

# APF

Revista Agropecuaria y Forestal

Volumen 1 (1) 2012



Sociedad Dominicana de Investigadores Agropecuarios y Forestales  
(SODIAF)



## ***“La investigación al servicio de la producción”***

La Sociedad Dominicana de Investigadores Agropecuarios y Forestales (SODIAF) se fundó el 20 de febrero del año 1992 y es una organización sin fines de lucro, que agrupa a más de 200 investigadores agropecuarios y forestales del país.

### **Valores de la SODIAF:**

- *Calidad de la investigación*
- *Formación y crecimiento de sus miembros*
- *Promoción y difusión de las investigaciones*
- *Cooperación con instituciones nacionales e internacionales*
- *Establecimiento de un código ético*
- *Solidaridad con la mejora de las condiciones de trabajo para los investigadores*
- *Creación de opinión sobre nuevas tecnologías y problemas agropecuarios*

### **Misión de la SODIAF**

Es una Sociedad sin fines de lucro, comprometida con la formación, crecimiento, ética y condiciones de trabajo de los investigadores, que promueve la calidad, difusión y pertinencia de las investigaciones, la cooperación nacional e internacional y que orienta a la sociedad sobre el desarrollo científico y tecnológico del sector agropecuario y forestal.

### **Visión de la SODIAF**

Asegurar la calidad y pertinencia de las investigaciones agropecuarias y forestales en la República Dominicana; ser la primera institución dominicana de orientación sobre el desarrollo de tecnologías agropecuarias y forestales; y procurar un ambiente adecuado para el ejercicio del investigador.

# Revista APF

Órgano de difusión de la Sociedad Dominicana de Investigadores Agropecuarios y Forestales, SODIAF.

La Revista Agropecuaria y Forestal (APF) de la Sociedad Dominicana de Investigadores Agropecuarios y Forestales es un mecanismo para contribuir con la difusión e intercambio de información sobre el quehacer científico y tecnológico. Se pone a la disposición del Sistema Nacional de Investigaciones Agropecuarias y Forestales e investigadores de esos sectores en la región del Caribe y América Latina. Está dirigida a un público global, interesado en cualquiera de las disciplinas biofísicas o socioeconómicas que inciden en el desarrollo de la agropecuaria y los recursos naturales.

## Instituciones Auspiciadoras

- Ministerio de Agricultura (MA)
- Consejo Nacional de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (CONIAF)
- Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF)
- Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal, Inc. (CEDAF)
- Sociedad Dominicana de Investigadores Agropecuarios y Forestales (SODIAF)

## Correspondencia:

Toda la correspondencia dirigida a la Revista debe dirigirse al Editor en Jefe:

Ramón Arbona

Editor en Jefe

Revista Agropecuaria y Forestal

José Amado Soler 50, Ensanche Paraíso,

Santo Domingo, República Dominicana

(Oficinas del Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal, Inc. - CEDAF)

Teléfono: 809-565-5603 Ext 0 (CEDAF)

Fax: 809-544-4727 Atención SODIAF

Email: [sodiaf@sodiaf.org.do](mailto:sodiaf@sodiaf.org.do) • [editor.revista@sodiaf.org.do](mailto:editor.revista@sodiaf.org.do)

Sitio Web: [www.sodiaf.org.do](http://www.sodiaf.org.do)

**Cita correcta:** Revista APF. 2012. Volumen 1(1). Sociedad Dominicana de Investigadores Agropecuarios y Forestales (SODIAF).

Revista electrónica: <http://www.sodiaf.org.do/revista/index.php>

## Editor en Jefe

Ramón Arbona

## Editor Asociado

Pedro Núñez

## Consejo Editorial:

Dr. Amable Vásquez

Universidad Instituto Superior de Agricultura, R.D.

Ing. Yessica Sandoval

Instituto Profesional Santo Tomás, Chile

Dr. Freddy Contreras

Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, R.D.

Dr. Bielinski Santos

Universidad de Florida, USA.

Dr. Fausto Solís

Nestlé Dominicana

Dr. Edgar Cárdenas

Universidad Nacional de Colombia

Ing. Ángel Pimentel

Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, R.D.

Dr. David Sotomayor Ramírez

Universidad de Puerto Rico

Dr. Pedro Núñez

Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, R.D.

## Directiva SODIAF 2010-2012

Freddy Contreras

Presidente

Feliciano Andújar

Secretario General

Cándida Batista

Tesorera

Ángel Adames

Secretario de Organización, Actas y Correspondencias

Gonzalo Morales

Secretario de Publicaciones

Josefina Vólquez

Secretaria de Prensa y Propaganda

Pedro Núñez

Secretario de Relaciones Nacionales e Internacionales

Segundo Nova

Primer Vocal

Danna de la Rosa

Segundo Vocal

Ana Mateo Arnaud

Presidente de la Comisión de Ética y Disciplina

María Corporán

Miembro Comisión de Ética y Disciplina

Norma Fabián Calcagno

Miembro Comisión de Ética y Disciplina

## Diseño y Diagramación

Gonzalo Morales

**Foto de Portada:** Raíces con nódulos de una planta de Samán (*Samanea saman*)  
Feliciano Andújar

# Revista APF

Revista Agropecuaria y Forestal (APF)

Sociedad Dominicana de Investigadores Agropecuarios y Forestales, SODIAF



## Contenido y Autores

### Editorial

*Dr. Freddy Contreras, Presidente SODIAF*

### Editorial Especial

*Ing. Rafael Pérez Duvergé, Director Ejecutivo IDIAF*

### *Páginas* **Artículos Científicos**

- 1-8 Evaluación de leguminosas arbóreas en un Ultisol enmendado con cal y nutrientes  
*Feliciano A. Andújar*
- 9 -14 Eficiencia agronómica de fuentes de fertilizantes marcados con  $^{15}\text{N}$  en el cultivo de arroz (*Oryza sativa*)  
*Freddy S. Contreras, Fernanda L. Mendes, Rafael Otto, Gean C.S. Matias, Pablo J. Ghiberto y Paulo C. O. Trivelin*
- 15-20 Mineralización de nitrógeno en enmiendas orgánicas en condiciones de laboratorio  
*Glenny López Rodríguez y Juan Hirzel Campos*
- 21-28 Emisión de amoníaco y óxido nitroso en diferentes sistemas de pastoreo en el sur de Chile  
*Pedro Antonio Núñez, Rolando Demanet, Alejandra Jara y María de la Luz Mora*

### **Revisiones Bibliográficas**

- 29-40 ¿Es inocua la utilización de grasas y aceites reciclados que contienen dioxinas y policlorobifenilos, en la alimentación animal y humana?  
*José Alfredo Choque-López*
- 41-48 Revista Agropecuaria y Forestal (APF). Instrucciones para los autores

# Editorial

*La puesta en circulación de este primer número de la Revista Científica de la Sociedad Dominicana de Investigadores Agropecuarios y Forestales constituye un sueño hecho realidad. La Revista viene a formar parte del Sistema Nacional de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, y procura contribuir con la difusión de conocimiento científico y tecnológico a su vez con el desarrollo de la agropecuaria y la foresta dominicana.*

*El crecimiento de la población en las próximas décadas plantea un desafío para mejorar los sistemas de producción de alimentos a nivel global. La seguridad alimentaria de los países es una tarea que deben asumir todos los sectores que se sienten comprometidos con un mejor ambiente de paz. Además, la sostenibilidad de los sistemas agroalimentarios es una preocupación de todos. La SODIAF está comprometida con estos temas y a través de su revista científica pone a la disposición de la comunidad resultados y avances de investigación acordes con la demanda y las necesidades actuales de tecnología agropecuaria y forestal.*

*Los investigadores y la sociedad dominicana cuentan, a partir de este primer número, con un espacio en donde publicar sus hallazgos y reflexiones, que siendo debidamente examinados por técnicos editorialistas y por revisores con experiencia comprobada, resultan en artículos de una calidad con los estándares internacionales. La Revista se publicará dos veces al año, con temas relevantes y de alto valor científico o tecnológico.*

*La salida de este primer número de la Revista no hubiera sido posible sin la desinteresada y solidaria ayuda y colaboración del Ministerio de Agricultura, el Consejo Nacional de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (CONIAF), el Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF), el Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal (CEDAF) y el Ministerio de Educación Superior Ciencia y Tecnología (MESCyT). La SODIAF agradece sobremanera el apoyo de estas instituciones, que siempre han estado presentes en todas las actividades que se ha planteado la SODIAF, incluyendo los congresos que se realizan cada dos años.*

*Sirva este primer número para motivar a los investigadores de nuestro país y de la región a contribuir con sus trabajos. La esencia de la investigación es dar a conocer los resultados que de ella se derivan, para que sean debidamente transferidos, adoptados y puedan generar nuevas ideas o temas de investigación y mejorar los sistemas agroalimentarios de la nación.*

**Dr. Freddy Contreras Espinal**  
Presidente SODIAF

# Editorial Especial

*Con satisfacción recibimos la publicación de este primer número de la Revista Agropecuaria y Forestal, que surge como órgano para la comunicación científica de la Sociedad Dominicana de Investigadores Agropecuarios y Forestales de la República Dominicana, SODIAF. Este esfuerzo cuenta con el auspicio de instituciones como el Consejo Nacional de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, CONIAF, y el Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, IDIAF. La Revista viene a contribuir con la publicación de los resultados y avances de los trabajos de investigación, validación y transferencia de tecnología que ejecutan instituciones, tanto públicas como privadas, que conforman el subsistema de ciencia, tecnología e innovación del sector agropecuario y forestal de la República Dominicana, o personas interesadas.*

*El lanzamiento de esta Revista de la SODIAF cumple con un reclamo que se viene planteando desde hace tiempo por la comunidad técnica y científica que integran la SODIAF. Por años, dichos profesionales han encontrado limitaciones para publicar sus resultados de investigación, por el escaso número de revistas locales que cumplan con los estándares exigidos en la publicación de artículos científicos.*

*Asimismo, otros profesionales, ligados a sectores relacionados con la educación, la producción y la extensión, entre otros, también se han hecho eco de esta demanda. Todos destacan la importancia que tiene la divulgación de los hallazgos e informaciones de los trabajos de investigación y desarrollo tecnológico, como forma de ampliar y fortalecer sus conocimientos y de mantenerse al día con las nuevas innovaciones, sobre todo con aquellas generadas bajo las condiciones locales.*

*El número de publicaciones científicas y tecnológicas arbitradas que genera un país representa un indicador de desarrollo en general, pero de manera muy particular en áreas determinadas del conocimiento científico como lo es la investigación en ciencias agrícolas. Tal como se ha expresado, ciencias que no comunican no existen como tal, y los países como el nuestro necesitan mejorar sus indicadores de C&T, de los cuales el número de publicaciones arbitradas es uno de ellos.*

*Pero, además, los investigadores necesitan compartir con la comunidad científica y otros grupos de interés la información que contribuye con conocimientos y a un mayor entendimiento de áreas específicas de desarrollo de un país. No debe existir ninguna justificación para que no se publiquen resultados nuevos, originales, así como reflexiones o revisiones sobre temas de particular importancia para el desarrollo agrícola del país.*

*Este primer paso, aunque modesto, tiene un elevado valor para el desarrollo de las capacidades científicas y tecnológicas de las instituciones de C&T relacionadas con el sector agropecuario. Permitirá no solo una mayor diseminación de los conocimientos científicos, sino justificar también las inversiones que realizan el gobierno y la sociedad en su conjunto en nuestras instituciones, para que contribuyan de manera efectiva. Saludamos esta iniciativa de la SODIAF y es nuestra esperanza que en el futuro exista una oferta de trabajos para publicar, que contribuya a que la Revista pueda salir con la periodicidad prevista.*

**Ing. Rafael Pérez Duvergé**  
Director Ejecutivo IDIAF

# Evaluación de leguminosas arbóreas en un Ultisol enmendado con cal y nutrientes<sup>1</sup>

Feliciano A. Andújar<sup>2</sup>

El café (*Coffea arabica*) es el cultivo que mayor área ocupa en Puerto Rico, con 15,144 hectáreas. De esa área, 4,640 ha (31 %) se cultivan bajo sombra y 10,504 ha (69 %) se cultivan a pleno sol. En Puerto Rico el café está localizado en zonas donde predominan suelos ácidos y propensos a la pérdida por erosión hídrica. Es necesario promover sistemas de cultivo bajo sombra de árboles de leguminosas fijadoras de nitrógeno atmosférico. El objetivo principal de esta investigación fue evaluar 29 especies de leguminosas arbóreas en un Ultisol de Puerto Rico bajo condiciones de invernadero. Se utilizó un diseño de parcelas divididas en cuatro bloques aleatorizados. La parcela principal consistió en la enmienda (con y sin cal) y la subparcela, la especie. Se evaluó la longitud del tallo, la masa seca de la planta y el número y materia seca de los nódulos a los 180 días después de la siembra. Las medias fueron comparadas con Tukey ( $\alpha=0.05$ ). Los resultados indican que la longitud del tallo de las plantas fue igual en el suelo con y sin enmienda ( $p = 0.0651$ ). Las especies con más de 140 cm de longitud del tallo fueron: *Enterolobium cyclocarpum* (184 cm), *Leucaena leucocephala* (181 cm), *Calliandra houstoniana* (147 cm) y *Flemingia macrophylla* (140 cm). La materia seca promedio de las plantas fue superior para las especies en el suelo con enmienda (21.38 g) ( $p=0.0188$ ), siendo *Albizia procera*, *Erythrina poeppigiana* y *Leucaena leucocephala* las que respondieron mejor a este tratamiento. El número de nódulos fue superior ( $p < 0.01$ ) para *Inga vera* (176 nódulos) en el suelo sin enmienda. La materia seca de nódulos fue superior ( $p < 0.01$ ) para *Pterocarpus indicus* (1.32 g), *Samanea saman* (1.20 g) y *Albizia lebbbeck* (0.97 g), todas en el suelo sin enmienda.

**Palabras claves:** Nódulos, *Rhizobium*, *Coffea arabica*, Enmiendas

## INTRODUCCIÓN

El café (*Coffea arabica*) es el cultivo que mayor área ocupa en Puerto Rico. El censo de 2007 del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos reportó un total de 15,144 hectáreas cultivadas de café. De ese total, 4,640 ha (31 %) se cultivan bajo sombra, con una cosecha de 1,936 Mg (24 % de la producción total) y un rendimiento estimado de 0.42 Mg ha<sup>-1</sup>. El cultivo a pleno sol ocupa un área de 10,504 ha (69 %), con una cosecha de 6,256 Mg (76 % de la producción total; USDA 2009) y un rendimiento de 0.60 Mg ha<sup>-1</sup>. El consumo para el año 2005 fue de 6,480 Mg (USDA 2007).

El café a sol requiere mayores cantidades de fertilizantes, plaguicidas y mano de obra, con un efecto en la disminución en la biodiversidad (O'Connell 2004) y en la calidad de los acuíferos (Ryan *et al.* 2001). En el café a pleno sol

ocurre una mayor pérdida de suelo y nutrientes por efecto de la erosión (Arellano 2001, Siebert 2002, DaMatta 2004).

En Puerto Rico, el cultivo de café está localizado en zonas marginales donde predominan suelos ácidos y propensos a la pérdida por erosión hídrica (Muñiz-Torres y Monroig-Inglés 1994, Cruz y Schröder 2006, Arango 2007). Estos suelos son, en su mayoría, del orden Ultisol (44.7 %), y dentro de estos predomina la serie Humatas en un 22.5 % (Cruz y Schröder 2006). Es necesario, entonces, promover sistemas de cultivo bajo sombra de árboles de leguminosas fijadoras de nitrógeno atmosférico, puesto que contribuyen con la agricultura sustentable mediante la restauración, el mantenimiento de la fertilidad de los suelos y el combate de la erosión (Danso *et al.* 1992).

Las leguminosas constituyen una familia de

<sup>1</sup> Aceptado para publicación el 1/09/2011

<sup>2</sup> Universidad de Puerto Rico, Recinto Mayagüez. Investigador Asistente. Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF), Estación Experimental Mata Larga. Tel: (809)588-6400 ext. 28. Correo electrónico: fandujar@idiaf.gov.do

aproximadamente 727 géneros y cerca de 19,325 especies (Lewis *et al.* 2005). La característica más importante que posee la mayoría de las plantas de esta familia es la de fijar nitrógeno de la atmósfera mediante la simbiosis con bacterias de la Familia *Rhizobiaceae* (*Rhizobium* y *Bradyrhizobium*). La Familia *Leguminosae* se ha dividido en tres sub-familias: *Mimosoideae*, *Caesalpinioideae* y *Papilionoideae* (Allen y Allen 1981, Sprent 2001, Lewis *et al.* 2005, Sprent 2007).

Para mejorar las condiciones de los suelos en la zona cafetalera de Puerto Rico, se han recomendado medidas como la aplicación de cal para aumentar el pH, y la aplicación de nutrientes (Muñiz-Torres y Monroig-Inglés 1994). Sin embargo, a nivel local no existe información sobre el efecto de esta enmienda en el crecimiento de las especies de leguminosas presentes en el cafetal y de otras con uso potencial.

El objetivo de la presente investigación fue identificar y cuantificar cuáles especies leguminosas responden mejor a la enmienda de cal y nutrientes. Los resultados del estudio servirán para ampliar la información disponible sobre el uso adecuado de esta enmienda y para identificar las especies leguminosas con mayor crecimiento y potencial de fijación de nitrógeno.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Localización y duración del experimento

El experimento se realizó en los invernaderos del Laboratorio de Fijación Biológica de Nitrógeno del Departamento de Agronomía y Suelos. Estos invernaderos están localizados en la Finca Alzamora de la Universidad de Puerto Rico, Recinto de Mayagüez. Geográficamente están ubicados en 18°13'09.1" latitud Norte y 67°08'55.8" longitud Oeste, a una altitud de 22 m sobre el nivel del mar. La temperatura promedio es de 28 °C.

### Procedencia y características del suelo utilizado

Se utilizó un suelo Ultisol de la serie Humatas. El suelo se extrajo de los primeros 30 a 40 cm de una zona no cultivada localizada entre los 18°10'45.1" latitud norte y 66°47'55.3" longitud

Oeste, en la Subestación Experimental de Adjuntas, Universidad de Puerto Rico. Antes de iniciar el experimento se tomó una muestra compuesta de este suelo. La muestra se secó al aire y se tamizó con una malla calibre 2.0 mm para su posterior análisis (Tabla 1). Se determinó el número de Rhizobios viables en el suelo mediante el conteo de infección de plantas conocido como 'Número más probable' (NMP; Somasegaran y Hoben 1994).

Para no alterar la población nativa de Rhizobios en el suelo, este no se esterilizó. Se pasó por un tamiz con aberturas de 4.5 cm<sup>2</sup> y luego se echó en tarros negros de polipropileno con capacidad para 10 kg.

### Especies de leguminosas arbóreas

Se utilizaron semillas de 29 especies de leguminosas arbóreas (Tabla 2), obtenidas del banco de semillas del Laboratorio de Fijación de Nitró-

Tabla 1. Propiedades químicas del suelo utilizado (2008). Subestación Experimental de Adjuntas, Universidad de Puerto Rico

Variable	Valores
pH	4.08
Materia orgánica (%)	0.92
Nitrógeno total (%)	0.06
Aluminio intercambiable (cmol <sub>(+)</sub> kg <sup>-1</sup> )	5.28
Fósforo (mg kg <sup>-1</sup> )	3.52
Calcio (cmol <sub>(+)</sub> kg <sup>-1</sup> )	0.85
Magnesio (cmol <sub>(+)</sub> kg <sup>-1</sup> )	0.51
Potasio (cmol <sub>(+)</sub> kg <sup>-1</sup> )	0.24
Nitratos (mg kg <sup>-1</sup> )	184
Amonio (mg kg <sup>-1</sup> )	22.4
Manganeso (mg kg <sup>-1</sup> )	27
Sulfato (mg kg <sup>-1</sup> )	122
Sodio (mg kg <sup>-1</sup> )	47
Zinc (mg kg <sup>-1</sup> )	1.59
Boro (mg kg <sup>-1</sup> )	0.427
Cobre (mg kg <sup>-1</sup> )	1.38
Arcilla (%)	40.80
Limo (%)	42.20
Arena (%)	17.00
NMP* (Rhizobios g <sup>-1</sup> suelo)	4.5 × 10 <sup>3</sup>

\*NMP= número más probable



geno, provenientes de árboles sanos localizados mediante puntos de coordenadas (GPS) en diferentes lugares de Puerto Rico, de ECHO (Educational Concerns for Hunger Organization) y de la República Dominicana (Tabla 2). Las semillas se escarificaron con ácido sulfúrico al 95 % y con agua destilada a 90 °C, luego se colocaron a pre-germinar con una temperatura de 28 °C en la oscuridad.

### Determinación de la cantidad de carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>)

La cantidad de cal a aplicar se determinó con el procedimiento sugerido por Abruña y Vicente (1955). Según este procedimiento, se tomaron muestras de 10 g de suelo tamizado a 2 mm. El suelo se diluyó en 100 ml de agua destilada y se añadieron cantidades variables de una solución 0.05 N de Ca(OH)<sub>2</sub>. La muestra se calentó durante 5 minutos y luego se dejó enfriar en una bandeja con agua a temperatura ambiente. Se midió el pH de la suspensión y con estos datos se hizo una curva de calibración, relacionando el pH con la cantidad de cal. La ecuación de calibración fue:  $y = 2809x + 2.942$ , ( $r^2=0.96$ ), con la cual se determinó la cantidad de cal requerida para incrementar el pH del suelo a 6.45.

### Diseño experimental

El diseño experimental utilizado fue Parcelas Divididas. Los niveles de la parcela principal fueron: a) con enmienda

Tabla 2. Especies utilizadas en el experimento evaluación de leguminosas arbóreas en un Ultisol enmendado con cal y nutrientes

Sub-familia	Especie (origen) <sup>1</sup>	Nombre común
		Puerto Rico / Rep. Dom. <sup>2</sup>
Mimosoideae	<i>Acacia angustissima</i>	Nd /
	<i>Acacia auriculiformis</i>	Nd
	<i>Acacia mangium</i> (NA)	Nd
	<i>Adenanthera pavonina</i> (NA)	Coralitos
	<i>Albizia lebeck</i> (NA)	Acacia amarilla / chá chá
	<i>Albizia procera</i> (NA)	Albicia
	<i>Anadenanthera peregrina</i> (NA)	Cojóbana, Cojobilla
	<i>Calliandra calothyrsus</i>	Nd
	<i>Calliandra houstoniana</i>	Nd
	<i>Cojoba arborea</i> (N)	Cojoba, Tamarindillo
	<i>Enterolobium cyclocarpum</i> (NA)	Dormilón, Oreja de mono
	<i>Inga vera</i> (N)	Guaba / Guama
	<i>Inga nobilis</i> subsp. <i>quaternata</i> <sup>3</sup> (NA)	Guamá venezolano
	<i>Leucaena diversifolia</i> (NA)	Nd /
	<i>Leucaena leucocephala</i> K-500 (NA)	Zarcilla / Leucaena
	<i>Pithecellobium carbonarium</i> (NA)	Carbonero
	<i>Pithecellobium dulce</i> (NA)	Guamá americano
	<i>Samanea saman</i> (NA)	Dormilón, Samán / Samán
	Papilionoideae	<i>Andira inermis</i> (N)
<i>Clitoria fairchildiana</i> (NA)		Nd / Laurel cubano
<i>Dalbergia sissoo</i> (NA)		Siso /
<i>Erythrina poeppigiana</i> (NA)		Brucayo, Bucayo gigante / Amapola
<i>Erythrina berteroana</i> (NA)		Bucayo enano / Amapola extranjera
<i>Flemingia macrophylla</i>		Nd
<i>Gliricidia sepium</i> (NA)		Madre de cacao, Mata ratón / Piñón cubano
<i>Ormosia krugii</i> (N)		Palo de matos, Peronía
<i>Pterocarpus indicus</i> (NA)		Terocarpus
<i>Sesbania grandiflora</i> (NA)		Báculo, Cresta de gallo, gallito
<i>Caesalpinioideae</i>		<i>Cassia javanica</i> (NA)

<sup>1</sup> Origen según Molina y Alemañy (1997), N= nativa NA= naturalizada.  
<sup>2</sup> República Dominicana.

<sup>3</sup> Esta especie se sembró tres meses después de las demás especies. Nd= No disponible.

[CaCO<sub>3</sub> a razón de 6.3 g kg<sup>-1</sup> de suelo, con una única aplicación al inicio del experimento, más 1.0 ml kg<sup>-1</sup> de suelo de la solución nutritiva de Fähræus sin nitrógeno (Somasegaran y Hoben 1994) aplicado mensualmente a partir del segundo mes después de la siembra]; y b) sin enmienda. Los niveles de las sub-parcelas fueron las 29 especies de leguminosas. Cada tratamiento se repitió cuatro veces. La unidad experimental estuvo compuesta por cinco plantas de una misma especie en cinco tarros con 10 kg de suelo (una planta en cada tarro).

