordes simples. Las flores están en racimos sobre pedúnculos largos (lo que determina que en algunos tipos las chauchas se presenten dentro o por arriba de la canopia), son de color violáceo, amarillo, rojizo o blanco y tienen la típica conformación de las *Papilionoideas* (estandarte, alas y quilla), el estilo es barbudo pero no espiralado como en el género *Phaseolus* y el fruto es una legumbre, lineal o subcilíndrica, bivalva, que

en los tipos cultivados es poco o nada dehiscente, conteniendo varias semillas de diferente tamaño y color según la población o variedad (Parodi & Dimitri, 1972; IPGRI, 1983). Su raíz pivotante muy desarrollada, puede llegar a más de un metro de profundidad, pero también tiene raíces laterales profundas, lo que le permite explorar un gran volumen de suelo. Tiene la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico, a través de la FBN, en simbiosis con bacterias del género *Bradyrhizobium*. Los nódulos que se forman de esta simbiosis son fácilmente visibles a partir de los 15 a 20 días después de la siembra, en especial si las semillas fueron inoculadas con la bacteria específica. Los datos sobre la cantidad de nitrógeno fijado biológicamente al suelo, presentan una gran variabilidad, ya sea debido a las diferentes formas de medición, a los diferentes tipos de suelos y manejos (Ali, 2000).

Sus semillas poseen alrededor del 25% de proteína bruta y dado que los rendimientos posibles y normales para la región fueron estimados en unos 1.000 kg.ha⁻¹ de granos secos, se podrían obtener 250 kg.ha⁻¹ de proteína bruta (Jover, 2006). El caupí también tiene altos contenidos de proteína bruta en sus hojas, alcanzando al 43% en las que tienen 7 a 10 días (hojas en expansión) y al 30,5% en aquellas que tienen 22 a 25 días (hojas expandidas), ambos porcentajes calculados en base a peso seco (Bubenheim *et al.*, 1990). Autores como Sebetha (2009) y Nielsen *et al.* (1994), citaron porcentajes de proteína bruta en hojas de 22 a 30% y en tallo de 7 a 9%.

Los requerimientos de nutrientes del caupí varían sustancialmente, siendo el N y el K los nutrientes que demanda en mayor cantidad, entre 40 a 55 kg.ha⁻¹ y de 10 a 40 kg.ha⁻¹, respectivamente. Luego sigue el P con un requerimiento de entre 5 a 8 kg.ha⁻¹, dependiendo de la variedad y el hábito de crecimiento (Ligier & Mendez, 1996).

Para su desarrollo necesita un periodo libre de heladas de 100 a 120 días, si se quieren cosechar granos y con respecto a los suelos, prospera en todos los tipos de suelos agrícolas, excepto los bajos o encharcables. La temperatura mínima de

crecimiento es de 10° C, la óptima es de 28° C, y aunque tolera muy bien las altas temperaturas, las superiores a 35° C detienen su crecimiento (Jover, 2006).

Esta fabácea es originaria del África, siendo denominada en la Argentina como poroto arroz, poroto tape, porotito del ojo, etc. (Jover, 2006). Según Langyintuo *et al.* (2003) la producción mundial de caupí se estima en 3,7 millones de toneladas de las cuales aproximadamente el 87% se produce en África, el 10% en América y el resto se reparte entre Europa y Asia. A nivel de países, Brasil es el segundo productor mundial de poroto caupí después de Nigeria.

La producción de caupí como grano para consumo humano, está bastante difundida entre los pequeños productores de la región noreste del país, estimándose una superficie sembrada de 2.000 a 3.000 hectáreas, no obstante, no existen estadísticas oficiales sobre este cultivo (Jover, 2006; Pletch, 2003).

En la década del 80', en la EEA El Colorado, Formosa, del INTA, se sembraban algunas parcelas con poroto caupí para abono verde, con el objetivo de mejorar la fertilidad de los suelos en rotaciones con algodón (Jover, 2008). Hacia 1993, en la Agencia de Extensión Rural del INTA de El Colorado (Formosa), se comenzó a realizar una colección de estos porotos, repartiéndolos a pequeños productores de diferentes colonias (Retamoso, 2010). A partir del año 1997 se iniciaron trabajos de selección individual de plantas, ensayos de materiales y de herbicidas. Se continuó con la introducción de nuevos materiales y con su difusión a pequeños productores de la región. También se comenzaron a multiplicar materiales de porotos colorados, cremas, San Francisco y el tipo "Señorita", para abastecer la demanda regional y extra-regional (Aguinaga, 2009; Jover *et al.*, 2001).

Como cultivo, el caupí se desarrolla en la época estival ya que tolera muy bien las altas temperaturas y es resistente a las condiciones de estrés hídrico. Estas características hacen que su cultivo se adapte muy bien a las condiciones agroecológicas del área nordeste argentino (Ibarra Zamudio & Jover, 2006), siendo un cultivo tradicional en esta región (Paredes *et al.*, 2012). El ciclo de crecimiento del

caupí se divide en dos fases, vegetativa y reproductiva. De siembra a emergencia, con temperaturas adecuadas, pueden transcurrir entre 3 y 10 días. Su crecimiento es lento, hasta alrededor de los 20 a 30 días después de la emergencia y hasta los 45 días, siendo éste el período crítico de competencia con las malezas. A partir de allí comienza la etapa de floración y fructificación. La mayoría de los materiales investigados en la EEA INTA Colonia Benítez son indiferentes al fotoperíodo; aunque en la colección existen materiales que responden a fotoperíodos cortos, como la mayoría de las plantas tropicales o subtropicales. El fotoperíodo crítico para el caupí se ubica en 12,4 horas día⁻¹ (Jover, 2006). La población de poroto arroz o caupí arroz, reúne condiciones para su empleo como abono verde, tales como: semilla pequeña (el peso de 100 semillas es de 6,3 gramos), ciclo largo en siembras tempranas (dado que es fotoperiódico) y buena producción de biomasa (Jover, 2008).

En cuanto a las precipitaciones se destaca por ser tolerante a la sequía, superando en este sentido al poroto común (*Phaseolus vulgaris* L.) y a la soja [*Glycine max* (L.) Merr.]. Su mecanismo básico de tolerancia a sequías, está basado en el cierre de estomas; pues carece de ajuste osmótico (Muchow, 1985; Shackel & Hall, 1983). Para los 90 a 120 días de ciclo del caupí, para producción de granos, se requieren de 300 a 500 mm de lluvia, dependiendo de las condiciones climáticas del lugar, pudiendo cumplir toda su etapa vegetativa con la humedad acumulada en el suelo, antes de la siembra (Jover, 2006).

Los requerimientos hídricos del caupí están relacionados a las dos fases del cultivo nombradas. En Brasil, Uchoa Saunders *et al.* (1985), determinaron que la evapotranspiración media del cultivo en todo su ciclo fue de 3,18 mm.día⁻¹; alcanzando en su etapa inicial 2,2 mm.día⁻¹ [10 días después de la siembra (DDS)] y en su etapa final (100 DDS) 2,08 mm.día⁻¹. El máximo fue durante la etapa de floración y fructificación (53 a 99 DDS) con 5,94 mm.día⁻¹. En Teresina, Piauí, Brasil, los valores del coeficiente de cultivo (Kc) obtenidos fueron los siguientes: 0,7 para la fase inicial;

0,7 a 0,8 para la fase de crecimiento; 0,8 a 1,06 para la fase reproductiva; y 0,6 para la fase final del cultivo (Ferreira *et al.*, 2008).

Con respecto a las plagas, en ensayos efectuados en la EEA INTA Colonia Benítez, se han observado ataques de pulgones (*Aphis spp.*), trips (*Frankliniella sp.*, *Megalurothrips sp.*) y gorgojos, cowpea weevil o calosobrucho [*Callosobruchus maculatus* (F.)]. Este último muy dañino ya que ataca las semillas dentro de las vainas, tanto en el campo, como durante su almacenamiento. Las enfermedades reportadas en muestras de tejido vegetal fueron *Sclerotium rolfsii*, *Alternaria*, *Cercospora* y *Colletotrichum*. Cabe mencionar que el caupí, al igual que otras fabáceas como *Melilotus spp.*, *Phaseolus vulgaris* y *Phaseolus lunatus*, son hospedantes alternativos de la roya de la soja (*Phakopsora pachyrhizi* y *Phakopsora meibomiaae*) (Jover, 2006).

En zonas tropicales el caupí es una de las fabáceas más ampliamente utilizadas como abono verde (Cheer *et al.*, 2006), recibiendo gran atención en los años recientes (García Hernández *et al.*, 2010). Rotela *et al.* (2003), observaron en un suelo del Dpto. Pirané, Formosa, buena nodulación e infectividad de las cepas naturalizadas y nativas, si bien la especificidad y el rango de rizobios nativos que nodulan al caupí no ha sido aún bien caracterizado. Estos rizobios nativos son capaces de nodular a un amplio rango de fabáceas pero con pobre eficacia, en este sentido el caupí es reconocido por su promiscuidad, ya que puede nodular con un amplio rango de rizobios (Martins *et al.*, 2003). Los nódulos de caupí según Layzell *et al.* (1979), comienzan a fijar N₂ a partir de los 14 días después de nacidas las plantas. La cantidad de nitrógeno fijado por esta leguminosa varía en un amplio rango, según diferentes autores: de 20 a 217 kg.ha⁻¹ año (Ayisi *et al.*, 2004), de 30 a 300 kg.ha⁻¹ año (Jover, 2006) y de 80 a 150 kg.ha⁻¹ año (INTA Famaillá, 2002) dependiendo estos valores, de la fase fenológica del cultivo, tipo de suelo, manejo y factores ambientales.

Si se considera el precio de los fertilizantes químicos nitrogenados, el aporte de N proveniente del caupí al sistema suelo, no sería nada despreciable (Jover, 2006), si se tiene en cuenta además, la tasa de crecimiento del caupí, que le permite producir gran

cantidad de biomasa aérea, durante un periodo relativamente corto de tiempo (Ligier & Mendez, 1996).

Gama Rodrigues *et al.* (2007) y Jover (2006) reportaron no solo aportes de N sino de otros elementos como Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Fósforo (P) y Potasio (K). Mediciones del cultivo, en su uso como abono verde, determinaron que el 84% del N fue aportado por la parte aérea y el 16% restante por las raíces (Sullivan, 2003).

Creamer & Baldwin (1999) reportaron para el caupí una producción de materia aérea seca (MSA) de 3.960 kg.ha⁻¹ y una relación Carbono-Nitrógeno (C:N) de 21 en Carolina del Norte, EEUU. En Brasil, Costa Alvarenga *et al.* (1995) obtuvieron 4.100 kg.ha⁻¹ de MSA, en un ciclo de caupí, como abono verde, de 48 días y una relación C:N de 32,3. Rusinamhodzi (2006) reportó 3.500 kg.ha⁻¹ de MSA y una relación C:N de 16, en Zimbawe. Por su parte, la crotalaria (*Crotalaria juncea*, L.), rindió 16.100 kg.ha⁻¹ de MSA, en un período de 111 días, mientras que el guandul [*Cajanus cajan* (L.) Mills] rindió 17.900 kg.ha⁻¹ de MSA en un período de 181 días (Costa Alvarenga *et al.*, 1995). Schroeder *et al.* (1998) reportaron valores de MSA para el caupí que variaron entre 3.014 y 5.678 kg.ha⁻¹, con valores de N incorporado que oscilaron entre un mínimo de 73 y un máximo de 131 kg.ha⁻¹, en Oklahoma, EEUU. En una revisión de literatura sobre el tema se encontraron valores de producción de MSA de caupí que variaron entre 4.000 y 8.000 kg.ha⁻¹ (Snapp *et al.*, 2005). Distintos valores de MSA incorporada se encontraron también al analizar la diferencia entre 47 cultivares de caupí, fluctuando los rendimientos entre 3.860 y 4.720 kg.ha⁻¹ de MSA (Harrison *et al.*, 2006).

Está comprobado que el aporte de materia orgánica al suelo proveniente de la incorporación de los restos vegetales, puede ser considerable y ha sido un factor importante en el ciclo de los nutrientes (Gallardo Lancho, 2000; Prause *et al.*, 2005).

Alvey *et al.* (2003); Martins *et al.* (2003); Hanly & Gregg (2004) y Perin *et al.* (2004) como resultados de sus investigaciones, reportaron efectos positivos de los abonos verdes para recuperar la fertilidad edáfica, el aumento de la disponibilidad del P y la

elevación del pH, entre otros. Sin embargo, estos efectos fueron estimados variables según Thönnissen *et al.* (2000b); Fontanetti *et al.* (2006) y Cheer *et al.* (2006), dado que el ambiente (temperatura, suelo, nutrientes y agua), el manejo (densidad, sincronización y control de plagas) pueden alterar la producción de MS y la acumulación de N de las especies utilizadas como abono verde, al igual que las diferencias genéticas. Para que los abonos verdes de fabáceas sean considerados una efectiva fuente de nutrientes para los cultivos que se implanten posteriormente, deben proporcionar los mismos en los momentos de mayor demanda del cultivo. Según otros autores, la falta de sincronización entre la oferta y la demanda, especialmente de N, hace que esta práctica sea menos exitosa que las aplicaciones fraccionadas de fertilizantes nitrogenados (Thönnissen *et al.*, 2000a; Cheer *et al.*, 2006).

No obstante, mientras que para otras fabáceas se tiene un vasto conocimiento de su uso como abono verde, no hay referencias locales disponibles sobre la utilización y efectos del caupí como abono verde, en particular para lechuga. Jover (2006) menciona incrementos notables en rendimiento, vigor y color de los cultivos subsiguientes (algodón, maíz duro, maíz choclo, pimiento, zapallo y zapallito) con abono verde de caupí. Las referencias a nivel país, con respecto a su utilización en hortalizas de hoja, como la lechuga, también son escasas o nulas. A nivel internacional, tampoco abundan las referencias. Ngouajio *et al.* (2003) determinaron incrementos significativos en el rendimiento de lechuga luego del caupí como abono verde, en Coachella Valley, California. Duyar (2013), en Turquía, reportó efectos positivos del caupí como abono verde en los rendimientos de lechuga de cabeza, pero solo al segundo año del ensayo, trabajando en invernáculo. Ogbuchiekwe *et al.* (2004) reportaron que el caupí como abono verde e incorporado en el otoño, produjo el rendimiento más alto de lechuga que los demás tratamientos, con casi 23.310 kg.ha⁻¹ en Coachella Valley, California.

Las referencias más frecuentes del uso de este abono verde estuvieron referidas a rotaciones con cultivos de cereales como maíz y arroz (Schroeder *et al.*, 1998; Ladha *et al.*, 2000; Thönnissen *et al.*, 2000a; Cheer *et al.*, 2006).

Varios autores han coincidido en que la velocidad de descomposición de la biomasa vegetal aportada al suelo y la subsiguiente liberación de nutrientes, dependerá de la calidad y cantidad del residuo vegetal, humedad, temperatura de suelo, textura, mineralogía, actividad biológica y presencia de nutrientes (Velázquez *et al.*, 2002; Castro *et al.*, 2004; Perin *et al.*, 2004; Fontanetti *et al.*, 2006; Gama Rodrigues *et al.*, 2007; Silva *et al.*, 2008; Shindoi *et al.*, 2012). Al mismo tiempo, cada nutriente tiene su característica propia de liberación (Cheer *et al.*, 2006). La descomposición y liberación de nutrientes del abono verde, constituyen procesos claves para garantizar el adecuado funcionamiento de los ciclos biogeoquímicos del suelo, ya que la disponibilidad y efecto del N del abono verde es mucho más difícil de predecir que en los fertilizantes químicos (Thönnissen *et al.*, 2000b).

Jover (2006), mencionó que se debe dejar transcurrir por lo menos dos meses luego de la incorporación del material verde al suelo, con el objeto de que se mineralice, pues en caso contrario, se producirían fallas graves de germinación-emergencia del cultivo siguiente.

Lechuga

La lechuga es la principal hortaliza de hoja consumida en el mundo (Di Benedetto, 2005; Aquino *et al.*, 2007; Castagnino, 2009), está incluida entre las principales hortalizas de consumo diario del hombre (Rapaccioli *et al.*, 2001; Fontanetti *et al.*, 2006; Sánchez, 2010), ocupando en la Argentina el tercer lugar, luego de la papa y el tomate (Vigliola *et al.*, 1993; Di Benedetto, 2005; Castagnino, 2009). El noreste argentino es una zona de producción de hortalizas de relativa importancia en el total nacional (SAGPyA, 2005). Según estadísticas del INTA, se cultivan en Argentina aproximadamente 40.000 hectáreas de lechuga, con un promedio de rendimiento de

10.000 kg.ha⁻¹, lo que hace a una producción nacional de 400.000 toneladas (Alcalá *et al.*, 2002). Di Benedetto (2005) la considera una de las especies de mayor producción, pudiéndose realizar su cultivo durante todo el año y casi siempre asociada con explotaciones de los cinturones verdes de las grandes ciudades.

La lechuga es una planta anual autógama ($2n=18$), pertenece al género *Lactuca*, que proviene del latín *lactis* que significa leche; nombrado así por la savia que exudan los tallos de esta planta al ser cortados. Taxonómicamente se clasifica como una planta *Dicotiledónea*, perteneciente al orden de las Asterales, familia de las *Asteraceae* (*Compositae*), tribu de las *Cichoriae*, género *Lactuca* y especie *Lactuca sativa* L. (Granval & Gaviola, 1991).

Las principales variedades botánicas de la lechuga cultivada (*Lactuca sativa* L.) son la variedad *Crispa o intybacea* L. que engloba variedades hortícolas de hojas crespas o frisadas, que no forman cabeza, por ejemplo Grand Rapids, Slobolt y Brisa. La variedad *Capitata* L. forma una cabeza semejante a un repollo como es el caso de los cultivares Imperiales y Great Lakes. También se incluyen en este grupo a los cultivares de cabeza mantecosa como por ejemplo Maravilla de las cuatro estaciones y Reina de Mayo. La variedad *Longuifolia* Lam. son de hojas erectas, con una cabeza floja o ausente, ejemplo Romanas, Oreja de Burro y Valmaine. La variedad *Asparagina* L. es la llamada lechuga espárrago o de tallo, se cultiva por sus tallos suculentos, no forman cabeza y solo se cultivan en China (Granval & Gaviola, 1991; Ferratto *et al.*, 2010).

Granval & Gaviola (1991) diferencian seis tipos morfológicos de lechuga. Los cultivares de cabeza, crespas o capuchina, son de textura gruesa, frágil y de hojas apretadas una sobre otras; siendo las hojas externas verdes y las internas blanco amarillento. Tienen nervaduras prominentes y resisten el transporte y los malos tratos de labranza y mercado. Son ejemplos los cultivares Iceberg, Imperial, Great Lakes 366 y Lagomor INTA. Los cultivares de cabeza mantecosa, son de cabeza floja y más chica que las crespas o capuchina, de hojas anchas de aspecto aceitoso y de textura suave, como por ejemplo los cultivares Reina de Mayo y Maravilla de las cuatro

estaciones. Los cultivares de tipo Cos o Romana se reconocen por el carácter erguido de la planta, por lo alargado y filiforme de sus cabezas, y por lo angosto y alargado de sus hojas. En Argentina son cultivados en pequeña escala, siendo Valmaine uno de los cultivares más conocidos.

La mayoría de las hortalizas son altamente exigentes en fertilizantes nitrogenados prontamente solubles (Perin *et al.*, 2004). Según Ciampitti & García (2007), la cantidad de nutrientes absorbidos por cada tonelada lechuga cosechada es de 2 kg de N; 0,5 kg de P; 4,3 kg de K; 0,9 kg de Ca y 0,2 kg de Mg. Según Castagnino (2009), por cada tonelada de lechuga se extraen 3,2 kg.ha⁻¹ de N, 1,6 kg.ha⁻¹ de P₂O₃, 7 kg.ha⁻¹ de K₂O, 1,6 kg.ha⁻¹ de Ca y 2 kg.ha⁻¹ de Mg, evidenciándose una relación 1:0,5:2,2:0,5:0,6; respectivamente. Herrero (2004), halló para lechuga tipo romana en otoño extracciones de macronutrientes de entre 136 a 113 kg.ha⁻¹ de N, 44 a 46 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, de 246 a 193 kg.ha⁻¹ de K₂O y de 33 a 18 kg.ha⁻¹ de MgO, con rendimientos de 68.000 y 75.000 kg.ha⁻¹ de materia fresca.

La lechuga absorbe más del 50% del total de nutrientes tres semanas antes de la cosecha y al mismo tiempo es cuando se da la mayor producción de materia seca (Maroto, 2002; Alcalá *et al.*, 2002; Castagnino, 2009). Además cuenta con ventajas para su uso como cultivo índice, ya que posee un ciclo corto, fácil manejo, cuantificación sencilla y es muy demandante de fertilidad (Rapaccioli *et al.*, 2001). La lechuga presenta buena respuesta a la fertilización nitrogenada, aumenta los tenores de nutrientes en planta (Silva Santos *et al.*, 2001; Souza *et al.*, 2005) dependiendo esta respuesta del cultivar y del fertilizante utilizado (Fontanetti *et al.*, 2006).

En los últimos años, en todo el mundo, el consumo de vegetales frescos de hoja se ha incrementado y los consumidores están cada vez más informados y exigen alimentos de calidad para mantener una dieta saludable (Rattler *et al.*, 2005).

Las hortalizas, en particular las de hoja como la lechuga (Aquino *et al.*, 2007) y la espinaca (Turazi *et al.*, 2006; Sánchez, 2010), acumulan en sus hojas contenidos de nitratos mucho mayores que otros tipos de alimentos, contribuyendo con el 72 al 94%

de la ingesta diaria de nitratos del hombre (Valdés *et al.*, 2004; Carrasco *et al.*, 2006; Sánchez, 2010). Los altos niveles de nitratos pueden ser dañinos para la salud humana, ya que este contribuye a la formación de agentes cancerígenos (Lopes da Luz *et al.*, 2008; Carrasco *et al.*, 2006) y acarrea problemas de enfermedad azul por disminuir el suministro de oxígeno en el cuerpo (Escalona *et al.*, 2009; Lopes da Luz *et al.*, 2008). El Código Alimentario Argentino toma como valores límites de nitratos en hojas de lechuga los utilizados en la Unión Europea, que fueron establecidos para las diferentes épocas de cultivo, variedades y sistemas de producción. El valor límite para lechugas cultivadas en otoño-invierno a campo, es de 4.000 ppm NO_3^- de peso fresco (Carrasco *et al.*, 2006). Esta acumulación de nitratos en lechuga y otros cultivos, según autores como Turazi *et al.* (2006) y Sánchez (2010), depende de una serie de variables, entre las que destacan la concentración de nitrógeno en el suelo y las condiciones ambientales. Carrasco *et al.* (2006) informaron que cuando la absorción de nitratos excede a la asimilación, los iones nitratos se pueden acumular en las vacuolas. Por este motivo adecuar la fertilización nitrogenada, seleccionar cultivares con menor potencial de acumulación, así como, controlar los efectos ambientales buscando activar el proceso asimilatorio, son algunos de los factores que más influyen en la acumulación de nitratos en los vegetales (Turazi *et al.*, 2006). Conocer los contenidos de nitratos de los alimentos, especialmente en hortalizas como la lechuga, ha sido de gran importancia para la salud humana (Gaviola, 1996; Sánchez, 2010).

Teniendo en cuenta los antecedentes mencionados, resulta importante estudiar el efecto de la fertilización química y del abono verde de caupí, sobre el rendimiento (bruto y comercial) y el contenido de nitratos en hoja de algunos cultivares de lechuga usualmente sembrados en la región.

HIPÓTESIS

El aumento del rendimiento, el mayor tenor de nutrientes y el bajo contenido de nitratos en los cultivares de lechuga “Grand Rapids TBR”, “Brisa” y “Slobolt” cultivadas sobre un abono verde de caupí, son explicados por el aporte de nutrientes del abono verde en comparación con fertilizantes químicos. Siendo estas respuestas diferentes para cada cultivar.

OBJETIVO GENERAL

Contrastar el efecto del abono verde de caupí y de fertilizantes químicos tradicionales sobre el rendimiento de los cultivares de lechuga “Grand Rapids TBR”, “Brisa” y “Slobolt”, en las condiciones agroecológicas de Colonia Benítez, Chaco.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- I. Estimar el aporte de nutrientes del abono verde de caupí al suelo.
- II. Determinar la velocidad de descomposición del caupí utilizado como abono verde a través de la tasa de liberación de N, P y K.
- III. Identificar cambios en algunas propiedades del suelo como consecuencia de los tratamientos de fertilidad realizados.
- IV. Evaluar la respuesta de los tres cultivares de lechuga con el abono verde de caupí y con los fertilizantes químicos utilizados.
- V. Analizar los aportes de nutrientes del abono verde de caupí en la calidad nutricional de la lechuga.
- VI. Comprobar si el abono verde eleva la concentración de nitratos en hoja de lechuga, por encima de los niveles permitidos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó durante los años 2008/2009 (Primer Experimento) y se repitió en 2009/2010 (Segundo Experimento) en la EEA INTA Colonia Benítez, ubicada a 27° 25' latitud sur y 58° 56' longitud oeste a 54 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) (Fig. 2). El lote en su historial no fue sembrado con caupí, ni se realizaron en él ensayos de fertilizaciones sobre el mismo.

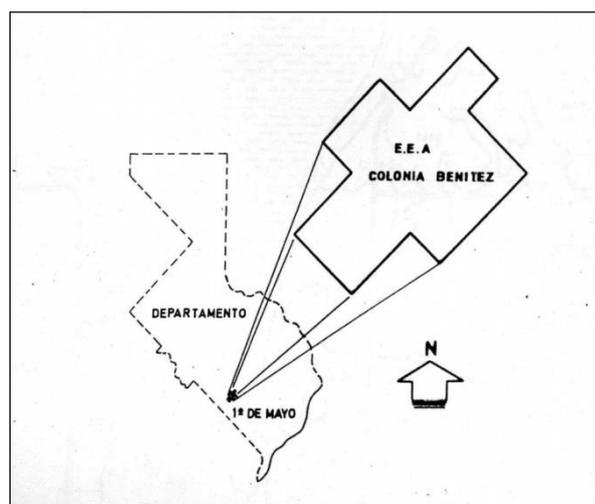


Fig. 2. Estación Experimental Agropecuaria INTA Colonia Benítez.

El suelo utilizado se clasifica taxonómicamente como Argiudol típico, familia arcillosa fina, montmorillonítica, hipertérmica, correspondiente a la Serie Resistencia y su capacidad de uso es clase IIe3 (Tabla A1 del Anexo). Algunas de las características de esta serie son: permeabilidad moderada, drenaje bueno, poca anegabilidad, erosión ligera y materia orgánica moderadamente pobre. Este suelo desarrollado a partir de material aluvial, tiene un perfil con un B textural de fuerte desarrollo, pero sin ningún vestigio de horizonte E sobre su techo (perfil A-B-C). Se encuentra en albardones y lomas tendidas de relieve normal. Posee un horizonte superficial de color gris de textura media; un subsuelo pardo grisáceo de textura pesada, que descansa sobre un material pardo, también de textura pesada, lixiviado. Presenta un moderado contenido de materia orgánica y es fuertemente ácido; tiene una alta capacidad de

retención de agua hasta los 120 cm de profundidad; un alto contenido de fósforo; una alta capacidad de intercambio de cationes y un bajo porcentaje de saturación de bases. Sus principales problemas son las pendientes cortas por el riesgo de erosión hídrica y la acidez (Ledesma & Zurita, 1995).

El clima es subhúmedo - húmedo, templado (Subtropical), con inviernos moderados y relativamente secos (Ledesma & Zurita, 1995). La precipitación media anual fue de 1.233,2 mm (años 1925 a 2010) y la media por campaña de 1.234,2 mm (periodo 1925/1926 a 2009/2010), presentando una temperatura media de 21,5° C, con un periodo medio libre de heladas de 331 días (Jover, 2010). Según Köppen el sector oriental de la provincia es clasificado climáticamente como (Cf) Climas Templados Húmedos (Strahler & Strahler, 1997; De Fina & Ravelo, 1985), y según Bruniard (2000), se lo caracteriza como un clima de Bosque abierto y Parque semideciduo subtropical.

Las labores de preparación del suelo, se realizaron de forma convencional, con una rastra de tiro excéntrico con 16 discos dentados, tanto para la siembra del abono verde, como para el trasplante de lechuga. Estas labores se iniciaron 22 días antes de la siembra del caupí en el primer experimento, y 37 días antes en el segundo experimento.

Aporte de Nutrientes del Abono Verde de Caupí

La siembra del abono verde se realizó el 4 de Diciembre en ambos experimentos, utilizándose la población denominada "poroto arroz" [*Vigna unguiculata* (L). Walp.]. Previo a la siembra, las semillas fueron inoculadas con cepas de *Bradyrhizobium*, obtenidas de la Cátedra de Microbiología Agrícola de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Nordeste. Se utilizó un marco de plantación de 0,5 m entre líneas x 0,2 m entre plantas, sembrando a razón de 100.000 pl.ha⁻¹, usando unos 10 a 12 kg.ha⁻¹ de semilla (Jover, 2006). En el bloque I, la parcela sembrada con caupí fue de 5,4 m x 5,0 m y, en los demás bloques, fue de 4,8 m x 5,0 m (Figura A2 del

Anexo). La siembra se hizo en forma manual, colocando 2 semillas por golpe en cada línea de siembra, haciendo posteriormente los raleos respectivos a fin de dejar la densidad planificada. Los controles de malezas se realizaron de forma manual con carpidas.

En ambos experimentos previo a la incorporación del abono verde, se tomaron 3 muestras al azar de cada parcela con aro de 0,34 m de diámetro, para calcular producción de materia seca de hojas y tallos del caupí y analizar los macro (N, P, K, Mg y Ca) y micronutrientes (Fe, Cu, Zn y Mn). También se tomaron plantas de caupí al azar para observar nodulación en raíces. Las determinaciones químicas del material vegetal fueron realizadas para N por el método semi-microKjeldahl, para P por el método de Murphy-Riley y para K por complejometría con EDTA y fotometría de llama (Page *et al.*, 1982), y para Ca, Mg y micronutrientes por espectrofotometría de absorción atómica (Baker & Amacher, 1962).

La incorporación del caupí en el primer experimento se realizó el 16 de febrero de 2009, a los 74 DDS, utilizándose para ello una rastra de discos dentados. En ese momento las plantas ya habían cerrado los surcos y la floración estaba iniciándose. En el segundo experimento la incorporación del abono verde se realizó a los 88 DDS, el 2 de marzo de 2010.

Descomposición del Abono Verde de Caupí

Para la determinación de la descomposición del caupí se empleó la técnica de *litter bags* utilizando bolsitas confeccionadas con tela plástica con abertura de malla de 2 mm, no considerándose estas como un sistema cerrado (Prause *et al.*, 2005). En cada una de las bolsitas se colocaron 100 gramos del material, previamente secado en estufa a 65° C durante 72 horas, las mismas fueron semienterradas a 0,05 m de profundidad en seis sitios elegidos al azar dentro de las cuatro parcelas. De cada sitio se retiró una bolsita cada 30 días. El material vegetal se lavó con agua destilada sobre un tamiz, y se lo secó en estufa a 65 °C durante 72 horas, para determinar peso seco

y posteriormente analizar el contenido de N, P y K. El diseño de muestreo utilizado fue totalmente al azar con seis repeticiones.

Con los pesos determinados se calcularon: 1) Porcentaje de Materia Seca Remanente (%MSR) = $100 \cdot X_t / X_i$; donde X_t es el peso seco del material vegetal en cada momento de extracción de la muestra y X_i el peso seco inicial; 2) Tasa de Descomposición TD = $(DCI - DCS) / n^\circ$ de días; donde DCI es el peso seco inicial y DCS es el peso seco final; 3) Tasa de Liberación de Nutriente de acuerdo a TLN = $(CNI - CNS) / n^\circ$ de días, donde CNI es la Concentración de Nutriente Inicial y CNS es la Concentración de Nutriente Subsiguiente.

Se llevó el registro de temperaturas del aire y del suelo a 5 cm de profundidad, y las precipitaciones acumuladas durante cada período de muestreo de las bolsitas de descomposición (Tabla A2 Anexo).

Análisis de Suelo

Para detectar los cambios que pudieran producir los tratamientos de fertilidad en el suelo, se tomaron 4 muestras compuestas de cada tratamiento de fertilidad, de 0 a 0,20 m de profundidad en tres momentos: previo a la siembra del abono verde (preAV), previo al trasplante de la lechuga (preLECH) y pos cosecha de lechuga (posLECH). En los dos experimentos los análisis se realizaron en el laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNNE. Las variables analizadas fueron: materia orgánica por el método Walkey Black (Jackson, 1964), nitrógeno total mediante semi-micro Kjeldahl (Page *et al.*, 1982), fósforo por Bray I (Dewis & Freitas, 1970), calcio, magnesio y potasio, por el método del acetato de amonio (Page *et al.*, 1982). El pH se determinó en solución acuosa, relación suelo: agua = 1:2,5 (Jackson, 1964). También se determinó la densidad aparente (D_a) y textura por el método de Bouyoucos (Bouyoucos, 1927) y micronutrientes por espectrofotometría de absorción atómica (Baker & Amacher, 1962).

Para el análisis los datos de suelo, como se tenían medidas repetidas en el tiempo, se ajustaron a un modelo de parcelas divididas, en dicho modelo el factor tratamientos de fertilidad se asoció a las unidades de mayor tamaño y el factor tiempo a las subparcelas (Steel & Torrie, 1993; Balzarini *et al.*, 2008).

Respuesta del Cultivo de Lechuga

Entre la incorporación del abono verde y el trasplante de la lechuga, se dejaron transcurrir 74 días en el primer experimento y 94 días en el segundo experimento, con el objetivo de lograr una completa descomposición del material enterrado y evitar la pérdida de plantas de lechuga trasplantadas. En los dos experimentos, los fertilizantes Triple 15 y Urea se distribuyeron manualmente al voleo y se incorporaron inmediatamente al suelo con motocultivador. La dosis de Triple 15 utilizada fue de 300 kg.ha⁻¹ de producto comercial (45 - 20 - 37 kg.ha⁻¹ de NPK, respectivamente), y de 100 kg.ha⁻¹ de producto comercial la Urea (46 kg N.ha⁻¹). La fertilización con Triple 15 se realizó 45 días antes del trasplante de la lechuga, y la de la Urea, 15 días antes.

Se utilizaron los cultivares de lechuga Grand Rapids TBR, Brisa y Slobolt, elegidos por ser las de mayor difusión entre los productores hortícolas de la zona. Algunas de las características de estas lechugas son las siguientes: poseen hojas crespas, de color verde claro y forman una roseta de hojas sueltas con borde rizado. Dos de ellas Slobolt y Brisa, con resistencia a la floración, bajo las condiciones ecológicas regionales.

El marco de plantación utilizado fue de 0,3 m entre líneas y de 0,2 m entre plantas, para obtener una densidad de 166.000 pl.ha⁻¹. El trasplante se realizó con plantines que tenían de 4-5 hojas verdaderas, los que fueron obtenidos en el año 2009 del Centro Tecnológico de Producción en Corrientes y del vivero Brest & Brest de Goya en el 2010. El trasplante de lechuga se realizó el 1 de mayo de 2009, en el primer experimento y el 4 de julio de 2010, en el segundo experimento. Se trasplantaron

cuatro líneas de 5 m de longitud para cada cultivar, por lo que cada unidad experimental tuvo una superficie de 6 m².

Cada 15 días se realizaron controles preventivos con 150 cc.ha⁻¹ de insecticida (Cipermetrina 25%) y 50cc.hl⁻¹ fungicida (Carbendazim 50%), aplicados con mochila. Cuando el cultivo de lechuga cubrió el entresurco se utilizó una motomochila para realizar las aplicaciones preventivas para el control de plagas y enfermedades.

La lechuga fue regada por goteo, en forma complementaria, a fin de mantener la humedad adecuada del suelo. El equipo de riego utilizado constó de: reservorio, motobomba de 5 HP, filtro de anillos, manguera de polietileno de 1" ½ para el ramal primario, secundario y terciario. Sobre el terciario se conectaron las cintas de goteo de polietileno, ubicadas junto a cada línea de lechuga. Los goteros estaban distanciados a 20 cm, aportando un caudal de 2 litros.hora⁻¹.gotero⁻¹.

En el primer experimento, la cosecha se realizó el 9 de julio de 2009, a los 69 Días Después Del Trasplante (DDT) y en el segundo experimento, el 6 de septiembre de 2010, a los 95 DDT. La misma se realizó sobre los dos líneas centrales, dejando sin cosechar 0,5 m en cada extremo del línea, por efecto de bordura; la superficie útil de cosecha fue de 2,4 m². Se determinó el peso fresco bruto y comercial, para esto último se eliminó las hojas dañadas y/o amarillas.

Análisis Foliar de Lechuga. Calidad Nutricional. Nitratos en Hojas

Al momento de la cosecha, se tomaron muestras al azar para cuantificar macro y micro nutrientes en hoja, proteína bruta y contenido de nitratos. La determinación de macronutrientes y proteína bruta se realizó en el laboratorio de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNNE, mientras que el de micronutrientes se hizo en el laboratorio de Ciencias Veterinarias de la UNNE. El contenido de nitratos en hoja se determinó con un fotolorímetro portátil (Nitrachek 404).

El diseño experimental utilizado fue un arreglo factorial en parcelas divididas en bloques completos al azar, con dos variables independientes a tres niveles cada una

(3 x 3) y cuatro repeticiones. En la parcela principal se ubicó la variable independiente tratamiento de fertilidad de suelo (con tres niveles: Caupí Abono Verde, NPK (Triple 15) y NPK + N (Triple 15 + Urea), y en la subparcela la variable independiente cultivares de lechuga (también con tres niveles: Brisa, Grand Rapids TBR y Slobolt).

En consecuencia el experimento constó de 9 combinaciones (Figura A1 del Anexo):

Combinación 1: 45 kg N.ha⁻¹, 20 kg P.ha⁻¹ y 37 kg K.ha⁻¹ (Triple 15) - Grand Rapids TBR.

Combinación 2: 45 kg N.ha⁻¹, 20 kg P.ha⁻¹ y 37 kg K.ha⁻¹ (Triple 15) - Slobolt.

Combinación 3: 45 kg N.ha⁻¹, 20 kg P.ha⁻¹ y 37 kg K.ha⁻¹ (Triple 15) - Brisa.

Combinación 4: Caupí Abono Verde - Grand Rapids TBR.

Combinación 5: Caupí Abono Verde - Slobolt.

Combinación 6: Caupí Abono Verde - Brisa.

Combinación 7: 45 kg N.ha⁻¹, 20 kg P.ha⁻¹ y 37 kg K.ha⁻¹ (Triple 15) + 46 kg N.ha⁻¹ (Urea) - Grand Rapids TBR.

Combinación 8: 45 kg N.ha⁻¹, 20 kg P.ha⁻¹ y 37 kg K.ha⁻¹ (Triple 15) + 46 kg N.ha⁻¹ (Urea) - Slobolt.

Combinación 9: 45 kg N.ha⁻¹, 20 kg P.ha⁻¹ y 37 kg K.ha⁻¹ (Triple 15) + 46 kg N.ha⁻¹ (Urea) - Brisa.

Análisis Estadístico

Los datos obtenidos se analizaron mediante análisis de varianza (ANAVA), con un nivel de significación del 5% y comparación de medias utilizando la prueba de Tuckey. Para el análisis estadístico se usó el software "INFOSTAT" (Di Rienzo *et al.*, 2008).

RESULTADOS

I.1. Producción de Materia Seca Aérea (MSA) del Caupí

En el experimento 2008/2009, el caupí produjo en el ciclo de 74 días 4.922,1 kg.ha⁻¹ MSA, esto representa una producción promedio de MSA de 66,5 kg.ha⁻¹.día⁻¹, de ese total el 64,9% del aporte correspondió a las hojas y el 35,1% restante a los tallos (Tabla 1).

Tabla 1. Rendimiento de caupí MSA total y discriminado entre hojas y tallos. Experimento 2008/2009.

	kg.ha ⁻¹	CV	%	CV
Hojas	3.196,7	15,2	64,9	2,8
Tallos	1.726,4	18,3	35,1	5,3
Total	4.922,1	13,7	100	

En el experimento 2009/2010, el caupí produjo 7.603,6 kg.ha⁻¹ de MSA en el ciclo de 88 días, representando una producción promedio de MSA de 86,8 kg.ha⁻¹.día⁻¹, en el que el 63,9% del aporte correspondió a la parte foliar y el 36,1% restante a tallos (Tabla 2).

Tabla 2. Rendimiento de caupí MSA total y discriminado entre hojas y tallos. Experimento 2009/2010

	kg.ha ⁻¹	CV	%	CV
Hojas	4.857,9	9,6	63,9	5,7
Tallos	2.745,8	12,2	36,1	10,2
Total	7.603,6	4,9	100	

En la Tabla 3, se resumieron los datos promedios de producción de MSA en kg.ha⁻¹ y en porcentajes, de ambos experimentos.

Tabla 3. Rendimiento promedio de caupí MSA total y discriminado entre hojas y tallos.

Experimentos 2008/2009 y 2009/2010.

	kg.ha ⁻¹	CV	%	CV
Hojas	4.027,0	24,0	64,4	4,2
Tallos	2.235,9	27,3	35,6	7,7
Total	6.262,8	23,4	100,0	

El promedio de MSA para ambos experimentos alcanzó 6.262,8 kg.ha⁻¹, correspondiendo 4.027 kg.ha⁻¹ a las hojas (64,4%) y 2.236,0 kg.ha⁻¹ a tallos (35,6%).

Si se consideran los días utilizados por el abono verde desde la siembra hasta su incorporación, se obtiene un promedio de producción de MSA, de 66,5 y 86,4 kg.ha⁻¹.día⁻¹ para el primer y segundo experimento respectivamente y de 76,5 kg MSA.ha⁻¹.día⁻¹ de promedio en los dos experimentos (Figura 3).

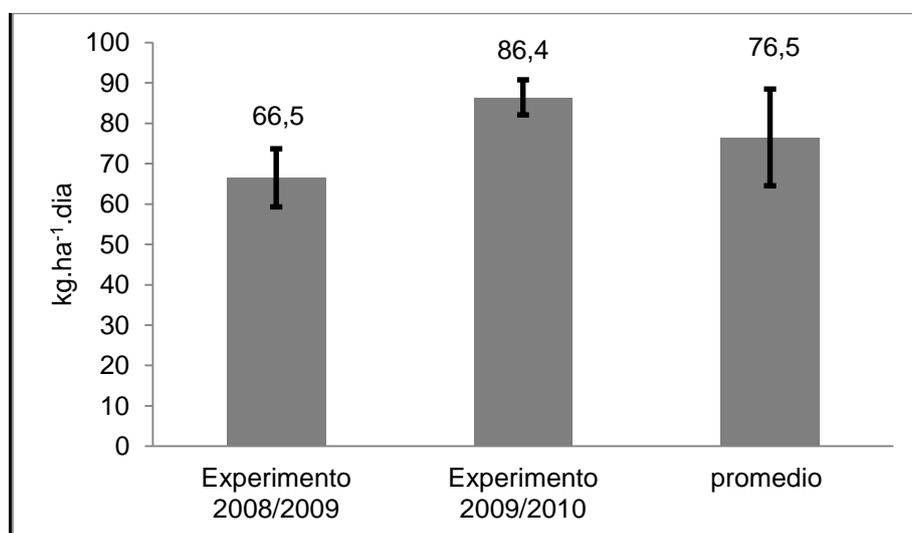


Fig. 3. Producción diaria de MSA de caupí (media y desvío estándar) por experimento y promedio de ambos experimentos en kg.ha⁻¹.día⁻¹.

I.2. Aportes de Macro y Micronutrientes del Caupí como Abono Verde

El análisis de biomasa aérea de plantas de caupí, arrojó los siguientes valores promedios en cada experimento (Tabla 4).

Tabla 4. Aporte de macronutrientes de la biomasa aérea del caupí (kg.ha⁻¹)

Experimento	N	CV	P	CV	K	CV	Ca	CV	Mg	CV
2008/2009	118,1	5,3	12,8	14,2	101,1	19,9	54,7	10,5	10,0	11,1
2009/2010	186,8	10,5	36,3	5,5	115,7	17,8	85,6	10,3	12,6	7,9

Al realizar la incorporación al suelo del abono verde, el aporte promedio de macronutrientes del caupí en ambos experimentos se resume en Tabla 5.

Tabla 5. Aporte promedio de macronutrientes de caupí como abono verde de ambos experimentos (kg.ha⁻¹)

N	P	K	Ca	Mg
152,5	24,6	108,5	70,1	11,3
CV 25,6	CV 51,5	CV 18,8	CV 25,5	CV 14,8

En la Tabla 6 se puede observar el aporte en kg.ha⁻¹, de los macronutrientes N, P, K, Ca y Mg, por Tn.ha⁻¹ de materia seca producida de caupí.

Tabla 6. Aporte de macronutrientes en kg.ha⁻¹ por Tn.ha⁻¹ de MSA de caupí.

N	P	K	Ca	Mg
24,2	2,6	20,5	11,3	2,0

El aporte de micronutrientes por la biomasa aérea del caupí para cada experimento se muestra en la Tabla 7 y el aporte promedio de ambos experimentos en la Tabla 8.

Tabla 7. Aporte de micronutrientes de la biomasa aérea de caupí ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$).

Experimento	Fe	CV	Cu	CV	Mn	CV	Zn	CV
2008/2009	1,03	17,3	0,20	19,4	0,52	13,9	0,14	8,8
2009/2010	1,84	16,3	0,11	16,8	1,19	15,5	0,28	16,1

Tabla 8. Aporte promedio de micronutrientes de caupí como abono verde de ambos experimentos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$).

Fe	Cu	Mn	Zn
1,44	0,16	0,86	0,21
CV 34,2	CV 35,5	CV 44,5	CV 38,1

Si expresamos el aporte de micronutrientes en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ por $\text{Tn}\cdot\text{ha}^{-1}$ de MSA producida por el caupí como abono verde, se llega a la siguiente relación (Tabla 9).

Tabla 9. Aporte de micronutrientes en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ por $\text{Tn}\cdot\text{ha}^{-1}$ de MSA de caupí

Fe	Mn	Zn	Cu
0,22	0,13	0,03	0,02

II.1. Descomposición del Caupí como Abono Verde

Durante el experimento 2009/2010, la dinámica de la pérdida de peso del material vegetal confinado en las bolsitas de descomposición y expresada como %MSR de caupí, se muestra en la Figura 4, detectándose a los 30 días iniciales un %MSR = 36. Posteriormente, entre los 60 y 120 días, el proceso de descomposición se estabiliza alcanzando en promedio un %MSR = 24.

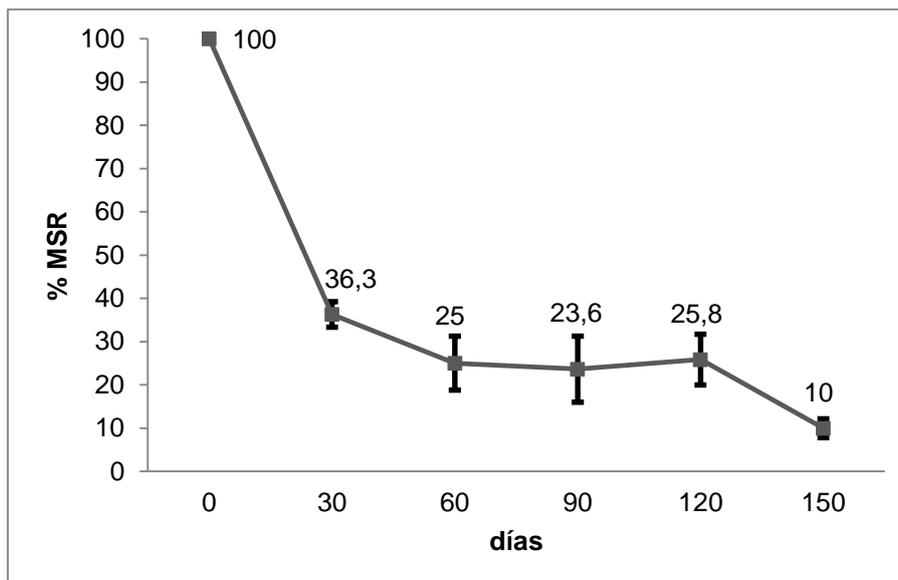


Fig. 4. Dinámica de pérdida de peso del material vegetal confinado en las bolsitas de descomposición y expresada como % MSR de caupí (media y desvío estándar).

Cuando se analizó la tasa de descomposición (TD) del caupí (Tabla 10), se observaron valores de TD = 161,53 a los 30 días, disminuyendo la TD = 28,64 a los 60 días y una TD = 3,46 a los 90 días de iniciada la descomposición del caupí. Se obtuvieron valores negativos de TD = -5,55 a los 120 días, que indicaron que no hubo descomposición del material confinado en las bolsitas colocadas en el ensayo. El análisis del material vegetal del abono verde arrojó valores promedios de N = 4,61%, P = 0,96% y de K = 3,21%.

Tabla 10. Tasa de descomposición de caupí en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$ (CV 53,1).

Días	Tasa de Descomposición
30	161,53 d
60	28,64 bc
90	3,46 ab
120	-5,55 a
150	40,19 c

Letras diferentes muestran diferencias significativas ($p < 0,05$)

II.2. Tasa de Liberación de N P K del Caupí como Abono Verde

La tasa de liberación del N y K fue máxima a los 30 días, existiendo diferencias significativas con respecto a los siguientes momentos de muestreo (60, 90, 120 y 150 días). El P, también presentó la máxima tasa de liberación a los 30 días, siendo esta diferente estadísticamente con respecto de los demás momentos de muestreo, a los 60 días la tasa se diferenció significativamente con respecto a los 90 y 150 días, pero no se observó diferencias significativas con respecto a la tasa de los 120 días (Tabla 11).

Tabla 11. Tasa de liberación de N, P y K del caupí confinado en las bolsitas de descomposición en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$.

Días	N	P	K
30	7,75 b	1,77 c	7,10 b
60	0,14 a	0,45 b	-0,19 a
90	-0,35 a	-0,16 a	0,07 a
120	0,47 a	0,10 ab	-0,02 a
150	-1,03 a	-0,04 a	0,37 a
	CV 51,0	CV 49,3	CV 45,3

Letras diferentes dentro de las columnas indican diferencias significativas ($p < 0,05$)

III. Análisis de Suelo

Efecto de los Tratamientos de Fertilidad sobre el Suelo. Experimento 2008/2009

Densidad aparente (Da)

No se observó interacción tratamiento de fertilidad y momento de muestreo. Tampoco se observaron diferencias significativas entre tratamientos; pero, en cambio, se observaron diferencias entre los diferentes momentos de muestreo (Tabla 12),

siendo la Da posLECH (1,33 g.cm⁻³), superior que preAV (1,25 g.cm⁻³) y preLECH (1,23 g.cm⁻³) y esta última a su vez fue significativamente menor que preAV.

Tabla 12. Valores de Da (g.cm⁻³). Experimento 2008/2009.

Da por tratamiento (CV 1,07).	
Tratamiento de fertilidad	Medias
Triple 15	1,27 a
Abono verde	1,27 a
Triple 15 + Urea	1,26 a

Da en cada momento de muestro (CV 1,07).

Momento de muestreo	Medias
preAV	1,25 b
preLECH	1,23 a
posLECH	1,33 c

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<0,05)

Potencial Hidrógeno (pH)

En el pH, se observó interacción entre los tratamientos de fertilidad y los diferentes momentos de muestreo. Las diferencias significativas entre tratamientos se detectaron al momento post cosecha de la lechuga, siendo el tratamiento con abono verde el de mayor pH, seguido por Triple 15 + Urea y el de menor pH fue para Triple 15 (Tabla 13).

Tabla 13. Valores de pH por tratamiento en cada momento de muestro. Experimento 2008/2009.

pH por tratamiento de fertilidad preAV (CV 1,51).	
Tratamiento de fertilidad	Medias
Abono verde	4,85 a
Triple 15 + Urea	4,89 a
Triple 15	4,93 a

pH por tratamiento de fertilidad preLECH (CV 1,61).	
Tratamiento de fertilidad	Medias
Abono verde	4,79 a
Triple 15 + Urea	4,83 a
Triple 15	4,84 a

pH por tratamiento de fertilidad posLECH (CV 1,56).	
Tratamiento de fertilidad	Medias
Triple 15	4,76 a
Triple 15 + Urea	4,78 ab
Abono verde	4,93 b

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

Conductividad Eléctrica (CE)

En la variable CE, se detectaron diferencias significativas en la interacción tratamiento de fertilidad y momento de muestreo, evidenciándose un incremento de la CE luego de realizados los tratamientos (preLECH) y una disminución posterior (posLECH). Las diferencias significativas entre tratamientos se registraron en el primer muestreo (preAV), donde el tratamiento Triple 15, presentó un valor menor que el de los restantes tratamientos. En el siguiente muestreo (preLECH) el tratamiento abono verde, tuvo un incremento significativamente mayor que los tratamientos Triple 15 y Triple 15 + Urea, y este último un incremento significativamente mayor que con Triple 15 (Tabla 14).

Tabla 14. Valores de CE (dS.m⁻¹) por tratamiento en cada momento de muestro.

Experimento 2008/2009.

CE por tratamiento de fertilidad preAV (CV 3,37).	
Tratamiento de fertilidad	Medias
Triple 15	0,14 a
Abono verde	0,15 b
Triple 15 + Urea	0,16 b

CE por tratamiento de fertilidad preLECH (CV 9,08).	
Tratamiento de fertilidad	Medias
Triple 15	0,88 a
Triple 15 + Urea	1,26 b
Abono verde	1,58 c

CE por tratamiento de fertilidad posLECH (CV 29,94)	
Tratamiento de fertilidad	Medias
Abono verde	0,67 a
Triple 15 + Urea	0,73 a
Triple 15	0,73 a

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

Materia Orgánica (MO)

La MO del suelo, no mostró interacción entre tratamientos y momentos de muestreos, ni diferencias significativas entre tratamientos, ni momentos de muestreo (Tabla 15).

Tabla 15. Contenido de MO (kg.ha⁻¹). Experimento 2008/2009.