### Manejo y duración del experimento

Las semillas pre-germinadas se sembraron entre el 15 enero y el 8 de febrero del 2008. Durante el experimento las plantas se regaron diariamente con agua corriente para mantener un nivel adecuado de humedad en el suelo. El control de malezas y plagas se hizo manualmente. Transcurridos 180 días después de la siembra, las plantas se extrajeron de los tarros y el suelo adherido a las raíces se eliminó con agua corriente, evitando dañar las raíces y los nódulos.

### Variables estudiadas

A los 180 días, se hicieron las siguientes mediciones: longitud del tallo (desde el cuello de la

raíz al brote apical), masa seca de la planta, número de nódulos por planta y masa seca de nódulos por planta.

### Análisis estadístico

Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza (ANAVA) con un nivel de significación del 5 %. Para comparar promedios de tratamientos se utilizó la prueba de Tukey al 5 % de significación estadística. Los datos del número de nódulos se transformaron con la función  $\sqrt{x+1}$ , siendo x el número de nódulos. Los datos de materia seca de nódulos se transformaron con la función  $\sqrt{x+0.5}$ , donde x es la materia seca de nódulos planta<sup>-1</sup>. Debido a que hubo una alta mortalidad de plantas de la especie *Pithecellobium carbonarium*, esta especie no se tomó en cuenta para el análisis estadístico. Por lo tanto el análisis abarcó 28 especies.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Longitud del tallo de las plantas

Para la longitud promedio del tallo hubo diferencias estadísticas entre especies (p<0.01). Las especies se clasificaron como de crecimiento rápido (R, mayor a 100 cm), de crecimiento medio

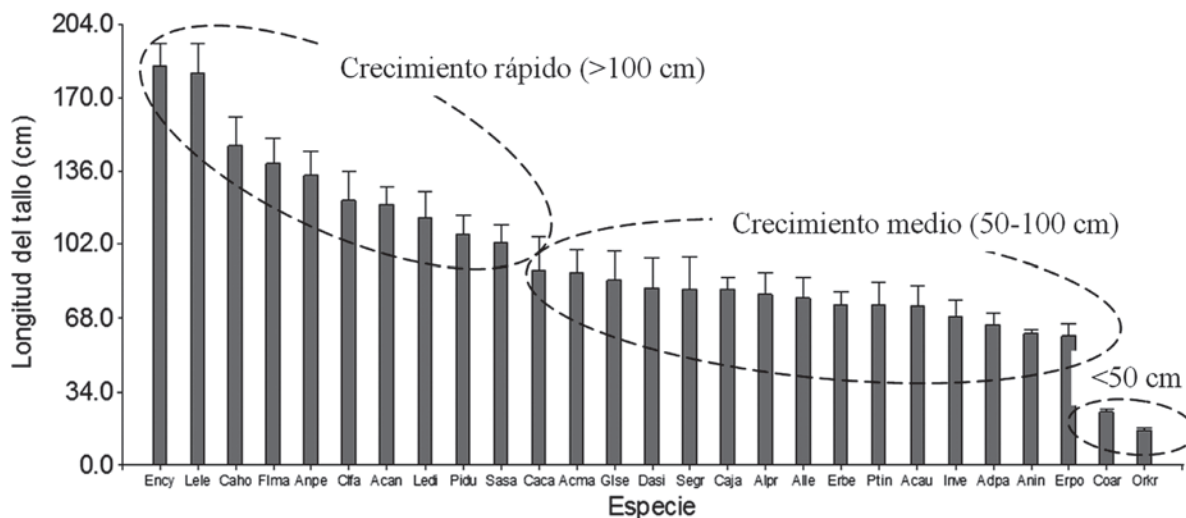


Figura 1. Longitud del tallo de especies arbóreas a los 180 días después de la siembra en un Ultisol enmendado con cal y nutrientes. Puerto Rico, 2009. Ency, *E. cyclocarpum*; Lele, *L. leucocephala*; Caho, *C. houstoniana*; Flma, *F. macrophylla*; Anpe, *A. peregrina*; Clfa, *C. fairchildiana*; Acan, *A. angustissima*; Ledi, *L. diversifolia*; Pidul, *P. dulce*; Sasa, *S. saman*; Caca, *C. calothyrsus*; Acma, *A. mangium*; Glse, *G. sepium*; Dasi, *D. sissoo*; Segr, *S. grandiflora*; Caja, *C. javanica*; Alpr, *A. procera*; Alle, *A. lebbeck*; Erbe, *E. berteriana*; Ptin, *P. indicus*; Acau, *A. auriculiformis*; Inve, *I. vera*; Adpa, *A. peregrina*; Anin, *A. inermis*; Erpo, *E. poeppigiana*; Coar, *C. arborea*; Orkr, *O. krugii*; Inno, *I. nobilis*. Tukey,  $\alpha=0.05$ , DMS=51.5. Las barras representan el error estándar de la media.

(M, entre 50 y 100 cm) y de crecimiento lento (L, menor de 50 cm). Las especies que se clasificaron como de crecimiento rápido fueron: *E. cyclocarpum* (184 cm), *L. leucocephala* (181 cm), *C. houstoniana* (147 cm), *F. macrophylla* (139 cm), *A. peregrina* (134.13 cm), *C. fairchildiana* (122.5 cm), *A. angustissima* (120.42 cm), *L. diversifolia* (114.25 cm), *P. dulce* (106.76 cm) y *S. saman* (102.63 cm; Figura 1).

De las veintiocho especies evaluadas, diez (36 %) eran de crecimiento rápido y de estas, ocho especies pertenecían a las *Mimosoideae* y dos a las *Papilionoideae*. Quince especies (53 %) eran de crecimiento medio y de estas, siete pertenecían a las *Mimosoideae*, siete a las *Papilionoideae* y una a las *Caesalpinioideae*. Tres especies (11 %) eran de crecimiento lento, y todas pertenecían a las *Mimosoideae* (Figura 1).

Las longitudes de los tallos de las especies *E. cyclocarpum*, *C. houstoniana* y *C. arborea*, en el presente experimento, fueron superiores a los reportados por Santana (2007). Sin embargo, coinciden en que las dos primeras se encuentran entre las más altas y la tercera fue la de menor crecimiento. Para *A. procera* la longitud del tallo (79.11 cm) fue inferior (94.1 cm) al reportado por Santana (2007).

## Contenido de materia seca de las plantas

El análisis de varianza para la materia seca arrojó diferencias estadísticas significativas para la interacción enmienda por especie  $p < 0.01$ ; entre especies  $p < 0.01$ ; y entre enmienda  $p = 0.0188$ ; (Figura 2). En el tratamiento con enmienda, se obtuvo un valor máximo de 65.3 g para *L. leucocephala* y un valor mínimo de 4.10 g para *O. krugii*.

Las especies con mayor materia seca, con enmienda que sin enmienda, fueron (de mayor a menor): *L. leucocephala* (65.3 g) y *A. procera* (41.8 g). Estas fueron estadísticamente iguales (Figura 2). La especie *E. poeppigiana* (25.2 g) fue estadísticamente igual a *E. cyclocarpum*, *A. procera* y *F. macrophylla*. *E. cyclocarpum* respondió igual con la enmienda y sin la enmienda (48.4 y 38.9 g, respectivamente). Las especies *I. vera* (con=12.4 g, sin=19.2 g), *A. inermis* (con=18 g, sin=15.8 g) y *E. poeppigiana* (con=25.2 g, sin=6.3 g) respondieron indistintamente a la enmienda.

Hubo una correlación positiva ( $r = 0.71$ ) entre la longitud del tallo y la materia seca total de las plantas. La ecuación de regresión que se generó a partir de los datos fue la siguiente:  $y = -0.11 + 0.21x$  ( $r^2 = 0.50$ ) donde  $y$  es la materia seca total y  $x$  la longitud del tallo.

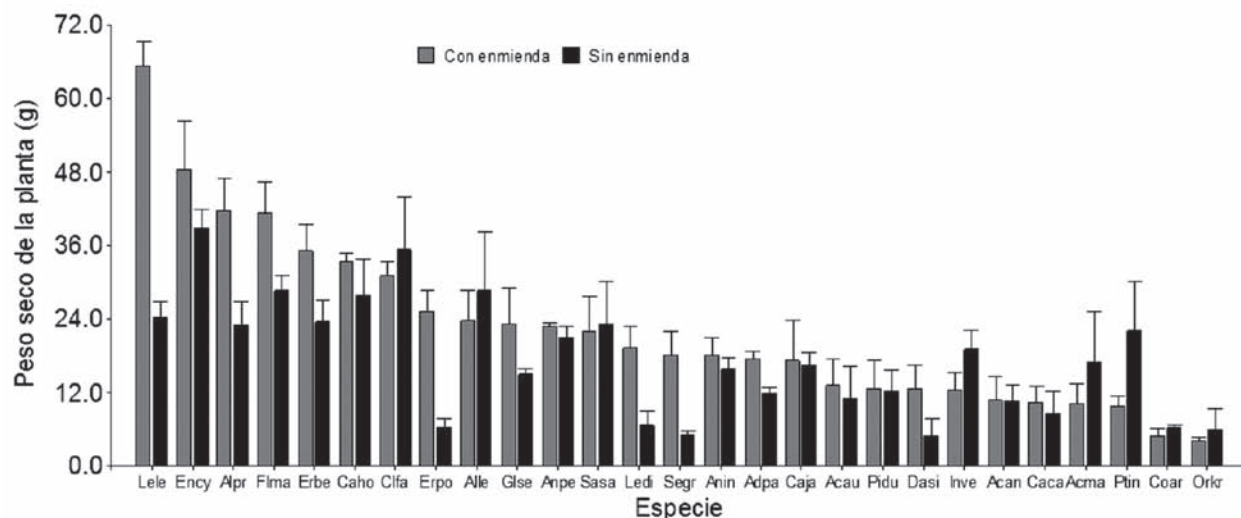


Figura 2. Materia seca total de las leguminosas arbóreas del experimento Lele, *L. leucocephala*; Ency, *E. cyclocarpum*; Apr, *A. procera*; Flma, *F. macrophylla*; Erbe, *E. berteroana*; Caho, *C. houstoniana*; Clfa, *C. fairchildiana*; Erpo, *E. poeppigiana*; Alle, *A. lebeck*; Glse, *G. sepium*; Anpe, *A. peregrina*; Sasa, *S. saman*; Ledi, *L. diversifolia*; Segr, *S. grandiflora*; Anin, *A. inermis*; Adpa, *A. peregrina*; Caja, *C. javanica*; Acau, *A. auriculiformis*; Pidú, *P. dulce*; Dasi, *D. sissou*; Inve, *I. vera*; Acan, *A. angustissima*; Caca, *C. calothyrsus*; Acma, *A. mangium*; Ptin, *P. indicus*; Coar, *C. arborea*; Orkr, *O. krugii*; Inno, *I. nobilis*. Tukey,  $\alpha = 0.05$ , DMS=24.31344. Las barras representan el error estándar de la media.

Se registró un efecto positivo de la enmienda en las plantas. En el presente experimento la especie que respondió mejor a la enmienda fue *L. leucocephala*, ya que obtuvo una masa seca de 65.28 g. El comportamiento superior de *L. leucocephala* en el suelo enmendado es consistente con lo reportado por otros autores (Naidu *et al.* 1990, Yamoah *et al.* 1998).

### Número de nódulos

El análisis de varianza para el número de nódulos arrojó diferencias estadísticas significativas para la interacción enmienda por especie ( $p=0.002$ ) y para especies ( $p<0.01$ ). El análisis indica que el efecto de la enmienda depende de

la especie. De las 28 especies evaluadas 22 (76 %) nodularon con y sin enmienda. Dos especies (7 %) nodularon sólo en el suelo con enmienda, mientras que cuatro (14 %) no nodularon.

La especie *C. fairchildiana* reportó la mayor cantidad de nódulos con un valor de 183 nódulos por planta (Tabla 3), mientras que la menor cantidad de nódulos la presentó *A. angustissima* con un promedio de 1 nódulo por planta (ambas especies en el tratamiento sin enmienda). La especie *I. vera* respondió mejor en el tratamiento sin enmienda (176 nódulos por planta) que con enmienda (43 nódulos por planta). Las demás especies se comportaron igual en enmienda y sin enmienda (Tabla 3).

Tabla 3. Número de nódulos por especie en un Ultisol enmendado con cal y nutrientes

Especie	Con enmienda		Sin enmienda		Promedio
<i>C. fairchildiana</i>	134	a	183	a	158
<i>I. vera</i>	43	cdef	176	a	110
<i>F. macrophylla</i>	114	abcdef	164	abc	139
<i>P. indicus</i>	51	bcdef	153	abcd	102
<i>C. houstoniana</i>	116	abcdef	41	cdef	73
<i>E. poeppigiana</i>	95	abcdef	29	def	62
<i>G. sepium</i>	86	abcdef	11	ef	49
<i>A. auriculiformis</i>	40	cdef	71	abcdef	56
<i>E. cyclocarpum</i>	67	abcdef	26	def	47
<i>A. inermis</i>	65	abcdef	34	def	49
<i>A. angustissima</i>	58	abcdef	1	f	29
<i>S. saman</i>	35	def	50	bcdef	43
<i>P. dulce</i>	48	cdef	2	f	25
<i>A. lebbeck</i>	20	ef	47	cdef	34
<i>A. mangium</i>	16	ef	43	cdef	29
<i>D. sissoo</i>	27	def	39	cdef	33
<i>A. procera</i>	38	cdef	35	def	37
<i>C. calothyrsus</i>	38	cdef	11	ef	25
<i>L. leucocephala</i>	22	ef	32	def	27
<i>S. grandiflora</i>	31	def	0	f	16
<i>L. diversifolia</i>	25	ef	0	f	12
<i>A. peregrina</i>	12	ef	20	ef	16
<i>E. berteriana</i>	20	ef	10	ef	15
<i>C. arborea</i>	4	f	13	ef	9
<i>A. pavonina</i>	0	f	0	f	0
<i>O. krugii</i>	0	f	0	f	0
<i>I. nobilis subsp. quaternata</i>	0	f	0	f	0
<i>C. javanica</i>	0	f	0	f	0

DMS= 127.7      DMS = 87.2

Medias seguidas de la misma letra en una misma columna, no difieren estadísticamente (Tukey,  $\alpha=0.05$ )

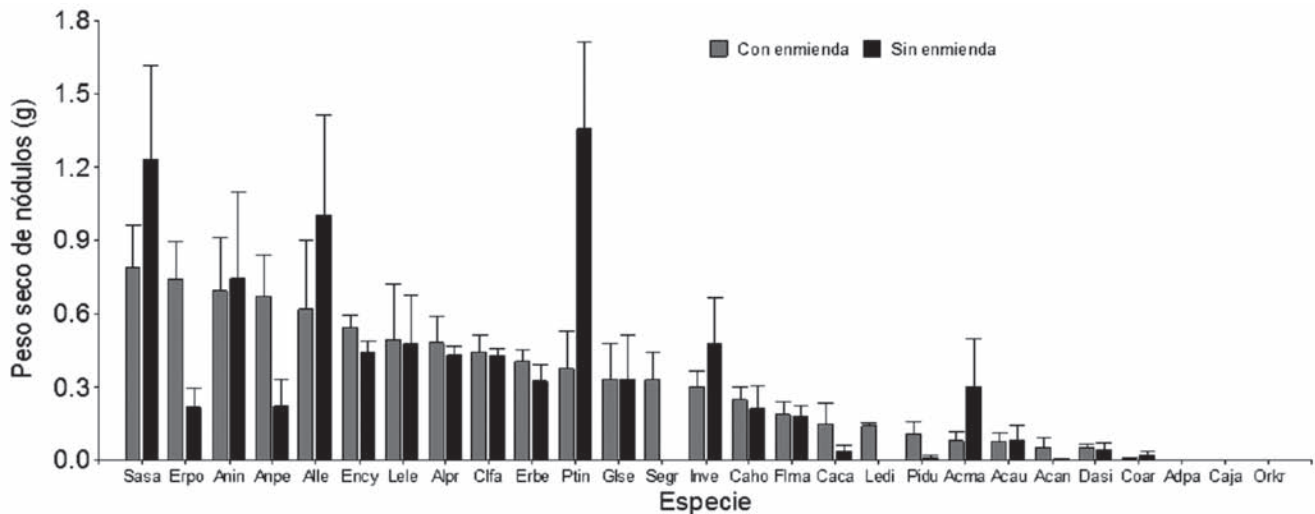


Figura 3. Materia seca de nódulos por planta de las leguminosas arbóreas. Sasa, *S. saman*; Erpo, *E. poeppigiana*; Anin, *A. inermis*; Anpe, *A. peregrina*; Alle, *A. lebbeck*; Ency, *E. cyclocarpum*; Lele, *L. leucocephala*; Alpr, *A. procera*; Clfa, *C. fairchildiana*; Erbe, *E. berteriana*; Ptin, *P. indicus*; Glse, *G. sepium*; Segr, *S. grandiflora*; Inve, *I. vera*; Caho, *C. houstoniana*; Flma, *F. macrophylla*; Caca, *C. calothyrsus*; Ledi, *L. diversifolia*; Pidul, *P. dulce*; Acma, *A. mangium*; Acau, *A. auriculiformis*; Acan, *A. angustissima*; Dasi, *D. sissoo*; Coar, *C. arborea*; Adpa, *A. peregrina*; Caja, *C. javanica*; Orkr, *O. krugii*; Inno, *I. nobilis*. Tukey,  $\alpha=0.05$ , DMS= 0.78, datos originales. Las barras representan el error estándar de la media.

Se observaron más de 100 nódulos por planta en 7 especies (4 en suelo sin enmienda y 3 en suelo con enmienda). Entre estas especies, las de mayor nodulación (aunque estadísticamente igual a las demás) fueron *C. fairchildiana* (183) e *I. vera* (176 nódulos por planta), en el suelo sin enmienda. En cuanto al comportamiento de estas especies en el suelo Humatas, estos resultados coinciden con Santana (2007). Este autor reportó un promedio de 234.69 nódulos por planta para *C. fairchildiana*, 180 días después de la siembra, y 110 para *I. vera*, 300 días después de la siembra. Sin embargo, en el presente ensayo *C. fairchildiana* fue estadísticamente igual en el suelo con enmienda y en el sin enmienda. Esto no sucedió con *I. vera* que fue la única con diferencias entre los tratamientos con y sin enmienda. Esto sugiere que *I. vera* podría estar adaptada a suelos ácidos o que la especie de Rhizobio nativo en el suelo y homólogo a *I. vera* es más eficiente en el suelo no enmendado. El resultado es consistente con el hecho de que *I. vera* es una de las especies predominantes en las fincas de café bajo sombra en Puerto Rico (Arango 2007). Roskoski (1981), en evaluaciones de árboles de *I. vera* e *I. jinicuil* en una plantación en México, no encontró nódulos en las raíces de la primera, pero sí abundantes en la segunda.

### Materia seca de los nódulos

El análisis de varianza de la materia seca de los nódulos arrojó diferencias estadísticas significativas para la interacción enmienda por especie ( $p=0.0191$ ), y entre especies ( $p<0.01$ ). La materia seca promedio máxima se observó en las plantas de la especie *P. indicus*. Esta especie respondió mejor al suelo sin enmienda (1.32 g). Todas las demás especies respondieron igual en el suelo enmendado y en el sin enmendar (Figura 3).

Mahmud *et al.* (2005) reportaron materia seca de nódulos de 1.14, 1.25 y 1.38 g en *A. procera*, *L. leucocephala* y *P. juliflora*, respectivamente, 10 meses después de la siembra en tarros. En el presente ensayo, los valores para *A. procera* (con=0.47 g, sin=0.42 g) y *L. leucocephala* (con=0.48 g, sin=0.46 g) son inferiores a los obtenidos por estos autores, debido posiblemente al tipo de suelo utilizado en ambos ensayos. El suelo usado por Mahmud *et al.* (2005) fue moderadamente grueso a fino, de gris a gris verdoso y con un subsuelo areno limoso moderadamente grueso. Sin embargo, independientemente de la especie, y tomando en cuenta el tiempo, no hubo diferencias entre este ensayo (1.32 g seis meses después de la siembra) y el de Mahmud *et al.* (2005) con 1.38 g diez meses después de la siembra.

## CONCLUSIONES

Las especies que alcanzaron una mayor longitud de tallo fueron *Enterolobium cyclocarpum*, *Leucaena leucocephala*, *Calliandra houstoniana* y *Flemingia macrophylla*.

Las especies *Albizia procera*, *Erythrina poeppigiana* y *Leucaena leucocephala*, fueron las que respondieron mejor a la aplicación de cal, al reportar una mayor materia seca.

*Inga vera* fue la especie con más nódulos en el suelo sin enmienda de cal.

*Pterocarpus indicus*, *Samanea saman* y *Albizia lebeck* presentaron mayor materia seca de los nódulos en el suelo sin enmienda.

Estas especies podrían ser utilizadas en experimentos posteriores como sombra de café y su potencial en la fijación de nitrógeno.

## AGRADECIMIENTOS

La presente investigación se llevó a cabo gracias a: los doctores Eduardo Schroder (Ph.D.) y David Sotomayor (Ph.D.); Universidad de Puerto Rico, Recinto Mayagüez; Consejo Nacional de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (CONIAF), de la República Dominicana; Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF); y Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal (CEDAF), de República Dominicana.

## LITERATURA CITADA

- Abruña, F. y Vicente, J. 1955. Refinement of a quantitative method for determining the lime requirement of soils. J. of Agric. Univ. P. R. 39:41-45.
- Allen O. N., Allen E. K. 1981. The Leguminosae: a source book of characteristics, uses and nodulation. University of Wisconsin Press/Macmillan, Madison, WI. 812 p.
- Arango, M. 2007. Zonificación agroecológica del café en Puerto Rico y análisis estructural y de composición de especies arbóreas presentes en el agroecosistema cafetero. Tesis M.S. Universidad de Puerto Rico, Depto. Agronomía y Suelos, Mayagüez, P.R. 126 p.
- Arellano, R. 2001. Evaluación del escurrimiento y pérdida de suelo en agrosistemas de café. Rev. Forest. Venez. 45:9-14.
- Cruz L. y Schröder E. 2006. Characterization of soil in the Puerto Rico coffee agrosystem. Caribbean Food Crops Society. Conferencia Anual. San Juan. Resumen. p 66.
- Danso S. K. A., Bowen G. D. y Sanginga, N. 1992. Biological nitrogen fixation in trees in agro-ecosystems. Plant and Soil 141: 177-196.

- DaMatta, F. M. 2004. Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. Field Crops Research 86:99-114.
- Escalante, E. E. 1995. Coffee and agroforestry in Venezuela. Agroforestry Today. 7 : 5-7.
- Lewis, G., Schrire, B., Mackinder, B. y Lock, M. (eds). 2005. Legumes of the world. Royal Botanical Gardens. Kew, UK. 577 p.
- Mahmud, S., Rafiqul Hoque, A.T.M. y Mohiuddin, M. 2005. Nodulation behaviour and biomass productivity of three leguminous plant species at nursery stage in Chittagong University Soils. Res. J. Agric. Biol. Sci. 1: 89-93.
- Molina, S. y Alemañy, S. 1997. Species codes for the trees of Puerto Rico and the U.S. Virgin Island. Gen. Tech. Rep. SO-122. Asheville, NC:U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station. 67 p.
- Muñiz-Torres O. y Monroig-Inglés M. 1994. Región cafetalera de Puerto Rico: Características y manejo de los suelos. Universidad de Puerto Rico Recinto Universitario.
- Naidu, R., Tillman, R.W., Syers, J.K. y Kirkman, J.H. 1990. Lime-aluminium-phosphorus interactions and the growth of *Leucaena leucocephala*. I. Plant growth studies. Plant and Soil 126:1-8.
- O'Connel, D. A. 2004. Shade-grown coffee plantations in northern Latin America: a refuge for more than just birds & biodiversity. UCLA Journal of Environmental Law & Policy. University of California at Los Angeles. <http://www.thefreelibrary.com/Shade-grown+coffee+plantations+in+northern+Latin+America:+a+refuge...-a0116452004>.
- Roskoski, J. P. 1981. Nodulation and N<sub>2</sub>-fixation by *Inga jinicuil*, a woody legume in coffee plantations. I. Measurements of nodule biomass and field C<sub>2</sub> H<sub>2</sub> reduction rates. Plant and Soil 59:201-206.
- Ryan, M. C., Graham, G. R. y Rudolph, D. L. 2001. Contrasting nitrate adsorption in andisols of two coffee plantations in Costa Rica. J. Environ. Qual. 30:1848-1852.
- Santana, M. 2007. Fijación biológica de nitrógeno por leguminosas arbóreas para la sombra de café en Puerto Rico. Tesis M.S. Universidad de Puerto Rico, Mayagüez, P.R. 90 p.
- Siebert, S. F. 2002. From shade- to sun-grown perennial crops in Sulawesi, Indonesia: implications for biodiversity conservation and soil fertility. Biodiversity and Conservation 11:1889-1902.
- Somasegaran P., Hoben H. J. 1994. Handbook for Rhizobia: Methods in legume-Rhizobium technology. Primera edición. Springer-Verlag, New York. pp 192-398.
- Sprent, J. I. 2001. Nodulation in legumes. Royal Botanic Garden, Kew. 146 p.
- Sprent, J. I. 2007. Evolving ideas of legume evolution and diversity: a taxonomic perspective on the occurrence of nodulation. New Phytologist 174: 11-25.
- USDA (United States Department of Agriculture). 2007. Tropical products: World Market and Trade. Foreign Agricultural Service. Circular series FTROP 4-07. December 2007. 25 p. [http://www.fas.usda.gov/tropical\\_arc.asp](http://www.fas.usda.gov/tropical_arc.asp).
- USDA (United States Department of Agriculture). 2009. Census of Agriculture 2007. Puerto Rico, island and municipio data. Volume 1. Geographic Area Series. Part 54. USDA-NASS. Washington, D. C. p 15, 204. <[http://www.agcensus.usda.gov/Publications/2007/Full\\_Report/Outlying\\_Areas/prv1.pdf](http://www.agcensus.usda.gov/Publications/2007/Full_Report/Outlying_Areas/prv1.pdf)>.
- Yamoah, C. F., Nguemoum, M. y Ngong, C. 1998. Stimulation of top and root growth of *Leucaena* with farm manure in the mid-altitude agro-ecological zone of North-West Cameroon. Expl. Agric. 34:313-322.