Contenido de MO por tratamiento (CV 9,79).	
Tratamiento de fertilidad	Medias
Triple 15	35,50 a
Abono verde	36,50 a
Triple 15 + Urea	37,42 a

Contenido de MO en cada momento de muestro (CV 9,79).	
Momento de muestreo	Medias
preAV	36,23 a
preLECH	37,07 a
posLECH	36,12 a

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

Nitrógeno (N)

Respecto al N, no se observaron interacciones entre los tratamientos de fertilidad y los diferentes momentos de muestreo, ni tampoco diferencias entre tratamientos de fertilidad. Donde sí se registraron diferencias significativas, fue entre los diferentes momentos de muestreo (Tabla 16), observándose un incremento significativo preLECH (1.370,17 kg.ha⁻¹) respecto de preAV (1.018,00 kg.ha⁻¹) y otro posterior incremento significativo posLECH (1.722,00 kg.ha⁻¹) con respecto a los muestreos anteriormente mencionados.

Tabla 16. Contenido de N en suelo (kg.ha⁻¹). Experimento 2008/2009.

Contenido de N por tratamiento (CV 20,84).	
Tratamiento de fertilidad	Medias
Triple 15	1.375,08 a
Abono verde	1.384,88 a
Triple 15 + Urea	1.350,20 a

Contenido de N en cada momento de muestro (CV 20,84).	
Momento de muestreo	Medias
preAV	1.018,00 a
preLECH	1.370,17 b
posLECH	1.722,00 c

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

Fósforo (P)

El P no evidenció interacción entre tratamiento de fertilidad y momentos de muestreo, y tampoco diferencias entre tratamientos. Donde sí se detectaron diferencias significativas fue entre los diferentes momentos de muestreo (Tabla 17), siendo el P posLECH significativamente mayor que preLECH (58,36 kg.ha⁻¹); pero sin diferencias con respecto al valor del P preAV (70,29 kg.ha⁻¹).

Tabla 17. Contenido de P en suelo (kg.ha⁻¹). Experimento 2008/2009.

Contenido de P por tratamiento (CV 17,14).	
Tratamiento de fertilidad	Medias
Triple 15	62,94 a
Abono verde	70,29 a
Triple 15 + Urea	66,90 a

Contenido de P en cada momento de muestro (CV 17,14).	
Momento de muestreo	Medias
preAV	70,29 ab
preLECH	58,36 a
posLECH	71,48 b

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

Potasio (K)

El K presentó interacción tratamiento de fertilidad y momento de muestreo, observándose un incremento de su contenido preLECH y posteriormente una disminución posLECH. Las diferencias significativas entre tratamientos se detectaron preLECH, presentando el abono verde un valor de 361,28 kg.ha⁻¹ de K, significativamente superior a los tratamientos Triple 15 y Triple 15 + Urea, con 261,26 y 271,99 kg.ha⁻¹, respectivamente (Tabla 18).

Tabla 18. Contenido de K (kg.ha⁻¹) por tratamiento en cada momento de muestreo.

Experimento 2008/2009.

Contenido de K por tratamiento de fertilidad preAV (CV 12,01).	
Tratamiento de fertilidad	Medias
Abono verde	97,31 a
Triple 15 + Urea	111,19 a
Triple 15	121,76 a

Contenido de K por tratamiento de fertilidad preLECH (CV 12,01)	
Tratamiento de fertilidad	Medias
Triple 15	261,26 a
Triple 15 + Urea	271,99 a
Abono verde	361,28 b

Contenido de K por tratamiento de fertilidad posLECH (CV 12,01)	
Tratamiento de fertilidad	Medias
Triple 15 + Urea	149,76 a
Abono verde	180,36 a
Triple 15	186,31 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<0,05)

Calcio (Ca)

Los resultados del Ca no evidenciaron la presencia de interacción tratamiento de fertilidad y momento de muestreo, y tampoco diferencias entre tratamientos. Donde sí se halló diferencias significativas fue en los momentos de muestreo (Tabla 19),

observándose un descenso no significativo del Ca preLECH respecto a preAV, y luego un aumento significativo del Ca posLECH con respecto a preLECH; siendo este contenido de Ca posLECH no significativo comparado con preAV.

Tabla 19. Contenido de Ca en suelo (kg.ha⁻¹). Experimento 2008/2009.

Contenido de Ca por tratamiento (CV 6,81).	
Tratamiento de fertilidad	Medias
Triple 15	1.341,25 a
Abono verde	1.339,31 a
Triple 15 + Urea	1.371,12 a

Contenido de Ca en cada momento de muestro (CV 6,81).	
Momento de muestreo	Medias
preAV	1.516,28 c
preLECH	1.155,22 a
posLECH	1.380,18 b

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

Magnesio (Mg)

Este nutriente no evidenció interacción entre los tratamientos de fertilidad y los diferentes momentos de muestreo, y tampoco diferencias significativas entre tratamientos de fertilidad, ni momentos de muestreo (Tabla 20)

Tabla 20. Contenido de Mg en suelo (kg.ha⁻¹). Experimento 2008/2009.

Contenido de Mg por tratamiento (CV 46,55).	
Tratamiento de fertilidad	Medias
Triple 15	116,12 a
Triple 15 + Urea	126,42 a
Abono verde	140,77 a

Contenido de Mg en cada momento de muestreo (CV 46,55).	
Momento de muestreo	Medias
posLECH	106,63 a
preAV	134,79 a
preLECH	141,89 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<0,05)

Cobre (Cu)

Este microelemento, no evidenció interacción entre tratamiento de fertilidad y momento de muestreo, ni diferencias significativas entre tratamientos de fertilidad, ni variación significativa entre momentos de muestreo (Tabla 21).

Tabla 21. Contenido de Cu en suelo (kg.ha⁻¹). Experimento 2008/2009.

Contenido de Cu por tratamiento (CV 30,58).	
Tratamiento de fertilidad	Medias
Abono verde	1,37 a
Triple 15	1,48 a
Triple 15 + Urea	1,56 a

Contenido de Cu en cada momento de muestreo (CV 30,58).	
Momento de muestreo	Medias
preAV	1,30 a
preLECH	1,49 a
posLECH	1,61 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<0,05)

Hierro (Fe)

Para el Fe no se observó interacción entre los tratamientos de fertilidad y los momentos de muestreo, ni tampoco diferencias entre los tratamientos. Sin embargo, sí se obtuvieron diferencias significativas entre momentos de muestreo (Tabla 22). El contenido de Fe posLECH (29,64 kg.ha⁻¹), es significativamente superior que en preAV (6,86 kg.ha⁻¹) y preLECH (7,65 kg.ha⁻¹).

Tabla 22. Contenido de Fe en suelo (kg.ha⁻¹). Experimento 2008/2009.

Contenido de Fe por tratamiento (CV 31,61).	
Tratamiento de fertilidad	Medias
Abono verde	14,75 a
Triple 15	14,73 a
Triple 15 + Urea	14,62 a

Contenido de Fe en cada momento de muestreo (CV 31,61).	
Momento de muestreo	Medias
preAV	7,65 a
preLECH	6,86 a
posLECH	29,64 b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<0,05)

Manganeso (Mn)

El análisis de los datos de Mn arrojó interacción tratamiento de fertilidad y momento de muestreo. Cuando se analizaron los datos en forma particionada por momento de muestreo, se detectaron diferencias significativas entre tratamientos al final del cultivo de lechuga (posLECH), registrando el tratamiento abono verde un valor significativamente menor (34,49 kg Mn.ha⁻¹) respecto al tratamiento Triple 15 + Urea (56,45 kg Mn.ha⁻¹) y no se diferenció del tratamiento con Triple 15 (48,40 kg Mn.ha⁻¹). Tampoco hubo diferencias significativas entre Triple 15 y Triple 15 + Urea (Tabla 23).

Tabla 23. Contenido de Mn (kg.ha⁻¹) por tratamiento en cada momento de muestro.

Experimento 2008/2009.

Contenido de Mn por tratamiento de fertilidad preAV (CV 19,87).	
Tratamiento de fertilidad	Medias
Abono verde	8,26 a
Triple 15 + Urea	9,20 a
Triple 15	9,29 a

Contenido de Mn por tratamiento de fertilidad preLECH (CV 19,87).	
Tratamiento de fertilidad	Medias
Triple 15	26,78 a
Triple 15 + Urea	30,89 a
Abono verde	31,26 a

Contenido de Mn por tratamiento de fertilidad posLECH (CV 19,87).	
Tratamiento de fertilidad	Medias
Abono verde	34,49 a
Triple 15	48,40 ab
Triple 15 + Urea	56,45 b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<0,05)

Zinc (Zn)

En este microelemento no se detectó interacción entre tratamiento de fertilidad y momento de muestreo, ni tampoco diferencias significativas entre tratamientos. Si hubo diferencias significativas, entre los diferentes momentos de muestreo (Tabla 24), donde el contenido de Zn fue significativamente inferior al momento de preLECH respecto al de posLECH (0,99 y 1,53 kg.ha⁻¹ respectivamente). No hubo diferencias significativas entre los momentos preLECH y preAV, así como entre preAV y posLECH.

Tabla 24. Contenido de Zn en suelo (kg.ha⁻¹). Experimento 2008/2009.

Contenido de Zn por tratamiento (CV 31,00).	
Tratamiento de fertilidad	Medias
Abono verde	1,39 a
Triple 15	1,19 a
Triple 15 + Urea	1,24 a

Contenido de Zn en cada momento de muestreo (CV 31,00).	
Momento de muestreo	Medias
preAV	1,30 ab
preLECH	0,99 a
posLECH	1,53 b

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

Efecto de los Tratamientos de Fertilidad sobre el Suelo. Experimento 2009/2010

Densidad aparente (Da)

Durante el experimento 2009/2010, la Da no mostró interacción tratamiento de fertilidad, momento de muestreo; ni diferencias entre los tratamientos. No obstante, si mostró diferencias significativas estadísticamente entre momentos de muestreos (Tabla 25). La Da fue significativamente superior en el momento preAV respecto a los otros momentos, mientras que el momento preLECH fue significativamente superior al de posLECH.

Tabla 25. Valores de Da (g.cm⁻³). Experimento 2009/2010.

Valores de Da por tratamiento (CV 1,12).	
Tratamiento de fertilidad	Medias
Triple 15	1,30 a
Abono verde	1,31 a
Triple 15 + Urea	1,31 a

Valores de Da en cada momento de muestreo (CV 1,12).	
Momento de muestreo	Medias
preAV	1,33 c
preLECH	1,31 b
preLECH	1,29 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<0,05)

Potencial Hidrógeno (pH)

El pH en este experimento, no reveló interacción tratamiento de fertilidad y momento de muestreo, ni tampoco se observó diferencias significativas, entre tratamientos, ni momentos de muestreo (Tabla 26).

Tabla 26. Valores de pH. Experimento 2009/2010.

Valores de pH por tratamiento (CV 2,48).	
Tratamiento de fertilidad	Medias
Abono verde	5,22 a
Triple 15 + Urea	5,23 a
Triple 15	5,31 a

Valores de pH en cada momento de muestreo (CV 2,48).	
Momento de muestreo	Medias
preAV	5,22 a
posLECH	5,23 a
preLECH	5,31 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<0,05)

Conductividad Eléctrica (CE)

Para la variable CE, no se registró interacción tratamiento de fertilidad, momento de muestreo, ni diferencias significativas entre tratamientos. Las diferencias significativas en la CE, se evidenciaron entre los momentos de muestreo (Tabla 27), observándose una disminución de la CE del suelo de preAV a posLECH. La CE fue significativamente superior en el momento preAV ($0,55 \text{ dS.m}^{-1}$) respecto a los otros momentos, mientras que entre los momentos posLECH y preLECH no hubieron diferencias significativas.

Tabla 27. Valores de CE (dS.m^{-1}). Experimento 2009/2010.

CE por tratamiento (CV 23,62).	
Tratamiento de fertilidad	Medias
Abono verde	0,34 a
Triple 15 + Urea	0,34 a
Triple 15	0,33 a

CE en cada momento de muestro (CV 23,62).	
Momento de muestreo	Medias
preAV	0,55 b
preLECH	0,24 a
posLECH	0,22 a

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

Materia Orgánica (MO)

En el análisis de la MO del suelo durante el experimento 2009/2010, tampoco se detectó interacción entre tratamientos y momento de muestreo. Como así tampoco fueron observadas diferencias significativas entre tratamientos, ni momentos de muestreo (Tabla 28).

Tabla 28. Contenido de MO (kg.ha⁻¹). Experimento 2009/2010.

Contenido de MO por tratamiento (CV 19,65).	
Tratamiento de fertilidad	Medias
Abono verde	36,38 a
Triple 15	39,43 a
Triple 15 + Urea	41,15 a

Contenido de MO en cada momento de muestro (CV 19,65).	
Momento de muestreo	Medias
preAV	37,61 a
posLECH	37,63 a
preLECH	41,71 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<0,05)

Nitrógeno (N)

En relación al contenido de N del suelo, no se apreció la presencia de interacción entre tratamiento de fertilidad y momento de muestreo, ni efecto de los tratamientos. Donde sí se detectaron diferencias significativas fue entre los momentos de muestreo (Tabla 29), observándose que los valores de nitrógeno edáfico disminuyeron desde preAV a posLECH.

Tabla 29. Contenido de N en suelo (kg.ha⁻¹). Experimento 2009/2010.

Contenido de N por tratamiento (CV 19,13).	
Tratamiento de fertilidad	Medias
Abono verde	1.282,48 a
Triple 15	1.420,38 a
Triple 15 + Urea	1.223,75 a

Contenido de N en cada momento de muestro (CV 19,13).	
Momento de muestreo	Medias
preAV	1.777,12 c
preLECH	1.377,05 b
posLECH	772,45 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<0,05)

Fósforo (P)

En este experimento (2009/2010) el P, no reveló interacción tratamiento de fertilidad y momentos de muestreo, como así tampoco diferencias entre tratamientos, ni entre momentos de muestreo (Tabla 30).

Tabla 30. Contenido de P en suelo (kg.ha⁻¹). Experimento 2009/2010.

Contenido de P por tratamiento (CV 47,05).	
Tratamiento de fertilidad	Medias
Triple 15 + Urea	68,29 a
Abono verde	70,99 a
Triple 15	81,26 a

Contenido de P en cada momento de muestreo (CV 47,05).	
Momento de muestreo	Medias
posLECH	62,12 a
preLECH	69,65 a
preAV	88,78 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<0,05)

Potasio (K)

Este nutriente, presentó diferencias significativas entre momentos de muestreo (Tabla 31); pero no interacción entre tratamiento de fertilidad y momento de muestreo, ni diferencias entre los tratamientos. El momento de muestreo preLECH tuvo un contenido de K en suelo significativamente superior respecto a los otros dos momentos, los cuales no se diferenciaron entre sí.

Tabla 31. Contenido de K en suelo (kg.ha⁻¹). Experimento 2009/2010.

Contenido de K por tratamiento (CV 18,85).	
Tratamiento de fertilidad	Medias
Triple 15 + Urea	243,78 a
Triple 15	259,17 a
Abono verde	266,90 a

Contenido de K en cada momento de muestro (CV 18,85).	
Momento de muestreo	Medias
preAV	224,84 a
preLECH	316,64 b
posLECH	228,36 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<0,05)

Calcio (Ca)

Durante el experimento 2009/2010, el Ca no mostró interacción entre tratamiento de fertilidad y momento de muestreo, y tampoco diferencias entre tratamientos de fertilidad. El Ca solo presentó diferencias significativas entre los diferentes momentos de muestreo, observándose un aumento de su contenido posLECH (Tabla 32). El momento de muestreo posLECH tuvo un contenido de Ca en suelo significativamente superior (2.020,12 kg.ha⁻¹) respecto a los otros dos momentos. No hubo diferencias significativas entre los momentos preLECH y preAV, con 1.609,11 y 1.412,61 kg.ha⁻¹, respectivamente.

Tabla 32. Contenido de Ca en suelo (kg.ha⁻¹). Experimento 2009/2010.

Contenido de Ca por tratamiento (CV 19,35).	
Momento de muestreo	Medias
Triple 15 + Urea	1.572,55 a
Triple 15	1.705,20 a
Abono verde	1.764,09 a

Contenido de Ca en cada momento de muestreo (CV 19,35).	
Momento de muestreo	Medias
preAV	1.412,61 a
preLECH	1.609,11 a
posLECH	2.020,12 b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<0,05)

Magnesio (Mg)

Durante el experimento 2009/2010, no se detectó interacción tratamiento de fertilidad, momento de muestreo y tampoco diferencias entre los tratamientos de fertilidad. Se observó que el Mg varió significativamente entre los diferentes momentos de muestreo (Tabla 33), siendo fue significativamente superior en el momento de muestreo posLECH (494,28 kg.ha⁻¹), respecto a los otros dos momentos. Los momentos preLECH y preAV, con 174,75 y 95,72 kg.ha⁻¹, respectivamente, no tuvieron diferencias significativas entre sí.

Tabla 33. Contenido de Mg en suelo (kg.ha⁻¹). Experimento 2009/2010.

Contenido de Mg por tratamiento (CV 46,93).	
Momento de muestreo	Medias
Triple 15	242,01 a
Triple 15 + Urea	254,57 a
Abono verde	268,17 a

Contenido de Mg en cada momento de muestreo (CV 49,93).	
Momento de muestreo	Medias
preAV	95,72 a
preLECH	174,75 a
posLECH	494,28 b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<0,05)

Cobre (Cu)

El contenido de Cu observado no presentó interacción tratamiento de fertilidad y momento de muestreo, como así tampoco diferencias debida a los tratamientos. Donde sí varió significativamente fue entre los diferentes momentos de muestreo (Tabla 34). El contenido de Cu en suelo, en el momento de muestreo preAV fue, significativamente inferior respecto al valor preLECH; sin embargo, el Cu posLECH, no se diferenció significativamente respecto de preAV, ni preLECH.

Tabla 34. Contenido de Cu en suelo (kg.ha⁻¹). Experimento 2009/2010.

Contenido de Cu por tratamiento (CV 43,30).	
Momento de muestreo	Medias
Triple 15 + Urea	2,05 a
Triple 15	2,24 a
Abono verde	2,42 a

Contenido de Cu en cada momento de muestreo (CV 43,30).	
Momento de muestreo	Medias
preAV	1,62 a
preLECH	2,95 b
posLECH	2,13 ab

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<0,05)

Hierro (Fe)

La variable Fe del suelo, no manifestó interacción entre tratamiento de fertilidad y momentos de muestreo, ni diferencias significativas entre tratamientos. Donde sí se observó diferencias significativas fue en los momentos de muestreo (Tabla 35). El contenido de Fe en suelo fue significativamente superior en el momento preAV respecto a los otros momentos, mientras que en el momento posLECH fue significativamente superior al de preLECH.

Tabla 35. Contenido de Fe en suelo ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$). Experimento 2009/2010.

Contenido de Fe por tratamiento (CV 22,78).	
Momento de muestreo	Medias
Triple 15 + Urea	13,72 a
Triple 15	15,10 a
Abono verde	18,02 a

Contenido de Fe en cada momento de muestreo (CV 22,78).	
Momento de muestreo	Medias
preAV	26,57 c
preLECH	5,81 a
posLECH	14,46 b

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

Manganeso (Mn)

El Mn no mostró interacción tratamiento de fertilidad y momento de muestreo; ni diferencias significativas entre los tratamientos realizados. Diferencias significativas fueron detectadas entre los momentos de muestreos (Tabla 36). En el momento de muestreo de preLECH, se obtuvo un contenido de Mn en suelo significativamente superior ($79,60 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) respecto a los otros dos momentos. No se encontraron diferencias significativas entre los momentos posLECH y preAV, con $67,98$ y $59,79 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, respectivamente.

Tabla 36. Contenido de Mn en suelo (kg.ha⁻¹). Experimento 2009/2010.

Contenido de Mn por tratamiento (CV 13,81).	
Momento de muestreo	Medias
Triple 15 + Urea	67,73 a
Abono verde	67,90 a
Triple 15	71,74 a

Contenido de Mn en cada momento de muestreo (CV 13,81).	
Momento de muestreo	Medias
preAV	59,79 a
preLECH	79,60 b
posLECH	67,98 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<0,05)

Zinc (Zn)

Las diferencias significativas en el Zn, fueron detectadas entre los momentos de muestreos (Tabla 37); no observándose interacción tratamiento de fertilidad y momento de muestreo; ni diferencias entre el abono verde, Triple 15 y Triple 15 + Urea. El contenido de Zn en suelo fue significativamente inferior en el momento preAV (1,93 kg.ha⁻¹) respecto a los otros momentos. El momento posLECH (3,71 kg.ha⁻¹) fue significativamente superior al de preAV pero significativamente inferior al de preLECH con 5,81 kg.ha⁻¹.

Tabla 37. Contenido de Zn en suelo (kg.ha⁻¹). Experimento 2009/2010.

Contenido de Zn por tratamiento (CV 19,88).	
Momento de muestreo	Medias
Triple 15 + Urea	3,60 a
Abono verde	3,85 a
Triple 15	3,98 a

Contenido de Zn en cada momento de muestreo (CV 19,88).

Momento de muestreo	Medias
preAV	1,93 a
preLECH	5,81 c
posLECH	3,71 b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<0,05)

IV. Respuesta del Cultivo de Lechuga

Rendimiento Bruto

No se observó interacción entre los tratamientos de fertilidad utilizados y los cultivares de lechuga, en ninguno de los experimentos estudiados, ni tampoco se observó diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos de fertilidad (Tablas 38 y 39).

Tabla 38. Rendimiento Bruto de Lechuga por tratamiento de fertilidad en kg.ha⁻¹ (CV 13,70).

Experimento 2008/2009.

Tratamiento de Fertilidad	Medias
Triple 15	37.097,9 a
Triple 15 + Urea	44.399,3 a
Abono verde	51.934,0 a

Medias con una letra distinta son significativamente diferentes (p<0,05)

Tabla 39. Rendimiento Bruto de Lechuga por tratamiento de fertilidad en kg.ha⁻¹ (CV 11,7).

Experimento 2009/2010.

Tratamiento de Fertilidad	Medias
Triple 15	35.715,5 a
Triple 15 + Urea	40.112,3 a
Abono verde	45.433,1 a

Medias con una letra distinta son significativamente diferentes (p<0,05)

Con respecto a los cultivares de lechuga, estos tampoco evidenciaron diferencias significativas entre sí (Tablas 40 y 41).

Tabla 40. Rendimiento Bruto de Lechuga por cultivar en kg.ha⁻¹ (CV 13,7). Experimento

2008/2009.

Cultivar	Medias
Brisa	43.297,6 a
Grand Rapids	44.031,2 a
Slobolt	46.102,4 a

*Medias con una letra distinta son significativamente diferentes (p<0,05)***Tabla 41.** Rendimiento Bruto de Lechuga por cultivar en kg.ha⁻¹ (CV 11,7). Experimento

2009/2010.

Cultivar	Medias
Grand Rapids	38.968,5 a
Brisa	39.169,7 a
Slobolt	43.122,7 a

Medias con una letra distinta son significativamente diferentes (p<0,05)

Rendimiento Comercial

Con respecto al rendimiento comercial de lechuga, en ambos experimentos no se detectó interacción entre cultivares de lechuga y tratamiento de fertilidad, como así

tampoco se presentó diferencias significativas entre tratamientos de fertilidad (Tablas 42 y 43).

Tabla 42. Rendimiento Comercial de lechuga por tratamiento de fertilidad en kg.ha⁻¹ (CV 12,4).

Experimento 2008/2009.

Tratamiento de Fertilidad	Medias
Triple 15	32.916,7 a
Triple 15 + Urea	39.312,8 a
Abono verde	45.887,2 a

Medias con una letra distinta son significativamente diferentes (p<0,05)

Tabla 43. Rendimiento Comercial de lechuga por tratamiento de fertilidad en kg.ha⁻¹ (CV 10,3).

Experimento 2009/2010.

Tratamiento de Fertilidad	Medias
Triple 15	31.760,7 a
Triple 15 + Urea	35.653,2 a
Abono verde	40.221,9 a

Medias con una letra distinta son significativamente diferentes (p<0,05)

Entre cultivares de lechuga, tampoco hubo diferencias significativas entre los mismos, en la variable rendimiento comercial (Tablas 44 y 45).

Tabla 44. Rendimiento Comercial por cultivar en kg.ha⁻¹ (CV 12,4). Experimento 2008/2009.

Cultivar	Medias
Grand Rapids	37.778,8 a
Brisa	39.007,6 a
Slobolt	41.330,2 a

Medias con una letra distinta son significativamente diferentes (p<0,05)

Tabla 45. Rendimiento Comercial por cultivar en kg.ha⁻¹ (CV 10,3). Experimento 2009/2010.

Cultivar	Medias
Grand Rapids	34.229,5 a
Brisa	34.668,1 a
Slobolt	38.738,2 a

Medias con una letra distinta son significativamente diferentes ($p < 0,05$)

Descarte

Se consideró como tal a aquellas plantas que presentaron desarrollo del escapo floral y a las hojas con daños por ataque de plagas, con manchas por enfermedades y aquellas hojas con síntomas de senescencia o amarillamiento. El análisis estadístico de esta variable, no arrojó interacción cultivar, tratamiento de fertilidad, ni diferencias significativas entre tratamientos de fertilidad (Tablas 46 y 47); como así tampoco diferencias entre cultivares (Tabla 48 y 49).

Tabla 46. Descarte de lechuga en kg.ha⁻¹ (CV 47,1). Experimento 2008/2009.

Tratamiento de Fertilidad	Medias
Triple 15	4.181,2 a
Triple 15 + Urea	5.086,5 a
Abono verde	6.046,9 a

Medias con una letra distinta son significativamente diferentes ($p < 0,05$)

Tabla 47. Descarte de lechuga en kg.ha⁻¹ (CV 34,9). Experimento 2009/2010.

Tratamiento de Fertilidad	Medias
Triple 15	3.954,9 a
Triple 15 + Urea	4.459,1 a
Abono verde	5.211,2 a

Medias con una letra distinta son significativamente diferentes ($p < 0,05$)

Tabla 48. Descarte de Lechuga por cultivar en kg.ha⁻¹ (CV 47,1). Experimento 2008/2009.

Cultivar	Medias
Brisa	4.289,9 a
Slobolt	4.772,2 a
Grand Rapids	6.252,4 a

Medias con una letra distinta son significativamente diferentes (p<0,05)

Tabla 49. Descarte de Lechuga por cultivar en kg.ha⁻¹ (CV 34,9). Experimento 2009/2010.

Cultivar	Medias
Slobolt	4.384,5 a
Brisa	4.501,6 a
Grand Rapids	4.739,0 a

Medias con una letra distinta son significativamente diferentes (p<0,05)

V. Análisis Foliar de Lechuga. Calidad Nutricional

Proteína Bruta, Macro y Micronutrientes en lechuga

Los resultados del análisis foliar de lechuga de ambos experimentos, no mostraron interacción entre cultivares y tratamientos de fertilidad, en ninguna de las variables analizadas, ni diferencias significativas entre los tratamientos de fertilidad (Tablas 50 y 51), ni entre los cultivares (Tablas 52 y 53).

Tabla 50. Análisis foliar de lechuga por tratamiento de fertilidad. Experimento 2008/2009.