# Eficiencia agronómica de fuentes de fertilizantes marcados con $^{15}\text{N}$ en el cultivo de arroz (*Oryza sativa*)<sup>1</sup>

Freddy S. Contreras<sup>2\*</sup>, Fernanda L. Mendes<sup>3</sup>, Rafael Otto<sup>4</sup>, Gean C.S. Matias<sup>5</sup>, Pablo J. Ghiberto<sup>6</sup> y Paulo C. O. Trivelin<sup>7</sup>

Las plantas de arroz tienen la capacidad de absorber nitrógeno en forma de amonio, nitrato y amida (urea). Sin embargo, cuando el nitrógeno se aplica en forma amoniacal, se produce la absorción y la incorporación directa de amoníaco-N en las formas orgánicas en la planta (cadenas cortas de aminoácidos y enzimas). El uso eficiente de N es importante para aumentar la producción de cultivos anuales como el arroz, pero los fertilizantes nitrogenados pueden contaminar el medio ambiente si no se utilizan en la dosis adecuada y se aplican correctamente. El experimento se basó en el principio de dilución isotópica, y se llevó a cabo en un invernadero en el Centro de Energía Nuclear en Agricultura (CENA / USP) de Brasil, en el 2006. Los tratamientos correspondieron a las fuentes de nitrógeno: (1)  $\text{CO}(^{15}\text{NH}_2)_2$ , (2)  $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  y (3)  $\text{K}^{15}\text{NO}_3$  en una dosis de  $100 \text{ mg kg}^{-1}$  de N del suelo (Entisoles) que tenía baja fertilidad, alta acidez y alta saturación de aluminio. El principal objetivo fue evaluar la eficiencia de las fuentes de nitrógeno y comprobar la cantidad de N proveniente de diferentes fuentes de fertilizante en el cultivo de arroz. Los resultados indican que el número de hijos por planta, evaluado 30 días después de la siembra, fue superior con urea en comparación con las demás fuentes de N. La aplicación en forma de  $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  reporta un 80.32 % de N en la parte aérea en relación a la planta entera, lo que representa un incremento del 9.65 % y 10.27 % en relación con la forma de amida y nitrato, respectivamente. El nitrógeno proveniente de los fertilizantes (Nppf) en la parte aérea de la planta de arroz, fue superior cuando se utilizó el  $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  y no difirió de la aplicación del  $\text{K}^{15}\text{NO}_3$ . El  $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  presentó mayor eficiencia de utilización de N (EUN) que la aplicación de  $\text{K}^{15}\text{NO}_3$ . Es decir, aumentó la cantidad de masa seca con la misma cantidad de nitrógeno. La eficiencia de utilización de nitrógeno en el cultivo de arroz, según las fuentes de N, fue en el orden: amoniacal > amídica > nítrica.

**Palabras claves:** Isótopo,  $^{15}\text{N}$ , Nppf, arroz

## INTRODUCCIÓN

En Brasil, la producción de arroz de secano se realiza principalmente en la región de sabana, donde los suelos tienen una fertilidad baja (EMBRAPA 2003, Fageria 1998), con predominancia de Oxisoles y un bajo contenido de materia orgánica, en el rango de  $15\text{-}25 \text{ g kg}^{-1}$ .

El N es el cuarto elemento más abundante en la planta, después de carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O). En los suelos de sabana, uno de los aspectos más importantes para la producción de cultivos es el manejo de la fertilidad, en particular el N. Este puede ser absorbido por la planta en varias formas: nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y compuestos con bajo peso molecular (Souza

y Fernandes 2006, Furlani 2004, Nasholm *et al.* 1998). Alfaia (1997) estudió en gramínea el destino de dos fuentes de fertilizante nitrogenado, utilizando sulfato de amonio  $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  y urea  $\text{CO}(^{15}\text{NH}_2)_2$  marcada con  $^{15}\text{N}$ . Este autor reportó que la urea (60-70 %) fue más eficiente que el sulfato de amonio (44-49 %).

El N es un componente de los aminoácidos, nucleótidos y coenzimas. Consecuentemente, hay cierta relación entre el contenido de N y el crecimiento de las plantas. Uno de los principales síntomas de deficiencia de nitrógeno es amarillamiento o clorosis de las hojas, inicialmente en las más viejas y en forma progresiva a las más

<sup>1</sup> Aceptado para publicación el 1/09/2011

<sup>2</sup> Investigador Titular del Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales; <sup>3,4,5,6</sup> Estudiantes de Doctorado Universidad de São Paulo; <sup>7</sup> Director del Laboratorio Isotópico del Centro de Energía Nuclear para la Agricultura. \*Autor responsable: fcontreras@idiaf.gov.do

nuevas. Esto se debe a la inhibición de la síntesis de clorofila (Epstein y Bloom 2006), resultando principalmente en la reducción de la fotosíntesis y, por consiguiente, en síntesis de aminoácidos esenciales.

El uso de fertilizantes nitrogenados aumenta la producción de cultivos anuales como el arroz (Fageria y Prabhu 2004). Sin embargo, estos fertilizantes pueden contaminar el medio ambiente si no se utilizan en las dosis adecuadas y mediante su correcta aplicación. Las tres formas de fertilizantes nitrogenados (amoniaco, amídico y nítrico) pueden presentar la misma eficiencia, incluso cuando se aplica en cobertura. Experimentos realizados por el Instituto Riograndense de Arroz, en el sur de Brasil, presentaron rendimientos de 2.8, 4.1 y 3.5 Mg ha<sup>-1</sup> de grano, cuando las fuentes fueron sulfato de amonio, nitrato de sodio y urea, respectivamente (IRGA 1971).

Los objetivos fueron evaluar la eficiencia de diferentes fuentes de N marcadas con <sup>15</sup>N (urea, sulfato de amonio y nitrato de potasio) y comprobar la cantidad de N en las plantas proveniente del fertilizante (Nppf) en el cultivo de arroz de secano. .

## MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento fue instalado en un invernadero en el Centro de Energía Nuclear en Agricultura (CENA/USP) de Piracicaba, Brasil, en el período de agosto a noviembre de 2006. Se colectaron muestras de un suelo Neossolo Quartzarenico con 12 % de arcilla a una profundidad de 0-0.20 m. Las propiedades químicas del suelo se presentan en la Tabla 1. Las muestras se secaron

al aire, se tamizaron en malla de 5 mm y se colocaron en macetas plásticas de 4 kg, donde se cultivó la variedad de arroz (*Oryza sativa* L.) Primavera. Se utilizó el método isotópico con <sup>15</sup>N en un diseño completamente al azar con tres tratamientos: (1) CO(<sup>15</sup>NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>, (2) (<sup>15</sup>NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y (3) K<sup>15</sup>NO<sub>3</sub>, en una dosis de 100 mg kg<sup>-1</sup> de N, con seis repeticiones por tratamiento. Las unidades experimentales fueron constituidas por una maceta plástica conteniendo 4 kg de tierra con seis plantas de arroz.

El suelo fue tamizado antes de la corrección de acidez, de acuerdo al método propuesto por Raij *et al.* (1996), con el objetivo de aumentar la saturación de bases a 60 % utilizando calcáreo dolomítico (24 % CaO y 16 % MgO). Además, se aplicaron 200 mg kg<sup>-1</sup> de P en forma de superfosfato triple. El potasio (K) y el azufre (S) se proporcionaron mediante la aplicación de soluciones nutritivas. Teniendo en cuenta que la fuente (<sup>15</sup>NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> tiene azufre como nutriente secundario, así como la fuente K<sup>15</sup>NO<sub>3</sub> tiene K, se prepararon soluciones con CaSO<sub>4</sub> (utilizadas en el tratamiento con K<sup>15</sup>NO<sub>3</sub>) y K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (utilizada para tratamientos con CO(<sup>15</sup>NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>) para proporcionar una cantidad similar de estos nutrientes a todos los tratamientos.

Dos semanas después de la siembra se hizo un raleo, dejando seis plantas de arroz en cada maceta. En ese momento, se aplicaron los fertilizantes nitrogenados a una dosis de 100 mg kg<sup>-1</sup> de N, disueltos en 100 mL de solución por maceta. Los fertilizantes CO(<sup>15</sup>NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>, (<sup>15</sup>NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y K<sup>15</sup>NO<sub>3</sub> mostraron enriquecimiento en átomos de <sup>15</sup>N de 3.02 %, 3.35 % y 2.95 %, respectivamente.

Tabla 1: Resultados promedio de los análisis químicos del suelo

pH	MO	P	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	CIC	V	m	S-SO <sub>4</sub>
CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>			mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>					%		mg dm <sup>-3</sup>
4.2	4.0	4.0	0.3	5.0	2.0	24.0	7.3	7.3	31.3	23.7	49.7	9.0

MO= materia orgánica; P= fósforo, extraído por resina; K= potasio; Ca= calcio; Mg= magnesio; H+Al= acidez potencial; Al= aluminio; SB= suma de bases; CIC= Capacidad de Intercambio Catiónico; V= Porcentaje de Saturación de Bases; m= saturación por aluminio; S-SO<sub>4</sub>= sulfato.



Después de 20 días de la siembra, se aplicaron 200 ml por maceta de una solución que contenía micronutrientes, a una dosis de 2.5 mg kg<sup>-1</sup> de Cu, 4 mg kg<sup>-1</sup> de Zn, 2 mg kg<sup>-1</sup> de B y 12.5 mg kg<sup>-1</sup> de Mg.

La cosecha de las plantas se hizo al final de la fase vegetativa. Las plantas fueron separadas en parte aérea y sistema radicular. La parte aérea (PA) fue obtenida mediante un corte próximo a la superficie del suelo y las raíces se separaron del suelo por tamizado con malla de 1 mm. La parte aérea y el sistema radicular del arroz se empacaron en bolsas de papel y se secaron en estufa de circulación forzada a temperatura de 65 °C hasta peso constante. Posteriormente se obtuvo la masa total en balanza analítica.

Para determinar el contenido de N total y la abundancia de <sup>15</sup>N, todo el material se trituroó en molino tipo Wiley, mientras que las muestras de suelo secadas al aire se trituroaron en el molino de bolas. Después de la preparación de las muestras, se realizaron determinaciones para N total (mg kg<sup>-1</sup>) y abundancia de <sup>15</sup>N (% de átomos) en un espectrómetro de masas, con analizador automático de N, modelo ANCA-SL de la PDZ Europa 20-20, de acuerdo con la metodología descrita en Barrie y Prosser (1996).

El N acumulado en la parte aérea, raíces y plantas enteras, en mg por maceta, es resultado del producto de la masa seca producida y el contenido de N en cada compartimiento. El N en la planta derivado del fertilizante (Nppf) en mg por

maceta obtenido para la parte aérea, el sistema radicular o plantas enteras se calculó mediante la expresión:

$$Nppf = \frac{a - c}{b - c} \times N_{total} \quad (1)$$

Siendo: *a* = abundancia de <sup>15</sup>N (% átomos) en la parte aérea o raíz de la planta, *b* = abundancia de <sup>15</sup>N (% de átomos) en el fertilizante, *c* = abundancia natural de <sup>15</sup>N (0.368 % átomos) en el suelo, *N<sub>total</sub>* = N acumulado en la parte aérea o raíz de la planta.

La recuperación (*R*) de N de los fertilizantes en la planta de arroz (en %) se refiere al porcentaje de N aplicado a través de los fertilizantes que se encontró en las plantas de arroz y se determinó por la siguiente ecuación.

$$R = \frac{Nppf}{Dosis} \times 100 \quad (2)$$

La eficiencia de uso del N (EUN), expresada en g MS g<sup>-1</sup> de N, fue calculada con la relación de masa seca de la planta entera (g MS por maceta), entre la cantidad total de N acumulado (g N por maceta). Los resultados fueron sometidos a análisis de varianza en el programa estadístico SAS 8.02 (SAS 2001). Cuando se detectaron diferencias significativas entre medias de los tratamientos (*p* ≤ 0.05), se compararon mediante la prueba de DMS de Fisher (*α* = 0.05).

Tabla 2. Nitrógeno en la planta proveniente del fertilizante (Nppf) en el sistema de radicular, parte, área y la planta entera en mg por maceta en relación a las fuentes de N

Fuentes de N	Nppf mg. por maceta		
	Raíz	Parte aérea	Planta entera
Urea	95.47 a	249.97 b	340.67 ab
Sulfato de amonio	59.47 b	276.10 a	326.11 b
Nitrato de potasio	103.18 a	261.98 ab	361.53 a

Promedios en las columnas seguidas por las mismas letras no son diferentes estadísticamente (DMS de Fisher, 5 %).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se observa que la cantidad de Nppf en el sistema radicular fue menor cuando se aplicó la fuente de nitrógeno de sulfato de amonio (59.47 mg N por maceta). Las fuentes amónica y nítrica no presentaron diferencias estadísticas, con promedios de 95.47 y 103.18 mg de N por maceta, respectivamente (Tabla 2).

Las diferencias encontradas en Nppf de las raíces sobre el uso de las fuentes de N, puede ser explicado por el hecho de que grandes cantidades de  $\text{NH}_4^+$  son tóxicas para las plantas (Epstein y Bloom 2006), ya que puede disipar los gradientes de protones trans-membrana, siendo absorbido y asimilado en los tejidos de las raíces y redistribuido en forma de aminoácidos (Mengel y Kirkby 1987). Los valores elevados Nppf para la fuente de  $\text{NO}_3^-$  en las raíces, está relacionada con la capacidad de las plantas en acumular el N en la vacuola en forma de  $\text{NO}_3^-$ , que para su asimilación debe ser obligatoriamente reducido a la forma amoniacal. Esto representa gastos de energía para las plantas (Epstein y Bloom 2006, Bloom *et al.* 1992). En el caso de la urea, muchos autores coinciden en que las plantas pueden absorber las moléculas de bajo peso molecular, lo que no representa gastos de energía para la planta.

Considerando la parte aérea de la planta de arroz, el Nppf fue mayor para la aplicación de  $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , con 276.10 mg N por maceta, y este presentó un comportamiento igual a la aplicación de  $\text{K}^{15}\text{NO}_3$ . La aplicación de  $\text{CO}(^{15}\text{NH}_2)_2$  tuvo la menor cantidad de N derivado del fertilizante en la parte aérea de la planta de arroz (249.97 mg N por maceta).

Cuando se considera toda la planta, podemos ver que el mayor Nppf fue para la fuente de  $\text{K}^{15}\text{NO}_3$ , pero esta fuente no fue diferente de  $\text{CO}(^{15}\text{NH}_2)_2$  (Tabla 2). Estos resultados sugieren que a pesar del rápido metabolismo del amonio en las plantas de arroz, la fuente nítrica puede proporcionar mayor Nppf debido al "pool" de reserva. Para la fuente de  $\text{K}^{15}\text{NO}_3$ , se verificó que cuando es bien manejada, en el sentido de evitar pérdidas por volatilización, es posible aumentar la eficiencia de recuperación y con ello aumentar el Nppf en toda la planta. En este caso, se puede considerar que la elección de la fuente y el manejo adoptado son fundamentales para elevar la eficiencia de recuperación de N por las plantas.

Aunque no hubo diferencia entre los tratamientos en la producción de masa seca, considerando la planta entera, la EUN para el  $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  fue más eficaz que el  $\text{K}^{15}\text{NO}_3$  (Tabla 3). Es decir, promovió mayor acumulo de masa seca con la misma cantidad de N, probablemente debido al

Tabla 3. La materia seca (MS), recuperación (R) y eficiencia en el uso del nitrógeno (EUN) de la planta de arroz, dependiendo de las fuentes de nitrógeno (N)

Fuentes de N	MS	R		EUN	
	g por maceta	%		g MS g <sup>-1</sup> N	
Urea	31.76	87.58	ab	76.89	ab
Sulfato de amonio	30.96	85.15	b	78.71	a
Nitrato de potasio	29.43	92.46	a	70.18	b

Promedios en las columnas seguidas por las mismas letras no son diferentes estadísticamente (DMS de Fisher, 5 %).

gasto energético para la transformación de  $\text{NO}_3$  a  $\text{NH}_4$ , que es la forma incorporada de N en el interior de la planta. La EUN para la  $\text{CO}(\text{}^{15}\text{NH}_2)_2$  no difirió estadísticamente del  $(\text{}^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  ni del  $\text{K}^{15}\text{NO}_3$ .

Los resultados muestran elevada recuperación de N de los fertilizantes para todas las fuentes, variando de 87 hasta 92 % de recuperación en la planta entera (Tabla 3). El resto del N del fertilizante se recuperó en el suelo, no habiendo así otras fuentes de pérdidas de N, como la volatilización, desnitrificación o pérdidas en la parte aérea. En este estudio esas pérdidas fueron insignificantes, porque los cultivos fueron cosechados al final de la etapa vegetativa del cultivo, cuando son generalmente mínimas. Ellas se producen en mayor número durante la maduración y senescencia de las hojas (Guindo *et al.* 1994).

La fuente  $(\text{}^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  promovió una mayor recuperación (72 %) de N en la parte aérea en relación a la fuente de urea (64 %), mientras que el  $\text{K}^{15}\text{NO}_3$ , presentó una recuperación (67 %) similar a los demás.

Aunque la urea fue aplicada en la superficie, situación que generalmente favorece la pérdida de  $\text{NH}_4$  por volatilización de esa fuente de amónica, se observa que la R del N de la fuente urea fue elevada, lo que evidencia que ese proceso no ocurrió. Esto se debió a la irrigación del suelo en las macetas inmediatamente después de aplicar la solución que contenía la urea, así como el mantenimiento de la humedad del suelo, especialmente en las semanas posteriores a la fertilización. Esto, sin duda, mejora la incorporación de la urea en el suelo para reducir las pérdidas por volatilización.

## CONCLUSIONES

La utilización de nitrato de potasio y urea en el cultivo de arroz en secano representa la mejor opción de recuperación de nitrógeno aplicado como fertilizantes

La EUN por el cultivo de arroz de secano fue en el orden:  $(\text{}^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 > \text{CO}(\text{}^{15}\text{NH}_2)_2 > \text{K}^{15}\text{NO}_3$ .

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Laboratorio de Isotopos Estables del Centro de Energía Nuclear para la Agricultura, de la Universidad de Sao Paulo, Brasil, por la disponibilidad de los fertilizantes marcados con  $^{15}\text{N}$  y la realización de todos los análisis isotópicos de este experimento. Al Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, por la autorización para realizar este estudio en Brasil. A la Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por el soporte económico durante nuestra estadía en Brasil.

## LITERATURA CITADA

- Alfaia, SS. 1997. Destino de adubos nitrogenados marcados com  $^{15}\text{N}$  em amostras de dois solos da Amazônia Central. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 21, n. 3, p. 379-385.
- Barrie, A; Prosser, SJ. 1996. Automated analysis of light-element stable isotopes by isotope ratio mass spectrometry. In: Boutton, TW, Yamasaki, S. (Ed.). Mass Spectrometry of soils. New York: Marcel Dekker, p.1-46.
- Bloom, AJ; Sukrapanna, SS; Warner, RL. 1992. Root respiration associated with ammonium and nitrate absorption and assimilation by barley. Plant Physiology 99:1294-1301.
- EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, BR). 2003. Cultivo do arroz de terras altas (en línea). Sistemas de Produção No 1. Goiânia. Consultado 14 mar 2006. Disponible en <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozTerrasAltas/index.htm>.
- Epstein, E; Bloom, A. 2006. Nutrição mineral de plantas: Princípios e perspectivas. 2 ed., Londrina: Editora Planta. 403p.
- Fageria, NK. 1998. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, Campina Grande, v.2, p.6-16,
- Fageria, NK; Prabhu, AS. 2004. Controle de brusone e manejo de nitrogênio em cultivo de arroz irrigado. Pesq. Agropec. Bras., Brasília, v.39, n.2, p.123-129.
- Furlani, AMC. 2004. Nutrição Mineral. In: Gilberto Barbante Kerbauy. Fisiologia Vegetal. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, v. p. 452.
- Guindo, D; Wells, BR; Norman, RJ. 1994. Accumulation of fertilizer Nitrogen-15 by rice at different stages of development. Soil Sci. Soc. Am. J 58:410-415.

IRGA (Instituto Riograndense do Arroz, BR). 1971. Resultados experimentais e análises estatísticas. Porto Alegre. 7 p. (Mimeografado).

Mengel, K; Kirkby, EA. 1987. Principles of plant nutrition. 4. ed. Berna, International Potash Institute. 687 p.

Nasholm, T; Ekblad, A; Nordin, A; Giesler, R; Hogberg, M; Hogberg, P. 1998. Boreal forest plants take up organic nitrogen. Nature 392:914-916.

Raij, B van; Cantarella, H; Quaggio, JA; Furlani, AMC. 1996. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2. ed. Campinas: IAC. (Boletim Técnico, 100).

SAS (Statistical Analysis System Institute, US). 2001. The SAS-System for Windows. Release 8.02 (TS2M0) (software). SAS Institute Inc. Cary, NC, USA.

Souza, SR; Fernandes, MS. 2006. Nitrogênio. Nutrição mineral de plantas. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 432p.

# Mineralización de nitrógeno en enmiendas orgánicas en condiciones de laboratorio<sup>1</sup>

Glenny López Rodríguez<sup>2\*</sup> y Juan Hirzel Campos<sup>3</sup>

El uso de enmiendas orgánicas contribuye a mejorar las propiedades del suelo, a aumentar el contenido de materia orgánica y, por ende, a aumentar la calidad y fertilidad del suelo. El objetivo de la investigación fue evaluar la mineralización de nitrógeno (N<sub>min</sub>) en suelo enmendado química y orgánicamente en condiciones controladas. El ensayo se realizó en el laboratorio del Centro Regional Quilamapu, INIA, Chile. Se utilizó un diseño experimental en bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Los tratamientos fueron: un control (SF), fertilización convencional (FC, en mezcla de urea, superfosfato-triple y cloruro de potasio), bioestabilizado de cerdo (BC), guano de pavo (GP) y guano de broiler (GB). Las muestras se incubaron a 25 °C y la humedad se controló por pesada. Las evaluaciones se realizaron desde cero hasta las ocho semanas. Los resultados muestran que GP y FC fueron estadísticamente superiores a GB, BC y SF ( $p \leq 0.05$ ). El N inorgánico mineralizado acumulado en GP y FC fueron 157 y 146 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente. El uso de guano de pavo como fertilizante constituye una fuente adecuada de nitrógeno, carbono y otros nutrientes.

**Palabras claves:** Mineralización, nitrógeno, suelos, enmiendas orgánicas

## INTRODUCCIÓN

El uso de enmiendas orgánicas como fuente nutricional es una práctica recomendada en la agricultura a nivel mundial (Rynk 1992, Cooperband 2000). Esta práctica se ha intensificado en Chile durante los últimos años por sus beneficios en relación al reciclaje de nutrientes, principalmente nitrógeno (N), y como posible solución al problema de acumulación en distintas zonas de producción (Hirzel 2009).