Tratamiento de Fertilidad	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Proteína (%)	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)
Abono verde	1,92 a	0,28 a	5,21 a	0,77 a	0,36 a	12,02a	80,56a	12,46 a	3,31a	43,96 a
Triple 15	1,53 a	0,18 a	4,56 a	0,82 a	0,42 a	9,61a	89,44a	8,83a	3,99a	46,07 a
Triple 15 + Urea	1,67 a	0,24 a	5,10 a	0,66 a	0,37 a	10,41a	101,11 a	11,68 a	3,79a	34,54 a
CV	23,9	37,0	19,4	25,7	15,4	23,4	42,7	34,7	42,2	57,9

Medias con una letra distinta dentro de la columna son significativamente diferentes (p<0,05)

Tabla 51. Análisis foliar de lechuga por tratamiento de fertilidad. Experimento 2009/2010.

Tratamiento de Fertilidad	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Proteína (%)	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)
Abono verde	1,89 a	0,32 a	5,12 a	0,68 a	0,37 a	11,86a	116,67 a	9,09a	5,18a	40,40 a
Triple 15	1,74 a	0,27 a	4,51 a	0,82 a	0,42 a	10,81a	89,44a	8,83a	3,99a	46,07 a
Triple 15 + Urea	1,92 a	0,30 a	5,12 a	0,81 a	0,44 a	12,00a	142,78 a	8,57a	6,36a	34,25 a
CV	19,6	29,9	17,1	35,3	22,7	19,5	38,7	31,3	49,1	60,4

Medias con una letra distinta dentro de la columna son significativamente diferentes ($p < 0,05$)

Tabla 52. Análisis foliar de lechuga por cultivar. Experimento 2008/2009.

Cultivar	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Proteína (%)	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)
Brisa	1,81a	0,24a	4,90a	0,77a	0,39a	11,33a	94,44a	10,64a	4,42a	54,95a
Slobolt	1,59a	0,20a	4,56a	0,81a	0,39a	10,02a	84,44a	10,91a	3,31a	30,19a
Grand Rapids	1,72a	0,21a	5,41a	0,68a	0,37a	10,69a	92,22a	11,42a	3,36a	39,43a
CV	23,9	37,0	19,4	25,7	15,4	23,4	42,7	34,7	42,2	57,9

Medias con una letra distinta dentro de la columna son significativamente diferentes ($p < 0,05$)

Tabla 53. Análisis foliar de lechuga por cultivar. Experimento 2009/2010.

Cultivar	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Proteína (%)	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)
Brisa	1,88a	0,28a	4,81a	0,74a	0,42a	11,70a	121,11a	9,61a	5,10a	48,43a
Slobolt	1,76a	0,32a	4,60a	0,78a	0,42a	11,08a	109,44a	8,83a	4,62a	34,49a
Grand Rapids	1,92a	0,29a	5,34a	0,80a	0,39a	11,89a	118,33a	8,05a	5,81a	37,80a
CV	19,6	29,9	17,1	35,3	22,7	19,5	38,7	31,3	49,1	60,4

Medias con una letra distinta dentro de la columna son significativamente diferentes ($p < 0,05$)

VI. Análisis de Nitratos

Nitratos en Hojas de Lechuga

En ambos experimentos la concentración de nitratos en hojas de lechuga, no presentó interacción entre los tratamientos de fertilidad utilizados y los cultivares de lechuga, ni diferencias significativas entre dichos cultivares (Tablas 54 y 55).

Tabla 54. Contenido de nitrato por cultivar de lechuga en ppm (CV 7,7). Experimento 2008/2009.

Cultivar	Medias
Slobolt	233,22 a
Grand Rapids	243,11 a
Brisa	243,33 a

Medias con una letra distinta son significativamente diferentes ($p < 0,05$)

Tabla 55. Contenido de nitrato por cultivar de lechuga en ppm (CV 5,8). Experimento 2009/2010.

Cultivar	Medias
Grand Rapids	227,56 a
Brisa	234,00 a
Slobolt	235,78 a

Medias con una letra distinta son significativamente diferentes ($p < 0,05$)

Los resultados del tenor de nitratos en hojas de lechuga en el experimento 2008/2009, mostraron diferencias significativas, entre tratamientos (Tabla 56). El tratamiento Triple 15 + Urea, con 385,7 ppm, presentó una concentración significativamente superior al del tratamiento Triple 15 con 240,1 ppm, el que fue, a su vez significativamente superior al tratamiento abono verde, con 93,7 ppm.

Tabla 56. Contenido de nitrato en hojas de lechuga por tratamiento de fertilidad en ppm (CV 7,7). Experimento 2008/2009.

Tratamiento de Fertilidad	Medias
Abono verde	93,78 a
Triple 15	240,11 b
Triple 15 + Urea	385,78 c

Medias con una letra distinta son significativamente diferentes ($p < 0,05$)

En el segundo experimento (2009/2010), los tenores de nitratos encontrados en hojas de lechuga, mostraron la misma tendencia que en el primer experimento. El contenido más alto fue observado en el tratamiento Triple 15 + Urea, con 368,78 ppm, siendo significativamente superior al tratamiento T15, con 267 ppm, y este último significativamente superior al del abono verde, con 61,56 ppm de nitratos en hojas (Tabla 57).

Tabla 57. Contenido de nitrato en hojas de lechuga por tratamiento de fertilidad en ppm (CV 5,8). Experimento 2009/2010.

Tratamiento de Fertilidad	Medias
Abono verde	61,56 a
Triple 15	267,00 b
Triple 15 + Urea	368,78 c

Medias con una letra distinta son significativamente diferentes ($p < 0,05$)

Analizando el tenor de nitratos promedio de ambos experimentos, no se detectó interacción entre los tratamientos de fertilidad y los cultivares de lechuga utilizados, ni tampoco diferencias significativas entre cultivares de lechuga. La concentración de nitratos en hojas de lechuga, con abono verde mostró un contenido significativamente inferior que con los fertilizantes químicos utilizados. El contenido más alto, fue observado en Triple 15 + Urea con 377,28 ppm, siendo significativamente superior al de Triple 15 que tuvo una concentración de 253,50 ppm, y este último a su vez significativamente superior el abono verde con 61,56 ppm de nitratos en hojas (Tabla 58).

Tabla 58. Valores promedios de nitrato en hojas de lechuga de ambos experimentos por tratamiento de fertilidad en ppm (CV 9,45).

Tratamiento de Fertilidad	Medias
Abono verde	77,6 a
Triple 15	253,5 b
Triple 15 + Urea	377,9 c

Medias con una letra distinta son significativamente diferentes ($p < 0,05$)

DISCUSIÓN

I.1. Producción de Materia Seca Aérea (MSA) del Caupí

La producción media de MSA del caupí de ambos experimentos (2008/2009 y 2009/2010) fue de 6.262,8 kg.ha⁻¹ (Tabla 3), en un período promedio de 81 días, entre siembra e incorporación del abono verde al suelo. Este valor coincidió con lo reportado por otros autores en diferentes lugares. Por ejemplo, Jover (2006), mencionó rendimientos de 4.000 a 5.000 kg.ha⁻¹ de MSA; Niquén Bardales & Venialgo Chamorro (2000), valores de entre 1.965 kg.ha⁻¹ y 4.082 kg.ha⁻¹, en Corrientes; Ibrahim *et al.* (2006), citaron rendimientos de 4.160 kg.ha⁻¹ de MSA en Pakistán fertilizando con N y P; Cherr *et al.* (2006), reportaron rendimientos de entre 600 y 4.600 kg.ha⁻¹ en diferentes zonas del África. Aulakh *et al.* (2000) y Malagi (2005), en la India obtuvieron rendimientos de 3.240 kg.ha⁻¹ y 2.543 kg.ha⁻¹ de MSA, respectivamente; y Bauer *et al.* (2009) para los Estados Unidos, citaron rendimientos de entre 1.628 y 5.516 kg.ha⁻¹ de MSA. En Goiás, Brasil, Moreira *et al.* (2007) obtuvieron rindes de 3.939 kg.ha⁻¹ y Beltrán Morales *et al.* (2009), en México, de 5.400 a 6.000 kg.ha⁻¹ de MS de acuerdo al tipo de labranza.

Como puede apreciarse los rendimientos son variables, probablemente debido a los diferentes tipos de materiales genéticos utilizados y a las condiciones climáticas en cada zona (Thönnissen *et al.*, 2000b; Fontanetti *et al.*, 2006 y Cheer *et al.*, 2006).

En el trabajo que se presenta, se observaron diferencias de rendimiento entre ambos experimentos; siendo de 4.922,1 y 7.603,6 kg.ha⁻¹ de MSA, para el experimento 2008/2009 y 2009/2010, respectivamente (Tabla 1 y 2). Estas diferencias se pueden atribuir al mayor registro pluviométrico en el segundo experimento (Tabla A3 del Anexo) y al mayor período de crecimiento del cultivo en este último experimento (14 días más que en el experimento 2008/2009). Los valores calculados que se presentan en la Figura 3, muestran la variación en la producción de MSA por día de

cultivo, en cada experimento.

Con respecto a las condiciones ambientales, las lluvias fueron superiores en el segundo experimento en más de 100 mm, respecto al primero (Tabla A3 del Anexo). Si bien el caupí es una leguminosa que se comporta muy bien ante condiciones climáticas adversas (Jover, 2006), cuando tiene condiciones favorables mejora notablemente su performance. Por ejemplo, Onuh & Donald (2009), mencionaron en su trabajo el efecto limitante del agua sobre el desarrollo de raíces, la nodulación y el crecimiento del cultivo de caupí; mientras que Ayisi *et al.* (2004), afirmaron que las condiciones ambientales durante el periodo de crecimiento del cultivo afectan la cantidad de N fijado. Si se compara el rendimiento de MSA del caupí como abono verde con el de otras leguminosas, el aporte de MSA de éstas es, en algunos casos, muy superior al del caupí; aunque para obtener esos rendimientos fue necesario un mayor período de cultivo. Costa Alvarenga *et al.* (1995), obtuvieron 4.100 kg.ha⁻¹ de MSA de caupí en 48 días; 17.900 kg.ha⁻¹ MSA de guandul [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.] en 181 días; 9.100 kg MSA.ha⁻¹ de mucuna preta (*Stilozobium aterrimum* Piper & Tracy) en 145 días; 16.100 kg MSA.ha⁻¹ de crotalaria (*Crotalaria juncea* L.) en 111 días y 5.300 kg.ha⁻¹ de MSA de canavalia [*Canavalia ensiformis* (L.) D.C.] en 90 días. Cuando se usaron períodos de cultivos más equiparables, los rendimientos logrados por autores como Carvalho *et al.* (2004), fueron de 3.500 a 5.300 kg.ha⁻¹ con crotalaria (*Crotalaria juncea* L.); de 3.400 a 4.700 kg.ha⁻¹ con mucuna preta (*Stilozobium aterrimum* Piper & Tracy) y de 2.100 a 2.800 kg.ha⁻¹ con guandul [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.] en 60 días.

En la distribución de la biomasa, autores como Cherr *et al.* (2006), han reportado diferencias en la proporción de tallos y hojas con respecto al total de la parte aérea de la planta, mencionando también, que la composición nutricional y la velocidad de descomposición de estos órganos no eran iguales. Al discriminarse el rendimiento de MSA en hojas y tallos, se observó que el caupí en ambos experimentos presentó porcentajes muy similares de hojas (64,9 y 63,9%) y de tallos (35,1 y 36,1%) (Tablas 1

y 2). Considerando ambos experimentos, la mayor proporción de MSA le correspondió a las hojas, con un promedio del 64,4%, el restante 35,6% correspondió a los tallos (Tabla 3). Estos valores coinciden con lo reportado por Franzluebbbers *et al.* (1994), quienes hallaron una distribución de MSA de 65% para las hojas y 35% para los tallos. Estos mismos autores mencionaron que el aporte de MS de raíces representa el 33% del total de la MSA de la planta.

I.2 Aportes de Macro y Micronutrientes del Caupí como Abono Verde

El aporte de N de la MSA del abono verde de caupí al suelo fue de 118 y 186 kg.ha⁻¹, para los experimentos 2008/09 y 2009/10, respectivamente, con una media de 152,5 kg.ha⁻¹, (Tablas 4 y 5). Estos datos son similares a los mencionados por otros autores como Aulakh *et al.* (2000) y Malagi (2005), quienes obtuvieron en la India valores de 128 kg.ha⁻¹ y 120 kg.ha⁻¹.año⁻¹ de N respectivamente y Castro *et al.* (2004) y Moreira *et al.* (2007) en Brasil, que mencionaron aportes de N de 150 y 107 kg.ha⁻¹.año⁻¹. Otros autores como García *et al.* (2001) y Costa Alvarenga *et al.* (1995), reportaron valores menores, 77 kg.ha⁻¹ y 66 kg.ha⁻¹ de N, respectivamente. Cherr *et al.* (2006), en su trabajo citaron valores cuyos rangos oscilaron entre los 18 y los 155 kg.ha⁻¹ de N en África y Sri Lanka, atribuyendo esta gran variabilidad a la fertilidad del suelo, a la variabilidad genética y a la disponibilidad de agua. Con respecto a esto último, autores como Beltrán Morales *et al.* (2009), utilizando riego, obtuvieron aportes de N superiores que variaron entre 213 y 239 kg.ha⁻¹.

En otras leguminosas de interés por su uso como abono verde, tales como canavalia [*Canavalia ensiformis* (L.) D.C.], mucuna (*Stilozobium aterrimum* Piper & Tracy), crotalaria (*Crotalaria juncea* L.) y guandul [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.] Costa Alvarenga *et al.* (1995), reportaron aportes de N de 146; 191; 252 y 336 kg.ha⁻¹ de N, respectivamente. Para estas mismas leguminosas, García *et al.* (2001), mencionaron valores de 153; 149; 255 y 135 kg.ha⁻¹ de N respectivamente. Alcántara *et al.* (2000)

en guandul [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.] y crotalaria (*Crotalaria juncea* L.), citaron valores de 314 y 136 kg.ha⁻¹ de N, respectivamente; y Ramos *et al.* (2001) con crotalaria (*Crotalaria juncea* L.), canavalia [*Canavalia ensiformis* (L.) D.C.] y mucuna (*Stilozobium aterrimum* Piper & Tracy), hallaron aportes de 195; 57 y 64 kg.ha⁻¹ de N, respectivamente. Estos valores dispares se deben a la diferencia de materia seca producida por cada leguminosa y al tiempo de cultivo.

El aporte de P de la MSA del abono verde fue de 12,87 y 36,36 kg.ha⁻¹, para los experimentos 2008/2009 y 2009/2010, respectivamente, con una media de 24,6 kg.ha⁻¹, (Tablas 4 y 5). El mayor aporte observado en el segundo experimento (2,8 veces más) se puede atribuir al mayor milimitraje de lluvias (134 mm más) durante el ciclo y al mayor número de días de cultivo (14 días más). En relación al contenido de P en la planta de caupí, Baloyi *et al.* (2008) informaron que el tenor de P en la biomasa aérea decrece a partir de pre antesis hasta post-antesis.

Valores de P inferiores a los hallados (Tabla 4), fueron citados para caupí por autores como Malagi (2005) y Costa Alvarenga *et al.* (1995) quienes reportaron aportes de P de 10 y 5,7 kg.ha⁻¹, respectivamente. En otras leguminosas, Costa Alvarenga *et al.* (1995) citaron aportes de P de 10,3 kg.ha⁻¹ con canavalia [*Canavalia ensiformis* (L.) D.C.]; 12,9 kg.ha⁻¹ con crotalaria (*Crotalaria juncea* L.); 12,8 kg.ha⁻¹ con mucuna (*Stilozobium aterrimum* Piper & Tracy) y 20 kg.ha⁻¹ con guandul [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.].

Con respecto al K, el aporte de MSA del caupí en cada experimento fue de 101 y 115 kg.ha⁻¹ (Tabla 4), dando un promedio de 108,5 kg.ha⁻¹ (Tabla 5). Estos valores mostraron al K como el segundo nutriente más aportado por el abono verde de caupí, después del N. Estos resultados concuerdan con los reportados por Nascimento *et al.* (2003) y Lourenco *et al.* (1993), quienes observaron que otras leguminosas como kudzu [*Pueraria phaseoloides* (Roxb.) Benth], guandul [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.] y leucaena [*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit], contienen en su biomasa grandes cantidades de K, en comparación con los otros macronutrientes. Niveles de K en

biomasa de caupí, por debajo a lo hallado, fueron citados por García *et al.* (2001), Malagi, (2005) y Rubio *et al.* (2006), quienes registraron aportes al suelo de 52 kg K.ha⁻¹; de 39 a 45 kg K.ha⁻¹; y de 71 kg K.ha⁻¹, respectivamente. Estudiando otras leguminosas, Rubio *et al.* (2006) obtuvieron aportes de K de 113 kg.ha⁻¹ con canavalia [*Canavalia ensiformis* (L.) D.C.] y de 55 kg.ha⁻¹ de K con mucuna (*Stilozobium aterrimum* Piper & Tracy).

La diferencia entre experimentos de los valores de Ca y Mg aportados por el caupí (Tabla 4), se atribuyen al mayor rendimiento de MSA logrado en el experimento 2009/2010 (Figura 3). El aporte promedio de ambos experimentos fue de 70 y 11 kg.ha⁻¹ para Ca y Mg, respectivamente (Tabla 5). Los valores de Ca fueron superiores a los reportados por Costa Alvarenga *et al.* (1995) de 28,9 kg.ha⁻¹ y por Rubio *et al.* (2006), con 38 kg.ha⁻¹. Con respecto al Mg, los valores obtenidos por los autores citados precedentemente, fueron similares al promedio de ambos experimentos, obtenido en este estudio (Tabla 5).

Los aportes de micronutrientes del caupí de cada experimento (Tabla 7) y los promedios de ambos (Tabla 8), fueron superiores a los hallados por Rubio *et al.* (2006) para Fe, Zn y Mn (0,46; 0,06 y 0,27 kg.ha⁻¹, respectivamente), pero más bajos para Cu (23 kg.ha⁻¹). Relacionado a lo anterior, Lauriault *et al.* (2011), reportaron que algunas características del suelo afectan los tenores de nutrientes en plantas de caupí, mencionando entre ellos, el pH, los carbonatos, la MO, el tipo de arcilla y la capacidad de intercambio de cationes.

A nivel hipotético, si se equipara el aporte promedio de N, P y K de la MSA del caupí como abono verde (Tabla 5), con las dosis de fertilizantes químicos (Triple 15 y Urea) necesarias para conseguir una contribución similar, las cantidades requeridas de estos fertilizantes resultarían muy altas (Tabla A4 del Anexo).

II.1. Descomposición del Caupí como Abono Verde

En la Tabla 10, se observa que la velocidad de descomposición del caupí disminuyó con el tiempo, en coincidencia con lo reportado por Thönnissen *et al.* (2000b) trabajando con leguminosas y por Prause *et al.* (2005) en algodónero. A los 90 días la tasa de descomposición descendió bruscamente debido a la disminución de la temperatura del suelo. Los valores negativos observados a los 120 días indicarían que no hubo descomposición del material respecto de la fecha anterior, probablemente como consecuencia de las escasas precipitaciones registradas en ese período (Tabla A2 del Anexo), en concordancia con lo reportado por Velázquez *et al.* (2002), quienes informaron que la descomposición del material vegetal estuvo estrechamente relacionada con la humedad y la temperatura del suelo. Thönnissen *et al.* (2000a); Castro *et al.* (2004) y Cheer *et al.* (2006) también hicieron referencia a la importancia de las condiciones ambientales en la descomposición de los restos vegetales.

En leguminosas herbáceas, Silva *et al.* (2008) describieron dos fases en el proceso de descomposición: una inicial rápida, dada por los componentes fácilmente degradables, y una posterior lenta, debida a los componentes más recalcitrantes, proceso que se repitió en el ensayo y que se muestra en la Figura 4. Dado que una mayor velocidad de descomposición significa un menor tiempo de retención de nutrientes por el abono verde, se esperaría que la liberación de N, P y K al suelo, sea también rápida.

Entre las distintas fechas de muestreo se observaron diferencias estadísticas significativas en la tasa de descomposición del caupí, interpretándose que existen diferentes velocidades de descomposición de los diferentes tejidos vegetales incorporados con el abono verde de caupí (Tabla 10).

II.2. Tasa de Liberación de N P K del Caupí como Abono Verde

La tasa de liberación de N, P y K, indica la cantidad de nutrientes que pueden ser liberados durante la descomposición del abono verde (Cruz *et al.*, 2002).

El N y el K presentaron un comportamiento similar durante el primer período de 30 días de descomposición del material vegetal, confinado en las bolsitas de descomposición (Tabla 11).

Para el caso del N, se detectó una alta tasa de liberación inicial (Tabla 11), atribuida a la activa participación de la flora microbiana durante la fase rápida de descomposición del material vegetal y a la deposición atmosférica (Prause *et al.*, 2005).

En cambio, la liberación del K se atribuye a una fuerte lixiviación, por ser un catión monovalente que presenta fuerzas de unión débiles con el complejo de intercambio (Prause *et al.*, 2005); porque se concentra especialmente en las células próximas a la superficie de las hojas (Schlesinger, 2000; Gallardo Lancho, 2000); y porque no está estructuralmente asociado a la materia orgánica.

El P presentó su mayor tasa de liberación a los 30 días iniciales, pero con valores más bajos que los encontrados para N y K (Tabla 11). Estos valores se atribuyen a que en la materia orgánica la mayor parte del P se encuentra en enlaces éster, que sólo pueden mineralizarse por acción de las fosfatasas liberadas en respuesta a la demanda microbiana de nutrientes, estando su liberación directamente relacionada con los niveles de materia orgánica del suelo, mediante la actividad de microorganismos edáficos (Schlesinger, 2000).

Schlesinger, (2000), ha reportado que los microorganismos del suelo tienen concentraciones altas de nutrientes con relación a la materia orgánica que descomponen, siendo la inmovilización muy significativa para N y P (que limitan el crecimiento microbiano). Durante este proceso, los microorganismos del suelo no sólo pueden retener los nutrientes liberados por su sustrato, sino que también pueden

acumular nutrientes disponibles en la solución del suelo (Schlesinger, 2000), debiéndose considerar además, la contaminación de las bolsitas con N y P edáfico, durante su permanencia en el suelo.

Los tres nutrientes mostraron una mayor liberación durante los primeros 30 días iniciales de descomposición, registrándose un acentuado descenso de ahí en más. Pasado este lapso, en todos los casos, se detectaron valores negativos de las tasas de liberación (Tabla 11), atribuyéndose a la inmovilización microbiana, los pluviolavados y a la contaminación del material vegetal de las bolsitas con suelo (Prause *et al.*, 2005).

De acuerdo con los datos consignados precedentemente, una mayor velocidad de descomposición del material vegetal aportado al suelo, significa un menor tiempo de retención de los nutrientes por el abono verde, pudiendo establecerse el siguiente orden en la tasa de liberación de los mismos: $N = K > P$. Los cambios en el uso del suelo influyen en su contenido de materia orgánica de dos formas: alterando el aporte anual que procede principalmente de las plantas y variando el ritmo con que se descompone esta materia orgánica; asimismo, se produce un descenso casi inevitable del contenido de la materia orgánica edáfica que acompaña a la introducción del laboreo agrícola (Wild, 1992). Las rotaciones de cultivos, que devuelven más materia orgánica al suelo, tienden a un nivel de equilibrio superior al que se obtiene con rotaciones que generan menos residuos de cosecha (Wild, 1992). Este aporte es importante, también, desde el punto de vista de las propiedades físicas de los suelos agrícolas para mejorar su estructura, evitar la formación de costras y protegerlos de la erosión. La importancia de evaluar el aporte y descomposición de los residuos de cosecha o de los abonos verdes en ecosistemas agrícolas, reside en que ambos retienen gran cantidad de nutrientes, y a medida que esos residuos se descomponen, los liberan, quedando disponibles para ser reutilizados por las plantas (Schlesinger, 2000; Aulakh *et al.*, 2000; Cherr *et al.*, 2006).

III. Análisis de Suelo

Efecto de los Tratamientos de Fertilidad sobre el Suelo. Experimento 2008/2009

Densidad aparente (Da)

La Da mostró un incremento significativo posLECH (Tabla 12), producto del tránsito frecuente de los operarios para realizar las labores culturales. Botta *et al.* (2003), mencionaron que la frecuencia de pasadas es tan importante como la presión ejercida sobre el suelo, sumado al contenido de humedad edáfico cuando se realizaron las labores, el cual también favoreció la densificación (Percorari & Alassia, 1998; González *et al.*, 2009).

Potencial Hidrógeno (pH)

El valor de pH del suelo, aumentó al finalizar el ciclo de cultivo de lechuga en el tratamiento Abono verde (Tabla 13). Autores como Liu *et al.* (2008), atribuyeron este aumento al consumo de H^+ en la reacción de descarboxilización durante la descomposición de los residuos del suelo, al aumento de la concentración de algún catión como Ca, K o Mg liberado al suelo durante la mineralización y, por último, a la gran concentración de N de las leguminosas que al transformarse en NH_4^+ consume los H^+ del medio. Por otra parte Alvey *et al.* (2003) y Alvey *et al.* (2000), encontraron que las rotaciones con leguminosas pueden conducir a un aumento del pH en la zona próxima a las raíces, debido a la absorción de NO_3^- y la liberación de OH^- .

Contrario a esto, el pH en suelos tratados con fertilizantes químicos disminuyó debido a la reacción ácida de los fertilizantes utilizados (Urea y Triple 15). Autores como Salgado García *et al.* (2006); Iturri *et al.* (2011); Liebig *et al.* (2002) y Fabrizzi *et al.* (1998) reportaron este mismo efecto. La Urea, al hidrolizarse y producir NO_3^- , acidifica el suelo (Divito *et al.*, 2011); sin embargo si este NO_3^- es absorbido por las plantas, el efecto acidificante del fertilizante es neutralizado. Por el contrario, si permanece en el suelo o es removido del mismo por lavado, se genera una disminución del pH (Divito *et al.*, 2011).

Conductividad eléctrica (CE)

La diferencia de CE entre tratamientos de fertilidad preAV, no puede ser atribuida al efecto de alguno de los tratamientos de fertilidad ya que ninguno de los mismos había sido realizado aún sobre las unidades experimentales. El aumento de la CE que se observó luego (preLECH), sería producto de la fertilización realizada con Triple 15 y Urea (Tabla 14). Tanto el Triple 15 como la Urea, aumentan la CE del suelo (Filippini *et al.*, 1991), dado que los fertilizantes son sales que se disocian al entrar en contacto con la solución del suelo, produciendo, por consiguiente, un aumento de la CE (Ciampitti & García, 2007).

El índice salino es un buen indicador de la concentración de sales que induce un fertilizante en la solución de suelo. La Urea tiene un índice salino de 75, mientras que el del Triple 15 es de 201, es decir, igual a la suma de los índices salinos de los fertilizantes que lo conforman: Urea = 75; superfosfato triple = 10 y cloruro de potasio = 116 (Mortvedt, 2009).

Quant Bermúdez & Driutti (2000), observaron que dosis crecientes de Triple 15 sobre vermicompost incrementaban la CE, con respecto al testigo sin Triple 15 y que este efecto se evidenció luego de 14 días de realizada la fertilización.

Otros autores como Fernández & Ortega (2002), Alcántara *et al.* (2000) y Soleymani *et al.* (2012), también obtuvieron incrementos de la CE, al incorporar abonos verdes. El incremento de la CE observado en el abono verde (Tabla 14), puede ser debido a la liberación de sus nutrientes durante la descomposición (Liu *et al.*, 2008; Shindoi *et al.*, 2012). Contrario a lo que ocurrió aquí, Cano *et al.* (2004), hallaron valores bajos de CE con el uso de melilotus (*Melilotus sp.*) como abono verde en suelos salinos y salinos sódicos. Ansari (2008), atribuyó la disminución de la CE del suelo, al aumento de la actividad microbiana, como resultado de la descomposición, lo cual incrementó la biodisponibilidad de algunos elementos.

El posterior descenso de la CE (Figura 11), se puede atribuir al lavado de nutrientes por las lluvias y/o el riego (Ozores-Hampton *et al.*, 2005; Prause *et al.*, 2005; Gama

Rodrigues *et al.*, 2007).

Las conductividades eléctricas iniciales oscilaron entre los 0,14 y 0,16 dS.m⁻¹ (Tabla 14), estos valores no afectan al rendimiento de ningún cultivo de manera económica (Villafañe, 2000). Los valores máximos alcanzados (0,88 y 1,58 dS.m⁻¹) tampoco alcanzaron niveles limitantes para el cultivo del caupí, ni de la lechuga (Maas, 1993). Sobre este último cultivo otros autores como Shannon & Grieve (1999) y Kotuby-Amacher *et al.* (2000), en estudios de campo en los Estados Unidos, determinaron como valor límite una CE de 1,3 dS.m⁻¹ y Andriolo *et al.* (2005), establecieron como niveles para reducir el crecimiento y el rendimiento, los valores de 2 y 2,6 dS.m⁻¹, respectivamente. Por su parte, Allen *et al.* (2006), ya apreciaron una disminución de la productividad en lechuga, con valores superiores a 1,3 y 1,7 dS.m⁻¹, mientras que en el caupí, esto solo se apreció a partir de los 4,9 dS.m⁻¹.

Materia orgánica (MO)

Respecto a la MO del suelo, no se hallaron variaciones significativas en su contenido (Tabla 15). Autores como Altieri (1999) y Sullivan (2003), coinciden en que los abonos verdes de leguminosas, adicionan MO al suelo. Otros como Franzluebbers *et al.* (1994) y Cheer *et al.* (2006), indicaron también que un abono verde puede contribuir a la formación de MO del suelo o aumentarla relativamente (hasta el 1% del total) y que su uso debería ser enfocado para aumentar la MO y la actividad microbiana del suelo, pero a largo plazo. El tiempo necesario para evidenciar efectos sobre la MO del suelo es un factor importante a tener en cuenta, Piccolo (1995), no halló diferencias significativas en los niveles de MO en distintos tratamientos con abonos verdes, afirmando que tres años no son suficientes para lograr detectar cambios.

El uso continuo de abono verde para incrementar la MO del suelo, depende del manejo de suelo y del ambiente, más que del abono verde (Cheer *et al.*, 2006). Por otro lado, también se sabe que el N tiene un efecto estimulante sobre la actividad microbiana, por lo que los abonos verdes de leguminosas, podrían aumentar la

mineralización y por lo tanto disminuir la MO del suelo, según Lacasta *et al.* (2003). Nascimento *et al.* (2003), observaron que abonos verdes de leguminosas, tuvieron una baja eficiencia para incrementar la MO del suelo, comparado con un abono verde de vegetación nativa.

Con respecto a los fertilizantes, a largo plazo, el efecto debería ser un incremento de los valores de carbono orgánico en el suelo, ya que según lo reportado por Wyngaard (2010) y Cadahía López *et al.* (2005), la fertilización aumentaría la producción de biomasa y consecuentemente aumentaría también la cantidad de residuos que quedan en el suelo.

Nitrógeno (N)

Cuando se analizó el N del suelo, no se observaron diferencias entre los tratamientos de fertilidad y solo hubo variaciones en los diferentes momentos de muestreo, apreciándose un aumento del N desde preAV a posLECH (Tabla 16). Atribuyéndose esto, en el caso del caupí como abono verde, a la liberación de N del abono verde (Tabla 11). En otras situaciones, la presencia de una fracción recalcitrante de la materia orgánica, evitó el incremento del N, según Ladha *et al.* (2000) y Schroeder *et al.* (1998). Otros autores como Alcántara *et al.* (2000), con abono verde de *Crotalaria juncea* L. y *Cajanus cajan* (L.) Millsp. y Fernández & Ortega (2002), con abono verde de *Vigna radiata* (L.) Wilczek, también obtuvieron aumentos en el contenido de N del suelo luego del abono verde. Thönnissen *et al.* (2000a), utilizando otros abonos verdes, tuvieron igual resultado.

Teniendo en cuenta que el Triple 15 es un fertilizante químico compuesto, que contiene 15% de N (nitrógeno y amoniacal), 15% de P_2O_5 y 15% de K_2O y que la Urea es un fertilizante químico simple, que contiene un 46% de N (CASAFE, 2005), los valores crecientes de N preLECH y posLECH (Tabla 16), serían consecuencia de esta fertilización.

Las diferencias significativas detectadas entre períodos de muestreo (Tabla 16), podrían atribuirse a la variación estacional y a la alta movilidad de este elemento en el

suelo (Cadahía López *et al.*, 2005; Álvarez *et al.*, 2010; Civeira & Rodriguez, 2011).

Fósforo (P)

Respecto del P (Tabla 17) no se observaron diferencias significativas, contrario a lo que hallaron Fernández & Ortega (2002), en su trabajo con *Vigna radiata*, donde el P del suelo aumentó luego del abono verde. Lo mismo fue observado por Lacasta *et al.* (2003), luego de 9 años de usar un abono verde de vicia. Estos mismos autores, teniendo en cuenta el pequeño aporte de P que realizó el abono verde, atribuyeron este incremento del P asimilable al aumento de la actividad biológica.

Con respecto a los tratamientos con fertilizante Triple 15, se observó una disminución del P una vez efectuados los tratamientos de fertilidad (Tabla 17), contrario a lo que Wyngaard (2010) detecto luego de la fertilización con este elemento.

Se considera que este comportamiento fue probablemente debido a lo que Mizuno (1981), llamó hambre del suelo, y Fassbender & Bornemisza (1987), llamaron hambre de fósforo.

Otro factor a tener en cuenta es que el P es un elemento considerado relativamente inmóvil en el suelo, no obstante puede perderse por escurrimiento, o lavado a través del perfil. La pérdida de este nutriente, por cualquiera de estos mecanismos, es mayor cuando las concentraciones de P disponibles están por encima del rango óptimo agronómico para dicho suelo (Pose *et al.*, 2012), siendo factible que esto ocurriera luego de realizada la fertilización. La habilidad de un suelo para liberar el P retenido en sus coloides al medio, depende de la cantidad de P sorbido y la capacidad de sorción del suelo, ya que existe una condición de cuasi-equilibrio, entre la fracción lábil y la fracción no lábil (Stevenson & Cole, 1999; Álvarez *et al.*, 2010). Esta condición de cuasi-equilibrio podría ser la explicación para el comportamiento del P en este experimento. Al incrementarse la cantidad de P sorbido después de la aplicación de los fertilizantes, la desorción de este nutriente tendería a aumentar y podría resultar en mayor disponibilidad o pérdida de este elemento (Schroeder *et al.*, 2004; Vadas *et al.*, 2005).

Puede agregarse, además, que este comportamiento del P en el horizonte superficial (0-20 cm), sería consecuencia de que la fracción orgánica representa entre el 15 y el 80% del P total, y si la biomasa microbiana es el componente principal en esta fracción, factores ambientales y de manejo de los suelos, controlarían, fundamentalmente, este nutriente (Picone & Zamuner, 2002; Stevenson & Cole, 1999).

Potasio (K)

El K del suelo en el tratamiento abono verde, presentó un incremento preLECH con respecto al valor inicial (Tabla 18). Esto se explicaría teniendo en cuenta el sustancial aporte de K de la biomasa del caupí (Tabla 5), el que sería liberado al suelo durante la mineralización del mismo (Tabla 11). Un comportamiento similar fue reportado por autores como Fernández & Ortega (2002), Gama Rodrigues *et al.* (2007) y Alcántara *et al.* (2000), quienes determinaron aumentos en el contenido de K del suelo cuando utilizaron abonos verdes. Martín *et al.* (2007), observaron un aumento significativo del K, con el abono verde de una leguminosa, comparado con el barbecho natural.

Luego de la cosecha de la lechuga (posLECH), el contenido de K del suelo mostró una disminución (Figura 14). Como este elemento no es un componente estructural y la mineralización no es un pre-requisito para su liberación al suelo, el mismo puede ser lixiviado fácilmente por las lluvias (Ozores-Hampton *et al.*, 2005; Prause *et al.*, 2005; Gama Rodrigues *et al.*, 2007). Por otra parte, el nivel de extracción de K del cultivo de lechuga (Tablas 50 y 52), es superior al de los demás nutrientes, según lo informado por Ciampitti & García (2007), por cada tonelada de lechuga cosechada se extraerían 4,3 kg de K.

Calcio (Ca)

Autores como Nascimento *et al.* (2003), tampoco hallaron cambios en el Ca edáfico cuando incorporaron restos de leguminosas al suelo.

En el muestreo preLECH, se evidenció un descenso del tenor de Ca del suelo (Figura 15), este efecto podría explicarse por la proporción relativa de los cationes en el complejo de cambio, esto significa que el Ca fue intercambiado por el K aportado

por el Triple 15 y el Abono verde, y al quedar libre en la solución del suelo, pudo ser lavado posteriormente (Madrid *et al.*, 1985). Este mismo autor mencionó que los suelos tienden a fijar iones divalentes mayormente al diluirse la solución exterior; sin embargo cuando se fertiliza con K, el comportamiento de los iones no obedece solo a razones de heterovalencia, sino también a la proporción relativa de los cationes en el complejo de cambio. La serie liotrópica según Fassbender & Bornemisza (1987) es $H > Ca > Mg > NH_4^+ > K > Na$ y representa la fuerza con que son fijados los iones al complejo de cambio, esto podría explicar el aumento del tenor de Ca del suelo posLECH.

Magnesio (Mg)

Contrariamente a lo informado por Nascimento *et al.* (2003), no se detectó un aumento en el Mg edáfico (Tabla 20). Estos autores reportaron incrementos de este nutriente luego del abono verde, atribuyendo este efecto al reciclaje del Mg desde las profundidades del suelo.

Cobre (Cu)

Respecto al Cu del suelo, no se observaron efectos de los tratamientos de fertilidad sobre este nutriente, ni variación en los momentos de muestreo (Tabla 21). Autores como Roca *et al.* (2007) y Buffa & Ratto (2005), afirmaron que resulta difícil de explicar los cambios en el contenido de Cu del espesor superficial, ya que este nutriente está relacionado a varios factores, como el pH, los carbonatos, el contenido de Zn, de Mn y otros.

Hierro (Fe)

Cuando se analizó la concentración del Fe en el suelo, las diferencias halladas entre momentos de muestreo (Tabla 22), pueden ser atribuidas a factores que afectan los análisis de micronutrientes como el momento o estación del año, el número de muestras, el tipo de suelo, la propiedad o característica estudiada, el método de análisis y el uso del suelo (Loué, 1988 y Ratto *et al.*, 1997).

Manganeso (Mn)

La variación del contenido de Mn edáfico, evidenció la presencia de diferencias significativas posLECH (Tabla 23). El tratamiento abono verde no presentó el mismo incremento que los tratamientos Triple 15 y Triple 15 + Urea (Figura 17), lo que podría explicarse a partir del incremento del pH observado posLECH (Tabla 13), ya que existe una correlación negativa entre el pH y el Mn reportada por Roca *et al.* (2007).

Zinc (Zn)

Las variaciones ocurridas en el Zn del suelo (Tabla 24), pueden ser atribuidas a variaciones estacionales (Stevenson & Cole, 1999), a la actividad microbiana (Conforto *et al.*, 2012), al pH, la MO, la textura, los niveles de P, Fe o al Ca y Na ya que estos en determinadas situaciones sustituyen al Zn en el complejo de cambio (Buffa & Ratto, 2005; Roca *et al.*, 2007).

Efecto de los Tratamientos de Fertilidad sobre el Suelo. Experimento 2009/2010

Densidad aparente (Da)

Durante este experimento, se observó una leve disminución de la Da ($0,04 \text{ g.cm}^{-3}$) desde preAV a posLECH (Tabla 25). Este descenso podría ser debido a que en este último experimento, tuvo un menor tránsito del personal para realizar las labores culturales, como consecuencia de las lluvias ocurridas (Tablas A3, A5 y A6 del Anexo).

Potencial Hidrógeno (pH)

Los valores de pH, no tuvieron variaciones significativas durante este experimento (Tabla 26), lo que coincidió con lo reportado por Divito *et al.* (2011) quienes tampoco encontraron cambios en el pH del suelo luego de 7 años de aplicación de fertilizante a base de N.

Además, este experimento estuvo marcado por las mayores precipitaciones registradas (Tablas A5 y A6 del Anexo), según Echeverría & García (2005), bajo estas condiciones, existe una alta probabilidad de sufrir pérdidas de N por lavado y consecuentemente producir una acidificación del suelo.

Conductividad eléctrica (CE)

Durante este experimento (2009/2010), a diferencia de lo sucedido en el anterior (2008/2009), la CE no mostró efectos de los tratamientos de fertilidad, influenciado quizás por las abundantes precipitaciones ocurridas (Tablas A5 y A6 Anexo). Esto sumado a las características físicas del suelo, arenoso-franco (Ledesma & Zurita, 19995), que favorecieron el lavado de sales dió como resultado los descensos de la CE, desde preAV a posLECH (Tabla 27), en coincidencia con lo informado por varios autores (Lazovich *et al.*, 1985; Fassbender & Bornemisza, 1987; Villafañe & Pla, 1994; Costa & Godz, 1999). Los resultados observados (Tabla 27), no se condicen con lo informado por Cano *et al.* (2004) quienes hallaron valores bajos de CE luego de incorporar un abono verde. Ansari (2008), atribuyó ese comportamiento al aumento de la actividad microbiana y la producción de ácidos orgánicos, de la descomposición del abono verde. Por otro lado, el agregado de fertilizantes (Triple 15 y Triple 15 + Urea), debería aumentar la CE del suelo, por lo citado en el experimento anterior; no obstante, esto no ocurrió, probablemente como consecuencia de la lixiviación de las sales por las lluvias, también antes citado (Tablas A5 y A6 Anexo).

Materia orgánica (MO)

En sentido amplio la materia orgánica está constituida por todas las sustancias carbonadas orgánicas que se encuentran en el mismo y en forma simplificada se la puede considerar compuesta por los residuos vegetales y la materia orgánica humificada (Álvarez *et al.*, 2010). Las variaciones en el contenido de MO del suelo dependen de numerosos factores, entre lo que se citan la textura, el manejo agrícola, el clima (precipitación y temperatura), los aportes de los cultivos, las rotaciones, la fertilidad y la actividad biológica (Álvarez & Lavado, 1998; Studdert & Echeverria, 2000; Álvarez *et al.*, 2010; Soleymani *et al.*, 2012). Por todo lo mencionado anteriormente autores como Herrero (2004), Minoldo *et al.* (2008) y Álvarez *et al.* (2010), afirmaron que el contenido de MO del suelo varía muy lentamente y esto es lo que se evidenció en este ensayo (Tabla 28). Otros investigadores como Soleymani *et*

al. (2012), no hallaron incrementos en la MO del suelo luego de cuatro semanas de incorporar el abono verde. Ansari (2008) utilizando vermicompost, residuos de cultivos, abono verde (*Sesbania* sp.) y lombrices, detectó mejoras en el contenido de MO recién luego de dos años. Herrero (2004), evaluando diferentes sistemas de producción hortícolas, destacó la importancia del aporte de los abonos verdes y los residuos vegetales en el balance de la MO, pero no tanto en su incremento, para un período de tres años.

Nitrógeno (N)

A diferencia de lo sucedido durante el experimento 2008/2009, donde el N del suelo no fue afectado por las precipitaciones, debido al bajo milimitraje registrado (Tablas A5 y A6 del Anexo), en el experimento 2009/2010, este nutriente disminuyó fuertemente desde preAV a posLECH (Tabla 29). Este comportamiento, se podría atribuir al incremento de las precipitaciones ocurridas en este periodo (Tablas A5 y A6 Anexo); la movilidad del N en el suelo (Echeverría & García, 2005); y a las características físicas del mismo (Ledesma & Zurita, 1995). Dentro del ciclo del N en los sistemas productivos, las pérdidas de este elemento pueden ser por extracción de los cultivos, inmovilización, desnitrificación, volatilización, lixiviación y erosión (Fassbender & Bornemisza, 1987; Álvarez *et al.*, 2010). Los residuos del abono verde, al mineralizarse, transforman los compuestos orgánicos a elementos minerales simples, pasando el N fundamentalmente a nitrato, siendo ésta la forma más fácilmente lixiviada por las lluvias (Martín & Rivera, 2004).

En el período comprendido entre la preAV y preLECH, la merma del N en el suelo tratado con abono verde, fue menor que en los otros tratamientos (Análisis no presentados). Según Fowler *et al.* (2007), la pérdida de N por lixiviación durante el crecimiento de un abono verde (*Lupinus angustifolius*), es menor que en un suelo con barbecho desnudo.

Fósforo (P)

Durante el experimento 2009/2010 a diferencia del primero (2008/2009), los valores

de P no cambiaron significativamente en los diferentes momentos de muestreo, a pesar de notarse una leve merma de su contenido desde preAV a posLECH (Tabla 30). No obstante, varios autores han reportado que este elemento presenta variación estacional en algunas de sus fracciones (Baravalle *et al.*, 1995; Vázquez & Pellegrini, 1998; Stevenson & Cole, 1999; Aguirre *et al.*, 2007).

Potasio (K)

El aumento observado preLECH (Tabla 31), sería producto de la fertilización con Triple 15 y de la liberación del K en la mineralización del abono verde (Tabla 11). El descenso posLECH podría estar relacionado a pérdidas de este elemento por lixiviación (Ozores-Hampton *et al.*, 2005; Gama Rodrigues *et al.*, 2007) y al alto nivel de extracción de K que realiza el cultivo de lechuga (Tablas 51 y 53), según lo informado por Ciampitti & García (2007).

Calcio (Ca)

Las mayores precipitaciones ocurridas en este experimento (Tablas A5 y A6 del Anexo), habrían lavado los cationes monovalentes del suelo, permitiendo la fijación de los iones divalentes, al diluirse la solución exterior (Madrid *et al.*, 1985), esto explicaría el aumento del Ca del suelo posLECH (Tabla 32).

Magnesio (Mg)

Las oscilaciones en los tenores de Mg en cada momento de muestreo (Tabla 33), podrían explicarse por las mismas causas que influenciaron el del Ca. Además, debería agregarse el carácter montomorillonítico de la fracción arcilla (Ledesma & Zurita, 1995), que libera el Mg presente en la estructura reticular de la montmorillonita, pasando de lugares reticulares a los de cambio (Madrid *et al.*, 1985). Tanto el Ca como el Mg son cationes divalentes, sujetos a variaciones estacionales, siendo las precipitaciones el factor más importante (Iglesias Texeira *et al.*, 1997).

Cobre (Cu)

Los tenores de micronutrientes en el suelo, dependen de factores como el material parental, del grado de madurez del mismo, el pH y la labranza (Lavado *et al.*, 2001;

Castillo & Fernández, 2002). Follett *et al.* (1994) y Dhaliwal *et al.* (2013), señalaron que los micronutrientes aportados por enmiendas orgánicas y abonos verdes, no están disponibles inmediatamente para el cultivo, dado que para ello necesitan transformarse en iones solubles con la ayuda de los microorganismos del suelo.

El incremento del Cu hallado en preLECH y que se mantuvo hasta posLECH (Tabla 34), pudo ocurrir a causa de la actividad microbiana y al pH del suelo, que solubiliza este elemento (Torri *et al.*, 2006; Rivin, 2007).

Hierro (Fe)

Respecto al Fe edáfico, se puede hipotetizar que la variación observada (Tabla 35), sería producto de la variación estacional.

Por otro lado, se apreció que la variación del Fe (Tabla 35) fue similar al observado en N y P (Tablas 29 y 30), entre los momentos preAV y preLECH, lo cual coincidió con lo reportado por Ratto & Fatta (1990); luego, el Fe tuvo un incremento, a diferencia de lo ocurrido con N y P, que disminuyeron.

Entre los momentos de preLECH y posLECH, el patrón de distribución del Fe coincidió con el del Ca, en discordancia con lo informado por Buffa & Ratto, (2005) y Roca *et al.* (2007), aunque fue similar entre preAV y preLECH, coincidiendo con lo reportado por los mismos autores. Finalmente, el patrón de distribución del Fe, en todos los momentos analizados, coincidió con el del Zn, concordando con lo obtenido por los autores ya nombrados.

Manganeso (Mn)

Observando las concentraciones del Mn en el suelo (Tabla 36) en los momentos de preAV, preLECH y posLECH, se pudo apreciar que su modelo de variación fue bastante similar al del Cu (Tabla 34), coincidiendo con lo expuesto por Roca *et al.* (2007) y Buffa & Ratto (2005).

Zinc (Zn)

Los tratamientos de fertilidad no tuvieron un efecto significativo sobre el contenido de Zn edáfico (Tabla 37). Según Eyherabide *et al.* (2012), Roca *et al.* (2007) y Rehm

(2008), los factores que afectaron al Zn fueron el pH, la MO, y los niveles de P y Fe, siendo la MO el factor determinante en el contenido del Zn, encontrándose en el horizonte superficial la mayor concentración de ambos. Esta relación se corroboró, al observarse el incremento de la MO preLECH (Tabla 28) y el aumento del Zn en el mismo momento (Tabla 37).

Las causas de la merma del Zn posLECH (Tabla 37), podrían ser los tenores de Ca y Na que lo sustituyen en el complejo de cambio (Torri *et al.*, 2006; Roca *et al.*, 2007).

La variación del contenido de Zn en el suelo, mostró una disminución de este elemento ante aumentos en los valores de la CE y el Fe, en oposición a lo informado por autores como Roca *et al.* (2007) y Buffa & Ratto, (2005), quienes hallaron que el Zn se asoció a la CE y el Fe con signo positivo.

El comportamiento bastante errático que se observó en el contenido de los micronutrientes del suelo en esta investigación, es coincidente con lo citado por diferentes autores, quienes atribuyeron este fenómeno a variaciones estacionales (Loué, 1988; Torres & Hernandez, 1988; Dobermann, 1994; Ratto *et al.*, 1997; Stevenson & Cole, 1999; Prause *et al.*, 2003).

IV. Respuesta del Cultivo de Lechuga

Experimentos 2008/2009 y 2009/2010

Rendimiento Bruto y Comercial

No se encontró un efecto de interacción entre la variable independiente tratamiento de fertilidad de suelo (a los niveles abono verde, Triple 15 y Triple 15 + Urea) y la variable independiente cultivares de lechuga (a los niveles Grand Rapids, Slobolt y Brisa) sobre las variables dependientes rendimiento bruto y comercial de la misma. Por lo tanto, los niveles y combinaciones utilizados, no alcanzaron a mostrar el grado de asociación requerido, como para encontrar diferencias significativas entre los mismos.

Asimismo, no se hallaron diferencias significativas del efecto principal de la variable Cultivares de Lechuga, tanto sobre el rendimiento bruto como el comercial (Tablas 38, 39, 42 y 43). Los cultivares utilizados en este estudio fueron elegidos por ser los más sembrados en la zona de influencia de la EEA Colonia Benítez. No obstante, como pertenecen a la misma variedad botánica (Crispa o *Intybacea*), por lo que su base genética no presentaría grandes diferencias, pudieron no manifestar diferencias entre ellos (Granval & Gaviola, 1992; Ferratto *et al.*, 2010).

Tampoco se hallaron diferencias significativas del efecto principal de la variable tratamiento de fertilidad de suelo, tanto sobre el rendimiento bruto como el comercial de lechuga, comportándose el caupí al mismo nivel que los fertilizantes químicos usados (Tablas 38, 39, 42 y 43).

FAO (1976), informó que el requerimiento de agua del cultivo de lechuga fue de 280 mm, durante su ciclo. La ausencia de diferencias del efecto principal tratamiento de fertilidad, no podría atribuirse a la falta de lluvias durante el experimento 2008/2009, donde se tuvo un déficit de -162 mm, el que fue cubierto a través del riego complementario. En cambio, en el experimento 2009/2010 se tuvo un exceso de alrededor de +306,1 mm (Tabla A5 de Anexo).

También se puede hipotetizar que el abastecimiento de los nutrientes para los distintos cultivares usados, fue suficiente para obtener el rendimiento medio obtenido de lechuga comercial, lo cual se sostiene en que no se encontraron diferencias significativas en los contenidos de macro y micro nutrientes en hoja (Tablas 52 y 53). Otro elemento que soporta lo anterior es que el rendimiento máximo de lechuga comercial obtenido fue de 62.387 kg.ha⁻¹ (cultivar Slobolt con Triple 15 + Urea), en el experimento 2008/2009, bloque III, permitiendo visualizar, por otra parte, el potencial del cultivo en la zona. Finalmente, si bien el caupí como abono verde incorporó al suelo cantidades apreciables de otros elementos químicos (macro y micronutrientes), que no fueron aportados por los fertilizantes químicos utilizados, estos factores no fueron suficientes como para obtener diferencias significativas en los rendimientos

bruto (Tablas 38 y 39) y comercial (Tablas 42 y 43).

Alcalá *et al.* (2002), independientemente de la dosis de Urea utilizada, no detectaron diferencias en el rendimiento del cultivar Grand Rapids, logrando una producción de biomasa comercial de 34.000 kg.ha⁻¹. Otros autores, como Acar *et al.* (2008), tampoco detectaron diferencias en el rendimiento bruto ni comercial de lechuga con diferentes dosis de fertirriego. Siendo los resultados de ambos trabajos mencionados coincidentes con los del presente estudio.

Resultados donde se comparó el rendimiento de lechuga con fertilización química y abonos orgánicos, son reportados por Costantini *et al.* (1998) en Brasil, quienes obtuvieron mayor producción de lechuga con 300 kg N.ha⁻¹ (Urea), respecto al tratamiento con lombricompost. Por su parte Olaniyi (2008) en Nigeria, obtuvo los mayores rendimientos de lechuga con estiércol de ave, comparando con abono orgánico + fertilización mineral y fertilización mineral sola (Urea). En Neuquén Argentina, Aruani *et al.* (2008), utilizando una dosis de 100 kg N.ha⁻¹, también consiguieron rendimientos de lechuga superiores cuando la fuente de N fue estiércol de ave, respecto de la fertilización química con nitrato de amonio y el testigo.

Coria Cayupan *et al.* (2009), en Santiago del Estero, Argentina, utilizando diferentes tipos de compost y vermicompost como fuente de nutrientes, obtuvo la mayor producción de lechuga con Urea. Rotondo *et al.* (2009), en Rosario, solamente hallaron diferencias significativas en el rendimiento de lechuga comparando los tratamientos fertilizados contra el testigo, pero no entre los diferentes fertilizantes. Fernández *et al.* (1994), en Puerto Tirol Chaco, tampoco obtuvieron diferencias entre los rendimientos de lechuga fertilizada con NPK y diferentes abonos orgánicos, pero sí con respecto al testigo.