El N, junto con el agua, es considerado como uno de los factores limitantes más comunes y como uno de los elementos esenciales en los cultivos. Eso se debe a que forma parte de compuestos fundamentales como ácidos nucleicos, proteínas y clorofila, necesiándose, principalmente, en los tejidos vegetales en crecimiento (Zagal *et al.* 2003). El N del suelo, originalmente se deriva del gas N atmosférico (N<sub>2</sub>). Los microorganismos del suelo (de vida libre o asociados por simbiosis con plantas) forman N orgánico del grupo amino (NH<sub>2</sub>) en las proteínas. Este N pasa a formar parte de la materia orgánica del suelo (Stevenson y Cole 1999).

Cuando se aplican enmiendas orgánicas al suelo, el N orgánico que estas contienen se mineraliza (N inorgánico) mediante procesos de amonificación (transformación en amonio) y nitrificación (amonio se transforma en nitrato). Parte de este se inmoviliza en la biomasa microbiana y otra se pierde por denitrificación y volatilización (Stevenson y Cole 1999). Las enmiendas orgánicas ejercen influencia positiva sobre el suelo, debido a que favorecen la retención de agua, mejoran su estructura, capacidad tampón, capacidad de intercambio catiónico, capacidad de quelación e incrementan la disponibilidad de nutrientes (Cadaña *et al.* 2000), principalmente del N que, como es conocido, es el nutriente más requerido en la producción de los cultivos. En los suelos enmendados, la disponibilidad de N puede ser evaluada con ensayos de mineralización, permitiendo a su vez estimar la liberación y el riesgo potencial de pérdida de N de los ecosistemas, según predomine en sus formas de nitratos o amonio (Briceño *et al.* 2002).

<sup>1</sup> Aceptado para publicación el 1/09/2011

<sup>2</sup> Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales- IDIAF- Centro Norte (República Dominicana)

<sup>3</sup> Instituto de Investigaciones Agropecuarias- INIA- Centro Regional Quilamapu (Chile). \*Autor responsable: glopez@idiaf.gov.do

La mineralización de N es un indicador de la calidad de la enmienda, y se puede estimar mediante incubaciones de laboratorio bajo condiciones controladas de humedad y temperatura (Hirzel 2007). En condiciones óptimas de humedad y temperatura los procesos dominantes son la mineralización y la inmovilización en biomasa microbiana. Cuando predominan los procesos de inmovilización, los resultados de la mineralización neta son menores de cero (Laos *et al.* 2000).

Cuantificar el N que se mineraliza en el suelo puede contribuir a optimizar el uso de fertilizantes nitrogenados, lo cual permitiría disminuir los costos de producción. Además, es una de las opciones más viables para mitigar la considerable reducción en la productividad agrícola, originada principalmente por el deterioro físico, químico y biológico de los suelos (Ravic 2005). El objetivo de este trabajo fue evaluar la mineralización de N en suelos enmendados química y orgánicamente en condiciones de laboratorio.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción del estudio

El experimento se realizó en la zona Central de Chile, en el Laboratorio de Suelos del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Centro

Regional Quilamapu, en Chillán, ubicada en la VIII Región (36°36' Latitud Sur y 71°54' Longitud Oeste).

Esta localidad presenta una elevación de 220 msnm. El clima predominante corresponde a una precipitación anual de 1000 a 1300 mm y una temperatura anual media de 14 °C, siendo julio el mes más frío (4 °C) y enero el más cálido (28 °C).

### Características del suelo utilizado

Se utilizó un suelo de origen volcánico (granítico) de textura franco-arcillosa; perteneciente al Orden Andisol y a la clasificación taxonómica Melanoxerands (USDA 1994, CIREN 1999). El muestreo se realizó a una profundidad de 0-20 cm. Posteriormente, el suelo se secó al aire y se tamizó (2 mm). Las características físico-químicas se presentan en la Tabla 1.

### Diseño experimental y tratamientos

Se utilizó un diseño experimental en bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Se evaluaron cinco tratamientos: 1) Control (SF), 2) fertilización convencional (FC), 3) bioestabilizado de cerdo (BC), 4) guano de pavo (GP) y 5) guano de broiler (GB). En los tratamientos fertilizados el N se aplicó en dosis de 100 mg kg<sup>-1</sup>. En el tratamiento FC se empleó: urea (45 % N), superfosfato triple (46 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) y cloruro de po-

Tabla 1. Características físicas y químicas de los suelos utilizados

Parámetros	Valor	Parámetros	Valor
RH (0.33 atm) (%)	15.70	Na <sub>i</sub> (cmol kg <sup>-1</sup> )	0.08
RH (15 atm) (%)	11.40	Al <sub>i</sub> (cmol kg <sup>-1</sup> )	0.04
pH	5.60	Fe <sub>d</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	29.00
MO (g kg <sup>-1</sup> )	1.00	Mn <sub>d</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	69.70
N <sub>i</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	4.00	Zn <sub>d</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	0.06
P <sub>e</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	12.40	Cu <sub>d</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	0.50
K <sub>i</sub> (cmol kg <sup>-1</sup> )	0.20	B <sub>d</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	0.70
Ca <sub>i</sub> (cmol kg <sup>-1</sup> )	3.10	S <sub>d</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	38.20
Mg <sub>i</sub> (cmol kg <sup>-1</sup> )	1.30		

RH= retención de humedad (%); MO= materia orgánica; N<sub>i</sub>=nitrógeno inorgánico (amonio + nitrato); P<sub>e</sub> = fósforo extraíble (Olsen); K<sub>i</sub>, Ca<sub>i</sub>, Mg<sub>i</sub>, Na<sub>i</sub>, Al<sub>i</sub>= potasio, calcio, magnesio, sodio y aluminio intercambiable, respectivamente. Fe<sub>d</sub>, Mn<sub>d</sub>, Zn<sub>d</sub>, Cu<sub>d</sub>, B<sub>d</sub>, S<sub>d</sub>= hierro, manganeso, zinc, cobre, boro y azufre disponible, respectivamente.

Tabla 2. Características químicas de las enmiendas utilizadas

Parámetros	Bioestabilizado	Guano de pavo	Guano de broiler
Materia seca (%)	75.9	80.9	65.1
pH <sub>1:2.5</sub> (agua)	8.4	8.7	8.0
CE (dS m <sup>-1</sup> )	4.9	10.3	9.4
C orgánico (%)	26.8	46.4	45.3
N (%)	3.4	2.6	4.3
C/ N	7.9	18.1	10.5
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	6.2	4.3	3.9
K <sub>2</sub> O (%)	2.7	3.8	4.0
CaO (%)	8.2	3.2	3.2
MgO (%)	3.7	1.0	1.2
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (%)	0.9	1.3	1.4
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (%)	0.01	0.03	0.02

CE= conductividad eléctrica; C= carbono; N= nitrógeno; C/N= relación carbono-nitrógeno; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>= fosfato; K<sub>2</sub>O= óxido de potasio; CaO= óxido de calcio; MgO= óxido de magnesio; N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>= amonio; N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>= nitrato; %= porcentaje

tasio (60 % K<sub>2</sub>O). Las características químicas de las enmiendas utilizadas se presentan en el Tabla 2.

El ensayo se instaló en octubre del 2009 y finalizó en enero del 2010. Para el establecimiento del ensayo se utilizaron envases de plásticos con una capacidad de 150 ml como unidades experimentales. A los mismos se le agregaron 100 gramos de suelo (seco y tamizado a 2 mm) y los tratamientos correspondientes. Se utilizó el método de incubación reportado por Laos *et al.* (1998) y Laos *et al.* (2000), modificado. Las muestras se incubaron aeróbicamente hasta las 8 semanas a 25 °C y con humedad equivalente al 80 % de capacidad de campo, que se controló semanalmente por gravimetría.

Las evaluaciones de N inorgánico (amonio + nitrato) se realizaron extrayendo cuatro frascos por tratamiento (repeticiones) a las 0, 1, 2, 4 y 8 semanas (Tyson y Cabrera 1993). Se determinó el N inorgánico neto mineralizado obtenido por diferencia entre el N mineral final y el N mineral inicial, en cada uno de los tiempos evaluados, y la tasa de mineralización (Rogers *et al.* 2001, Benítez *et al.* 2003).

### Metodología analítica

El pH (H<sub>2</sub>O) se determinó por medición directa en extracto acuoso con una relación 1:2.5, utilizando un potenciómetro (Thomas 1996). El C se determinó por el método de Walkey-Black, modificado por oxidación con dicromato de potasio (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) y posterior lectura con colorimetría (Nelson y Sommers 1996). El P disponible fue extraído por el método Olsen (bicarbonato de sodio 0.5N) y determinado por colorimetría (Bray y Kurtz 1945). El K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca y Mg intercambiables fueron extraídos con solución de Acetato de amonio 1M y determinados por espectrofotometría. El Azufre (SO<sub>4</sub>) fue determinado con fosfato de calcio 0.01M y medido por Turbidimetría. El Cu, Mn, Fe y Zn previa extracción con ácido dietiltri Aminopentaacético (DTPA; 1:2) y determinado por espectrofotometría (Lindsay y Norvell 1978). La CE se determinó en extracto acuoso 1:5 con un conductímetro.

El N inorgánico se determinó previa extracción de 5 gramos de suelo con 50 ml de KCl (1:10) 2M. El nitrato se midió a través de una columna de cadmio-cobre reduciendo nitrato a nitrito

y, posteriormente, fue determinado por colorimetría en reacción con sulfanilamida y dihidrocloruro de  $\alpha$ -naftylethyldiamina, determinada a una onda de 540 nm. Se utilizó un autoanalizador a inyección de flujo segmentado (AIFS) marca SKALAR. El amonio se determinó por coloración a monocloroamina que reacciona con salicilato formando el complejo 5-aminosalicilato, altamente coloreado (verde) a una onda de 660 nm en AIFS.

### Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó en Infostat (Di Rienzo *et al.* 2009). Se utilizó la prueba de Tukey al 5 % para comparar las medias de tratamientos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos de mineralización potencial de N se presentan en las figuras 1 y 2, correspondientes a: i) N inorgánico mineralizado acumulado ( $\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$ ) durante el tiempo de la incubación y ii) la tasa de mineralización obtenida a través del período de evaluación, respectivamente.

La mayor liberación de N durante todo el período de evaluación se observa en los tratamientos FC y GP, los cuales fueron estadísticamente superiores a los demás tratamientos ( $p < 0.05$ ; Figura 1).

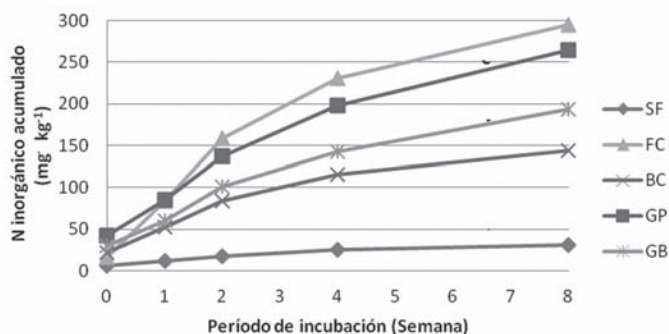


Figura 1. Nitrógeno inorgánico mineralizado registrado en las enmiendas aplicadas en suelo granítico evaluado durante ocho semanas de incubación en condiciones de laboratorio

Control (SF), fertilización convencional (FC), bioestabilizado de cerdo (BC), guano de pavo (GP) y guano de broiler (GB).

Por su parte, la mineralización neta de GB fue estadísticamente similar al tratamiento BC.

La mineralización de N orgánico desde el BC durante todo el período de evaluación en este experimento fue superior a la indicada por Rogers *et al.* (2001), para residuos vegetales provenientes de la industria alimenticia, y por Hartz *et al.* (2000), para estiércol de broiler maduro. No obstante, los valores registrados en GB fue levemente superior a la señalada por Preusch *et al.* (2002).

Los resultados obtenidos en el presente estudio indican que, inicialmente la tasa de mineralización de N registrada en FC correspondiente a  $50 \text{ mg kg}^{-1} \text{ sem}^{-1}$  fue superior a la presentada en los tratamientos enmendados orgánicamente. No obstante, a partir de la segunda semana de evaluación decrece y en las semanas cuatro y ocho de evaluación las tasas registradas fueron negativas (Figura 2).

Las tasas promedio de mineralización de N registradas en los tratamientos GB y GP por semana fueron muy similares  $6.1$  y  $5.1 \text{ mg kg}^{-1}$ , respectivamente; con respecto a la registrada en el tratamiento control ( $1.5 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Cabe destacar que la tasa de mineralización del fertilizante mineral fue máxima en la semana cero (Figura 2).

La adición de fertilizante químico en el suelo aumentó los niveles de nitrógeno inmediatamente se aplicó, esto explica el incremento inmediato que presentaron los tratamientos al inicio de las evaluaciones. No obstante se destacó una marcada disminución a lo largo de las ocho semanas de evaluación, presentando valores negativos de Nmin.

El efecto de tasas de mineralización negativas presente en esta investigación coincide con lo señalados por Rogers *et al.* (2001), en la incubación de suelos con aplicaciones de algunos residuos vegetales, y por Sikora y Enkiri (2003), para un suelo enmendado con biosólidos. En ese sentido, las tasas negativas de mineralización de N mostradas en este experimento podrían indicar procesos de denitrificación o volatilización, así como inmovilización por la biomasa microbiana (Pérez *et al.* 1998, Zamorano 2000). Valores ne-



gativos indican una pérdida neta de mineralización o inmovilización. Piirainen *et al.* (2002) y Pérez *et al.* (2003) indican que el N en el suelo puede ser inmovilizado por factores bióticos y abióticos. Un efecto similar fue reportado por Whalen *et al.* (2000) y Hartz *et al.* (2000).

La alta tasa de mineralización encontrada en la GP y GB podría explicarse por el efecto “*priming*”. La aplicación de N fácilmente disponible estimula una mayor actividad en la biomasa del suelo, lo cual conlleva a una mayor mineralización de la materia orgánica nativa. Cuando se añade una enmienda orgánica del tipo de la BC que contiene baja relación C/N, es decir alta concentración de N, se estimula la actividad de la biomasa del suelo y genera una mayor mineralización del N nativo presente en el suelo que la que se obtiene en el tratamiento control (Chu *et al.* 2005). Por otro lado, los tratamientos GP y GB son materiales orgánicos de baja estabilidad, por lo que su mineralización es elevada y rápida, comparada con otras enmiendas orgánicas como son aquellas que han sido sometidas a un proceso de compostaje (Laos *et al.* 2000).

El aumento de la tasa de mineralización en el fertilizante inorgánico al inicio de la evaluación se atribuye a que los organismos se encuentran en estado inactivo antes de la aplicación de la enmienda. En el caso de este tratamiento, al momento de aplicarlo es más soluble con relación a las enmiendas orgánicas y el nitrógeno se hace disponible de forma inmediata para los microorganismos. Contrario ocurre con los materiales orgánicos, donde la mineralización y descomposición es más lenta y va a depender del tipo de material que se utilice.

Si se extrapolan los valores promedios de las tasas de mineralización de N encontradas en este estudio, la capacidad potencial de suministro de N a partir de las enmiendas orgánicas utilizadas como fertilizantes corresponden a: 101 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> para BC, 425 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> para GP y 3,544 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> para GB. En un experimento en condiciones de laboratorio, López (2008) reportó valores de N de 506 y 473 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en un suelo Oxisol, 483 y 405 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en un Inceptisol y 402 y 483 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en un Ultisol, todos en-

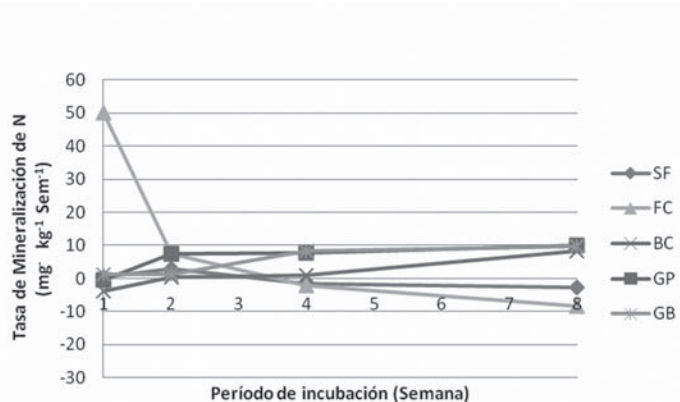


Figura 2. Tasa de mineralización de nitrógeno registrada en las enmiendas aplicadas en suelo granítico durante ocho semanas de incubación en condiciones de laboratorio

Control (SF), fertilización convencional (FC), bioestabilizado de cerdo (BC), guano de pavo (GP) y guano de broiler (GB).

mendados con materiales orgánicos (hojarasca molida) provenientes de bosques secundarios y cafetales bajo sombra, respectivamente.

## CONCLUSIONES

EEI aporte de N a partir de las enmiendas orgánicas en el suelo evaluado mostró mayor estabilidad a través del tiempo con respecto al fertilizante convencional, sin embargo, el uso de fertilizante convencional y de guano de pavo constituye una fuente adecuada de N y K, por lo que ambos podrían ser utilizados (mezclados) en los requerimientos de fertilización, principalmente como nitrógeno.

El bioestabilizado de cerdo constituye una fuente adecuada de P en el suelo, incluso de K y otros nutrientes, pero no de nitrógeno debido a que este elemento se presenta en formas orgánicas más estables. Además, genera una menor tasa de mineralización y, por tanto, una menor disponibilidad del nitrógeno total que se aplica.

El uso de enmiendas orgánicas como bioestabilizado de cerdo, guano de pavo y guano de broiler contribuye a aumentar el pH de los suelos y afectan en menor medida la conductividad eléctrica en relación al uso de fertilizantes convencionales.

## AGRADECIMIENTOS

1) Al Programa de becas para estancias cortas del sistema de los INIA de Iberoamérica, España y al Centro Internacional de la Papa (CIP-Perú) por el financiamiento de la estancia en Chile; 2) Al Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF); 3) Al Instituto Nacional de Investigación (INIA) de Chile, Centro Regional Quilamapu; 4) A la Empresa Servicios Pucalán Sut Ltda de Chile por el cofinanciamiento de la investigación; 5) Al equipo técnico y administrativo del laboratorio de suelos del INIA, por su valiosa colaboración y 6) A Gabriela Sepúlveda y familia, por su apoyo.

## LITERATURA CITADA

- Benítez, C., Tejada, M., González, J.L. 2003. Kinetics of the mineralization of nitrogen in a pig slurry compost applied to soils. *Compost Sci and Util.* 11 (1): 72-80.
- Bray R.H., Kurtz, L.T. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphate in soils. *Soil Sci.* 59: 39-45.
- Briceño J., Chaverri F., Alvarado G., Gadea A. 2002. Materia orgánica. Características y uso de los insumos en suelos de Costa Rica. Serie: Agricultura Orgánica No.1 Editorial UNA, Heredia. 107 p.
- Cadahía L., C., Eymar A., E., Lucena M., J.J. 2000. Materiales fertilizantes utilizados en fertirrigación. En Cahadía (Ed). *Fertirrigación: cultivos agrícolas y ornamentales*. 2da. Ed. Mundi Prensa. España. pp. 83-122.
- Chu, H.Y., Hosen, Y., Yagi, K., Okada, K., Ito, O. 2005. Soil microbial biomass and activities in a Japanese Andisol as affected by controlled release and application depth of urea. *Biology and Fertility of Soils.* 42:89-96.
- CIREN, 1999. Descripciónes de suelos y materiales y símbolos estudio agrológico VIII Región. Publicación CIREN N° 121. Santiago, Chile. 583 p.
- Cooperband, L. 2000. Sustainable use of by products in land management. In: Barteks, J.M., Dick, W.A. (eds.). *Land Application products of Agricultural, Industrial and Municipal By -Products*. SSSA Book series N° 6, Madison, WI. USA. pp: 215-235.
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2009. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.
- Hartz, T.K.J., Mitchell, J.P., Giannini, C. 2000. Nitrogen and carbon mineralization dynamics of manures and composts. *Hortscience* 35, 209-212.
- Hirzel, J. 2009. Fertilización del cultivo de maíz con bioestabilizado de Servicios Pucalán Sur, LTDA. Informe final convenio de investigación INIA- Servicios de Pucalán Sur, LTDA. Chillán, 53p.
- Hirzel, J. 2007. Estudio comparativo entre fuentes de fertilización convencional y orgánica, cama de broiler, en el cultivo de maíz. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, España. 139p.
- Laos, F., Mazzarino, M.J., Walter, I., Roselli, L. 1998. Composting of fish waste with wood by-products and testing compost quality as a soil amendment: Experiences in the Patagonia Region of Argentina. *Compost Science and Utilization.* 6: 59-66.
- Laos, F., Satti, P., Walter, I., Mazzarino, M.J., Moyano, S. 2000. Nutrient availability of composted and noncomposted residues in a Patagonian Xeric Mollisol. *Biology and Fertility of Soils:* 31: 462-469.
- Lindsay, W., Norvell, W. 1978. Development of a DTPA test for Zinc, Iron, Manganese, and Copper. *Soil Sci. Amer. J.* 42:421-428.
- López Rodríguez, G.L. 2008. Mineralización de nitrógeno en suelos bajo agrosistemas de producción de café (*Coffea arabica* L.) en Puerto Rico. Tesis M.S: Depto. Agronomía y Suelos, Universidad de Puerto Rico. 120 p.
- Nelson, D.W., Sommers, L.E. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. En: D.L. Sparks et al. (ed.) *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods*. SSSA Book Serial No 5. SSSA & ASA, Madison, WI. pp. 961-1010.
- Pérez, C., Hedin, L., Armesto, J. 1998. Nitrogen mineralization in two unpolluted old growth forest of contrasting biodiversity and dynamics. *Ecosystems.* 1:361-373.
- Pérez, C., Carmona, M., Armesto, J. 2003. Non-Symbiotic nitrogen fixation, net nitrogen mineralization and denitrification in evergreen forest of Chiloe island, Chile: A comparison with other temperate forest. *Gayana Botanical:* 60:25-33.
- Piirainen, S., Finer, L., Mannerkoski, H., Starr, M. 2002. Effects of clear-cutting on the C & N fluxes through podzolic soil horizons. *Plant and Soil.* 239: 301-311.
- Preusch, P.L., Adler, P.R., Sikora, L.J., Tworowski, T.J. 2002. Nitrogen and phosphorus availability in composted and uncomposted poultry litter. *J. Environ. Qual.* 31:2051-2057.
- Ravic, M. 2005. Production of high-quality composts of horticultural purposes: a mini review. *HorTech.* 15 (1): 52-57.
- Rynk, R. 1992. *On-Farm Composting Handbook*. NRAES-54. Natural Resource, Agriculture, and Engineering Services. Cooperative Extension, Riley-Robb Hall, Ithaca, NY. Disponible en página web: [http://compost.css.cornell.edu/OnFarmHandbook/onfarm\\_TOC.html](http://compost.css.cornell.edu/OnFarmHandbook/onfarm_TOC.html). Consultado en 12 de marzo, 2010.
- Rogers, B.F., Krogmann, U., Boyles, L.S. 2001. Nitrogen Mineralization of Non-Traditional Organic Wastes. *Soil Sci.:* 166: 353-363.
- Stevenson, F.J., Cole, M.A. 1999. *Cycles of soil*. Wiley and Sons. New York, USA.
- Sikora, L.J., Enkiri, N.K. 2003. Availability of poultry litter compost P to fescue compared with triple super phosphate. *Soil Sci.* 168, 192-199.
- Thomas, G.W. 1996. Soil pH and soil acidity. p. 475-490. En Sparks, D.L. (eds.). *Methods of Soil Analysis. Part 3- Chemical Methods*. SSSA Book Series no. 5. Soil. Madison, WI. pp 475-489.
- Tyson, S.C., Cabrera, M.L. 1993. Nitrogen mineralization in soil amended with composted and uncomposted poultry litter. *Soil Sci. Plant Anal.* 24: 2361-2374.
- USDA. 1994. *Reference to Soil Taxonomy*. USDA. Washington, DC.
- Whalen, J.K, Chang, C., Clayton, G.W., Carefoot, J.P. 2000. Cattle manure amendments can increase the pH of acid soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:962-966.
- Zagal, E. Rodríguez, N., Vidal, I., Hofmann, G. 2003. Eficiencia de uso y dinámica del nitrógeno en una rotación con y sin uso de residuos. *Agricultura Técnica (Chile).* 63:298-310.
- Zamorano, J. 2000. Actividad biológica aeróbica del suelo en un bosque de *Nothofagus betuloides* (Mirb.) Oest., Parque Nacional Puyehue. Tesis Ingeniería Forestal. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. 60 p.