En otras especies como la menta (*Mentha arvensis* L.), Singh *et al.* (2010), hallaron que el rendimiento de este cultivo, usando caupí como abono verde, fue equivalente al de un cultivo con fertilización mineral. Perín *et al.* (2004), por su parte, en el cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* L. var. *Italica*) con Crotalaria como abono verde y

fertilización química, no encontraron diferencias significativas en los rendimientos a favor de esta última. Estos dos trabajos, si bien sobre diferentes especies, también resultaron coincidentes con los resultados de esta investigación.

En Brasil, Fontanetti *et al.* (2006), comparando el rendimiento de lechuga con distintos abonos verdes (mucuna, cannavalia y crotalaria) contra un testigo de vegetación espontánea (fertilizado con 150 kg.ha⁻¹ de N, 400 kg.ha⁻¹ de P y 150 kg.ha⁻¹ de K), no encontraron diferencias a favor de los fertilizantes con respecto a los abonos verdes. Estos autores mencionaron que el efecto del abono verde fue bastante variable, dependiendo de la especie, el manejo de la biomasa, la época de siembra del abono verde, el tiempo de permanencia de los residuos, las condiciones ambientales y la interacción de éstos entre sí. A conclusiones bastante similares llegaron Almeida *et al.* (2008), quienes comparando diferentes fertilizantes químicos contra el agregado de residuos de leguminosas como fuente de nutrientes en lechuga, tampoco obtuvieron diferencias de rendimientos a favor de los primeros. Asimismo, el efecto residual de los abonos orgánicos con respecto a los fertilizantes minerales, fue determinante de los mayores rendimientos de lechuga hallados por Silva Santos *et al.* (2001).

Resultados contrarios fueron reportados por Ngouajio *et al.* (2003), Sakai *et al.* (2003) y Wang *et al.* (2008), quienes hallaron rendimientos de lechuga superiores con el uso de caupí como abono verde en diferentes sistemas de manejo del cultivo, atribuyendo el incremento del rendimiento al N de la FBN. En este aspecto, coincidieron con Fowler *et al.* (2007), quienes, además, sumaron la rápida mineralización de la biomasa de las leguminosas, esencial para una rápida disponibilidad del mencionado nutriente, como determinante del rendimiento. La importancia de la fertilización con N, en el cultivo de lechuga, ha sido mencionada por Rapaccioli *et al.* (2001); Alcalá *et al.* (2002); Souza *et al.* (2005) y Fontanetti *et al.* (2006).

Tampoco hubo diferencias de rendimiento entre los niveles Triple 15 y Triple 15 + Urea (Tablas 38, 39, 42 y 43) coincidiendo con lo hallado por Rapaccioli *et al.* (2001) y

Grazia *et al.* (2001), aunque estos últimos autores, al trabajar bajo media sombra, informaron también sobre una interacción entre la radiación solar y el nivel de fertilización con N, concluyendo que el efecto del nivel de fertilización sobre el rendimiento, solo se expresó ante la ausencia de limitaciones en la radiación.

Con respecto a los rendimientos promedios de lechuga obtenidos en esta investigación, los mismos fueron superiores a los promedios generales citados para la Argentina por Di Benedetto (2005), quien mencionó rindes de entre 15.000 y 20.000 kg.ha⁻¹ a campo y de hasta 25.000 y 30.000 kg.ha⁻¹ bajo invernadero. Por su parte Castagnino (2009), citó rendimientos de entre 15.000 y 24.000 kg.ha⁻¹ a campo y de 30.000 a 40.000 kg.ha⁻¹ bajo invernadero. Los rindes logrados fueron también superiores a los 20.000 kg.ha⁻¹ promedio, del cinturón verde de Córdoba Capital (Sayago *et al.*, 2009), a los 34.600 kg.ha⁻¹ citados por Aruani *et al.* (2008), para Neuquén, en condiciones de campo, y al promedio de las ciudades de La Plata y Mar del Plata, con alrededor de 29.000 y 25.000 kg.ha⁻¹, respectivamente (Kebat & Riccetti, 2006; Adlercreutz *et al.* 2014). Como ya se comentó, el rendimiento medio de lechuga comercial para el área de influencia de la EEA Colonia Benítez, fue estimado en 15.000 a 20.000 kg.ha⁻¹ para la época invernal y de 9.000 a 12.000 kg.ha⁻¹ para la época estival.

V. Análisis Foliar de Lechuga. Calidad Nutricional

Experimentos 2008/2009 y 2009/2010

Proteína Bruta, Macro y Micronutrientes en Lechuga

No se observaron efectos de interacción de las variables independientes (tratamiento de fertilidad de suelo y cultivares de lechuga) ni tampoco efectos principales sobre el tenor de proteína bruta, macro y micronutrientes de la lechuga.

Los niveles de proteína bruta (11,86-12,02%; 10,41-12,00% y 9,61-10,81% para abono verde, Triple15 + Urea y Triple15, respectivamente) hallados en hojas de

lechuga en los dos experimentos (Tabla 50 y 51), fueron bajos comparados con los valores obtenidos por Souza *et al.* (2005), quienes encontraron valores de entre 13,6 y 17,5%. Si bien no hubo diferencias estadísticamente significativas, se observó un incremento de la proteína bruta en los tejidos de lechuga con abono verde (Tablas 50 y 51). Perin *et al.* (2004), trabajando con brócoli, también hallaron incrementos en los tenores de proteína de la inflorescencia, cuando se lo sembró sobre un abono verde. Un resultado algo similar fue reportado por Souza *et al.* (2005), quienes utilizando abonos orgánicos encontraron, que a mayor dosis de fertilizante orgánico se producen aumentos en los tenores de proteína bruta de lechuga, atribuyendo este efecto a una fuente más amplia de N disponible para las plantas bajo tales condiciones.

Los valores medios de N (1,53-1,92%) y P (0,18-0,32%), hallados en los tratamientos de fertilidad durante los dos experimentos (Tablas 50 y 51), fueron inferiores a los citados por Herrero (2004), Rezende Alvarenga *et al.* (2003) y García (1982), quienes mencionaron valores medios de N y P mayores a 3% y 0,4%, respectivamente.

Lo que ocurrió con el N (Tablas 50 y 51), fue diferente a lo que sucedió en los estudios de Aruani *et al.* (2008), Acar *et al.* (2008) y Alcalá *et al.* (2002), donde se presentaron incrementos del N foliar cuando se usaron fertilizantes nitrogenados. Además, Martín & Rivera (2004) y Rezende Alvarenga *et al.* (2003), también hallaron que a mayores dosis de N se incrementaba el tenor de éste en hojas de lechuga, pero permaneciendo el resto de los macronutrientes foliares sin variaciones.

Turazi *et al.* (2006) obtuvieron el mayor incremento de N foliar en las lechugas que fueron fertilizadas con el fertilizante mineral, siendo menor con fertilizante orgánico, en coincidencia con lo indicado por Alcalá *et al.* (2002), referido a que la fuente de N utilizada en la fertilización, tiene un efecto sobre la acumulación de N en lechuga. El efecto por el cual las lechugas fertilizadas con N, presentaron mayores tenores de N, fue llamado “efecto primming” por Martín *et al.* (2004).

Para el caso del K y el Mg los valores obtenidos (Tablas 50 y 51), se encuentran

dentro de los valores citados por Souza *et al.* (2005), informando porcentajes de 6,43% para el K y de 0,35% para el Mg.

Aruani *et al.* (2008), no detectaron cambios en el K con el agregado de N, independientemente del tipo de fertilizante utilizado. De todos los nutrientes analizados en lechuga, el K es el elemento que se extrae en mayor cantidad, seguido luego por el N (Tablas 50 y 51), concordando esto con los valores reportados por Herrero (2004).

Si bien no hubo diferencias significativas entre tratamientos, el tenor de K en el tratamiento con abono verde fue mayor (Tablas 50 y 51). Investigadores como Turazi *et al.* (2006) y Souza *et al.* (2005), detectaron aumentos del K en lechuga con fertilización orgánica y este aumento fue mayor cuanto mayor era la dosis de fertilizante utilizado.

Con respecto al Ca, Souza *et al.* (2005), encontraron que a mayores dosis de compuestos orgánicos menor fue el tenor de Ca y en consonancia con esto en el tratamiento abono verde, se apreciaron valores bajos de Ca (Tablas 50 y 51) estando éstos por debajo de los reportado por Souza *et al.* (2005). La fertilización nitrogenada no determinó cambios en el contenido de Ca, independientemente del tipo de fertilizante utilizado, según lo informado por Aruani *et al.* (2008).

Los resultados citados por Aquino *et al.* (2007), son muy superiores a los obtenidos en este estudio, respecto a N, P y Ca (Tablas 50 y 51). Otros autores, como Turazi *et al.* (2006), también hallaron valores de nutrientes en lechuga, con fertilización mineral, superiores a los que se muestran en las Tablas nombradas, para N, P y Ca, siendo menores los de K y Mg.

La relación de exportación de nutrientes de la lechuga, en ambos experimentos, fue $K > N > Ca > Mg > P$, siendo similar a la obtenida por Herrero (2004). Aquino *et al.* (2007), obtuvieron una relación donde la exportación de P fue superior a la de Mg ($K > N > Ca > P > Mg$), estimando que las condiciones de crecimiento influyeron en el contenido y los nutrientes minerales exportados en la lechuga.

El micronutriente de mayor concentración en el cultivo de lechuga fue el Fe,

seguido por Zn, Cu y Mn (Tablas 50 y 51). Dichos valores son más bajos que los hallados por Turazi *et al.* (2006) en lechugas con fertilización mineral y orgánica. Resende *et al.* (2010), informaron que en lechuga, a mayor dosis de N, mayor es el tenor de Cu, Zn, Fe y Mn. Este comportamiento no se evidenció en los resultados mostrados en las Tablas 50 y 51, donde se puede observar una variación errática del Cu y variaciones no concordantes del Zn, Fe y Mn, a diferencia de lo relatado por los autores precedentes.

Con respecto a los tenores de nutrientes por cultivares de lechuga, los mismos no se diferenciaron estadísticamente entre sí (Tablas 52 y 53), a la inversa de lo reportado por Aquino *et al.* (2007), quienes afirmaron que las condiciones de crecimiento y el cultivar influyeron en el contenido de nutrientes.

La gran variabilidad de los niveles de nutrientes foliares en lechuga, radica en que los mismos dependen de los distintos materiales genéticos de lechuga y de las condiciones ambientales. Siendo el periodo de cultivo de la lechuga relativamente corto respecto de otros cultivos, breves cambios en las condiciones meteorológicas, se traducen en variaciones de los tenores de macro y micronutrientes (Malavolta, 1989; Sorensen *et al.*, 1994; Rezende Alvarenga *et al.*, 2003; Herrero, 2004; Souza *et al.*, 2005; Aquino *et al.*, 2007; Acar *et al.*, 2008).

VI. Análisis de Nitratos

Nitratos en Hojas de Lechuga Experimentos 2008/2009 y 2009/2010

No se observaron efectos de interacción de las variables independientes (tratamiento de fertilidad de suelo y cultivares de lechuga), ni tampoco un efecto principal de la variable Cultivares de Lechuga, sobre el tenor de nitratos en las hojas de lechuga (Tablas 54 y 55).

Otros autores afirmaron que el contenido de nitratos, depende además de la fertilización nitrogenada, del genotipo utilizado (Aquino *et al.*, 2007 y Castagnino,

2009). Esto no se observó en los resultados obtenidos (Tablas 56 y 57). Lastra *et al.* (2009), no detectaron diferencias entre los cultivares Grand Rapids y Brisa, con las dosis más bajas de N; pero sí cuando aumentaron el nivel de fertilización. Carrasco *et al.* (2006) trabajando con lechugas mantecosas, tampoco observaron diferencias entre los cultivares evaluados. La reducida capacidad de almacenaje de los de los cultivares utilizados (Grand Rapids y Brisa), mencionado por Lastra *et al.* (2009) y Siomos *et al.* (2002), podría ser otro factor que contribuyó a los bajos contenidos de nitratos. El contenido de nitratos en hojas de lechuga (Tablas 56 y 57), no superó el valor límite de 4.000 ppm, como máximo, establecido por la European Commission Legislation (2002), como valor aceptable para lechugas a campo cosechadas en invierno.

Donde sí se observó efecto, fue en la variable independiente tratamiento de fertilidad de suelo, los valores de nitratos aumentaron al aumentar la cantidad de N agregado en los tratamientos con fertilizantes químicos (Tablas 56 y 57), concordando con lo informado por Sorensen *et al.* (1994) y Rattler *et al.* (2005), quienes explicaron este aumento en base a la rápida disponibilidad del N del fertilizante y al exceso de N, independientemente del tipo de fertilizante utilizado.

Por su parte, los valores de nitratos en hoja de lechuga cultivada sobre caupí como abono verde (Tablas 56 y 57), fueron significativamente menores a los obtenidos con los otros tratamientos de fertilización química (Triple 15 y Triple 15 + Urea). Un efecto de tendencia similar fue observado por Rattler *et al.* (2005) y Chiesa (2010), en lechugas tratadas con fertilizantes orgánicos comparadas con fertilizantes minerales. La proporción de NH_4^+ , del fertilizante nitrogenado utilizado, también puede influir sobre los niveles de nitrato foliar (Lastra *et al.*, 2009).

Los promedios obtenidos en esta investigación (Tabla 58), fueron menores a los hallados por Chiesa & Mayorga (2007), quienes reportaron un contenido medio de nitratos de 716,4 y de 383 ppm para lechuga de otoño y de primavera, respectivamente. En los tratamientos Triple 15 + Urea (377,9 ppm de NO_3^-) y Triple 15

(253,5 ppm de NO_3^-), los valores, en cambio, fueron superiores a las 213 ppm de NO_3^- , hallados por Aquino *et al.* (2007). Sin embargo, el tratamiento abono verde presentó valores significativamente menores (77,6 ppm de NO_3^-), que los citados anteriormente por Aquino *et al.* (2007).

CONCLUSIONES

El caupí [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.], presentó excelentes condiciones para ser usado como abono verde de verano, con una abundante producción de MSA (6.262,8 kg.ha⁻¹) en un período relativamente corto de tiempo (74 a 88 DDS). Los principales macroelementos aportados por la biomasa aérea del caupí en orden de decreciente fueron: N, K, Ca, P y Mg. Con respecto a los micronutrientes, el mayor fue el Fe seguido por el Mn, el Zn y en menor medida el Cu.

La mayor parte del caupí incorporado al suelo como abono verde se descompone durante los primeros 60 días. La tasa de liberación de N, P y K es máxima, también, durante ese lapso.

De todas las variables de suelo evaluadas, el contenido de K se incrementó significativamente debido al nivel abono verde en comparación con los niveles Triple 15 y Triple 15 + Urea, entre los cuales no se encontraron diferencias.

La CE se incrementó significativamente debido al nivel abono verde en comparación con el nivel Triple 15 + Urea, el que, a su vez, superó significativamente al nivel Triple 15.

El pH se incrementó significativamente debido al nivel abono verde en comparación con el nivel Triple 15. No se encontraron diferencias significativas entre el nivel abono verde y el nivel Triple 15 + Urea. Tampoco las hubo entre este último y el nivel Triple 15.

El contenido de Mn se incrementó significativamente debido al nivel Triple 15 + Urea con respecto al nivel abono verde. No se encontraron diferencias significativas entre los niveles Triple 15 + Urea y Triple 15, así como entre este último y el nivel abono verde.

No se encontró un efecto de interacción entre la variable independiente tratamiento de fertilidad de suelo (a los niveles Abono verde, Triple 15 y Triple 15 + Urea) y la variable independiente cultivares de lechuga (a los niveles Grand Rapids, Slobolt y

Brisa) sobre las variables dependientes rendimiento bruto y comercial de lechuga, y tampoco se encontraron efectos principales sobre las mismas variables.

El descarte de lechuga, asimismo, no se vio afectado por la interacción ni por los efectos principales de las variables independientes estudiadas.

No se observaron efectos de interacción de las variables independientes (tratamiento de fertilidad de suelo y cultivares de lechuga) sobre el tenor de proteína bruta, de macronutrientes y de micronutrientes en hojas de lechuga. Tampoco se observaron efectos principales de la variable independiente tratamiento de fertilidad de suelo sobre la composición nutricional (proteína bruta, macro y micronutrientes) de las hojas de lechuga.

El principal macronutriente contenido en las hojas de lechuga fue el K, seguido por N, Ca, Mg y P. Con respecto a los micronutrientes, el máximo valor correspondió al Fe, seguido por el Zn, Cu y Mn.

Para la época de desarrollo del cultivo, los tenores de nitratos en hojas de lechuga, no evidenciaron efectos de interacción entre las variables independientes. Se obtuvo, en cambio, un efecto principal de la variable tratamiento de fertilidad de suelo. La acumulación de nitratos en hojas de lechuga, fue significativamente inferior cuando se empleó abono verde de caupí como fuente de nutrientes en comparación con la fertilización mineral de Triple 15, la que a su vez fue significativamente inferior al valor encontrado con Triple15 + Urea.

Los cultivares de lechuga, Brisa, Slobolt y Grand Rapids, no evidenciaron diferencias en los tenores de nitratos de sus hojas.

Los valores de nitratos obtenidos en hoja de lechuga, fueron inferiores al límite máximo de 4.000 ppm establecido para su consumo por la European Commission Legislation.

ANEXO

Tabla A1. Perfil representativo de la serie de suelo Resistencia (Ledesma & Zurita, 1995).

Perfil N° RR12		A1	A2	Bt	C
N° Laboratorio		1548	1549	1550	1551
Profundidad (cm)		0-23	23-37	37-45	45-120
Factor de humedad		1,01	1,03	1,03	1,03
Materia orgánica	C %	1,48	1,09	0,77	0,24
	N %	0,122	0,108	0,072	-
	Relación C/N	11	10	11	-
Textura en %	Arcilla (< 2 micrón)	25,5	39,7	51,7	44,5
	Limo (2-20 micrón)	44,2	39,2	28,2	37,8
	Limo (2-50 micrón)	68,9	56,5	46,3	50,2
	Arena m. fina 1 (50-74 micrón)	2,2	1,5	0,9	2,7
	Arena m. fina 2 (75-100 micrón)	1,7	0,5	0,3	1,4
	Arena fina (100-250 micrón)	1,0	0,9	0,4	0,8
	Arena media (250-500 micrón)	0,7	0,9	0,4	0,4
	Arena gruesa (500-1000 micrón)	-	-	-	-
Arena m. gruesa (1000-2000 micrón)		5,6	3,8	2,0	5,3
Gravilla (> 2 mm)		144,2	139,2	128,2	137,8
P (ppm)		63,6	4,3	3,6	32,4
CaCO ₃ (%) V		0	0	0	0,1
Equivalente de humedad (%)		31,6	31,4	34,6	30,4
Resistencia de la pasta (Ohm/cm)		-	-	-	-
pH en pasta		5,1	5,4	5,9	6,6
pH en H ₂ O (1:2,5)		5,8	6,4	7,0	7,7
pH en 1N KCl (1:2,5)		4,9	4,9	5,4	6,0
Cationes de Cambio (m.e./100g)	Ca ⁺⁺	12,2	17,4	22,7	22,9
	Mg ⁺⁺	1,1	2,3	3,4	3,6
	Na ⁺	0,7	0,6	0,7	1,0
	K ⁺	0,6	0,5	0,8	0,8
% Na ⁺ en cambio de v.T		4	3	3	4
% Agua de saturación		50	51	55	51
Valor S (m.e./100g) NH ₄ o Na ⁺		14,6	20,8	27,6	28,3
H cambio (m.e./100g)		5,3	5,1	3,6	-
Valor T (m.e./100g) NH ₄ o Na ⁺		17,6	22,4	27,9	26,0
% de saturación de T		83	93	99	100
% de saturación de S+H		73	80	88	-

Tabla A2. Valores de temperatura, precipitaciones y temperatura de suelo a 5 cm registrados durante el periodo de descomposición de la parte aérea del abono verde de caupí. Experimento 2009/2010. (Fuente: Cáceres Alejandro. Boletín Estación Meteorológica del INTA Colonia Benítez).

	30 días	60 días	90 días	120 días	150 días
Precipitaciones(mm)	181,3	160,0	93,7	10,0	31,2
Temperatura(° C)	23,4	18,7	15,2	17,1	11,3
Temperatura suelo a 5 cm(° C)	25,6	21,1	17,1	18,1	13,9

Tabla A3. Condiciones ambientales durante el desarrollo del cultivo de caupí. (Fuente: Cáceres Alejandro. Boletín Estación Meteorológica del INTA Colonia Benítez).

	Experimento 2008/2009 Diciembre-Febrero	Experimento 2009/2010 Diciembre-Marzo
Temperatura máxima (°C)	33	32,2
Temperatura media (°C)	26,5	26,7
Temperatura mínima (°C)	19,6	22,7
Heliofanía efectiva (h)	27,7	24,1
Vientos (km.h ⁻¹)	4,9	5,9
Precipitaciones (mm)	363,1	497,1
Humedad Relativa (%)	25,5	28,7
Radiación Global (MJ.m ⁻²)	217,6	238,4
ETP (mm)	71,7	65,1
Duración (días)	74	88

Tabla A4. Equiparación de aportes de macronutrientes del caupí abono verde con fertilizantes.

kg.ha ⁻¹	N	P	K	Ca	Mg
Caupí Abono Verde	152,5	24,6	108,5	70,1	11,3
Triple 15	1.016,6	164,0	723,3	0	0
Urea	331,5	0	0	0	0

Tabla A5. Condiciones ambientales durante el cultivo de lechuga. (Fuente: Cáceres Alejandro. Boletín Estación Meteorológica del INTA Colonia Benítez).

	Experimento 2008/2009 Mayo-Julio	Experimento 2009/2010 Junio-Septiembre
Temperatura máxima (°C)	23,8	24,9
Temperatura media (°C)	16,5	18,5
Temperatura mínima (°C)	9,4	12,6
Helifanía efectiva (h)	6,4	7,1
Vientos (km.h ⁻¹)	5,4	5,6
Precipitaciones (mm)	117	586
Humedad Relativa (%)	78	75
Radiación Global (MJ.m ⁻²)	11,1	16,5
ETP (mm)	3,5	5,1
Duración (días)	69	94

Tabla A6. Temperatura y precipitaciones durante el periodo de incorporación del abono verde hasta el trasplante de lechuga. (Fuente: Cáceres Alejandro. Boletín Estación Meteorológica del INTA Colonia Benítez).

Experimento	Temperatura media (°C)	Precipitaciones (mm)	Duración (días)
2008/2009	25,2	56,3	74
2009/2010	20,9	464,0	93

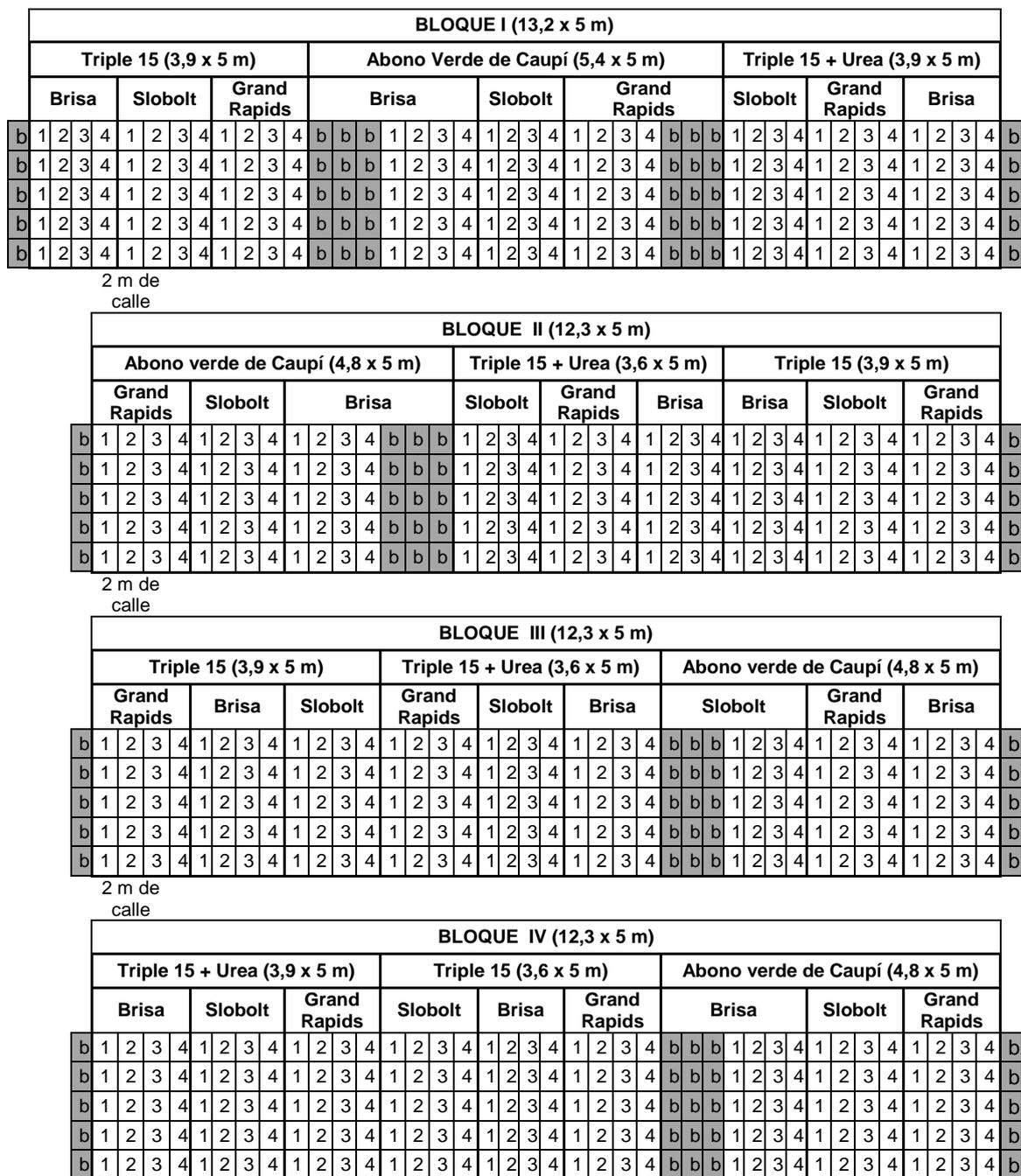


Figura A1. Distribución general y dimensiones de los tratamientos de fertilización y cultivares.

Imágenes

Figura A2. Caupí a los 8 días después de la siembra.



Figura A3. Caupí a los 18 días después de la siembra.



Figura A4. Caupí a los 39 días después de la siembra.



Figura A5. Caupí a los 55 días después de la siembra.



Figura A6. Caupí a los 68 días después de la siembra.



Figura A7. Nodulación del caupí a los 70 días después de la siembra.



Figura A8. Incorporación del caupí a los 74 días después de la siembra.



Figura A9. Bolsitas de descomposición semienterradas (*Litter bags*).



Figura A10. Trasplante de lechuga.



Figura A11. Lechuga a los 53 días después de la siembra.