# Emisión de amoníaco y óxido nitroso en diferentes sistemas de pastoreo en el sur de Chile<sup>1</sup>

Pedro A. Núñez<sup>2\*</sup>, Rolando Demanet<sup>3</sup>, Alejandra Jara<sup>4</sup> y María de la Luz Mora<sup>4</sup>

Los sistemas de pastoreo tienen un impacto ambiental importante con implicaciones a nivel social. La productividad y calidad de forraje mejora con la aplicación de fertilizantes nitrogenados y el reciclaje de nutrientes. Sin embargo, un manejo inadecuado de los sistemas de pastoreo puede incrementar las pérdidas de nitrógeno (N) a través de la producción de gases como amoníaco (NH<sub>3</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). El objetivo de la presente investigación fue determinar las emisiones anuales de NH<sub>3</sub> y N<sub>2</sub>O en una pradera permanente bajo pastoreo en un Andisol de la región sur de Chile. El experimento se realizó durante la primavera de 2005 y el invierno de 2006, usando dos intensidades de pastoreo (intenso y suave) y dos frecuencias de consumo de forraje (frecuente y poco frecuente), así como también un tratamiento control, sin pastoreo. Las emisiones de NH<sub>3</sub> se determinaron con una cámara estática de PVC y análisis de muestras por el método de producción indofenol. El N<sub>2</sub>O se determinó por los métodos propuestos por la Comisión Nacional para el Inventario de Gases (CNIG) y el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (PICC). Los resultados indican que las emisiones anuales de NH<sub>3</sub> fueron altas en los tratamientos pastoreados (36-41 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>; P ≤ 0.05) comparado con el control (31 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>). Sin embargo, las diferencias entre los tratamientos de intensidad y frecuencia de pastoreo fueron pequeñas (P ≤ 0.05). Las mayores emisiones de N<sub>2</sub>O se produjeron con el pastoreo intenso con un promedio anual de 3.24 kg N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, reduciéndose la emisión con el pastoreo suave (3.1 kg N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>), pero sin diferencias estadísticas entre estos (P ≤ 0.05). Los resultados muestran que el pastoreo produjo mayor volatilización de NH<sub>3</sub>, y, en el caso de la emisión de N<sub>2</sub>O, una mayor intensidad del pastoreo generó mayores emisiones. Los resultados sugieren que un incremento en las emisiones de NH<sub>3</sub> y N<sub>2</sub>O en ganadería bajo pastoreo, en Chile, dependerá del sistema de pastoreo utilizado.

**Palabras clave:** Gases, contaminación, nitrógeno, frecuencia de pastoreo

## INTRODUCCIÓN

La zona templada de Chile posee excelentes condiciones para el desarrollo de sistemas de producción pecuaria basados en el pastoreo de praderas permanentes. Estas son una fuente de alimento de bajo costo para el ganado bovino. El uso directo de la pradera por los animales constituye la fuente de alimento más abundante para el ganado bovino y, cuando se utiliza correctamente, representa la opción de menor costo, con alrededor de 1/3 y 1/8 del costo, respectivamente, del uso de forrajes conservados y concentrados (Núñez *et al.* 2010a).

Los Lagos y La Araucanía son las principales regiones del sur de Chile en producción de leche

y carne. Estas presentan condiciones favorables para el desarrollo de praderas de alto rendimiento y calidad. Dichas regiones representan 9.2 y 7.5 %, respectivamente, de las áreas ganaderas del país (INE 1997) y poseen 60 % del área nacional dedicada a ganadería de bovinos bajo pastoreo en praderas permanentes (INE 2007, Núñez *et al.* 2010b).

Algunos de los problemas que afectan a la ganadería bajo pastoreo en Chile son: a) baja producción de la pastura en invierno y escasez de forraje en esta estación. En consecuencia, abundancia de alimento en primavera; b) bajo contenido de proteína cruda y alto contenido de fibras

<sup>1</sup> Aceptado para publicación el 1/09/2011

<sup>2</sup> Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, <sup>3</sup> Departamento de Ciencias Agropecuarias, Universidad de La Frontera, <sup>4</sup> Departamento de Ciencias Químicas, Universidad de La Frontera, Casilla 5-4-D. Temuco, Chile. \*Autor responsable: pnunez@idiaf.gov.do. Dirección: Calle Rafael Augusto Sánchez N° 89, Ensanche Evaristo Morales, Santo Domingo, República Dominicana

en el forraje; c) manejo deficiente del pastoreo por los ganaderos (Núñez *et al.* 2010b) y d) manejo inadecuado del uso de nutrientes por la pradera (Núñez *et al.* 2010a). La combinación de estos factores reduce la eficiencia de utilización del forraje producido y una escasa nutrición vegetal, lo que limita su rendimiento.

En general, los sistemas de pastoreo tienen un impacto ambiental importante, con implicaciones a nivel social. La productividad y calidad de los forrajes mejora con la aplicación de fertilizantes nitrogenados y con el reciclaje de nutrientes. Por esto, el uso del N en la pradera requiere de una optimización, por lo cual se han implementado nuevas prácticas de manejo de pastoreo en los sistemas ganaderos, mejorando la eficiencia de las plantas en la captación de N y disminuyendo el N que se escapa del sistema a través de pérdidas de N gaseoso, como amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) y óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ; Oenema 2006).

Chile no cuenta con información precisa sobre las emisiones de óxido nitroso en sistemas ganaderos, ya que no hay una asignación precisa de los animales por sistema de producción, en especial de los bovinos. Debido a esto, el inventario de este gas se basa en estimaciones de expertos, lo que podría llevar a datos erróneos (Martineaux *et al.* 2009). En el caso de las emisiones de amoníaco, en Chile se dispone de investigaciones puntuales realizadas por Salazar *et al.* (2007) en praderas del sur del país.

La emisión de  $\text{N}_2\text{O}$  y otros gases son tema de investigación vigente en las últimas décadas (Krupa 2003, Krupa y Moncrief 2002), por contribuir al calentamiento global y el efecto invernadero. El objetivo de esta investigación fue determinar las emisiones anuales de  $\text{NH}_3$  y  $\text{N}_2\text{O}$  en una pradera permanente bajo diferentes sistemas de pastoreo en el Sur de Chile.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Localización y manejo del experimento

El experimento se realizó en un suelo Freire (Andisol) de la Estación Experimental Maquehue, Universidad de La Frontera, Región de La Araucanía, 38°50' LS, 72°42' LO y altitud de 70

m.s.n.m. durante la temporada primavera 2005 a invierno 2006. El suelo presentó niveles bajos de fósforo disponible (promedio de 15 mg  $\text{kg}^{-1}$ ), MO de 117 g  $\text{kg}^{-1}$ , pH promedio de 5.5 y saturación de aluminio de 3.5 %. Estos suelos se caracterizan por encontrarse en una topografía casi plana a suave ondulada, con pendiente entre 0 y 1 %, y ser moderadamente o poco profundos, con textura superficial franco limosa y color pardo oscuro (CIREN 2003).

El experimento se estableció con un diseño de bloques completos al azar, con tres repeticiones y cinco tratamientos, durante las estaciones primavera 2005, verano 2005-2006 y otoño e invierno 2006. Se estudiaron dos frecuencias de pastoreo (frecuente y poco frecuente), así como dos intensidades del mismo (intenso y suave). Los tratamientos se definieron de acuerdo con la siguiente nomenclatura (Núñez *et al.* 2010a): frecuente intenso (FI), frecuente suave (FS), poco frecuente intenso (PFI) y poco frecuente suave (PFS). También se estudió un tratamiento control (C), sin pastoreo, de acuerdo con lo reportado por Núñez *et al.* (2010a). Este tratamiento se fertilizó al igual que los tratamientos pastoreados. El pasto se cortó con máquina podadora de césped y los residuos se sacaron fuera de la unidad experimental (UE).

La intensidad del pastoreo indica el nivel de residuo que dejan los animales, una vez pastoreada la pradera (consumo de forraje), y la frecuencia se relaciona con la disponibilidad de forraje y los tiempos de uso, o sea tiempo entre pastoreos. El ensayo se realizó en una superficie de 2475  $\text{m}^2$  por estación, dividida en 15 parcelas. El tamaño de las unidades experimentales fue de 165  $\text{m}^2$  (11 m x 15 m) en un área útil total de aproximadamente una hectárea.

Se estableció una pradera permanente con ballica (*Lolium perenne* L.) cv. Quartet, festuca (*Festuca arundinacea* Schreb.) cv. Mylena y pasto ovilla (*Dactylis glomerata* L.) cv. Starly, asociados a trébol blanco (*Trifolium repens* L.) cv. Tribute y Nusiral. Las dosis de semilla fueron 8.3  $\text{kg ha}^{-1}$  para las gramíneas y 4  $\text{kg ha}^{-1}$  para el trébol. La pradera se fertilizó de acuerdo con lo reportado por Núñez *et al.* (2010a). Durante el periodo experimental (prima-

vera 2005 a invierno 2006), la pradera fue fertilizada con 230 kg ha<sup>-1</sup> de N como urea, distribuido equitativamente: dos veces en primavera (15 octubre y 15 de noviembre 2005), dos veces en otoño (4 de abril y 8 de mayo del 2006) y una vez en invierno (17 de agosto del 2006). Además, en cada fertilización se aplicó "sulpomag" (sulfato de potasio y magnesio) en dosis de 100 kg ha<sup>-1</sup>. En otoño e invierno se aplicó súper fosfato triple en dosis de 200 kg ha<sup>-1</sup> cada una y sólo en invierno 1000 kg ha<sup>-1</sup> de "Magnecal 15" y 500 kg ha<sup>-1</sup> de "Ferti yeso".

Se utilizaron parcelas con un consumo promedio anual aproximado por pastoreo de 1040, 660, 1410 y 1020 kg ha<sup>-1</sup> de materia seca (MS) para los tratamientos FI, FS, PFI y PFS, respectivamente. Para el control se utilizaron parcelas con una producción promedio de 780 kg ha<sup>-1</sup> de MS por corte (9 cortes). El consumo de forraje de los animales por tratamiento dependió de la disponibilidad de MS ofrecida al inicio del pastoreo y la altura de residuo al finalizar cada evento. Esto varió de acuerdo con la tasa de crecimiento de la pradera por estación.

El pastoreo se realizó con vacas secas Holstein Friesian, con peso promedio de 400 kg, durante las cuatro estaciones (primavera, verano, otoño e invierno), que se seleccionaron del rebaño lechero de la Estación Experimental Maquehue. La carga animal promedio del año fue de 2.1 unidades animal ha<sup>-1</sup>. Los animales se manejaron de acuerdo con lo reportado por Núñez *et al.* (2010a, 2010b). Las entradas y salidas de los animales al pastoreo fueron controladas usando el plato medidor de forraje "plate rising meter", de acuerdo con la metodología propuesta por Castle (1976).

El número de pastoreos por tratamiento, así como el número de cortes en el control, varió de acuerdo con la Estación. Fue superior en la primavera y se redujo en otoño, invierno y verano. El mayor número de pastoreos se realizó en los tratamientos frecuentes FI (10) y FS (11), mientras en el pastoreo menos frecuente se redujo en PFI (7) y en PFS (8). En general, el tiempo acumulado de pastoreo por tratamiento al año fue similar en un intervalo de 24-30 h. Sin embargo, el pastoreo intenso involucró una mayor estadía

de los animales, con un tiempo acumulado entre 26-30 h, variando con las estaciones (Núñez *et al.* 2010a).

### Emisiones de amoníaco

El NH<sub>3</sub> volatilizado en los diferentes tratamientos se muestreó de acuerdo con la metodología propuesta por Sagggar *et al.* (2004), utilizando una cámara estática de PVC hermética para la toma de muestras de gases en terreno. La cámara tenía una dimensión de 250 mm de diámetro (Ø) y 210 mm de altura, incrustada en una pieza de PVC de 250 mm del mismo diámetro, con tapa para cierre hermético de 250 mm de Ø. Sobre la superficie de la cámara se colocó un sistema de llaves y mangueras con cierre hermético para la extracción de las muestras con jeringas de polipropileno de 60 ml. La determinación de NH<sub>3</sub> se hizo por el método de producción de indofenol (Searle 1984), de acuerdo con lo reportado por Núñez *et al.* (2010a).

Se colocaron tres cámaras por tratamiento, alineadas al centro de cada unidad experimental (45 cámaras por estación de pastoreo), a una distancia de 4 metros entre sí y 1.5 metros de los bordes, a una profundidad de 110 mm antes y después de cada pastoreo (siempre en el mismo sitio durante cada estación de pastoreo). El número de muestreos varió con el número de pastoreos y estaciones (26 en primavera, 19 en verano, 22 en otoño y 15 en invierno), representando un 22 % del número de días del año muestreado. En cada muestreo se tomaron muestras de aire en todos los tratamientos y repeticiones.

### Emisiones de óxido nítrico

El N<sub>2</sub>O se determinó por los métodos propuestos por el National Greenhouse Gas Inventory Committee (NGGIC 2005) y por el Intergubernamental Panel on Climate Change (IPCC 1997), a partir de tres fuentes: N aplicado y el reciclaje de N en heces fecales y orina, para lo cual se utilizaron los siguientes factores de estimación: £ (%) = 1.25 para fertilizante, 0.4 orina y 0.5 en heces fecales.

Se tomaron tres muestras de heces y tres de orina por unidad experimental (UE), en total nueve de cada tipo por tratamiento, durante cada pas-

toreo. Las muestras de orina eran tomadas al azar de las seis vacas en pastoreo por UE. En el caso de los fertilizantes se consideraron las dosis aplicadas de N de acuerdo a lo reportado por Núñez *et al.* (2010a).

### VARIABLES METEOROLÓGICAS

Durante el periodo se monitoreó la temperatura del aire y las precipitaciones mensuales producidas (Figura 1). La temperatura media mensual del aire fluctuó entre 8.7 y 16.5 °C, con temperaturas mínimas promedio entre 3 y 9 °C y máximas entre 10 y 36 °C. La precipitación anual fue de 1607 mm, con la mayor precipitación en los meses de junio y julio de 2006. La temperatura del suelo fue variable durante la temporada de pastoreo: superior en verano, con una media de 18.2 °C, e inferior en invierno con 9.7 °C (Dirección Meteorológica de Chile, Temuco 2005-2006).

### ANÁLISIS DE DATOS

Los datos obtenidos se analizaron estadísticamente con el software estadístico JPM (SAS Institute, USA, 2002), con un nivel de 95 % de confianza. Se realizó un análisis de varianza (ANAVA) y los resultados que presentaron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) se analizaron

mediante la prueba de comparación múltiple de Tukey, con un nivel de 5 %.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Emisiones de amoníaco desde la pradera

Las mayores pérdidas de  $\text{NH}_3$  ocurrieron en los tratamientos frecuentes FI, con  $39.9 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , y FS, con  $41.4 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  (Tabla 1), los cuales resultaron estadísticamente iguales ( $P \leq 0.05$ ). Por otra parte, los resultados indicaron que las emisiones anuales de  $\text{NH}_3$  fueron superiores en los tratamientos con mayor frecuencia de pastoreo e inferiores en los tratamientos poco frecuentes ( $36\text{-}38 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) y en el control ( $31 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ). Los resultados mostraron diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre los tratamientos pastoreados y el control. La emisión diaria de  $\text{NH}_3$  varió de  $0.099$  a  $0.113 \text{ kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ , en los tratamientos pastoreados, a  $0.085 \text{ kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ , en el control (Tabla 1).

El pastoreo manejado bajo criterio frecuente (FI y FS) fue, en promedio, superior que los tratamientos poco frecuentes (PFI y PFS), en 9 %, y que el tratamiento control en 23.3 %, en las emisiones de  $\text{NH}_3$ . El pastoreo frecuente (FI y FS) produjo un 8.9 % y 23 % más de pérdida de  $\text{NH}_3$  comparado con el pastoreo poco frecuente (PFI

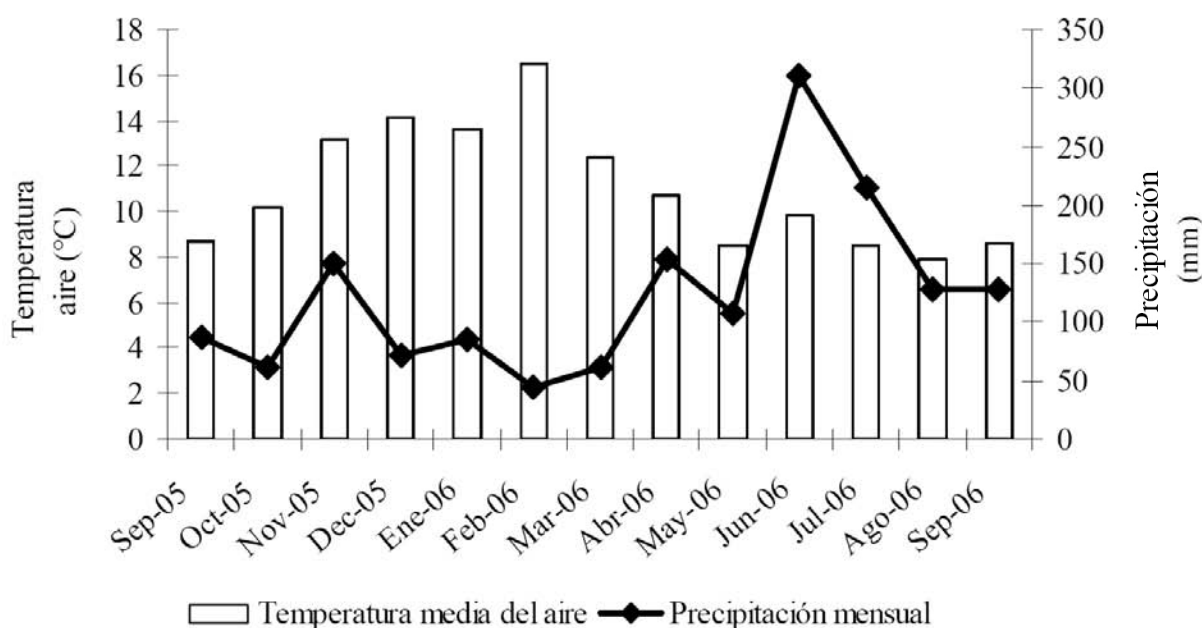


Figura 1. Temperatura media del aire y precipitación mensual en el período septiembre 2005 – septiembre 2006, Estación Experimental Maquehue, Temuco

Tabla 1. Emisión de amoníaco (NH<sub>3</sub>) desde el suelo en una pradera manejada con pastoreo

Tratamiento <sup>1</sup>	Emisión de NH <sub>3</sub>	
	Anual kg ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	Diaria kg ha <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup>
C	31.2 c	0.085 c <sup>2</sup>
FI	39.9 a	0.109 a
FS	41.4 a	0.113 a
PFI	36.1 b	0.099 b
PFS	37.9 b	0.103 b

<sup>1</sup> C = Control sin pastoreo; FI = frecuente intenso; FS = frecuente suave; PFI = poco frecuente intenso; PFS = poco frecuente suave. <sup>2</sup> Medias dentro de una columna seguidas por letras diferentes difieren significativamente entre sí (Tukey,  $\alpha=0.05$ ).

y PFS) y el control, respectivamente. Estos resultados no muestran diferencias entre FI y FS; y entre PFI y PFS ( $P \leq 0.05$ ).

Estos resultados mostraron que la cantidad de NH<sub>3</sub> volatilizado es dependiente, tanto de la frecuencia, como del número de pastoreos (Tabla 2). Los tratamientos FI y FS generaron una mayor frecuencia de N en la pradera (Tabla 2), lo que, asociado a factores ambientales (Figura 1) y las condiciones del suelo, produce mayores emisiones de NH<sub>3</sub>.

Las pérdidas de NH<sub>3</sub> fueron dependientes de las condiciones climáticas del año. Estas fueron superiores durante otoño y verano de 2006 (Datos no mostrados), estaciones donde se presentaron las mayores temperaturas (Figura 1) y menor pluviometría diaria promedio, con 2.1 mm en verano y 4.6 mm en otoño. Además, en otoño se produjo una mayor volatilización de NH<sub>3</sub>, por efecto de la aplicación de 92 kg ha<sup>-1</sup> de N fertilizante.

Las emisiones de NH<sub>3</sub> encontradas en esta investigación coinciden con los valores reportados por Jarvis y Ledgard (2002), en Reino Unido y Nueva Zelanda, en ganadería lechera de bovinos bajo pastoreo, y Eckard *et al.* (2003), en Australia, en praderas pastoreadas. En todos ellos, la mayor frecuencia de pastoreo produjo mayores niveles de emisión de NH<sub>3</sub>, comparado con pastoreo poco frecuente intenso, pastoreo poco frecuente suave y el control. Los resultados del experimento están en el amplio rango reportado para las emisiones de NH<sub>3</sub> por Núñez *et al.* (2007) y mantienen consistencia con los reportes encontrados en praderas templadas (Ledgard *et al.* 1998, Ledgard *et al.* 1999, Eckard *et al.* 2003).

Las emisiones de NH<sub>3</sub> representaron entre 13 y 18 % del N aplicado como urea. Estos valores coinciden con lo reportado por Bouwman *et al.* (2005) y Sommer y Jensen (1994). En ese sen-

Tabla 2. Número de pastoreos y número de días estimados entre pastoreos al año

Tratamiento <sup>1</sup>	Número y turnos de pastoreos	
	Pastoreos	Días promedios entre pastoreos
FI	10	37
FS	11	33
PFI	7	52
PFS	8	46

<sup>1</sup> FI= frecuente intenso; FS= frecuente suave; PFI= poco frecuente intenso; PFS= poco frecuente suave.

tido, los fertilizantes aportan 20 % del  $\text{NH}_3$  emitido desde el suelo (Bouwman *et al.* 2005). Sin embargo, este porcentaje dependerá del tipo de fertilizante aplicado, siendo superior cuando se aplica urea.

El  $\text{NH}_3$  volatilizado representó entre 8 y 11 % del N que entró a la pradera durante el año. Las mayores pérdidas se presentaron en FS, con 11 %. Este valor fue superior a las emisiones producidas en los demás tratamientos pastoreados y el control. En Chile, Salazar *et al.* (2007), en una pradera permanente, demostraron que al aplicar  $100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  de N como urea, un 10 % se pierde en forma de emisiones de  $\text{NH}_3$ . Este porcentaje es mucho menor que lo reportado en este experimento. Sin embargo, las condiciones de manejo y la época en que se realizó el experimento de Salazar *et al.* (2007) fueron diferentes. Por otro lado, el experimento de Salazar *et al.* (2007) fue de corta duración y los datos no representarían la media del año.

Las emisiones de  $\text{NH}_3$  en sistemas de pastoreo en zonas templadas representan entre 8 y 9 % de todas las entradas de N al sistema (Bouwman *et al.* 2005), lo que también coincide con este experimento. Todas las entradas y salidas de N a la pradera fueron determinadas, y las mismas son reportadas por Núñez (2008).

### Emisiones de óxido nitroso desde la pradera (heces fecales, orina y fertilizante nitrogenado)

Las mayores emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$  se produjeron en el pastoreo FI y PFI, con un promedio anual de  $3.24 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  de  $\text{N}_2\text{O}$ , reduciéndose la emisión en el pastoreo suave (FS y PFS) y el control (Tabla 3). Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos pastoreados ( $P \leq 0.05$ ). Esto guarda relación con la gran similitud entre los tratamientos pastoreados en comparación con el tratamiento control. El pastoreo intenso (FI y PFI) produjo entre un 2.16 y 4.3 % más de  $\text{N}_2\text{O}$  que el pastoreo FS y PFS, respectivamente, y un 11.1 % más que el control, mostrando diferencias estadísticas con el control y no entre los cuatro tipos de pastoreos ( $P \leq 0.05$ ). Phillips *et al.* (2007), aplicando los mismos factores de estimación de  $\text{N}_2\text{O}$ , reportó valores de emisión similares. La emisión de  $\text{N}_2\text{O}$  varía de acuerdo a la localización de la pastura, nivel de compactación del suelo por pisoteo de los animales y cantidad de heces y orina depositadas en la pradera (Van Groenigen *et al.* 2005). Los resultados del experimento están en el amplio rango reportado en una revisión bibliográfica por Núñez *et al.* (2007). Los datos mantienen la consistencia para los reportes encontrados en praderas templadas, sin embargo se observa que los factores que afectan estas emisiones son muy diversos.

Tabla 3. Estimación de la emisión anual de óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) desde fertilizantes, heces y orina depositados en sistemas de pastoreo

Tratamiento <sup>1</sup>	Emisión $\text{N}_2\text{O}$ ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ )			Total $\text{N}_2\text{O}$
	Urea	Orina	Heces	
C	2.88	NA <sup>2</sup>	NA	2.88 b <sup>3</sup>
FI	2.88	0.23	0.12	3.23 a
FS	2.88	0.19	0.10	3.17 a
PFI	2.88	0.24	0.12	3.24 a
PFS	2.88	0.15	0.08	3.11 a

<sup>1</sup> C= control sin pastoreo; FI= frecuente intenso; FS= frecuente suave; PFI= poco frecuente intenso; PFS= poco frecuente suave.

<sup>2</sup> NA = no aplica

<sup>3</sup> Medias dentro de una columna seguidas por letras diferentes difieren significativamente entre sí (Tukey,  $\alpha=0.05$ ).



De acuerdo a Oenema y Sapek (2000) y Saggart *et al.* (2007) los factores ambientales y de manejo de la pradera, como el tipo, cantidad y método de aplicación del fertilizante nitrogenado, sistema de pastoreo, compactación del suelo, tipo de pradera y drenaje estarían controlando las emisiones de  $N_2O$ . En la Región de la Araucanía se estima una emisión anual de  $N_2O$  de 2.78-3.13 Gg año<sup>-1</sup>, comparables a los generados por todas las actividades agrícolas de la región (3.04 Gg año<sup>-1</sup>) según inventarios de gases de invernadero realizados en Chile en la década de 1990 (González *et al.* 1995, Novoa *et al.* 2000). Brown *et al.* (2002) reportan emisiones de  $N_2O$  en praderas de 16.75 Gg en Inglaterra, 2.26 Gg en Gales, 2.47 en Escocia, 2.78 en Irlanda del Norte y 24.27 Gg en Reino Unido. Por lo tanto, las emisiones de  $N_2O$  estimadas en la Araucanía, IX Región de Chile, están dentro del rango de emisiones de sistemas prateros.

## CONCLUSIONES

A medida que se aumenta la frecuencia de pastoreo se produce un incremento de las emisiones (8.9 % y 23 %) de  $NH_3$  en relación al pastoreo poco frecuente y el control. Esto sugiere un mayor conocimiento sobre las frecuencias de entradas de los animales bovinos a la pastura y con este manejo se pueden reducir dichas emisiones. Por otro lado, la intensidad de pastoreo (FI y PFI) afecta las emisiones de  $N_2O$  en comparación con el pastoreo suave (FS y PFS) y el control. De los resultados del trabajo se interpreta el hecho de que una mayor frecuencia, y no necesariamente una mayor intensidad de pastoreo, podrían producir una mayor volatilización de  $NH_3$ , esto a consecuencia de no encontrar diferencias estadísticas entre los resultados. En el caso de la emisión de  $N_2O$ , los tratamientos con mayor intensidad de pastoreo, generaron mayores emisiones, sin embargo no se encontraron diferencias estadísticas entre los sistemas de pastoreo y por lo tanto no se podría atribuir al tiempo de pastoreo y al incremento del flujo de N; sin embargo, se observó un cambio entre la emisión y la intensidad.

## AGRADECIMIENTOS

A los Proyectos DIUFRO 160603, FONDECYT 1020934, 1040104, 1061262 y FIA (FIA-PI-C-2003-1) de la Universidad de La Frontera por financiar la investigación. Al Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF), por facilitar la estadía del Dr. Pedro Núñez en el Programa de Doctorado en Ciencias de Recursos Naturales en la Universidad de La Frontera. Además se agradece la colaboración del Dr. Tom Misselbrook del North Wyke Research, Okehampton, Devon, EX20 2SB, UK.

## LITERATURA CITADA

- Bouwman, A. F.; Van Drecht, G.; Van der Hoek, K. W. 2005. Global and regional surface nitrogen balances in intensive agricultural production systems for the period 1970-2030. *Pedosphere* 15: 137-155.
- Brown, L.; Syed, B.; Jarvis, S. C.; Sneath, R. W.; Phillips, V. R.; Goulding, K. W. T.; Li, C. 2002. Development and application of a mechanistic model to estimate emission of nitrous oxide from UK agriculture. *Atmospheric Environment* 36: 917-928.
- Castle, M. E. 1976. A simple disc instrument for estimating herbage yield. *Journal British Grassland Society* 32: 37-40.
- CIREN (Centro de Información de Recursos Naturales, CH). 2003. Descripciones de suelos, materiales y símbolos, estudio agrológico X Región. Vol. II. Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN), Santiago, CH.
- Dirección Meteorológica de Chile, Temuco 2005-2006. Estación Maquehue, Ciudad de Temuco. Registros diarios. Araucanía, CH.
- Eckard, R. J.; Chen, D.; White, R. E.; Chapman, D. F. 2003. Gaseous nitrogen loss from temperate perennial grass and clover dairy pastures in south-easter Australia. *Australian Journal of Agricultural Research* 54: 561-570.
- González, M. S.; Novoa, S. A. R.; Blazer, G. C. 1995. Preliminary inventory of greenhouse gases in Chile: agriculture, land-use change and forestry. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela* 10: 130-147.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 1997. Revised 1996. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Module 4. Agriculture. Available at: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.htm>. Acceso en noviembre 2006.
- INE (Instituto Nacional de Estadísticas de Chile, CH). 1997. Resultados preliminares VI Censo Agropecuario. INE - Instituto Nacional de Estadísticas de Chile, impresos Universitarios SA, Santiago, CH.
- INE (Instituto Nacional de Estadísticas de Chile, CH). 2007. Informe estadísticas agropecuarias para el periodo 2001-2006 y primer semestre 2007. impresos Universitarios SA, Santiago, CH. Disponible en: [http://www.ine.cl/canales/chile\\_estadistico/estadisticas\\_agropecuarias/pdf/pecuarioprimersemestre2007\\_2.pdf](http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/estadisticas_agropecuarias/pdf/pecuarioprimersemestre2007_2.pdf). Acceso en diciembre 2007.
- Jarvis, S. C.; Ledgard, S. 2002. Ammonia emissions from intensive dairying: A comparison of contrasting systems in the United Kingdom and New Zealand. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 92: 83-92.

- Krupa, S. V. 2003. Effects of atmospheric ammonia ( $\text{NH}_3$ ) on terrestrial vegetation: a review. *Environmental Pollution* 124: 179-221.
- Krupa, S. V.; Moncrief, J. F. 2002. An integrative analysis of the role of atmospheric deposition and land management practices on nitrogen in the US agricultural sector. *Environmental Pollution* 118: 273-283.
- Ledgard, S. F.; Crush, J. R.; Penno, J. W. 1998. Environmental impacts of the different nitrogen inputs on dairy farms and implications for the resource management Act of New Zealand. *Environmental Pollution* 102:515-519.
- Ledgard, S. F.; Penno, J. W.; Sprosen, M. S. 1999. Nitrogen inputs and losses from clover/grass pastures grazed by dairy cows, as affected by nitrogen fertilizer application. *Journal of Agricultural Science* 132: 215-225.
- Martineaux, S. G.; Salazar, F. F.; Salas, C. F.; Tessada, R. S. 2009. Resultados del sector 4: Agricultura. In: S. G. Martineaux (ed). *Inventarios anuales de gases de efecto de invernadero de Chile. Serie temporal 1984/2003 para sectores No-energía*. Santiago de Chile, CH. *Boletín de Chile* 185: 181-210.
- NGGIC (National Greenhouse Gas Inventory Committee, AU). 2005. *Australian Methodology for Estimation of Greenhouse Gas Emissions and Sinks 2005: Agriculture*. Australian Greenhouse Office, Department of Environment and Heritage, Canberra, AU.
- Novoa, R. S. A.; Sergio, G. M.; Novoa, R. J.; Rojas, R. 2000. Inventory of greenhouse gas emissions by Chile agriculture. *Agricultura Técnica* 60: 154-165.
- Núñez, P.; Demanet, R.; Matus, F.; Mora, M. L. 2007. Grazing management, ammonia and nitrous oxide emissions: a general view. *Journal Soil Science Plant Nutrition* 7: 61-99.
- Núñez, P. 2008. Efecto de la frecuencia e intensidad de pastoreo en las pérdidas de nitrógeno en una pradera permanente del Sur de Chile. Tesis de grado para optar al título de Doctor en Ciencias de Recursos Naturales. Universidad de La Frontera. Temuco, CH. Tutor Dra. María de la Luz Mora. Temuco, Chile. 186 p. Disponible en: <http://www.ufro.cl/rrnn/>. Consultado en línea febrero 2012.
- Núñez, P.; Demanet, R.; Misselbrook, T. H.; Alfaro, M.; Mora, M. L. 2010a. Nitrogen losses under different cattle grazing frequencies and intensities in a volcanic soil of southern Chile. *Chilean Journal of Agricultural Research* 70: 237-250.
- Núñez, P.; Demanet, R.; Alfaro, M.; Mora, M. L. 2010b. Nitrogen soil budgets in contrasting dairy grazing systems of Southern Chile, a short term study. *Journal Soil Science Plant Nutrition* 10: 170-183.
- Oenema, O. 2006. Nitrogen budgets and losses in livestock systems. *International Congress Series* 1293: 262-271.
- Oenema, O.; Sapek, A. 2000. Controlling nitrogen oxide emissions from grassland farming systems; the COGANOG project. In: O. Oenema, and A. Sapek (eds). *Effects of liming and nitrogen fertilizer application on soil acidity and gaseous nitrogen oxide emissions in grassland systems*. Poland, PO, Falenty, IMUZ publisher. pp: 7-13.
- Phillips, F. A.; Leuning, R.; Baigenta, R.; Kelly, K. B.; Denmead, O. T. 2007. Nitrous oxide flux measurements from an intensively managed irrigated pasture using micrometeorological techniques. *Agricultural and Forest Meteorology* 143: 92-105.
- Saggar, S.; Andrew, R. M.; Tate, K. R.; Hedley, C. B.; Rodda, N. J.; Townsend, J. A. 2004. Modelling nitrous oxide emissions from dairy grazed pastures. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 68: 243-255.
- Saggar, S.; Giltrap, D. L.; Li, C.; Tate, K. R. 2007. Modelling nitrous oxide emission from grazed grassland in New Zealand. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 119: 205-216.
- Salazar, F.; Alfaro, M.; Lagos, J.; Williams, J.; Ramírez, L.; Valencia, E. 2007. Volatilización de amoníaco por la aplicación de urea en una pradera permanente de Osorno. In: H., González, and H.S. Iraira, (eds), *XXXII Congreso Anual de la Sociedad Chilena de Producción Animal*. 14, 15 y 16 de Noviembre 2007. INIA-SOCHIPA, Frutillar, CH, pp. 53-54.
- SAS Institute. 2002. *JMP 5.0.1.2 the statistical discovery software 2002*. SAS Institute Inc. Campus Drive, Cary, North Carolina, USA.
- Searle, P. L. 1984. The Berthelot or indophenol reaction and its use in the analytical chemistry of nitrogen. A review. *Analyst* 109: 549-568.
- Sommer, S. G.; Jensen, C. 1994. Ammonia volatilization from urea and ammoniacal fertilizers surface-applied to winter-wheat and grassland. *Fertilizer Research* 37: 85-92.
- Van Groenigen, J. W., P. J. Kuikman, W. J. M. de Groot, and G. L. Velthof. 2005. Nitrous oxide emission from urine-treated soil as influenced by urine composition and soil physical conditions. *Soil Biology and Biochemistry* 37: 463-473.

# ¿Es inocua la utilización de grasas y aceites reciclados que contienen dioxinas y policlorobifenilos, en la alimentación animal y humana?<sup>1</sup>

José A. Choque-López<sup>2</sup>

Las materias grasas son ampliamente utilizadas en la nutrición de los animales, no sólo en forma de materias primas, sino también en forma de co- o sub-productos de la cadena alimentaria, como es el caso de las grasas recicladas. Aunque tienen diverso origen y una composición variable, se constituyen en una buena alternativa nutricional. No obstante, en ocasiones pueden presentar compuestos nocivos, muchos de ellos tóxicos tales como dioxinas y policlorobifenilos (PCB), compuestos polibrominados, hidrocarburos aromáticos policíclicos, entre otros, que pueden ser transferidos al producto final, es decir, carne, leche, huevos y productos derivados de estos. Los contaminantes más importantes de este grupo, las dioxinas y PCB, conocidos también como compuestos orgánicos persistentes (COP) asociados a las grasas, han despertado el interés de la comunidad científica ya que se ha visto que pueden estar implicados en alertas alimentarias y que pueden ocasionar serios problemas de salud por sus propiedades *carcinógenas* y *mutagénicas*. Es importante considerar los límites de tolerancia a la ingestión de estos contaminantes y su efecto en el consumo, no sólo de los animales sino también de las personas que se constituyen en el eslabón último de la cadena alimentaria.

**Palabras claves:** Nutrición animal, alertas alimentarias, contaminantes alimentarios, propiedades carcinogénicas, biomagnificación

## UTILIZACIÓN DE MATERIAS GRASAS EN LA ALIMENTACIÓN ANIMAL

Las grasas han sido utilizadas en la alimentación de los animales desde el inicio de la producción moderna. Su uso ha aumentado paralelamente a la mejora de la genética y de la productividad. Las actuales estirpes genéticas son más eficientes y necesitan piensos con una alta concentración energética, por lo que la incorporación de materias grasas es una práctica habitual en los programas de alimentación.

Consideraciones relativas al empleo de grasas y co-productos de su refinera utilizados en la alimentación de las diferentes especies de interés zootécnico, pueden encontrarse en revisiones realizadas por diversos autores (Palmquist 1988, Dziezak 1989, Hertrampf 1992, Shepperson 1993, Mateos *et al.* 1995, Mateos *et al.* 1996b, Codony and Guardiola 1999, FEDNA 2003, Zi-

ggers 2005). La Tabla 1 presenta las materias grasas de mayor uso en las explotaciones pecuarias.

Las grasas recicladas (procedentes de procesos industriales) son motivo de especial interés debido a que el análisis de sus características químicas y su elevado contenido de ácidos grasos (AG), indica que constituyen una buena alternativa nutricional. Sin embargo, en ocasiones, pueden presentar compuestos nocivos. Por otra parte, no deben dejarse de lado los problemas ambientales que conllevan su vertido, almacenamiento o destrucción, en caso de no ser reutilizadas adecuadamente.

**Grasas y aceites reciclados.** Este grupo consiste en materiales residuales de la cadena alimentaria humana y proceden fundamentalmente de

1 Aceptado para publicación el 1/09/2011

2 Investigador Titular. Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF). Centro de Producción Animal, Estación Experimental Pedro Brand. Santo Domingo Oeste. [jchoque@idiaf.gov.do](mailto:jchoque@idiaf.gov.do)

Tabla 1. Tipos y fuentes de grasa de mayor uso en las explotaciones pecuarias (Adaptado de Mateos *et al.* (1996a))

Origen	Característica	Producto
Animal	Terrestre	Sebo
		Manteca
		Grasa de aves
	Marino	Aceite Pescado
Vegetal	Saturadas	Palma
		Coco
	Insaturadas	Aceite Soja
		Aceite Girasol
		Aceite Colza
	Otros	
Procesos industriales	Refinado de aceite	Aceites ácidos u Oleínas
	Grasas transformadas	Grasas hidrogenadas
	Grasas fraccionadas	Jabones cálcicos
	Grasas reutilizadas	Lecitinas
Grasas Técnicas	Mezclas	Residuos de freiduría

la recolección en industrias de fritura, procesado de alimentos, centros de restauración e industrias cárnicas, como productos que hay que eliminar. Lógicamente, en ciertos casos, la calidad de los mismos no es adecuada para el consumo en forma directa y deben pasar por un proceso de reciclado o purificación. Este proceso permite eliminar la fracción correspondiente a productos de alteración, entre los cuales se encuentran los productos de oxidación y posibles contaminantes, fracción de nula digestibilidad y comprobados efectos nocivos para la salud (Wiseman and Cole 1983, Mateos *et al.* 1996b, Codony and Guardiola, 1999, Bou *et al.* 2005, Choe and Min 2007).

Hasta 1985, más del 90 % de la grasa de los restaurantes era de origen animal. La industria del reciclado añadía a estos lípidos recogidos cantidades variables de oleínas vegetales de diversa procedencia, a fin de elevar su contenido de linoleico (50 %, 35 % y 20 %). Por la combinación entre grasa animal y oleínas vegetales, estas mezclas se conocen comúnmente como grasoleínas. Otras veces se le añadían grasas provenientes de las industrias de los subproductos de mataderos y sebos oscuros o con un contenido indeterminado de ácidos grasos libres,

rechazados por la industria del jabón (acidez y color excesivo). De aquí que estas otras grasas reciban el nombre de “yellow grease” o grasas amarillas (Tabla 2).

Estas grasas contienen, en promedio, un 20 a 25 % de linoleico (índice de iodo entre 80 y 87) y son bien utilizadas por los monogástricos, a pesar de su alto contenido en material no eluible (no se disuelven en solventes orgánicos) y ácidos grasos trans.

Cuando se recolectan, seleccionan, filtran y reciclan de forma adecuada, su valor nutricional es alto y similar e incluso superior al de un sebo de calidad media. El problema aparece cuando se reciclan grasas de freiduría excesivamente recalentadas, con niveles de polímeros elevados (en ocasiones superiores al 20 %). Cuando el tratamiento térmico es abusivo se produce autooxidación de los ácidos grasos con aumento del contenido en polímeros, monómeros cíclicos, hidroperóxidos y otros compuestos no eluibles que no son digestibles y que pueden resultar dañinos y tóxicos para el animal. Además, los productos oxidados reducen la palatabilidad de la grasa original.

La calidad de los aceites vegetales recuperados varía ampliamente dependiendo de la procedencia y el procesado realizado, y es evidente que es necesario un control analítico exhaustivo.

En relación con otros tipos de grasas recicladas, debe señalarse que pueden contener algunos compuestos de contaminación externa. La presencia de estas grasas contaminadas en el pienso, con alto contenido en hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), dioxinas y PCB o plaguicidas, puede afectar de forma negativa a la salud de los animales. No obstante, se han detectado niveles de estos compuestos perjudiciales en las materias grasas de origen (no procesadas), lo que parece indicar que no sólo son característicos de las materias grasas residuales.

Es importante estudiar la posibilidad de incorporar estas grasas recicladas como suplemento energético en el pienso para animales. En este

sentido, como ya se había anticipado, hay que tener en cuenta la posible presencia de sustancias perjudiciales, hecho que plantea un problema relativo a la seguridad de su uso tanto para los animales como para el consumidor del producto final.

### CONTAMINACIÓN ORGÁNICA DE LAS GRASAS

Las dioxinas, los policlorobifenilos (PCB) así como los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) han generado una gran preocupación, debido a su elevada toxicidad y sus propiedades carcinogénicas. Estos productos son originados, principalmente, en procesos de combustión o como residuos de la industria de las pinturas, entre otros. El problema radica, fundamentalmente, en el hecho de que poseen propiedades lipofílicas, motivo por el cual tienden a asociarse a sustratos grasos y permanecer en el ambiente por períodos largos, acumulándose y aumentando

Tabla 2. Ácidos grasos de algunas grasas recicladas (Adaptado de tablas FEDNA (2003))

Perfil Ácidos Grasos		Grasoleínas			
(% Grasa verdadera)	Grasas Amarillas	>50 %*	>35 %*	<20 %*	
C<14	tr.**	tr.	tr.	tr.	
Mirístico C14:0	1	<1.0	<2.0	<3.0	
Palmítico C16:0	18	<11.0	<18.0	<25.0	
Palmitoleico C16:1	2.5	1	2	2.5	
Estearico C18:0	9	<5.0	<8.0	<10.0	
Oleico C18:1	46	25	33	38	
Linoleico C18:2	21	>50.0	>35.0	>18.0	
Linolénico C18:3	2	2	1.5	1	
C>=20	tr.	tr.	<2.0	<3.0	
Características					
Índice Iodo	>70	>115	>100	>85	
Título (Punto de fusión)	ND	<15	<18	<22	
pH - Acidez mineral	ND	>5.5	>5	>5	
Grasa no eluible (NEM)	<16	<15	<18	<20	
MIU	<3	<4	<6	<7	
Saturado/Insaturado	0.39	0.2	0.43	0.67	

\* Contenido de ácido linoleico. MIU= humedad, impurezas e insaponificables. % = porcentaje.

\*\*tr= trazas.

ND = no determinado.

do su concentración a medida en que pasan de un individuo a otro de la cadena trófica. A continuación se describen las principales características de un grupo de estos contaminantes: Las dibenzo-p-dioxinas (policlorodibenzo-p-dioxinas, PCDD; policlorodibenzo furanos, PCDF) y los policlorobifenilos (PCB).

**Dioxinas y Policlorobifenilos.** Las dioxinas y los policlorobifenilos (PCB) han sido objeto de numerosos estudios por su relación con la contaminación ambiental, su efecto negativo sobre la salud y su implicación en diversas alertas alimentarias. Entre ellas se destacan las ocurridas en Yusho (Japón) en 1968, donde se detectaron niveles de contaminación en leche materna; en la guerra de Vietnam en la década de 1970, como consecuencia del uso del herbicida denominado “agente naranja”; en Seveso (Italia) en 1976, en el conocido incidente de los pollos belgas del año 1999; o en el envenenamiento del presidente de Ucrania, Viktor Yushchenko, ocurrido en el año 2004 (Schechter *et al.* 2006). La importancia de estos contaminantes queda patente en diversas revisiones y pruebas experimentales (Schechter *et al.* 1998, Bernard *et al.* 1999, Moser and McLachlan 1999, SCAN 2000, Anton and Lizaso 2001, Gorrachategui 2001, Bernard *et al.* 2002, Guitart 2002, Schmid *et al.* 2002, Gallego *et al.* 2005, De Vries *et al.* 2006, Sapkota *et al.* 2007, Tard *et al.* 2007). Sin embargo, la mayoría de los estudios sobre dioxinas y PCB están enfocados a la salud humana y/o al efecto sobre la salud de animales silvestres o acuáticos. La información relacionada con el efecto sobre animales de granja todavía es escasa.

El término *dioxina* engloba una gran variedad de compuestos químicos de diferente potencial tóxico. En este grupo se cuentan 135 congéneres de los policlorodibenzofuranos (PCDF) y 75 congéneres de las dibenzo-p-dioxinas policloradas (PCDD). Entre estos compuestos, 17 son considerados tóxicos para el hombre. La 2, 3, 7, 8-tetracloro-dibenzo-p-dioxina, conocida también como “dioxina de Seveso”, es la más peligrosa y se considera como la sustancia más tóxica producida por el hombre.

De los 209 congéneres de los *policlorobifenilos* (PCB), 12 presentan propiedades tóxicas simila-

res a las dioxinas y reciben el nombre de compuestos coplanares o análogos a las dioxinas (dioxin-like compounds).

**Legislación.** A pesar de la relativamente extensa lista de procesos que pueden originar dioxinas y PCB, el riesgo de contaminación por estos agentes para el hombre está sujeto principalmente a la ingestión de alimentos de origen animal. La prevención de la contaminación de los alimentos es el objetivo principal al momento de definir políticas regulatorias de la emisión de estas sustancias tóxicas y de su contenido en los alimentos destinados a la alimentación tanto humana como animal.

Las alertas alimentarias provocadas por este grupo de contaminantes han hecho que las autoridades sanitarias establezcan normas regulatorias destinadas a evitar problemas de salud, no sólo en las personas sino también en los animales que se vean expuestos a su actividad tóxica. Al respecto de la ingestión de dioxinas, el Diario Oficial de la Unión Europea publicó, en febrero del año 2006, un reglamento (Reglamento (CE) N° 199/2006, 2006) en el que se fijan los contenidos máximos de contaminantes (dioxinas y PCB) en productos alimentarios de consumo humano. La Tabla 3 recoge los puntos más importantes de esa publicación.

En el caso de productos destinados a la alimentación de los animales, también en el 2006 se publicó la Directiva 2006/13/CE (2006), que establece los límites de contaminación de dioxinas y PCB, permitidos en las diferentes materias utilizadas en la preparación de los piensos animales.

América Latina y el Caribe, en cumplimiento con la Convención de Estocolmo sobre POP (Secretariat of the Stockholm Convention), han llevado a cabo diferentes reuniones entre las que cabe destacar la “1° Conferencia de firmantes de la Convención sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP)” Celebrada en Punta del Este (Uruguay) del 2 al 6 de mayo de 2005. Como resultado de ese encuentro se estableció la necesidad de que cada país suscriba el marco regulatorio y políticas institucionales de control

Tabla 3. Suma de policlorodibenzo-para-dioxinas (PCDD), policlorodibenzofuranos (PCDF) y policlorobifenilos (PCB) expresada en equivalentes tóxicos de la Organización Mundial de la Salud (EQT-WHO), utilizando los factores de equivalencia de toxicidad de la misma organización (Reglamento (CE) N° 199/2006, 2006; Sección 5. Dioxinas)

Productos alimenticios	Contenido máximo Suma de dioxinas y furanos (EQT PCDD/F-WHO) <sup>(1)</sup>	Contenido máximo Suma de dioxinas, furanos y PCB (EQT PCDD/F+PCB-WHO) <sup>(1)</sup>
Carne y productos cárnicos <sup>(2)</sup> :		
De rumiantes (bovinos y ovinos)	3.0 pg/g grasa <sup>(3)</sup>	4.5 pg/g grasa <sup>(3)</sup>
De aves de corral y caza de cría	2.0 pg/g grasa <sup>(3)</sup>	4.0 pg/g grasa <sup>(3)</sup>
De porcinos	1.0 pg/g grasa <sup>(3)</sup>	1.5 pg/g grasa <sup>(3)</sup>
Hígado y productos derivados procedentes de animales terrestres	6.0 pg/g grasa <sup>(3)</sup>	12.0 pg/g grasa <sup>(3)</sup>
Carne de pescado y productos de la pesca y sus productos derivados, excepto la anguila <sup>(4) (5)</sup>	4.0 pg/g peso en fresco	8.0 pg/g peso en fresco
Carne de anguila ( <i>Anguilla anguilla</i> ) y sus productos	4.0 pg/g peso en fresco	12.0 pg/g peso en fresco
Leche <sup>(6)</sup> y productos lácteos, incluida la grasa de mantequilla	3.0 pg/g grasa <sup>(3)</sup>	6.0 pg/g grasa <sup>(3)</sup>
Huevos de gallina y ovoproductos <sup>(7)</sup>	3.0 pg/g grasa <sup>(3)</sup>	6.0 pg/g grasa <sup>(3)</sup>
Materias grasas de origen animal:		
De rumiantes	3.0 pg/g grasa	4.5 pg/g grasa
De aves de corral y caza de cría	2.0 pg/g grasa	4.0 pg/g grasa
De porcinos	1.0 pg/g grasa	1.5 pg/g grasa
Mezcla de grasas de origen animal	2.0 pg/g grasa	3.0 pg/g grasa
Materias grasas de origen vegetal	0.75 pg/g grasa	1.5 pg/g grasa
Aceite marino (aceite de pescado, aceite de hígado de pescado y aceites procedentes de otros organismos marinos destinados al consumo humano)	2.0 pg/g grasa	10.0 pg/g grasa

(1) Concentraciones máximas: las concentraciones del límite superior se calculan dando por sentado que todos los valores de los diferentes congéneres por debajo del límite de detección son iguales a este límite.

(2) Carne de bovino, ovino, porcino, aves de corral y caza de cría conforme a la definición del anexo I del Reglamento (CE) n° 853/2004 del Parlamento Europeo y del Consejo (DO L 139 de 30.4.2004, p. 22). Excluidos los despojos no comestibles definidos en el mencionado anexo.

(3) Los contenidos máximos no se aplican a los productos alimenticios con un contenido < 1 % de grasa; pg/g= picogramo por gramo

(4) Carne de pescado y productos de la pesca tal como se definen en las categorías a), b), c), e) y f) de la lista del artículo 1 del Reglamento (CE) n° 104/2000 del Consejo (DO L 17 de 21.1.2000, p. 22. Reglamento modificado por el acta de adhesión de 2003). Los contenidos máximos se aplican a los crustáceos, excluida la carne oscura de cangrejo, así como la carne de la cabeza y el tórax de la langosta y de crustáceos similares de gran tamaño (Nephropidae y Palinuridae) y los cefalópodos sin vísceras.

(5) Si el pez está destinado a ser consumido entero, el contenido máximo se aplicará al pez entero.

(6) Leche (leche cruda, leche para la fabricación de productos lácteos y leche tratada térmicamente) tal como se define en el anexo I del Reglamento (CE) n° 853/2004.

(7) Huevos de gallina y ovoproductos, tal como se definen en el anexo I del Reglamento (CE) n° 853/2004.

de estas sustancias orgánicas. República Dominicana, país no firmante en una primera instancia, recibió el apoyo del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y, en coordinación con el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, han ejecutado el proyecto "Asistencia inicial para habilitar al país a cumplir sus obligaciones con la Convención de Estocolmo sobre POP". Este proyecto se desarrolló entre septiembre de 2006 y octubre de 2008, y actualmente se encuentra en fase de evaluación. Se espera que este proyecto emita las recomendaciones que permitan establecer una normativa nacional con relación al control de la emisión de PCDD/F y PCB.

**Origen y persistencia de dioxinas y PCB en el medio ambiente.** Las dioxinas no tienen utilidad para el hombre, a diferencia de los PCB que se han utilizado en la industria de las pinturas y plásticos. No obstante, se generan grandes cantidades (directa o indirectamente) de estos compuestos en diversos procesos industriales que implican cloro, carbono y calor. De igual manera, los procesos naturales, como las erupciones volcánicas, pueden generar también dioxinas así como otros compuestos policíclicos, tal como puede apreciarse en la Tabla 4.

Su marcado carácter lipofílico y persistencia en el medio ambiente, así como una elevada vida media en los tejidos animales, hacen que PCDD/F y PCB manifiesten tendencia a la acumulación, conforme pasan de un individuo a otro de la cadena trófica. La Figura 1 presenta como se lleva

a cabo este proceso en el que la concentración aumenta desproporcionadamente, sin que ello dependa necesariamente del grado de contaminación ambiental. Este fenómeno se conoce como bioacumulación o biomagnificación.

La vida media de las dioxinas en el organismo vivo es variable de acuerdo a la especie. Así, por ejemplo, la vida media de la 2, 3, 7, 8-TCDD se estima entre 5.1 y 11.3 años en el hombre, en tanto que en roedores es usualmente de 2 a 4 semanas o de 6 a 8 semanas en primates no humanos (Gorrachategui 2001, Schechter *et al.* 2006).

**Fuentes de exposición.** Una vez originadas por cualquiera de los procesos mencionados líneas arriba, las dioxinas y PCB presentan una amplia distribución en el ambiente y pueden contaminar un sin fin de eslabones de la cadena trófica. Las figuras 2 y 3 muestran las posibles *vías de entrada* de las dioxinas en la cadena alimentaria. A partir de la fuente de contaminación, son emitidas en forma de gas y se transportan en el aire y el agua, depositándose en el suelo y los sedimentos. De esta manera, pueden llegar a los vegetales comestibles o la hierba destinada al ganado (en zonas contaminadas el heno puede llegar a poseer hasta 50 pg de dioxinas/g de materia seca), ingresando en la cadena agroalimentaria o incorporándose al lecho marino.

Otra vía de entrada es la eliminación fraudulenta de sustancias contaminadas a través de vertidos incontrolados o su incorrecta adición en piensos



Aves y mamíferos marinos:  
14 a 1500 ng/g lípidos, de PCB

Peces: 70 ng/g lípidos, de PCB

Zooplancton: 3 ng/g lípidos, de PCB

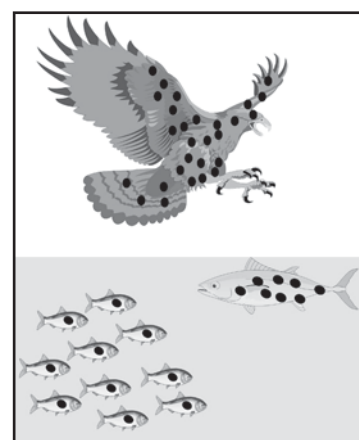


Figura 1. Biomagnificación de la concentración de dioxinas y PCBs en la cadena trófica (Díaz 2007)



Tabla 4. Fuentes de generación de dioxinas (Adaptado de Gallego *et al.* (2005))

Procesos industriales y químicos:

- Industria química
- Industria del papel y de la pulpa del papel
- Fabricación de PVC
- Industria del asfalto y del cemento
- Industrias metalúrgica y siderúrgica
- Combustión de combustibles fósiles
- Estufas y hornos de leña, y calefacciones
- Incendios de automotores, edificios y rellenos
- Cenizas de hornos, calderas, etc.

Procesos naturales:

- Erupciones volcánicas
- Incendios forestales o de otra biomasa
- Reacciones enzimáticas y fotolíticas

Procesos de combustión:

- Incineración de residuos industriales
- Incineración de residuos hospitalarios
- Incineración de residuos sólidos urbanos
- Fuentes de combustión doméstica
- Tráfico vehicular
- Nafta con plomo
- Fuel-oil de baja calidad
- Reciclaje y fundición de aluminio y acero
- Plaguicidas (insecticidas, herbicidas,...)
- Plantas de desguace de vehículos
- Combustiones de cigarrillos
- Antisépticos
- Conservadores de madera y Compost

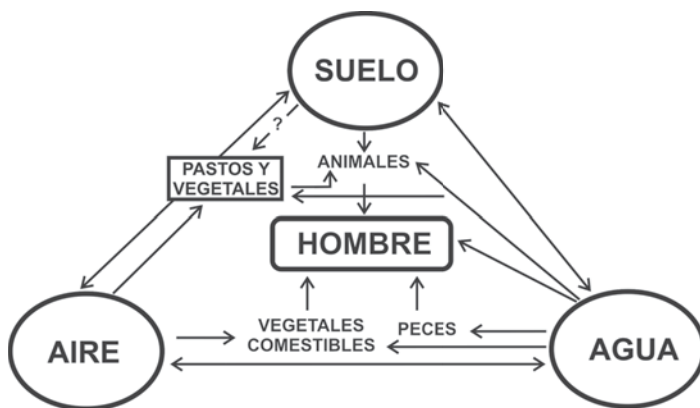


Figura 2. Posibilidades de entrada de las dioxinas en la cadena alimentaria (Bell *et al.* 2006)

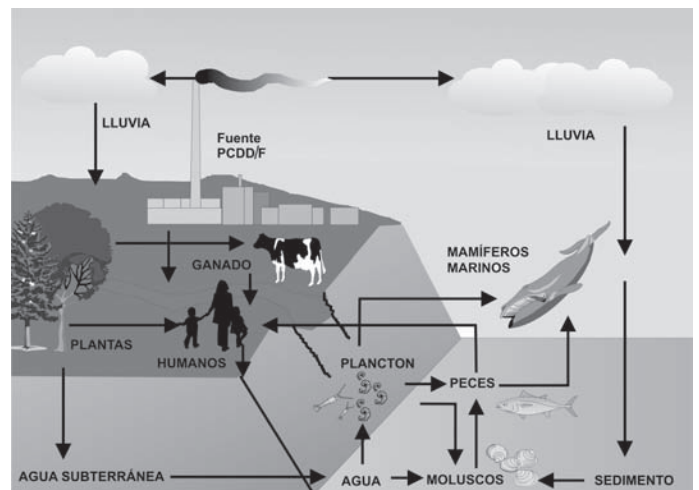


Figura 3. Vías de contaminación en las cadenas tróficas humana y animal (Bell *et al.* 2006)

para animales, como se ha visto en el incidente de los pollos belgas. Una mayor información acerca de este suceso se encuentra en el trabajo elaborado por Bernard *et al.* (2002).

Los animales ingieren proporciones variables de dioxinas provenientes, principalmente, de los pastos contaminados o de piensos que hayan sido expuestos a los contaminantes, que se acumulan en el tejido graso o bien son vehiculados a través de la leche o los huevos. Así por ejemplo, en un estudio realizado en Francia, bovinos de leche que pastan en sitios alejados de actividad industrial manifestaron niveles "habituales" de dioxinas de 1 ng /kg de grasa, en comparación a bovinos que pastan cerca de áreas industriales generadoras de dioxinas que alcanzaron niveles alarmantes de dioxinas de hasta 15-30 mg /g de grasa (Gallego *et al.* 2005). Por otro lado, el contenido de dioxinas en huevos alcanzó niveles experimentales de hasta 305 ng/kg de grasa, concentrándose en la yema de huevo (Pirard and De Pauw 2005), en tanto que a nivel comercial se encontraron huevos con hasta 150 ng/kg de grasa (Gorrachategui 2001).

Algunas publicaciones (Mateus *et al.* 2007, Choque-López 2008, Choque-López *et al.* 2008(a), Choque-López *et al.* 2008(b)) evalúan los rendimientos productivos y la digestibilidad de la materia grasa en pollos alimentados con piensos que contenían materias grasas contaminadas con dioxinas y PCB. Niveles de contaminación de WHO-TEQ PCDD/F + DL-PCB de hasta 1.75 pg/g aceite, no se tradujeron en diferencias significativas en los principales indicadores productivos tales como ganancia de peso o el índice de conversión alimenticia. Paralelamente, la digestibilidad de la materia grasa solo fue influenciada ( $P < 0.05$ ), en animales jóvenes, no mayores de 16 días de edad.

En determinaciones realizadas por Ábalos *et al.* (2008) en el marco del proyecto europeo Feeding Fats Safety ([www.ub.es/feedfat](http://www.ub.es/feedfat)), el tejido muscular de pollos y conejos alimentados con piensos contaminados con dioxinas y PCB alcanzó niveles totales de WHO-TEQ PCDD/F + DL-PCB de hasta 16.71 pg/g de grasa y de hasta 3.54 pg/g

de grasa, respectivamente para cada especie. De este total, 0.407 pg/g de grasa correspondían al 2,3,7,8-TCDD, en el caso de los pollos, y 0.115 pg/g de grasa, en el caso de los conejos. Los piensos fueron elaborados añadiendo aceite de pescado comercial contaminado. Los autores concluyen que las muestras de tejido muscular de los pollos podrían exceder el nivel máximo de WHO-TEQ PCDD/F + DL-PCB de 4 pg /g de grasa, establecido por la Comisión de la Unión Europea (Directiva 2006/13/CE, 2006).

Los lechos marinos contaminados influyen negativamente sobre los seres vivos que componen su cadena trófica. De esta manera (tal como se muestra en la Figura 3), tanto el fitoplancton como el zooplancton contaminan a los peces u organismos marinos que los consumen (Bell *et al.* 2006), muchos de los cuales son especies incluidas en la cadena alimentaria humana. Existe un gran riesgo de exposición a partir de peces u otras especies marinas, principalmente en países en los que el consumo de productos marinos constituye gran parte de su dieta.

Las dioxinas y PCB pueden ingresar en el organismo a través de la piel (absorción cutánea), por vía respiratoria (inhalación en forma de gases) o por vía digestiva, asociadas a moléculas grasas, siendo esta la principal vía de entrada. La ingestión de dioxinas a través del alimento constituye entre el 80 y el 95 % de la incorporación total en el ser humano. La exposición como consecuencia de inhalaciones o el contacto con la piel es menor a 10 % (Gorrachategui 2001, Tard *et al.* 2007) y no se ha demostrado que representen un riesgo potencial. Hay evidencias que sugieren una mayor exposición a las dioxinas en personas que viven en países más industrializados (Schechter *et al.* 2006).

Tras la ingestión, las dioxinas y PCB presentan poca o nula digestión en el tracto gastrointestinal. Esto se basa en el hecho de que poseen una elevada estabilidad química, que las constituye en un mal sustrato para las enzimas digestivas.

PCDD y PCDF cuyos átomos de hidrógeno fueron sustituidos por átomos de cloro en las posiciones 2, 3, 7, y 8 son los compuestos que se

absorben con mayor facilidad, por eso son potencialmente tóxicos. Como se había mencionado, generalmente ingresan en el tracto digestivo asociados a moléculas de lípidos. Sin embargo, es posible encontrar moléculas de estas sustancias libres en la suspensión digestiva y que son absorbidos por difusión pasiva.

La absorción decrece conforme aumenta el número de átomos de cloro de la molécula contaminante. Se asume que el paso de componentes hidrofóbicos a través de las paredes intestinales podría estar limitado, predominantemente, por el tamaño molecular y la solubilidad en agua. Esto confirmaría el hecho de que la absorción de PCDD y PCDF disminuya según el tamaño de la molécula, ya que la solubilidad de las mismas también decrece conforme el tamaño molecular aumenta (Gorrachategui 2001, Pirard and De Pauw 2005).

Las dioxinas y PCB que han sido absorbidos ingresan en el metabolismo lipídico incorporándose a las lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL). Atraviesan fácilmente las barreras biológicas y pueden depositarse en los tejidos grasos en una proporción de entre el 7 % y el 54 % y en el hígado aproximadamente 1 %. Una vez acumulados en el animal, cualquier actividad fisiológica, como la lactación o gestación, movilizará estas reservas de dioxinas, lo que explica las elevadas tasas de contaminación en leche y derivados lácteos. Sin embargo, una vez controlada la exposición, la concentración de dioxinas en la leche desciende en unos meses.

Las dioxinas y PCB pueden también atravesar la placenta, en cuyo caso se acumularán en los embriones. No obstante, eso dependerá del grado de engrasamiento de los mismos. Por otro lado, también pueden acumularse en la yema del huevo en una proporción superior al 25 % cuando las gallinas ponedoras son expuestas al contaminante (De Vries *et al.* 2006). En este sentido, se ha observado una elevada mortalidad (del orden del 80 %) en embriones en huevos fértiles expuestos a elevados niveles de estos contaminantes (Gallego *et al.* 2005, De Vries *et al.* 2006).

Por otro lado, hay evidencias que sugieren la relación de las dioxinas con proteínas celulares llamadas receptores celulares de hidrocarburos aromáticos (aryl hydrocarbon receptor, AhR). Las dioxinas y PCB pueden intervenir en la activación de estos receptores. Las AhR son ligandos (elementos de unión) intracelulares que se asocian al DNA como factores de transmisión, y están involucrados en la regulación de la expresión de un gran número de genes. La activación del receptor puede afectar a genes que codifican la síntesis de enzimas como citocromo oxigenasas o glutatión transferasas. A su vez, las formas activas de las AhR también interactúan con otras proteínas reguladoras tales como quinasas celulares y proteínas involucradas en la apoptosis celular. Adicionalmente, su acción podría estar relacionada con la regulación de proteínas durante el desarrollo somático y la homeostasis (Gorrachategui 2001, Schechter *et al.* 2006).

Una parte de las dioxinas que ingresan en el organismo son excretadas a través de las heces u orina. Se ha comprobado que las dioxinas presentes en las heces se caracterizan por presentar un elevado número de átomos de cloro, más de 7, lo que reforzaría la hipótesis de la mala absorción de dioxinas con altos pesos moleculares. La concentración de dioxinas en las excretas de aves sugiere la existencia de una elevada tasa de eliminación que aumenta entre las 2 y las 5 semanas de exposición, período en el cual parece estabilizarse con tasas de eliminación de dioxinas (300-350 pg/g de TEQ PCDD-PCDF) relativamente homogéneas hasta las 10 semanas (Pirard and De Pauw 2005). Aparentemente hay una estabilización en la excreción de dioxinas conforme avanza el tiempo de exposición.

**Toxicidad.** Como se había mencionado, la 2, 3, 7, 8-TCDD es la dioxina más tóxica, razón por la cual sirve de referencia al momento de evaluar el potencial tóxico de estas sustancias. Para ello se ha establecido una unidad de medida, el TEF (Toxic Equivalency Factor), que asigna arbitrariamente a esta dioxina el valor de 1, como valor de máxima toxicidad. A partir de esta medida se considera la equivalencia tóxica de dioxinas y PCB, en comparación con ella (Schechter *et al.* 2006).

Tabla 5. Principales manifestaciones clínicas causadas por las dioxinas en los seres vivos (Adaptado de Gallego *et al.* (2005), Schechter *et al.* (2006) y Gorrachategui (2001))

---

Teratogénesis:	Alteraciones hepáticas:
Hidronefrosis	Inducción enzimática
Paladar hendido	Porfiria y otros cambios funcionales
Alteraciones genitourinarias:	Necrosis de células parenquimales
Cambios degenerativos en los túbulos renales	Hipertrofia e hiperplasia parenquimal
Hiperplasia del tracto urinario	Alteraciones hemáticas:
Endometriosis	Incremento del colesterol y triglicéridos
Disfunciones eréctiles y de eyaculación	Hipoglicemia
Inmunotoxicidad:	Cambio en niveles séricos de testosterona
Inmunosupresión	Otras:
Atrofia tímica y de tejidos linfáticos	Pérdida de peso y anorexia (wasting syndrome)
Alteraciones dérmicas:	Edema dérmico y general
Cloroacné	Hiperplasia e hipertrofia del epitelio gastrointestinal
Hirsutismo o alopecia	Alteraciones cardiopulmonares y bronquitis
Hiperpigmentación	Polineuropatía y debilidad muscular
Alteraciones en las faneras	Déficit sensorial y carcinogénesis

---

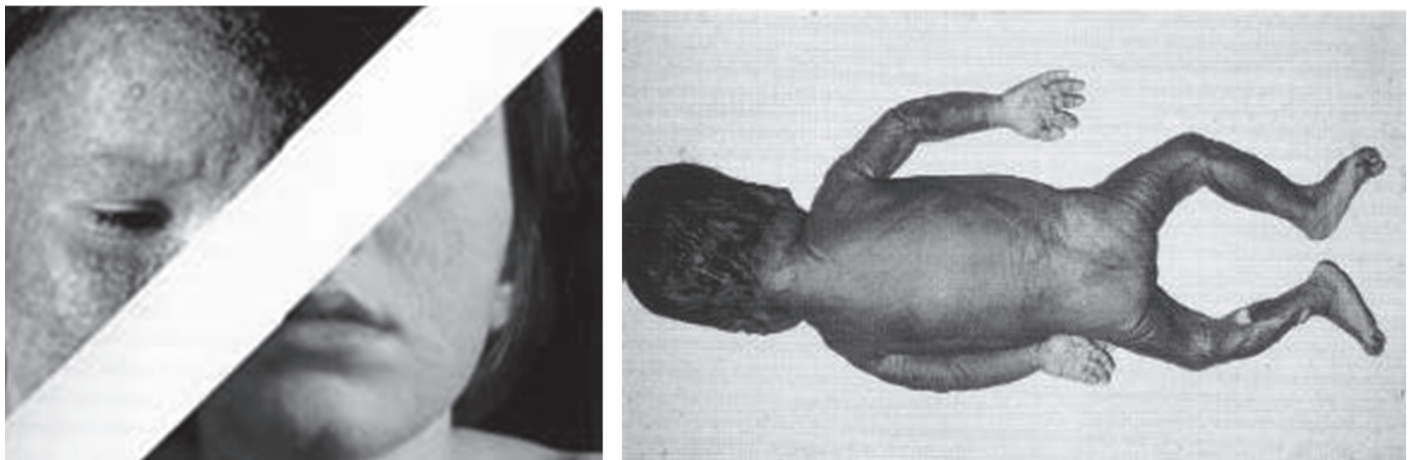


Figura 4. Toxicidad aguda de las dioxinas (cloroacné e hiperpigmentación; Bernard *et al.* 2002).

Las aves y los peces son mas sensibles a la exposición de dioxinas que los animales mamíferos. La *dosis letal media* (DL50, la dosis suficiente para matar a la mitad de la población, en un período de tiempo determinado) para la 2, 3, 7, 8-TCDD de aves domésticas está alrededor de 25 a 50 µg/kg de peso vivo (PV), en tanto que los peces tienen una DL50 de 2 a 23 µg/kg PV; la muerte sobreviene, en ambos casos, en días (Gorrachategui 2001, Guitart 2002).

**Patología asociada y cáncer.** La ingestión de dioxinas está asociada a un gran número de manifestaciones patológicas agudas y crónicas que pueden afectar no sólo a la salud y productividad de los animales sino, lo que es más importante, a la salud de las personas. La Tabla 5 resume las principales manifestaciones clínicas provocadas por la ingestión de estos compuestos tóxicos. La intoxicación aguda se traduce en manifestaciones clínicas severas y la muerte de los animales expuestos en períodos relativamente cortos. La intoxicación crónica cursa con enfermedad, manifestaciones clínicas o subclínicas y teratogénesis, constituyéndose en la forma más preocupante por el impacto a largo plazo (Figura 4 ).

Estudios epidemiológicos (Anton and Lizaso 2001, Gallego *et al.* 2005, Schechter *et al.* 2006, Bruggeman *et al.* 2007) sugieren que la exposición accidental a cantidades continuas de dioxinas puede estar asociada a un incremento en *procesos tumorales y cancerígenos*. Las patologías más comúnmente observadas fueron sarcomas de tejido blando, hemopatías malignas y cáncer de hígado y vías biliares, además de la proliferación tumoral de células de Sertoli asociadas a procesos reproductivos.

## LITERATURA CITADA

Ábalos, M; Parera, J; Abad, E y Rivera, J. 2008. PCDD/Fs and DL-PCBs in feeding fats obtained as co-products or by-products derived from the food chain. *Chemosph.* 71:1115-1126.

Anton, A and Lizaso, J. 2001. PCBs y DIOXINAS. Fundación Ibérica para la Seguridad Alimentaria 255, Inscripción 1º, tomo XXX:1-25.

Bell, JG; McGhee, F; Dick, JR and Tocher, DR. 2006. Dioxin and dioxin-like polychlorinated biphenyls (PCBs) in Scottish farmed salmon (*Salmo salar*): effects of replacement of dietary marine fish oil with vegetable oils. *Aquaculture* 243:305-314.

Bernard, A; Broeckaert, F; De Poorter, G; De Cock, A; Hermans, C; Saegerman, C and Houins, G. 2002. The Belgian PCB/Dioxin Incident: Analysis of the Food Chain Contamination and Health Risk Evaluation. *Environmental Research Section A* 88:1-18.

Bernard, A; Hermans, C; Broeckaert, F; De Poorter, G; De Cock, A and Houins, G. 1999. Food contamination by PCBs and dioxins. Brief communication. *Nature* 401:231-232.

Bou, R; Codony, R; Baucells, MD and Guardiola, F. 2005. Effect of Heated Sunflower oil and Different Dietary Supplements on the Composition, Oxidative Stability and Sensory Quality of Dark Chicken meat. *J. Agric. Food Chem.* 53:7792-7801.

Bruggeman, V; Van Den Bergh, G; Clerens, O; Onagbesan, O; Arckens, L and Decuypere, E. 2007. Differential Protein Expression in Liver and Ovary of the One-Day-Old chick as a Result of a Single in ovo Injection of 2,3,7,8-tetra-chlorodibenzo-p-dioxin. *Feedinfo New Service*1-4.

Choe, E and Min, BD. 2007. Chemistry of Deep-Fat Frying Oils. *Journal of Food Science* 72:R77-R86.

Choque-López, JA. 2008. Evaluación del Estado Oxidativo y Salud Intestinal de Pollos de Carne en Respuesta a la Alimentación con Grasas Recicladas. Universidad Autónoma de Barcelona. Tesis doctoral. 236 p. Disponible en: <http://www.tdx.cat/TDX-0925109-121137>.

Choque-López, JA; Baucells, MD; Mateus, EF; Gómez de Segura, A y Barroeta, AC 2008a. "Efecto de la alimentación con materias grasas recicladas sobre parámetros productivos y el rendimiento a la canal de pollos de carne". *Albeitar* 118: 50-52. [www.albeitar.asisvet.com](http://www.albeitar.asisvet.com).

Choque-López, JA; Gómez de Segura, A; Martín-Orúe, SM; Takahashi, SE; Schiavone, A; Barroeta, AC; Baucells, MD. 2008b. "Dioxins and PCBs, and PAHs in Feeding Fats on Caecal Microbiota of Broilers Evaluated by Terminal Restriction Fragment Length polymorphism (t-RFLP)". XXIII World's Poultry Congress Brisbane, Australia. 30 June-4 July.

Codony, R y Guardiola, F. 1999. Las Grasas en Alimentación Animal. Cuadernos de Nutrición: materias primas 55-63.

De Vries, M; Kwakkel, RP and Kijlstra, A. 2006. Dioxins in organic eggs: a review. *NJAS* 54:207-221.

Díaz, J. 2007. Dioxines en productes per a l'alimentació humana i animal. Page -6 Pp. in Col·legi Oficial de Veterinaris de Barcelona (C.O.V.B.).

Directiva 2006/13/CE. 2006. Directiva del 3 de febrero de 2006 Sobre Dioxinas y PCBs similares a dioxinas. *Com. UE* 32:44-53.

Dziezak, JD. 1989. Fats, Oils, and Fat Substitutes. *Food Technology* 1:66-74.

FEDNA. 2003. Grasas y Aceites. Page 373 en Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos. de Blass, C; Mateos, GG and Rebollar, PG. eds.

Gallego, ME; Roy, TJ; Hermoso de Mendoza, M; Hernandez, D; Soler, F and Pérez, M. 2005. Las Dioxinas en la Producción Animal: Situación Actual. *Producción Animal*19-31.

Gorrachategui, M. 2001. Seguridad Alimentaria: Dioxinas. XVII Curso de especialización FEDNA1-24.

Guitart, R. 2002. Dioxinas, dioxinas y alimentos. *Consuma Seguridad. Diario de la seguridad alimentaria.* [www.consumaseguridad.com](http://www.consumaseguridad.com) Online.

Hertrampf, J. 1992. Making fat more digestible. *Feed International* 14:12-17.

Mateos, G; Piquer, J; García, M y Medel, P. 1995. Utilización de grasas y subproductos lipídicos en dietas para avicultura. *Selecciones Avícolas* 37:623-631.

- Mateos, G; Piquer, J; Garcia, M y Medel, P. 1996a. Utilización de grasas y subproductos lipídicos en dietas para avicultura. Page 3 in American Soybean Association, Bruselas-Belgica.
- Mateos, G; Rebollar, PG y Medel, P. 1996b. Utilización de grasas y productos lipídicos en alimentación animal: Grasas puras y Mezclas. Page 1 in Utilización de Grasas y Productos Lipídicos en Alimentación Animal. FEDNA. ed.
- Mateus, EF; Choque-López, JA; Gómez de Segura, A; Baucells MD; Codony, R; Barroeta, AC. "Dioxinas Y PCBs en la Alimentación de Pollos de Carne: Efecto Sobre Parámetros Productivos y Utilización de Nutrientes" XLIII Symposium Científico de Avicultura. 18 y 19 de Octubre, Barcelona.
- Moser, AG and McLachlan, MS. 1999. A non-absorbable dietary fat substitute enhances elimination of persistent lipophilic contaminants in humans. *Chemosphere* 39:1513-1521.
- Palmquist, DL. 1988. The feeding value of fats. Page 293 in *World Animal Science. Disciplinary approach*. E. R. Orskov, ed. Elsevier.
- Pirard, C and De Pauw, E. 2005. Uptake of polychlorodibenzo-p-dioxins, polychlorodibenzofurans and coplanar polychlorobiphenyls in chickens. *Environment International* 31:585-591.
- Reglamento (CE) N° 199/2006. 2006. Reglamento del 3 de febrero de 2006 Sobre el contenido máximo de dioxinas y PCBs en productos alimenticios. *Com. UE* 32:34-38.
- Sapkota, AR; Lefferts, LY; McKenzie, S and Walker, P. 2007. What do we feed to food-production animals? A review of animal feed ingredients and their potential impacts on human health. *Environ. Health Perspect.* 115:663-670.
- SCAN. 2000. Dioxin contamination of feedingstuffs and their contribution to the contamination of food of animal origin: Scientific opinion. European Commission, Health & Consumer Protection Directorate-General 1-105.
- Schecter, A; Birnbaum, L; Ryan, JJ and Constable, JD. 2006. Dioxins: An overview. *Environmental Research* 101:419-428.
- Schecter, A; Dellarco, M; Pöpke, O and Olson, J. 1998. A comparison of dioxins, dibenzofurans and coplanar PCBs in uncooked and broiler ground beef, catfish and bacon. *Chemosphere* 37:1723-1730.
- Schmid, P; Gujer, E; Degen, S; Zennegg, M; Kuchen, A and Wuthrich, C. 2002. Levels of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans in food of animal origin. The Swiss dioxin monitoring program. *J. Agric. Food Chem.* 50:7482-7487.
- Shepperson, N. 1993. Procesos industriales y calidad de las grasas: Grasas técnicas y recuperadas. IX Curso de especialización FEDNA 1-13.
- Tard, A; Gallotti, S; Leblanc, JC and Volatier, JL. 2007. Dioxins, furans and dioxins-like PCBs: Occurrence in food and dietary intake in France. *Food Additives and Contaminants* 24:1007-1017.
- Wiseman, J and Cole, DJA. 1983. The Utilization of Waste in Animal Feeds. Page 233 in *Upgrading waste for feed and food*. Robert Hartnoll Ltd. Bodmin Cornwall-UK.
- Ziggers, D. 2005. Oils and fats indispensable in feed. *Feed Tech.* 1:16-19.

# Revista Científica Agropecuaria y Forestal (APF)

## Instrucciones para los autores

La Revista Científica Agropecuaria y Forestal (APF) es editada por la Sociedad Dominicana de Investigadores Agropecuarios y Forestales de la República Dominicana (SODIAF). Se publica dos veces al año, tanto impresa como digital. El contenido de la Revista aparece publicado, en texto completo y de libre acceso, en el sitio web de la SODIAF [www.sodiaf.org.do](http://www.sodiaf.org.do). Los manuscritos que se sometan a la Revista APF se deben escribir en español, con un resumen en inglés.

Los trabajos que se publican en la Revista APF pueden ser de instituciones o personas dominicanas o extranjeras. Los manuscritos son sometidos a una revisión por pares anónimos que fungen de árbitros para el Comité Editorial. Los árbitros son profesionales destacados en sus disciplinas en forma individual y proceden de instituciones nacionales o internacionales. Sólo el Editor Principal conoce cuáles árbitros evalúan cada manuscrito. Las decisiones del Comité Editorial de publicar o no un manuscrito son inapelables y de acuerdo a las recomendaciones de los revisores. La Revista APF publicará artículos originales que no hayan sido publicados, parcial o totalmente, en ninguna otra revista científica nacional o internacional. Se aceptan artículos que hayan sido pre-

sentados pero no publicados en congresos, seminarios y simposios, ofreciendo el crédito correspondiente. Los autores, tanto individuales como corporativos, cederán los derechos de publicación a la Revista y se responsabilizarán por el contenido de sus trabajos.

El objetivo de la Revista APF es contribuir con la comunicación de resultados, parciales o finales, de trabajos investigación y transferencia de tecnologías en la comunidad científica nacional e internacional. Los trabajos sometidos deben aportar nuevo conocimiento al desarrollo científico o tecnológico. Se aceptan trabajos de todas las disciplinas biofísicas y socioeconómicas en los sectores agrícola, pecuario, incluyendo pesca y acuicultura, y forestal. La Revista APF incluirá trabajos en cinco secciones: Artículos Científicos, Revisiones Bibliográficas, Notas Técnicas, Revisiones de Libros y Artículos de Opinión. Los manuscritos sometidos a las primeras tres secciones serán revisados por pares calificados. Todos los manuscritos deben someterse en formato digital con una comunicación de solicitud formal al: Editor Revista Científica APF, Sociedad Dominicana de Investigadores Agropecuarios y Forestales (SODIAF), correo electrónico: [editor.revista@sodiaf.org.do](mailto:editor.revista@sodiaf.org.do).

## **Sobre el estilo de los manuscritos para la revista**

El lenguaje de escritura de las publicaciones debe caracterizarse por su claridad, concisión y precisión. La extensión máxima de los trabajos debe ser de 15 páginas para los Artículos Científicos y Revisiones Bibliográficas y 10 páginas para las Notas Técnicas. El texto y las tablas de los manuscritos deben prepararse en Microsoft Word, tipografía Arial, tamaño 12, a 1.15 espacios entre líneas y en papel tamaño carta. A fin de asegurar la integridad de la información original, se deberá someter también un ejemplar en formato 'pdf'. Los márgenes superior e inferior deben ser de 2.5 cm, mientras el izquierdo y derecho deberán ser de 3 cm. Las páginas deberán numerarse en el centro de la parte inferior y utilizar la numeración continua de líneas en el margen izquierdo.

1. La escritura debe hacerse siguiendo las normas y reglas establecidas por la Real Academia de la Lengua Española en las ediciones más recientes de su 'Diccionario de la Lengua Española' y sus manuales de gramática y ortografía.
2. Para la expresión de valores de unidades, se utilizarán las normativas oficiales del Sistema Internacional de unidades de pesos y medidas (SI). Se preferirá la forma exponencial de expresión de estas unidades (25 kg

ha<sup>-1</sup> de K). Utilice el punto decimal, en lugar de la coma decimal. Utilice el 0 antes del punto decimal (0.567). Limite el número de cifras significativas a lo estrictamente necesario para entender la magnitud de las diferencias. La escritura de números también debe hacerse siguiendo esas normativas. Los números del 0 al 9 se escriben textualmente (ocho tarros), con la excepción de cuando están en una serie (3, 5 y 14 semanas) o cuando se incluyen unidades de medida del SI (6 kg). No comience una oración con un número, escríbalo.

3. El sistema de referencias bibliográficas a utilizar será el del IICA-CATIE. En el texto, las citas se basan en el método Harvard (autor-año) y la lista de referencias (Literatura Citada) se organiza siguiendo un arreglo alfabético y cronológico por año de publicación. La alfabetización se hace por apellido e iniciales del nombre del autor.
4. Se usarán los términos 'Tabla', en vez de Cuadro, y 'Figura', en lugar de Gráfica o Ilustración. Las tablas y las figuras deben ser autosuficientes, o sea deben poder entenderse sin necesidad de recurrir al texto. Tablas y figuras deben numerarse secuencialmente en el orden que aparecen en el texto, utilizando números arábigos, y colocarse lo más próximo po-



sible al lugar donde se hace referencia a ellas. En ningún caso los títulos se consideran oraciones, pero debe asegurarse una sintaxis adecuada y su correcta legibilidad. Los títulos no se escriben en negritas ni se pone punto final. Las tablas y las figuras deben tener sus fuentes de referencias. Las notas al pie deben referirse con números arábigos.

- Las tablas deben prepararse con sólo tres líneas horizontales (ver ejemplo más abajo). Los títulos de las tablas deben colocarse siempre arriba. Si hay notas al pie, el orden preferido de secuencia es: 1) En el título, 2) Cabezas de columnas, 3) Cabezas de filas, y 4) Cuerpo de la tabla. Para

estas notas pueden utilizarse números o caracteres. No use más de tres decimales en cifras en el cuerpo de la tabla, si no es imprescindible.

- El término 'figura' incluye gráficas, fotografías, dibujos, mapas o diagramas. Los títulos de las figuras deben colocarse siempre abajo. No use más de dos decimales en los ejes de las figuras. Las figuras se deben preparar en blanco y negro, y utilizando patrones para el relleno de formas. Las figuras que sean imágenes deben someterse como archivos en formato 'jpg' de alta resolución (no menos de 300 dpi), para evitar su pixelación en la impresión. Aquellas que se preparen en Excel también deben salva-

Ejemplo de tabla:

Tabla 1. Emisión de  $\text{NH}_3$  desde el suelo en una pradera manejada con pastoreo

Tratamiento <sup>1</sup>	Emisión de $\text{NH}_3$	
	Annual kg ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	Diaria kg ha <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup>
C	31.2 c <sup>2</sup>	0.085 c <sup>2</sup>
FI	39.9 a	0.109 a
FS	41.4 a	0.113 a
PFI	36.1 b	0.099 b
PFS	37.9 b	0.103 b

<sup>1</sup> C = Control sin pastoreo; FI = frecuente intenso; FS = frecuente suave; PFI = poco frecuente intenso; PFS = poco frecuente suave.

<sup>2</sup> Medias dentro de una columna seguidas por letras diferentes difieren significativamente entre sí (Tukey,  $\alpha=0.05$ ).

rse como archivos 'jpg'. Las figuras deben someterse en archivos aparte del texto. La Revista APF se imprime en blanco y negro, por lo que las figuras no deben someterse en colores, sino en tonos de gris o patrones para rellenar formas. Se debe identificar en el texto el lugar donde colocar las figuras.

7. La primera vez que se mencionan los nombres de plantas, artrópodos o agentes patógenos se debe referir su nombre común y su nombre científico, este último en cursiva y en paréntesis, con su clasificador, siguiendo las normativas de las sociedades especializadas en cada caso. Las veces subsiguientes que se mencionen se pueden referir con sus nombres comunes o con el nombre científico, utilizando la inicial del género y la especie. Esto es aceptable, si no causa confusiones con otros géneros y especies mencionadas en el trabajo.

8. Para referirse por primera vez a nombres de productos químicos, plaguicidas, fertilizantes, hormonas, entre otros, incluya el nombre técnico o genérico, así como el fabricante. De ahí en adelante utilice los nombres técnicos.

10. En el caso de la mención de la taxonomía de suelos, refiera la serie y la familia de suelos en su primera mención.

11. Refiera las horas utilizando el sistema horario de 12 horas, con a.m. y p.m., y usando dos dígitos para horas y minutos (hh:mm).

## **Tipos de manuscritos aceptados**

### **1. Artículos Científicos**

El artículo científico es el manuscrito más importante a publicar en la Revista Científica APF. Se caracteriza por sus contribuciones al conocimiento científico o tecnológico. Consiste en una profunda, actualizada y detallada revisión de literatura con aportes nuevos al conocimiento. Los epígrafes que constituyen un artículo científico son:

#### **Título**

Debe representar el contenido y los objetivos o resultados del artículo. No debe exceder de 15 palabras. No deben usarse abreviaciones ni fórmulas químicas. Se pueden usar nombres comunes, nombres de cultivos, plagas o enfermedades, siempre que sean reconocidos en el mundo hispano.

## **Autores y Filiación**

Indicar el primer nombre seguido del primer apellido de cada autor. Incluir dirección, institución y correo electrónico del autor de contacto, como nota al pie de la primera página. El primer autor se considerará el autor principal de la investigación. Se entiende que cada coautor aprobó la versión final del manuscrito y que es igualmente responsable del trabajo.

## **Resumen**

Es la sección más leída de un artículo, después del título. Los hallazgos importantes del estudio deben de estar reflejados en el resumen. No debe contener más de 250 palabras y la estructura recomendada es la siguiente: importancia del estudio, los objetivos, metodología de investigación, principales resultados o hallazgos (cuantificados y con su soporte estadístico) y conclusiones. Ya en esta sección las abreviaciones se definen cuando se mencionan por primera vez. No se deben poner referencias de tablas ni figuras, como tampoco referencias documentales.

## **Palabras Claves**

Incluir no más de cinco palabras claves que puedan ser utilizadas para la indexación bibliográfica. Evitar poner palabras claves que ya están en el título.

## **Introducción**

Defina claramente el problema que se estudió y que justificó hacer el estudio. Presente una discusión teórica actualizada y detallada basada en los hallazgos más recientes de otros autores. Presente su estrategia metodológica y los objetivos del estudio. Mantenga la introducción corta y ofrezca información esencial y actualizada.

## **Materiales y Métodos**

Esta sección debe proveer información suficiente que permita a otros investigadores repetir el estudio, basándose únicamente en la lectura del artículo, obtener resultados parecidos y llegar a conclusiones similares. Se deben describir de manera clara los materiales y los métodos biológicos, analíticos y estadísticos utilizados para realizar la investigación. Debido a la fuerte interacción del ambiente, es recomendable repetir en el tiempo y/o el espacio los ensayos que se realizan a campo abierto. Esto garantiza mayor estabilidad y consistencia en los resultados. Establezca con claridad si su estudio es experimental o no experimental, y de qué tipo. Diga con claridad cuáles fueron los tratamientos, si los hubo; cuáles fueron las unidades experimentales; cuáles las unidades de muestreo (o de análisis); plantee con claridad el tipo de muestreo que hizo para levantar los datos; y describa con claridad las variables respuesta que estudió y cómo se midieron.

## Resultados y Discusión

En esta sección se presenta y discuten los resultados obtenidos. Discuta sus resultados, o sea diga cuál es su interpretación de por qué se obtuvieron los resultados que presenta. Explique cómo se puede entender el comportamiento de las variables respuesta, en relación a los tratamientos que se evaluaron y a los objetivos del estudio. Esta sección debe estar sustentada por tablas, figuras, análisis estadísticos de este estudio. Relacione sus resultados con los de otros autores. Una buena discusión presenta los resultados relacionados a los objetivos del estudio y discute los resultados o hallazgos de otros autores con los del estudio, tanto para apoyarlo como manifestar contradicciones. Se debe mantener la claridad y la concisión del escrito. No se debe presentar la misma información en diferente formato (texto, tabla o figura). Al presentar resultados, y siempre que sea posible, acompañe las medidas de tendencia central con alguna medida de variación o dispersión. En los análisis estadísticos, presente la probabilidad a la que hubo significación en la comparación de la diferencia de medias ( $P = 0.0514$ ) en lugar de decir que la diferencia fue significativa (\* o  $P \leq 0.05$ ) o altamente significativa (\*\* o  $P \leq 0.01$ ). Dé la oportunidad al lector de decidir si declara o no significativa una diferencia o magnitud. Recuerde que la probabilidad representa el peso de la evidencia, apor-

tada por el análisis estadístico, de las diferencias entre medias o magnitudes.

## Conclusiones

Deben estar relacionadas con los objetivos del estudio. Para cada objetivo planteado, deben redactarse conclusiones. Establezca cuáles son las implicaciones de los resultados, o si estos no tienen ninguna implicación. No convierta esta sección en una lista de los principales resultados. Las conclusiones deben dar respuestas a los objetivos e hipótesis planteadas. Se deben basar, exclusivamente, en los resultados del estudio en cuestión, no en experiencias previas de los investigadores o en especulaciones.

## Agradecimientos

Esta sección, que es opcional, puede aparecer antes de la Literatura Consultada. Se incluyen aquí personas, instituciones, organizaciones y laboratorios, entre otros, que han contribuido total o parcialmente a la realización del estudio.

## Literatura Citada

El propósito de este epígrafe es ofrecer al lector un listado de documentos relevantes, utilizados por los autores, de manera que se pueda acceder a la información utilizada. Liste alfabéticamente las referencias bibliográficas citadas en

el artículo. Se recomienda utilizar citas con aportes relevantes, publicadas y actualizadas. Si una referencia bibliográfica no está disponible de una fuente impresa o electrónica reconocida, no debe incluirse. Las referencias bibliográficas se deben presentar siguiendo el formato que se sugiere en el documento *Redacción de Referencias Bibliográficas: Normas Técnicas del IICA y CATIE*, 4<sup>ta</sup> Edición. En este documento se pueden ver ejemplos de referencias de diversos tipos de documentos. Adicionalmente, cuando los documentos en línea dispongan de un número identificador DOI, inclúyalo en la referencia en lugar de la dirección URL. Asegúrese de que todos los documentos referidos en el texto se encuentran en esta sección. Así mismo, todos los documentos que se incluyen en este Epígrafe, deben estar referidos en el texto. No incluya en esta sección referencias a comunicaciones personales. Estas van como notas al pie de la página donde se refieren. En esta sección, trate de incluir, principalmente, artículos científicos. Limite a lo estrictamente necesario la inclusión de libros sobre tópicos clásicos, memorias de congresos, seminarios o tesis. No incluya revistas de divulgación. Se pueden incluir manuscritos que ya han sido aceptados para publicación por revistas científicas, especificando '*En imprenta*'. El Comité Editorial de la Revista APF puede pedir pruebas de esto último a los autores.

## 2. Notas Técnicas

Son publicaciones cortas sobre temas científicos o tecnológicos, tales como: reportes de plagas y enfermedades, nuevos cultivares, investigaciones en ejecución y descripciones de métodos, entre otros. Normalmente se preparan sobre investigaciones en curso y avances de investigación. Deben ser escritas siguiendo las mismas normas para Artículos Científicos.

## 3. Revisiones Bibliográficas

En esta sección se publicarán revisiones bibliográficas relevantes. Debe estar basada en bibliografía actualizada.

## 4. Revisiones de Libros

Revisiones cortas sobre libros recientemente publicados y cuyos planteamientos son importantes para el desarrollo del conocimiento científico.

## 5. Artículos de Opinión

Son artículos cuyo contenido aborda algún tema científico-tecnológico de interés para la comunidad de investigación agropecuaria y de recursos naturales, en el que el autor expresa su opinión técnica tratando de aportar luz al tema y ayudar a los lectores a formar su propia opinión.

Si le interesa recibir referencias o documentos digitales para apoyar la pre-

paración de sus manuscritos siguiendo estas recomendaciones, como el uso del Sistema Internacional de unidades (SI), la redacción de referencias bibliográficas, la preparación de tablas y gráficas, la escritura de nombres científicos de agentes biológicos, entre otros, puede dirigirse al Editor de la Revista APF. Los artículos que se publican en la Revista sirven de ejemplos para muchas de estas normas.

# Instituciones Auspiciadoras



## Ministerio de Agricultura

Es la institución estatal responsable de formular y dirigir la política agropecuaria del país, de acuerdo con los planes generales de desarrollo. También es responsable de estudiar la situación agropecuaria del país y presentar a la consideración del Gobierno el plan global agropecuario a corto y largo plazo. Así mismo, coordina los programas a corto y largo plazo de las entidades vinculadas y relacionadas al sector.



## Consejo Nacional de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (CONIAF)

EL CONIAF es una institución descentralizada del gobierno Dominicano, que fortalece, estimula y orienta al Sistema Nacional de Investigaciones Agropecuarias y Forestales - SINIAF. Ofrece financiamiento a través del fondo de investigación, fomentando el desarrollo de la capacidad científica y tecnológica en instituciones públicas y privadas.



## Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF)

El IDIAF es la institución estatal responsable de la ejecución de la política de investigación y validación agropecuaria y forestal de la República Dominicana.



## Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal (CEDAF)

El CEDAF es una organización privada sin fines de lucro que promueve el desarrollo sostenible del sector agropecuario y forestal, a través de la capacitación, información, innovación institucional y análisis de políticas y estrategias sectoriales, avalados por una imagen de excelencia institucional y alta credibilidad con el fin de estimular una agricultura competitiva que contribuya a reducir los niveles de pobreza y a proteger el medio ambiente.



Revista Científica Agropecuaria y Forestal (APF)  
Revista APF Volumen 1 (1) 2012