BIBLIOGRAFIA

- Abbate, P. & F.H. Andrade. 2006. Los nutrientes del suelo y la determinación del rendimiento de los cultivos de granos. p 43-66. En: Echeverría, H.E. & F.O. García (Eds.) Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Editorial INTA. Buenos Aires, Argentina. 525 pp.
- Acar, B.; M. Paksoy; O. Turkmen & M. Seymen. 2008. Irrigation and nitrogen level affect lettuce yield in greenhouse condition. African Journal of Biotechnology. 7(24):4450-4453.
- Adlercreutz, E.; R.D. Huarte; A. Lopez Camelo; E. Manzo; A. Szczesny & L. Viglianchino. 2014. Producción hortícola bajo cubierta. 1° Edición. Ediciones INTA. 150 pp.
- Ali, A.; S. Sheikh; S. Hussain; I.A. Qamar & B.R. Khan. 2000. Breeding food and forage legumes for enhancement of nitrogen fixation: A review. Bio-sciences and agriculture. Quarterly Science Vision, 6(1):49-57.
- Aguinaga, A. 2009. Poroto Caupí. Una alternativa para todos los productores. Informe técnico. EEA INTA El Colorado. Formosa. 3 pp.
- Aguirre, M.E.; S.G. Bussett & R.M. Santamaría. 2007. Fósforo hidrosoluble y disponible en el suelo por el agregado de cáscara de girasol. Revista de investigaciones de La Facultad de Ciencias Agrarias de La Universidad Nacional de Rosario. 12:35-41.
- Alcalá, A.; N.N. Fernández & C.M. Aguirre. 2002. Respuesta del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) a la fertilización nitrogenada. <http://www.unne.edu.ar/Web/cyt/cyt/2002/05-Agrarias/A-083.pdf> [Fecha de consulta 21/07/2008].
- Alcántara, F.A.; A.E. Furtini; M.B. Paula; H.A. Mesquita & J.A. Muniz. 2000. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um latosolo Vermelo-Escuro degradado. Pesquisa Agropecuária Brasileira. 35(2):277-288.

- Allen, R.G.; L.S. Pereira; D. Raes & M. Smith. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje N° 56. 323 pp.
- Almeida, M.M.T.B.; A.T. Lixa; E.E. Silva; P.H.S. Azevedo; H. De-Polli & R.L.D. Ribeiro. 2008. Fertilizantes de leguminosas como fontes alternativas de nitrogênio para produção orgânica de alface. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 43(6):675-682.
- Altieri, M.A. 1999. Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable. Westview Pass. Editorial Nordan-Comunidad. 325 pp.
- Álvarez, R. & R.S. Lavado. 1998. Climate, organic matter and clay content relationships in the Pampa and Chaco soils, Argentina. *Geoderma*. 83(1-2):127-141.
- Álvarez, R.; G. Rubio; C.R. Álvarez & R.S. Lavado. 2010. Fertilidad de suelos. Caracterización y manejo en la región pampeana. 1° Edición. Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. 496 pp.
- Alvey, S.; M. Bagayoko; G. Neumann & A. Buerkert. 2000. Cereal/legume rotation in two West African soils under controlled conditions. *Plant Soil*. 231:45-54.
- Alvey, S.; C.H. Yang; A. Buerkert & D.E. Crowley. 2003. Cereal/legume rotation effects on rhizosphere bacterial community structure in West African soils. *Biology and Fertility of Soils*. 37:73-82.
- Ambrosano, E.J.; P.C.O. Trivelin; H. Canterella; G.M.B. Ambrosano; E.A. Schammas; N. Guirado; F. Rossi; P.C.D. Mendes & T. Muraoka. 2005. Utilization of nitrogen from green manure and mineral fertilizer by sugarcane. *Scientia Agrícola*. 62(6):534-542.
- Andriolo, J.L.; G.L. Luz; M.H. Witter; R.S. Godoi; G.T. Barros & O.C. Bortolotto. 2005. Growth and yield of lettuce plants under salinity. *Horticultura Brasileira*. 23(4):931-934.
- Ansari, A.A. 2008. Soil profile studies during bioremediation of sodic soils through the application of organic amendments (Vermiwash, tillage, green manure, mulch,

- earthworms and vermicompost). World Journal of Agricultural Sciences. 4(5):550-553.
- Aquino, L.A.; M. Puiatti; M.E.O. Abaurre; P.R. Cecon; P.R.G. Pereira; F.H.F. Pereira & M.R.S. Castro. 2007. Produção de biomassa, acúmulo de nitrato, teores e exportação de macronutrientes da alface sob sombreamento. Horticultura Brasileira. 25:381-386.
- Aruani, M.C.; P. Gili; L. Fernández; R. González Junyent; P. Reeb & E. Sánchez. 2008. Utilización del nitrógeno en diferentes manejos de fertilización en lechuga (*Lactuca sativa* L.) y su efecto sobre algunas variables biológicas del suelo, Neuquén, Argentina. Agro Sur. 36(3):147-157.
- Aulakh, M.S.; T.S. Khera; J.W. Doran; K. Singh & B. Singh. 2000. Yield and nitrogen dynamics in a rice-wheat system using green manure and inorganic fertilizer. Soil Science Society American Journal. 64:1867-1876.
- Ayisi, K.K.; P.N.Z. Mpangane & A. Whitbread. 2004. Grain yield and symbiotic activity of cowpea cultivars grown in sole and intercropping systems with maize in the Limpopo Province of South Africa. http://www.cropscience.org.au/icsc2004/poster/2/1/2/1331_ayisikkv.htm [Fecha de consulta 21/07/2008].
- Baginsky, C.; B. Brito; J. Imperial; T. Ruiz Argueso & J.M. Palacios. 2005. Symbiotic hydrogenase activity in *Bradyrhizobium* sp. (Vigna) increases nitrogen content in *Vigna unguiculata* plants. Applied and Environmental Microbiology. 71(11):7536-7538.
- Baker, D.E. & M.C. Amacher. 1982. Nickel, Copper, Zinc and Cadmium. p 323-336. In Page, A.L. (Ed.) Methods of soil analysis. Part II Agronomy Monograph 9. American Society Agronomy. Madison, EEUU.
- Baloyi, J.J.; N.T. Ngongoni & H. Hamudikuwanda. 2008. Chemical composition and ruminal degradability of cowpea and silverleaf desmodium forage legumes

- harvested at different stages of maturity. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 8:1-11.
- Balzarini, M.G.; L. González; M. Tablada; F. Casanoves; J.A. Di Rienzo & C.W. Robledo. 2008. *Infostat, Manual del Usuario*. Editorial Brujas, Córdoba Argentina. 336 pp.
- Baravalle, R.; R. Rosell; A. Migliarina & P. Maiza. 1995. Soil fixation and availability of phosphate fertilizer. *Communications in soil science & plant analysis*. 26(13-14):2157-2165.
- Bauer, P.J.; D.M. Park & B.T. Campbell. 2009. Agronomy and soil. Cotton production in rotation with summer legumes. *The Journal of Cotton Science*. 13:183-188.
- Beltrán Morales, F.A.; J.L. García Hernández; F.H. Ruiz Espinoza; L. Fenech Larios; B. Murillo Amador; A. Palacios Espinoza & E. Troyo Diéguez. 2009. Nutritional potential of red dolichos, brown dolichos and cowpea for green manure produced under three tillage systems. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 10(3):487-495.
- Botta, G.; C. Dagostino; R. Balbuena; L.M. Draghi & H. Rosatto. 2003. Compactación de suelos. Efectos del tránsito del tractor en sistemas de siembra directa. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 2:75-80.
- Bouyoucos, G.W. 1927. The hydrometer as a new method for the mechanical analysis of soil. *Soil Science*. 23: 343-353.
- Bruniard, E.D. 2000. Los regímenes climáticos y la vegetación natural. Aportes para un modelo fitoclimático mundial. Academia Nacional de Geografía. Publicación Especial N° 16. Buenos Aires, Argentina. 79 pp.
- Bubenheim, D.L.; C.A. Mitchell & S.S. Nielsen. 1990. Utility of cowpea foliage in a crop production system for space. pp. 535-538. In: Janick, J. & J.E. Simon (Eds.) *Advances in new crops*. Timber Press, University of Wisconsin, Madison, EEUU. 560 pp.

- Buffa, E.V. & S.E. Ratto. 2005. Disponibilidad de Zinc, Cobre, Hierro y Manganeso extraíble con DPTA en suelos de Córdoba (Argentina) y variables edáficas que la condicionan. *Ciencia del Suelo*. 23(2):107-114.
- Cadahía López, C.; E. Eymar Alonso; J.J. Lucena Marotta; M.P. Muñoz Cobos; I.M. Rueda; F. Yañez Barrau; F. Legaz Paredes; J.A. Sentis Meijide; I. Frutos Vázquez; T. Montalvo López; M.L. Segura Pérez; M. Abad Berjón & N. Castilla Prados. 2005. *Fertirrigación. Cultivos hortícolas, frutales y ornamentales*. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 681 pp.
- Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes (CASAFE). 2005. *Guía de Productos Fitosanitarios*. 12° Edición. Buenos Aires. Argentina. 1600 pp.
- Cano, N.I.; L. Castellán; J. Prause & C. Fernández López. 2004. Efectos del abono verde *Melilotus sp.* en suelos afectados por sales. XV Reunión de Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Nordeste.
- Carrasco, G.; J. Tapia & M. Urrestarazu. 2006. Contenido de nitratos en lechugas cultivadas en sistemas hidropónicos. IDESIA (Chile). Universidad de Tarapacá. 24(1):25-30.
- Castagnino, A.M. 2009. *Manual de cultivos hortícolas innovadores*. Ediciones Hemisferio Sur S.A. 1° Edición. 372 pp.
- Castillo, A.E. & J.A. Fernández. 2002. Contenido de Fe, Cu, Mn y Zn en un Ultisol abonado con enmiendas orgánicas. *Revista Científica Agropecuaria*. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Entre Ríos. 6:35-39.
- Castro, C.M.; B.J. Rodrigues Alves; D. Lopes de Almeida & R.L. Duarte Ribeiro. 2004. Adubação verde como fonte de nitrogênio para a cultura da berinjela em sistema orgânico. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 39(8):779-785.
- Cherr, C.M.; M.S. Scholberg & R. McSorley. 2006. Green manure approaches to crop production: A Synthesis. *Agronomy Journal*. 98:302-319.

- Chiesa, A. 2010. Factores precosecha y postcosecha que inciden en la calidad de la lechuga. *Horticultura Argentina*. 29(68):28-32.
- Chiesa, A & I. Mayorga. 2007. Factores de precosecha que afectan la calidad postcosecha en lechuga (*Lactuca sativa* L.). V Congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha y Agroexportaciones.
- Ciampitti, I.A. & F.O. García. 2007. Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. Archivo agronómico N° 11. II Hortalizas, Frutales y Forrajeras. IPNI. Revista de información agronómica N° 33. Argentina.
- Civeira, G. & M.B. Rodríguez. 2011. Nitrógeno residual y lixiviado del fertilizante en el sistema suelo-planta-zeolitas. *Ciencia del Suelo* 29(2):285-294.
- Conforto, C.; O.S. Correa; A. Rovea; M. Boxler; S. Rodríguez Grastorf; J. Minteguiaga; J. Meriles & S. Vargas Gil. 2012. Influencia de la fertilización inorgánica sobre la actividad microbiana del suelo. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*. 8:18-21.
- Coria Cayupán, Y.S.; M.I. Sanchez de Pino & M.A. Nazareno. 2009. Variation in bioactive substance contents and crop yields of lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivated in soils with different fertilization treatments. *Journal of Abicultural and Food Chemistry*. 57(21):10122-10129.
- Costa Alvarenga, R.; L.M. Da Costa; W. Moura Filho & A.J. Regazzi. 1995. Características de alguns adubos verdes de interesse para a conservação e recuperação de solos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 30(2):175-185.
- Costa, J.L. & P. Godz. 1999. Aplicación de yeso a un Natracuol del Sudeste de La Pampa deprimida. *Ciencia del Suelo*. 17(2):21-27.
- Costantini, A.; A. Segat; D. Lopes de Almeida & H. De-Polli. 1998. Efecto de diferentes fertilizantes sobre el carbono de biomasa microbiana, respiración y rendimiento bajo cultivo de lechuga. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*. 33(1):71-76.

- Creamer, N.G. & K.R. Baldwin. 1999. Summer cover crops. Horticulture Information Leaflet 37-2/99. Department of Horticultural Science. North Carolina. Cooperative Extension Service. North Carolina State University. College of Agriculture & Life Sciences. <http://www.ces.ncsu.edu/hil/hil-37.html> [Fecha de consulta 21/07/2008]
- Cruz, A.G.; S. Salgado García; F. Catzin Rojas & A.I. Ortiz Ceballos. 2002. Descomposición del follaje de Nescafé (*Mucuna spp*) en época seca. *Interciencia* 11(27):625-630.
- De Fina, A.L. & A.C. Ravelo. 1985. Climatología y fenología agrícola. 4º Edición. Editorial Universitaria de Buenos Aires. Buenos Aires. Argentina. 354 pp.
- Dewis J. & F. Freitas. 1970. Métodos físicos y químicos de análisis de suelos y aguas, Boletín N° 10, FAO, Roma.
- Dhaliwal, S.S.; J.S. Manchanda; S.S. Walia & M.K. Dhaliwal. 2013. Differential response of manures in transformation of DPTA and total Zinc and Iron in rice transplanted on light textured soils of Punjab. *International Journal of Science, Environment and Technology*. 2(3):300-312.
- Di Benedetto, A. 2005. Manejo de Cultivos Hortícolas. Bases ecofisiológicas y tecnológicas. 1º Edición. Orientación Gráfica Editora. 373 pp.
- Dinnes, D.L.; D.L. Karlen; D.B. Jaynes; T.C. Kasper; J.L. Hatfield; T.S. Colvin & C.A. Cambardella. 2002. Nitrogen management strategies to reduce nitrate leaching in tile-drained midwestern soils. *Agronomy Journal*. 94:153-171.
- Di Rienzo J.A.; F. Casanaves; M. Balzarini; L. González; M. Tablada & C.W. Robledo. 2008. Infostat, versión 2008. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Divito, G.A.; H.R. Sainz Rozas; H.E. Echeverría; G.A. Studdert & N. Wyngaard. 2011. Efectos a largo plazo de la fertilización en el sudeste bonaerense y comparación con la región pampeana central. *Informaciones Agronómicas de Hispoamérica*. International Plant Nutrition Institute. 4:17-29.

- Domínguez Vivancos, A. 1984. Tratado de fertilización. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 585 pp.
- Domínguez, G.F.; G.A. Studdert & H.E. Echeverría. 2006. Propiedades del suelo: Efectos de las prácticas de manejo. p 207-229. En: Echeverría, H.E. & F.O. García (Eds.) Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Editorial INTA. Buenos Aires, Argentina. 525 pp.
- Duyar, H. (2013). Effects of summer season green manuring on organic head lettuce production in greenhouse. International Journal of Agriculture and Forestry 3(6):220-225.
- Echeverría, H.E. & F.O. García. 2005. Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Editorial INTA. 525 pp.
- Echeverría, H.E. & H.R. Sainz Rozas. 2006. Nitrógeno. p 69-97. En: Echeverría, H.E. & F.O. García. (Eds.) Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Editorial INTA. Buenos Aires, Argentina. 525 pp.
- Escalona, A.; M. Santana; I. Acevedo; V. Rodríguez & L.M. Marcó. 2009. Efecto de las fuentes nitrogenadas sobre el contenido de nitratos y lecturas "SPAD" en el cultivo de lechuga. Agronomía Tropical. 59(1):99-105.
- European Commission Legislation. 2002. Diario oficial de las comunidades Europeas. Reglamento (CE) N° 563/2002. http://europa.eu.int/eurlex/pri/es/oj/dat/2002/1_086/1_08620020403es00050006.pdf [Fecha de consulta 21/07/2008]
- Eyherabide, M.; H. Sainz Rozas; H. Echeverría; J. Velasco; M. Barraco; G. Ferraris & H. Angelini. 2012. Niveles de Zinc disponibles en suelos de la región pampeana Argentina. XIX Congreso Latinoamericano de Ciencia del Suelo. XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Argentina. [http://www.fca.proed.unc.edu.ar/file.php/66/Fertilidad_y_Fertilizantes/Micronutrientes/Zn - Niveles disponibles en suelos de region pampeana - AACCS 2012.pdf](http://www.fca.proed.unc.edu.ar/file.php/66/Fertilidad_y_Fertilizantes/Micronutrientes/Zn_-_Niveles_disponibles_en_suelos_de_region_pampeana_-_AACCS_2012.pdf) [Fecha de consulta 21/10/2012].

- Fabrizzi, K.; L. Picone; A. Berardo & F.O. García. 1998. Efecto de la fertilización nitrogenada y fosfatada en las propiedades químicas de un Argiudol típico. *Ciencia del Suelo* 16:71-76.
- Fassbender, H.W. & E. Bornemisza. 1987. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. 420 pp.
- Figueiredo, M.V.B.; J.J. Vilar; H.A. Burity & F.P. França. 1999. Alleviation of water stress effects in cowpea by *Bradyrhizobium* spp. inoculation. *Plant and Soil*. 207:67-75.
- Fernandez, N. N.; J. Quant Bermudez & A. Driutti. 1994. Evaluación de abonos orgánicos mediante ensayos em invernáculo com cultivos comerciales de lechuga. Instituto Agronómico, Facultad de Ciencias Agrarias. UNNE. baunne.unne.edu.ar/revista_agrotecnia/pdfs/AG_3_Fernandezetal.pdf [Fecha de consulta 21/07/2008].
- Fernández, N. & L. Ortega. 2002. Efecto de la edad de incorporación de dos abonos verdes sobre algunas propiedades del suelo y el rendimiento del rábano (*Raphanus sativus*). *Venesuelos*. 10(1 y 2):18-31.
- Ferratto, J.A.; M.C. Mondino; R. Grasso; M. Ortiz Mackinson; A. Longo; L. Carrancio; I.T. Firpo; R. Rotondo. J.C. Zembo; G. Castro; M. García; M. Rodríguez Fazzone & M.J. Iribarren. 2010. Buenas Prácticas Agrícolas para la Agricultura Familiar. Cadena de las principales hortalizas de hojas en Argentina. FAO. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. INTA. Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Rosario. 535 pp.
- Ferreira, V.M.; E.A. Bastos; A.S. Andrade Júnior; M.J. Cardoso; R. Maschio & E.M. Silva. 2008. Cowpea crop coefficient in Teresina, Piauí state, Brazil. International Conference of Agricultural Engineering. XXXVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola.

- Filippini, M.F.; J.C. Gaviola & M.A. Jauregui. 1991. Comportamiento de un fertilizante nitrogenado de liberación lenta en la serie La Consulta franco arenoso. Mendoza. Ciencia del Suelo. 9(1-2):53-60.
- Follett, R.H.; D.G. Westfall & R.T. Croissant. 1994. Utilization of animal manure as fertilizer. Cooperative of Extension Work U.S. Department of Agricultural. Colorado State University, Fort Collins, Colorado 19 pp.
- Fontanetti, A.; G.J. Carvalho; L.A.A. Gomes; K. Almeida; S.R.G. Moraes & C.M. Texeira. 2006. Adubação verde na produção orgânica de alface americana e repolho. Horticultura Brasileira. 24:146-150.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2004. Uso de fertilizantes por cultivo en Argentina. Primera edición. 49 pp.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 1976. Riego y drenaje. Las necesidades de agua de los cultivos. Roma, Italia. 193 pp.
- Foschiatti, A.M. (2012). Censo 2010 Chaco. Indicadores demográficos. Revista Geográfica Digital, IGUNNE. Facultad de Humanidades. Universidad Nacional del Nordeste. ISSN 1668-5180.
- Fowler, C.J.E.; L.M. Condrón & R.D. McLenaghan. 2004. Effects of green manures on nitrogen loss and availability in an organic cropping system. New Zealand Journal of Agricultural Research. 47:95-100.
- Franzluebbers, K.; R.W. Weaver; A.S.R. Juo & A.J. Franzluebbers. 1994. Carbon and nitrogen mineralization from cowpea plants part decomposing in moist and in repeatedly dried and wetted soil. Soil Biology & Biochemistry. 26(10):1379-1387.
- Gallardo Lancho, J.F. 2000. Biochemistry of mediterranean forest ecosystems. A case study. In: Bollag J-M & Stotzky G. (Eds.) Soil Biochemistry. USA. 10:423-460.
- Gama Rodrigues, A.C.; E.F. Gama Rodrigues & E.C. Brito. 2007. Descomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de plantas de cobertura em

- Argissolo vermelho-amarela na região noroeste Fluminense (RJ). Revista Brasileira de Ciência do Solo. 31:1421-1428.
- García, M.; E. Treto & M. Álvarez. 2001. Comportamiento de diferentes especies de plantas para ser utilizadas como abonos verdes en las condiciones de Cuba. Cultivos Tropicales. 22(4):11-16.
- García Hernández, J.L.; B. Murillo Amador; A. Nieto Garibay; M. Fortis Hernandes; C. Márquez Hernández; E. Castellanos Pérez; J.J. Quiñones Ver & N.Y. Ávila Serrano. 2010. Avances en investigación y perspectivas del aprovechamiento de los abonos verde en la agricultura. Terra Latinoamericana. 28(4):391-399.
- Gaviola, S. 1996. Factores de manejo que inciden sobre la calidad de las hortalizas. Avances en horticultura. Edición on-line. http://www.avanceshorticultura.com.ar/bajar.php?archivo=1996*96-gaviola.pdf&nombre=Factores%20de%20manejo%20que%20inciden%20sobre%20la%20calidad%20de%20las%20hortalizas [Fecha de consulta 21/07/2008].
- González, O.; C.E. Iglesias & M. Herrera. 2009. Análisis de los factores que provocan compactación del suelo agrícola. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. 18(2):57-63.
- Granval, N. & J.C. Gaviola. 1991. Lechuga. Manual de producción de semillas hortícolas. Asociación Cooperadora, EEA INTA La Consulta. Mendoza Argentina. 82 pp.
- Grazia, J.; P.A. Tiftonell & A. Chiesa. 2001. Efecto de la época de siembra, radiación y nutrición nitrogenada sobre el patrón de crecimiento y el rendimiento del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.). Investigación Agraria. Producción y protección vegetal. 16(3):355-366.
- Guzmán, G.I. & A.M. Alonso. 2001. El uso de abonos verdes en agricultura ecológica. Hoja divulgativa 4.7/01. Comité Andaluz de agricultura ecológica. <http://www.cifaed.es/publicaciones.php> [Fecha de consulta 21/07/2008].

- Hall, A.E.; N. Cisse; S. Thiaw; O.A.E. Hassan; J.D. Ehlers; A.M. Ismail; R.L. Fery; P.A. Roberts; L.W. Kitch; L.L. Murdock; O. Boukar; R.D. Phillips & K.H. McWatters. 2003. Development of cowpea cultivars and germplasm by the Bean/Cowpea CRSP. *Field Crops Research* 82 2003 103-134.
- Hammermeister, A.M.; T. Astatkie; E.A. Jliazkova; P.R. Warman & R.C. Martin. 2005. Nutrient supply from organic amendments applied to unvegetated soil, lettuce and orchardgrass. *Canadian Journal Soil Science*. 86(1):21-33.
- Hanly, J.A. & P.E.H. Gregg. 2004. Green-manure impacts on nitrogen availability to organic sweetcorn (*Zea mays*). *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*. 32:295-307.
- Harrison, H.F.; J.A. Thies; R.L. Fery & J.P. Smith. 2006. Evaluation of cowpea genotypes for use as a cover crop. *HortScience*. 41(5):1145-1148.
- Herrero, M.R. 2004. Balance de macronutrientes y materia orgánica en el suelo de agroecosistemas hortícolas con manejo integrado ecológico. Tesis doctoral. Departamento de recursos naturales. Universidad de Valencia, España.
- Ibarra Zamudio, W.O. & P.L. Jover. 2006. Comparación de un ecotipo local de poroto caupí colorado (*Vigna unguiculata L. Walp.*) con líneas puras derivadas de este germoplasma. Tesis Maestría en Producción Vegetal. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Nordeste. Corrientes, Argentina.
- Ibrahim, M.; M. Rafiq; A. Sulta; M. Akram & M.A. Goheer. 2006. Green fodder yield and quality evaluation of maize and cowpea sown alone and in combination. *Journal of Agricultural Research*. 44(1):15-21.
- Iglesias Texeira, B.; E. Carral Vilariño; S. Seoane Labandeira & M. López Mosquera. 1997. Utilización de concha de mejillón como encalante en suelos ácidos de Galicia (NO de España). *Boletín de la Sociedad Española de Ciencia del Suelo*, 2:69-76.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC). 2002. Valor Bruto de la producción primaria hortícola. Censo Nacional Agropecuario 2002.

- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). <http://inta.gob.ar/> [Fecha de consulta 29/08/2013].
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). 2002. Volver a los abonos verdes. Novedades Bibliográficas. Año 2. N° 7. EEA Famaillá, Tucumán. 10 pp.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Datos definitivos. Campaña Otoño Invierno 2010.
- International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI). 1983. Cowpea. Descriptors for Cowpea. IBPGR Secretariat. Rome, 1983. AGPG. IBPGR/82/80. 29 pp.
- Iturri, L.A.; D.E. Buschiazco & M. Díaz Zorita. 2011. Acidification evidences of no-tilled soils of the central region of Argentina. *Ciencia del Suelo*. 29(1):13-19.
- Jackson, M.L. 1964. Análisis químicos de los suelos. 2º Edición. Editorial Omega S.A., Barcelona, España. 666 pp.
- Jover, P.L.; H. Retamoso; G.A. Tortarolo; R. Ortiz; A. Aguinaga & J.C. Gómez. 2001. Mejoramiento de la productividad de porotos Vignas. Proyecto Institucional, Código 1.079. INTA.
- Jover, P.L. & G.A. Tortarolo. 2005. Subproyecto Hortícola. Módulo 2. Hortalizas de hoja. INTA – EEA Colonia Benítez, Chaco.
- Jover, P.L. 2006. Poroto caupí. INTA EEA Colonia Benítez (Chaco). <http://www.inta.gov.ar/benitez/info/documentos/horti/art/horti10.htm> [Fecha de consulta 21/08/2008].
- Jover, P.L. 2008. Comunicación personal.
- Jover, P.L. 2010. Comunicación personal.
- Kotuby-Amacher, J.; R. Koenig & B. Kitchen. 2000. Salinity and plant tolerance. AG-SO-03. Utah State University Extension.
- Kebat, C. & A. Riccetti. 2006. Márgenes Brutos de lechuga criolla, mantecosa y capuchina en planteos de invierno. La Plata, Campaña 2005. Boletín Hortícola N° 32 p 4-10.

- Ladha, J.K.; D. Dawe; T.S. Ventura; U. Singh & I. Watanabe. 2000. Long-term effects of urea and green manure on rice yields and nitrogen balance. *Soil Science Society American Journal*. 64:1993-2001.
- Lacasta, C.; N. Maire & R. Meco. 2003. El abono verde, un manejo controvertido en los cultivos herbáceos de secano. *La Fertilidad de la Tierra*. 14:1-8.
- Langyintuo, A.S.; J. Lowenberg DeBoer; M. Faye; D. Lambert; G. Ibro; B. Moussa; A. Kergna; S. Kushwaha; S. Musa & G. Ntoukam. 2003. Cowpea supplí and demand in west and central Africa. *Field Crops Research* 82:215-231.
- Lastra, O.; M.L. Tapia; B. Razeto & M. Rojas. 2009. Respuesta de la lechuga hidropónica a distintos tratamientos de nitrógeno: crecimiento y contenido de nitrógeno en las hojas. *IDESIA (Chile). Universidad de Tarapacá*. 27(1):83-89.
- Lavado, R.S.; C.A. Porcelli & R. Álvarez. 2001. Nutrient and heavy metal concentration and distribution in corn, soybean and wheat as affected by different tillage systems in the Argentine Pampas. *Soil & Tillage Research* 62:55-60.
- Layzell, D.B.; R.M. Rainbird; C.A. Atkins & J.S. Pate. 1979. Economy of photosynthate use in nitrogen-fixing legume nodules. *Plant Physiol*. 64:888-891.
- Lazovich, M.R.; J.L. Costa & P. Godz. 1985. Efecto de enmiendas y lavado sobre el desplazamiento catiónico y producción de materia seca de un Natracuol, en invernáculo. *Ciencia del Suelo*. 3(1-2):95-101.
- Ledesma, L.L. & J.J. Zurita. 1995. Carta de Suelos de la Estación Experimental Agropecuaria Colonia Benítez Chaco. INTA. EEA Presidente Roque Sáenz Peña (Chaco). 40 pp.
- Liebig, M.A.; G.E. Varvel; J.W. Doran & B.J. Wienhold. 2002. Crop sequence and nitrogen fertilization effects on soil properties in the western corn belt. *Soil Science Society American Journal*. 66:596-601.
- Ligier, H.D. & M. Méndez. 1996. Caupí Colorado. Utilización en pequeñas propiedades. INTA EEA Corrientes. 8 pp.

- Liu, J.; Peng, S.; B. Faivre Vuillin; Z. Xu; D. Zhang & G. Zhou. 2008. *Erigeron annuus* (L.) Pers., as a green manure for ameliorating soil exposed to acid rain in Southern China. *Journal Soils Sediments*. 8:452-460.
- Lopes da Luz, G.; S.L.P. Medeiros; P.A. Manfron; A. Dischkaln do Amaral; L. Muller; M. Guzman Torres & L. Mentges. 2008. A questao do nitrato em alface hidropónica e a saúde humana. *Ciência Rural*. 38(8)2388-2394.
- Loué, A. 1988. Los microelementos en Agricultura. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 354 pp.
- Lourenço, A.J.; E. Matsui; J. Delistoianoy; C. Boin & O. Bortoleto. 1993. Efeito de leguminosas tropicais na matéria orgânica do solo e na produtividade do sorgo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 17:263-268.
- Maas, E.V. 1993. Testing crops for salinity tolerance. Proceedings of the workshop on adaptation of plants to soil stresses. p 234-247. In: Maranville, J.W.; Balingar, B.V.; Duncan, R.R.; Yhoe, J.M. (Eds.) INTSORMIL Publication. Nº 94-2, University of Nebraska, Lincoln, EEUU. 348 pp.
- Madrid, R.; A. García Itarch; L. Almela & A. Roig. 1985. Cambiabilidad de cationes y eficacia de la fertilización potásica en suelos calizos. *Anales de Ciencias*. Universidad de Murcia. 44 (1-4):51-55.
- Malagi, S.C. 2005. Response of cowpea genotypes to plant density and fertilizer leves under rainfed vertisols. Thesis for the degree of Master of Science in Agronomy. University of Agricultural Sciences, Dharwad, India.
- Malavolta, E. 1989. Avalicão do estado nutricional das plantas: Principios e aplicações. *Asociación brasilera para pesquisa de potasio y fosfato*. pp. 31, 83, 85.
- Maroto, J.V. 2002. Horticultura herbácea especial. 5º Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 702 pp.
- Martín, G.M. & R. Rivera. 2004. Mineralización del nitrógeno incorporado con los abonos verdes y su participación en la nutrición de cultivos de importancia económica. *Cultivos Tropicales*. 25(3):89-96.

- Martín, G.M.; J.R. Costa Rouws; S. Urquiaga & R.A. Rivera. 2007. Rotación del abono verde *Canavalia ensiformis* con maíz y micorrizas arbusculares en un suelo Nitisol ródico eutrítico de Cuba. *Agronomía Tropical* 57(4):313-321.
- Martins, L.M.V.; G.R. Xavier; F.W. Rangel; J.R.A. Ribeiro; M.C.P. Neves; L.B. Morgado & N.G. Rumjanek. 2003. Contribution of biological nitrogen fixation to cowpea: a strategy for improving grain yield in the semi-arid region of Brazil. *Biol Fertil Soils*. 38:333-339.
- Minoldo, G.V.; J.A. Galantini; J.O. Iglesias; H. Fruger & S. Venanzi. 2008. Dinámica de las fracciones orgánicas de suelo bajo diferentes rotaciones en la región semiárida pampeana. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Potrero de Funes, San Luis. Argentina.
- Ministerio de Economía y Finanzas Públicas (MEcon). 2009. Secretaría de Política Económica Plan de Competitividad Conglomerado Hortícola del Cinturón Verde de Resistencia, Chaco. Programa Competitividad Norte Grande.
- Melgar, R. 2005. El Mercado de fertilizantes en la Argentina y su relación con el sector agropecuario. En Sainz Rozas, H.R.; Echeverría, H.E.; Agelini, H.P. 2011. Niveles de carbono orgánico y pH en suelos agrícolas de las regiones pampeana y extra pampeana Argentina. *Ciencia del Suelo*. 29(1):29-37.
- Miranda, R.S.; L.S. Lopes; F.B. Sudérico; E.C. Marques; F.R.B. Fernandes & E. Gomes Filho. 2013. Accumulation and partition of Fe, Na, Zn and Cu in macronutrient deficient cowpea plants. III Congresso Nacional de Feijão – Caupí. Recife. Brasil. <http://www.conac2012.org/resumos/pdf/162b.pdf> [Fecha de consulta 12/01/2012].
- Mizuno, I. 1981. Fósforo en suelos argentinos. *Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria*. Tomo XXXV Nº 6. 15 pp.
- Moreira, J.A.A.; M.T.M. Carvalho; A.E. Wander & A.D. Didonet. 2007. Growth and productivity of maize cultivated in no-tillage in succession of different cover crops. Witzhausen, Germany. 6 pp.

- Mortvedt, J.J. 2009. Calculating Salt Index. Agronomic Library http://www.spectrumanalytic.com/support/library/ff/salt_index_calculation.htm [Fecha de Consulta 21/10/2010].
- Muchow, R.C. 1985. Stomatal behaviour in grain legumes grown under different soil water regimes in a semi-arid tropical environment. *Field Crops Research*, 11: 291-307.
- Nascimento, J.T.; I.F. Silva; R.D. Santiago & L.F. Silva Neto. 2003. Efeito de leguminosas nas características químicas e matéria orgânica de um solo degradado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 7(3):457-462.
- Natscher, L & U. Schwertmann. 1993. Soil solutions of organic horizons in same acid forest soils. *Z. Pflanzenernahr. Bodenk.* 156:245-252.
- Ngouajio, M.; M.E. McGiffen Jr & C.M. Hutchinson. 2003. Effect of cover crop and Management system on weed populations in lettuce. *Crop Protection*. 22:57-64.
- Nielsen, S.S.; C.I. Osuala & W.E. Brandt. 1994. Early leaf harvest reduces yield but not protein concentration of cowpea seeds. *HortScience*. 29(6):631-362.
- Niquén Bardales, E.C. & C.A. Venialgo Chamorro. 2000. Respuesta a solarización en cultivo de soca de caupí [*Vigna sinensis* (L.) Savi], en Corrientes. *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas*. Universidad Nacional del Nordeste.
- Nye, P.H. 1966. The effect on the nutrient intensity and buffering power of a soil and the absorbing power, size and root hairs of a root, on the nutrient absorption by diffusion. *Plant and Soil*. 25: 81-105.
- Ogbuchiekwe, E.J. & M.E. McGiffen, Jr. 2004. Economic return in production of lettuce and cantaloupe is affected by cropping system and management practice. *HortScience*. 39(6):1321-1325.

- Olaniyi, J.O. 2008. Comparative effects of the source and level of nitrogen on the yield and quality of lettuce. *American Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*. 2(3):225-228.
- Onuh, M.H. & K.M. Donald. 2009. Effects of water stress on the rooting, nodulation potentials and growth of cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]. *Science World Journal*. 4(3):31-34.
- Ozores-Hampton, M.; P.A. Stansly; R. McSorley & T.A. Obreza. 2005. Effects of Long-term organic amendments and soil solarization on pepper and watermelon growth, yield, and soil fertility. *HortScience*. 40(1):80-84.
- Page A.L.; R.H. Miller & D.R. Keeney. 1982. *Methods of soil analysis, Cap. 2, Chemical and microbiological properties*, 2° edition, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, EEUU.
- Padovan, M.P.; D.L. Almeida; J.M.M. Guerra; R.L.D. Ribeiro & A. Ndiaye. 2002. Avaliação de cultivares de soja, sob manejo orgânico, para fins de adubação verde e producto de grãos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 37(12): 1705-1710.
- Paré, D. & K. Van Cleve. 1993. Soil nutrient availability and relationships with aboveground biomass production on postharvested upland White spruce sites in interior Alaska. *Canadian Journal Forestal Research*. 23:1223-1232.
- Paredes, F.A.; H.R. Bogado; S.L. Esparza; M.A. Talabera & A.U. McCargo. 2012. Descripción de poblaciones de caupí [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] de usos múltiples en la agricultura familiar de Corrientes. XXIII Reunión de Comunicaciones Científicas, Técnicas y de Extensión. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Nordeste.
- Parodi, L.R. & M.J. Dimitri. 1972. *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería*. Editorial ACME SACI, Buenos Aires. 532 pp.
- Percorari. C. & M.J. Alassia. 1998. Efecto del estado hídrico inicial sobre La compactación de los suelos. *Información técnica para Productores 1997-1998*.

- Publicación Miscelánea N° 89. 209 pp. EEA INTA Rafaela. rafaela.inta.gov.ar/info/documentos/productores97_98/prod_p108.htm [Fecha de consulta 21/07/2010].
- Perín, A.; R.H. Silva Santos; S. Urquiaga; J.G. Marinho Guerra & P.R. Cecon. 2004. Efeito residual da adubação verde no rendimento de brocolo (*Brassica oleraceae* L.) var. Italica) cultivado em sucessão ao milho (*Zea mays* L.) Ciência Rural, Santa María. 34(6):1739-1745.
- Picone, L.I. & E. Zamuner. 2002. Fósforo orgánico y fertilidad fosfórica. INPOFOS. Simposio de Fósforo: Enfoque sistémico de la fertilización fosfórica. pp. 11-15.
- Picone, L.I. 2006. Propiedades del suelo relacionadas con la fertilidad. p 3-13. En: Echeverría, H.E. & F.O. García. (Eds.) Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Editorial INTA. Buenos Aires, Argentina. 525 pp.
- Pletch, A. 2003. Poroto San Francisco. Proyecto Regional de Pequeños Productores. INTA. EEA Corrientes.
- Pose, N.N.; E.C. Zamuner & H.E. Echeverría. 2012. Grado de saturación y riesgo de pérdidas de fósforo en un molisol del sudeste bonaerense cultivado con papa. Ciencia del Suelo. 30(1):1-8.
- Prause, J. 2003. Relación lignina/celulosa y estacionalidad de micronutrientes en hojas de arboles forestales del parque chaqueño. Tesis doctoral Universidad Nacional del Nordeste. Corrientes, Argentina.
- Prause, J.; A.P. Lifschitz & C. Fernández López. 2005. Dinámica de la mineralización de nutrientes en residuos de cosecha del algodón en un Ustocrept údico. Agrochimica Edizioni Plus-Universita di Pisa. 49(5-6):175-181.
- Quant Bermúdez, J.F. & A. Driutti. 2000. Ensayo exploratorio sobre dosis creciente de triple 15 en la preparación de lombriabono. Agrotecnia. 5:38-40.
- Ramos, M.G.; M.A.A. Villatoro; S. Urquiaga; B.J.R. Alves & R.M. Boddey. 2001. Quantification of the contribution of biological nitrogen fixation to tropical green

- manure crops and the residual benefit to a subsequent maize crop using ^{15}N -isotope techniques. *Journal of Biotechnology*. 91-105-115.
- Rapaccioli, G.L.; N.N. Fernández & C.M. Aguirre. 2001. Efecto de la fertilización nitrogenada y densidad de siembra en lechuga (*Lactuca sativa*) en suelos arenosos de Corrientes. *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas*. Universidad Nacional del Nordeste.
- Ratto, S. & N. Fatta. 1990. Disponibilidad de micronutrientes en suelos del área maicera núcleo. *Ciencia del Suelo*. 8(1):9-15.
- Ratto, S & L. Giuffré. 2006. Los nutrientes y la calidad del ambiente. p 503-520. En: Echeverría, H.E. & F.O. García (Eds.) *Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos*. Editorial INTA. Buenos Aires, Argentina. 525 pp.
- Ratto, S.; L. Giuffre & C. Sainato. 1997. Variación espacial de micronutrientes en suelo y planta en un molisol. *Ciencia del Suelo*. 15:39-41.
- Rattler, S.; K. Briviba; B. Birzele & U. Kopke. 2005. Effect of Agronomic management practices on lettuce quality: in *Researching Sustainable Systems*. International Scientific Conference on Organic Agriculture, Australia. 188-191.
- Relic, B.; X. Perret; M.T. Estrada García; J. Kopcinska; W. Golinowski; H.B. Krishnan; S.G. Pueppke & W.J. Broughton. 1994. Nod factors of *Rhizobium* are a key to the legume door. *Molecular Microbiology*. 13(1):171-178.
- Resende, G.M.; M. Alvarenga; J. Yuri & R.J. Souza. 2010. Doses de nitrogênio e molibdeno no rendimento e teor de micronutrientes em alface americana. *Horticultura Brasileira* 28:266-270.
- Retamoso, H. 2010. Comunicación personal.
- Rezende Alvarenga, M.A; E.C. Da Silva; R.J. De Souza & J. Guedes de Carvalho. 2003. Alface americana, em função da aplicação de nitrogênio no solo e de calcio via foliar. *Revista Ciência e Agrotecnologia*, Lavras. Edição Especial 1569-1575.

- Rimski-Korsakov, H.; G. Rubio; I. Pino & R.S. Lavado. 2008. Destino del nitrógeno del fertilizante en un cultivo de maíz. International Plant Nutrition Institute (IPNI). Informaciones Agronómicas del Cono Sur #39.
- Rivin, J.M. 2007. Co-Composting and characterization of swine waste solids and its use as a soil amendment in a field study: The effects of duration of composting. Thesis and dissertation for the degree of Doctor of Philosophy Biological and Agricultural Engineering. North Carolina State University. EEUU.
- Roca, N.; M.S. Pazos & J. Bech. 2007. Disponibilidad de cobre, hierro, manganeso, zinc en suelos del NO argentino. *Ciencia del Suelo*. 25(1):31-42.
- Rotela, D.A.; M.C. Iglesias & G. Caram. 2003. Inoculación en caupí (*Vigna sinensis*). Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. Universidad Nacional del Nordeste <http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/cyt/2003/comunicaciones/05-Agrarias/A-051.pdf> [Fecha de consulta 21/07/2008].
- Rotondo, R.; I.T. Firpo; L. Ferreras; S. Toresani; S. Fernandez & E. Gómez. 2009. Efecto de La aplicación de enmiendas orgánicas y fertilizante nitrogenado sobre propiedades edáficas y productividad en cultivos hortícolas. *Horticultura Argentina*. 28(66):18-25.
- Rubio Cajiao, J.M. 2006. Efecto de Canavalia, Dolichos, Mucuna y Cowpea en la población de coyolillo (*Cyperus rotundus*) insectos, nematodos y fertilidad del suelo. Escuela Agrícola Panamericana. Tegucigalpa, Honduras. 22 pp. http://zamo-oti-02.zamorano.edu/tesis_infolib/2006/T2311.pdf [Fecha de consulta 21/07/2008].
- Rusinamhodzi, L. 2006. Effects of cotton – cowpea intercropping on crop yields and soil nutrient status under Zimbabwean rain-fed conditions. Thesis. University of Zimbabwe, Faculty of Agriculture, Soil Science, Zimbabwe.
- Sainz Rozas, H.R.; H.E. Echeverría & H.P. Angelini. 2011. Niveles de carbono orgánico y pH en suelos agrícolas de las regiones pampeana y extra pampeana Argentina. *Ciencia del Suelo*. 29(1):29-37.

- Sakai, R.H.; E.J. Ambrosano; A.C.A. Negrini; P.C.O. Trivelin; E.A. Schammas & P.C. Tavares de Melo. 2003. N transfer from green manures to lettuce in an intercropping cultivation system. *Acta Scientiarum Agronomy*. 33(4):679-686.
- Salgado García, S.; D.J. Palma Lopez; R. Nuñez Escobar; L.C. Lagunes Espinoza; H. Debernardi de la Vequia & R.H. Mendoza Hernández. 2006. Manejo de fertilizantes y abonos orgánicos. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Instituto para el Desarrollo de Sistemas de Producción del Trópico Húmedo de Tabasco. México. 211 pp.
- Salisbury, F.B. & C.W. Ross. 1994. *Fisiología Vegetal*. Grupo Editorial Iberoamericana. México. 759 pp.
- Sánchez, T.M. 2010. Evaluación de la calidad de lechuga (*Lactuca sativa* L.) respecto a su contenido de nitratos y materia seca. *Revista de la Facultad de Agronomía. Universidad de La Pampa*. 21:29-36.
- Satorre, E. 2005. Cambios tecnológicos en la agricultura Argentina actual. *Ciencia Hoy*. 15:24-31
<http://www.agro.uba.ar/users/dsorlino/Satorre%20Anexo%203%20en%20colores.pdf> [Fecha de consulta 21/07/2008].
- Sayago, S.; M. Bocco; C. Díaz & G. Ávila. 2009. Evaluación de variables económicas y productivas para el sector hortícola en el cinturón verde de Córdoba en años pre y post devaluación de 2002. *Horticultura Argentina*. 28(67):43-49.
- Schroeder, J.L.; B.A. Kahn & J.Q. Lynd. 1998. Utilization of cowpea crop residues to reduce fertilizer nitrogen inputs with fall broccoli. *Crop Science*. 38:741-749.
- Schroeder, P.D.; D.E. Radcliffe; M.L. Cabrera & C.D. Belew. 2004. Relationship between soil test phosphorus and phosphorus in runoff: effects of soil series variability. *Journal Environmental Quality*. 33(4):1452-1463.
- Schlesinger, W.H. 2000. *Biogeoquímica. Un análisis del cambio global*. Editorial Ariel. S.A. Barcelona, España. 577 pp.

- Sebetha, E.T. 2009. Evaluation of yield and protein content of two cowpea cultivars grown under different management practices. Thesis and Dissertations. Faculty of Science and Agriculture. University of Limpopo Institutional Repository. <http://ul.netd.ac.za/handle/10386/579> [Fecha de consulta 13/02/2010]
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGPyA). 2005. Informe productivo regional noreste argentino. http://www.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-0/programas/economia_agraria/regionales/Informe%20NEA.pdf [Fecha de consulta 21/07/2008].
- Sebilo, M.; B. Mayer; B. Nicolardot; G. Pinay & A. Mariotti. 2013. Long-term fate of nitrate fertilizer in agricultural soils. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS) Early Edition. www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1305372110 [Fecha de consulta 09/12/2013].
- Shackel, K.A. & A.E. Hall. 1983. Comparison of water relations and osmotic adjustment in sorghum and cowpea under field conditions. *Australian Journal of Plant Physiology*, 10(5): 423-435.
- Shindoi, M.; J. Prause & P.L. Jover. 2012. Descomposición de *Vigna unguiculata* (caupí) en un Argiudol típico de Colonia Benítez, Chaco. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*. 38(1):86-90.
- Shannon, M.C. & C.M. Grieve. 1999. Tolerance of vegetable crops to salinity. *Scientia Horticulturae*. 78 1999, 5-38.
- Silva Santos, R.H.S.; F. Silva; V.W. Dias Casali & A.R. Conde. 2001. Efeito residual da adubação com composto orgânico sobre o crescimento e produção de alface. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 36(11):1395-1398.
- Silva, G.T.A.; L.V. Matos; P. Nobrega; E.F.C. Campello & A.S. Resende. 2008. Chemical composition and decomposition rate of plants used as Green manure. *Scientia Agricola*. 65(3):298-305.

- Singh, M.; A. Singh; S. Singh; R.S. Tripathi; A.K. Singh & D.D. Patra. 2010. Cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] as a green manure to improve the productivity of a menthol mint (*Mentha arvensis* L.) intercropping system. *Industrial Crops and Products*. 31:289-293.
- Siomos, A.S.; P.P. Papadopoulou; C.C. Dogras; E. Vasiliadis; A. Dosas & N. Georgiou. 2002. Lettuce composition as affected by genotype and leaf position. *Acta Horticulturae*. 579: 635-639.
- Sívori, E.M.; E.R. Montaldi & O.H. Caso. 1980. *Fisiología Vegetal*. Editorial Hemisferio Sur. 679 pp.
- Snapp, S.S.; S.M. Swinton; R. Labarta; D. Mutch; J.R. Black; R. Leep; J. Nyiraneza & K. O'Neil. 2005. Evaluating cover crops for benefits, costs and performance within cropping system niches. Review and interpretation. *Agronomy Journal*. 97:322-332.
- Soleymani, A.; M.H. Shahrajabian & M. Khoshkham. 2012. Green manuring effects of different cereals on organic carbon and soil physical properties. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*. 4(7):359-363.
- Sorensen, J.N.; A.S. Johansen & N. Poulsen. 1994. Influence of growth conditions on the value of crisphead lettuce. *Plant foods for Human Nutrition*. 46:1-11.
- Souza, P.A.; M.Z. Negreiros; J.B. Menezes; F. Bezzerra Neto; G.L.F.M. Souza; C.R. Carneiro & R.C.F. Queiroga. 2005. Características químicas de folhas de alface cultivada sobre feito residual da adubação com composto orgânico. *Horticultura Brasileira*. 23(3):754-757.
- Steel, R.G.D. & J.H. Torrie. 1993. *Bioestadística: Principios y procedimientos*. 2° Edición. México. 622 pp.
- Steinbach, H.S. & R. Álvarez. 2005. Changes in soil organic carbon contents and nitrous oxide emissions after introduction of no-till in pampean agroecosystems. *Journal of Environmental Quality*. 35:3-13.

- Strahler, A.N. & A.H. Strahler. 1997. Geografía Física. 3º Edición. Editorial Omega. Barcelona España. 550 pp.
- Studdert, G.A.; H.E. Echeverría & E.M. Casanovas. 1997. Crop-pasture rotation for sustaining the quality and productivity of a Typic Argiudol. Soil Science Society of America Journal. 61:1466-1472.
- Studdert, G.A.; & H.E. Echeverría. 2000. Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. Soil Science Society of America Journal. 64:1496-1503.
- Sullivan, P. 2003. Overview of cover crops and green manures. Appropriate Technology Transfer for Rural Areas (ATTRA). http://attra.ncat.org/new_pubs/attra-pub/covercrop.html [Fecha de consulta 21/07/2009].
- Stevenson, F.J. & M.A. Cole. 1999. Cycles of soil: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients. 2º Edition. New York, EEUU. John Wiley & Sons. 427pp.
- Thönnissen, C.; D.J. Midmore; J.K. Ladha; R.J. Holmer & U. Schmidhalter. (2000a). Tomato crop response to short-duration legume green manures in tropical vegetable systems. Agronomy Journal. 92:245-253.
- Thönnissen, C.; D.J. Midmore; J.K. Ladha; D.C. Oik & U. Schmidhalter. 2000b. Legume decomposition and nitrogen release when applied as green manures to tropical vegetable production systems. Agronomy Journal. 92:253-260.
- Torres, O.V. & D.L. Hernández. 1988. Variabilidad en el contenido de micronutrientes para suelos cultivados con caña de azúcar. Ciencia del Suelo. 6(1):37-43.
- Torri, S.I.; S. Urricariet & R.S. Lavado. 2006. Micronutrientes y otros elementos traza. p 189-205. En: Echeverría, H.E. & F.O. García (Eds.) Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Editorial INTA, Buenos Aires, Argentina. 525 pp.
- Turazi, C.M.; A.M. Junqueira; S.A. Oliveira & L.A. Borgo. 2006. Acúmulo de nitrato em alface em função da adubação, horario de colheita e tempo de armazenamento. Horticultura Brasileira. 24:65-70.

- Uchoa Saunders, L.C.; P.T. Castro; F.M. Lima Bezerra & A.L. Cardoso Pereira. 1985. Evapotranspiración actual da cultura do feijão de corda, *Vigna unguiculata* (L.) Walp., na microrregião homogénea de Quixeramobim, Ceara. *Ciência Agronomica*, Fortaleza. 16(1):75-81.
- Vadas, P.A.; P.J.A. Kleinman; A.N. Sharpley & B.L. Turner. 2005. Relating soil phosphorus to dissolved phosphorus in runoff: a single extraction coefficient for water quality modeling. *Journal Environmental Quality*. 34:572-580.
- Valdés, A.; L. Marti; M.F. Filippini & C. Salcedo. 2004. Determinación de nitratos en vegetales. Comparación de cuatro métodos analíticos. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Cuyo*. Tomo XXXVI. 1:21-28.
- Vázquez, M.E. & A.E. Pellegrini. 1998. Caracterización y dinámica de la fertilidad fosforada de un sistema silvo-pastoril. *Agrochimica*. 42(5):446-452.
- Velázquez, J. de J.; J.R. Salinas; K.N. Potter; M. Gallardo; F. Caballero & P. Díaz. 2002. Cantidad, cobertura y descomposición de residuos de maíz sobre el suelo. *Terra Latino-americana*. 20(2):171-182.
- Vigliola, M.I.; E. Kramarovsky; J.C. Limongelli; C.A. Mundt; A. Chiesa; J.G. Reingeisen; J. Lozano; H. Vallejo; H.R. Sancho; C. Barón; S.M. Souto; M.E. Daorden & S. Pariani. 1993. *Manual de Horticultura*. Editorial Hemisferio Sur. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires, Argentina. 264 pp.
- Villafañe, R. & I. Pla. 1994. Efectos del riego y la lluvia sobre el desplazamiento vertical de sales en un suelo arcilloso de Venezuela. *Agronomía Tropical*. 44(4):707-729.
- Villafañe, R. 2000. Calificación de los suelos por sales y dispersión por sodio y su aplicación en la evaluación de tierras. *Agronomía Tropical*. 50(4):645-658.
- Wang, G.; M. Ngouajio; M.E. McGiffen & C.M. Hutchinson. 2008. Summer cover crop and in season management system affect growth and yield of lettuce and cantaloupe. *HortScience*. 43(5):1398-1403.

- Wild, A. 1992. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 1045 pp.
- Wyngaard, N. 2010. Efecto a largo plazo de la fertilización y los sistemas de labranza sobre las propiedades de un Argiudol y el rendimiento de maíz. Tesis Magister Scientiae. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina.