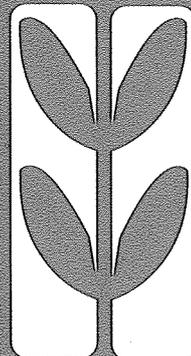


CIENCIA E INVESTIGACIÓN AGRARIA



Volumen 25 N° 2

MAYO - AGOSTO 1998

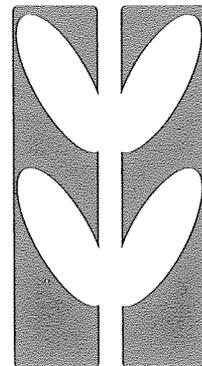
ISSN 0304-5609

CONTENIDO

ARTICULOS DE INVESTIGACION

- Análisis del riesgo de lixiviación de pesticidas en suelos con napas superficiales. 69
Carlos Bonilla M.
- Interferencia de compuestos nitrogenados en las técnicas de producción de gas ruminal *in-vitro*. 81
Gastón Pichard D., Bruno Tesser O. y Ana María Bianco R.
- Alforfón (*Fagopyrum esculentum* Moench.). Valor nutritivo, usos, fitosanidad y manejo agronómico. 91
Patricio Parodi P. e Isabel Nebreda M.
- Validación de un modelo para estimar la radiación neta de una cubierta vegetal en condiciones de referencia. 103
Samuel Ortega-Farias, Winston Mediavilla A., Sigfredo Fuentes J. y Richard Cuenca C.
- Efecto del tipo de grasa y nivel de inclusión sobre la fermentación ruminal "*in-situ*" medida a través de la digestión de la FDN y la dinámica de la digestión proteica. 109
Jorge Avila S., Fernando González M. y Fernando Bas M.
- Determinación de la fecha de cosecha en el cultivo de Borraja (*Borago officinalis* L.) 119
Marisol Berti D., Jean Paul Joublan M., Humberto Serri G. y Miriam González C.

CIENCIA E INVESTIGACIÓN AGRARIA



Volume 25 N° 2

May - August 1998

CONTENTS

RESEARCH PAPERS

- Risk analysis of pesticide leaching in soils with shallow watertable levels
Carlos Bonilla M. 69
- Interference of nitrogenous compounds in techniques of *in-vitro* ruminal gas production
Gastón Pichard D., Bruno Tesser O. and Ana María Bianco R. 81
- Buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench.). Nutritive value, uses, phytosanitary aspects and agronomic management.
Patricio Parodi P. and Isabel Nebreda M. 91
- Validation of a model for estimating the net radiation over a canopy under reference conditions.
Samuel Ortega-Farias, Winston Mediavilla A., Sigfredo Fuentes J. and Richard Cuenca C. 103
- Effect of the type and inclusion level of fat on the *in-situ* ruminant fermentation measure by the digestion of FDN and the dynamics of protein digestion.
Jorge Avila S., Fernando González M. and Fernando Bas M. 109
- Determination of harvest timeliness in borage (*Borago officinalis* L.)
Marisol Berti D., Jean Paul Joublan M., Humberto Serri G. and Miriam González C. 119



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE
FACULTAD DE AGRONOMIA E INGENIERIA FORESTAL

Ciencia e Investigación Agraria

EDITOR JEFE :	MIEMBROS COMITE EDITOR :
Gastón Pichard D.	Gustavo Cruz M.
ASISTENTE EDITOR :	Luis Barrales V.
Catalina Bay-Schmith C.	Juan Pablo Zoffoli G.
SECRETARIA :	Patricio Parodi P.
Patricia Breinbahuier B.	William Foster B.

PROPIETARIO : FACULTAD DE AGRONOMIA E INGENIERIA FORESTAL
Pontificia Universidad Católica de Chile

Representante Legal : Juan de Dios Vial Correa
Director Responsable : Guillermo Donoso Harris

REVISTA CIENCIA E INVESTIGACION AGRARIA
Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal
Teléfono (562) 6865704 Fax (562) 5526005
e-mail: rcia@puc.cl
Vicuña Mackenna 4860 Casilla 306, Santiago 22
Código Postal 6904411
CHILE

SUSCRIPCIONES : Terms of subscription
Foreign : US\$ 25 annual subscription
(surface mail)
U\$ 50 annual subscription
(air mail)
Chile : \$ 12.000 por suscripción anual

Se autoriza la reproducción y cita del material que aparece en Ciencia e Investigación Agraria, siempre que se indique el nombre del (los) autor (es), año, volumen, número y páginas del cual se obtiene. Las opiniones y afirmaciones expuestas en los trabajos representan exclusivamente los puntos de vista de los autores. La mención de productos o firmas comerciales en la revista no implica una recomendación por parte de la Universidad

NORMAS PARA LA PUBLICACION DE ARTICULOS.

La revista está abierta a recibir colaboraciones de autores de otras universidades o institutos de investigación. Los trabajos enviados deberán ceñirse a las normas de publicación de la Revista, las que pueden ser solicitadas a la Sra. Catalina Bay-Schmith, Asistente Editor. Los artículos estarán sujetos a revisión por el Comité Editor o la persona que éste designe.

ANÁLISIS DEL RIESGO DE LIXIVIACIÓN DE PESTICIDAS EN SUELOS CON NAPAS SUPERFICIALES

RISK ANALYSIS OF PESTICIDE LEACHING IN SOILS WITH SHALLOW WATERTABLE LEVELS

CARLOS BONILLA M.

Departamento de Ciencias de los Recursos Naturales
Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal
Pontificia Universidad Católica de Chile
Casilla 306-22, Santiago, Chile.

Summary

Mathematical modelling is currently one of main tools for predicting mobility and persistence of pollutants flowing through the soil and within aquifers (groundwater). Over the last few years, many institutions have developed models for this purpose. Due to the convenience of using these models to evaluate lixiviation of pollutants in high-risk zones, OPUS, a model integrating agricultural ecosystems and hydrology developed by the ARS/USDA, was chosen to simulate the movement of atrazine, fonofos and 2,4-D applied to irrigated maize in a high-risk site at central zone of Chile. In this specific area, watertable levels are close to the surface (up to 0.8 m). Results clearly distinguish two situations: i) during the winter months (rainy season) the aquifer is recharged with water draining through the soil and ii) during the summer months (dry season) the inverse process is observed: the crop's roots absorb important amounts of groundwater which prevents pesticide lixiviation and cleans the aquifer. The net effect of these two processes is that less than 3% of the total amount of pesticides applied is finally lixiviated below the root zone. This article describes characteristics of the model employed, flow processes and dissipation of the pesticides studied.

Key words : Ground water, pollution, corn, modelling, risk.

Ciencia e Inv. Agr. 25:69 - 80

INTRODUCCION

En términos simples, el riesgo de contaminación de un acuífero depende de la existencia y características de las cargas contaminantes y de la vulnerabilidad que éste presenta. Los más afectados son los acuíferos libres, los cuales no cuentan con un estrato superior impermeable, y aquellos que presentan escasa cantidad de materiales finos en su conformación. En el caso particular de Chile, la mayoría de los acuíferos que abastecen de agua potable a la población son libres o semi-confinados y con baja presencia de finos (Instituto de Ingenieros de Chile, 1990). Las profundidades son variables, siendo mayores en los sectores del valle central próximos a la cordillera de los Andes y en general menores en los cursos medios e inferiores, de modo que estos últimos acuíferos presentan un mayor grado de vulnerabilidad a las cargas contaminantes. Además, se observa una fuerte interacción entre las aguas superficiales y las subterráneas, lo que facilita la transferencia al acuífero de los productos aplicados en la superficie (Peña, 1993).

La relación entre el uso intensivo de los agroquí-

micos y la contaminación de los recursos hídricos a nivel mundial no concitó el interés científico sino hasta el inicio de los años setenta. Previo a esa década, la contaminación del agua subterránea con los diversos pesticidas aplicados en la agricultura era virtualmente desconocida, pues se suponía que los pesticidas y los fertilizantes se degradaban en condiciones naturales en su flujo a través del suelo, evitándose de esta forma que alcanzaran las napas subterráneas. Hoy, sin embargo, está claro que las actividades humanas, y particularmente la agricultura, pueden afectar en forma significativa la calidad del agua subterránea.

De acuerdo a estudios realizados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) (Buttler *et al*, 1993), aproximadamente 77 pesticidas diferentes han sido detectados en el agua subterránea de ese país, destacando entre ellos los niveles de alaclor, aldicarb, atrazina, diurón, metacolor y simazina. El transporte de los pesticidas ocurre principalmente en la fase acuosa, gracias a que muchos de los productos empleados presentan solubilidades mayores a los 10 mg·L⁻¹ y son comercializados como formulaciones solubles en

agua (Wauchope, 1978). La atrazina (6-cloro-N-etil-N'-(1-metiletil)-1,3,5-triazina-2,4-diamina) exhibe una solubilidad moderada en agua (33 mg·L⁻¹) y muestra una movilidad media en el suelo, sin embargo, otros productos como 2,4-D (ácido 2,4-diclorofenoxiacético) presentan valores muy superiores (900 mg·L⁻¹), características que junto a sus propiedades químicas y de reacción en el suelo, han facilitado su aparición en numerosos sistemas hídricos (Agertved *et al.*, 1993; Donald y Syrgiannis, 1995; Green *et al.*, 1995).

Wauchope (1978) reportó que en la agricultura, una cantidad importante de los pesticidas se pierden por escurrimiento superficial y lixiviación cuando los volúmenes de agua que participan en estos procesos son relativamente grandes o cuando ocurren riegos o lluvias en los días siguientes a la aplicación del producto, con el consecuente impacto sobre la calidad de los recursos hídricos. La ocurrencia de precipitaciones pocos días después de la aplicación del producto, la intensidad de las precipitaciones, las condiciones de humedad del suelo previo al proceso de escurrimiento y la incorporación del pesticida resultan ser los principales factores ligados al transporte del producto (Gaynor *et al.*, 1995). Es por ello que las cargas de pesticidas empleadas en cultivos intensivos, y la aplicación de riegos frecuentes, posibilitan la ocurrencia de escenarios como el antes descrito, y justifican el estudio del transporte y lixiviación de agroquímicos bajo escenarios de alto riesgo.

Lamentablemente, los estudios de este tipo a escala de campo resultan altamente costosos y difíciles de conducir, además de ser dependientes de la ocurrencia de las precipitaciones naturales, razón por lo cual la modelación matemática de estos procesos es hoy la principal herramienta para predecir la movilidad y persistencia de los contaminantes hacia y en el agua subterránea, y se ha utilizado exitosamente para el estudio de la influencia de las diversas prácticas de manejo agrícola sobre la calidad de las aguas (Bonilla y Muñoz, 1997). Son numerosos los modelos computacionales que se han desarrollado con este fin, destacando por sus resultados los modelos: HSPF, CREAMS, ANSWERS, AGNPS, PRZM, SWRRB, UTM-TOX, OPUS, EPIC y WAVE.

Aun cuando en Chile se han realizado algunos estudios para caracterizar la contaminación de las

aguas subterráneas (Peña *et al.*, 1990; González, 1993; Peña 1993), es escaso el conocimiento que se tiene sobre los niveles actuales de contaminación, sobre los mecanismos de transporte involucrados y las posibilidades técnicas de mitigación. Esto hace difícil determinar el grado de sustitución entre insumos que son o pueden ser contaminantes, emplear tecnologías de abatimiento o implementar incentivos económicos que estimulen la adopción y el desarrollo de estas tecnologías. Debido a esto, y el beneficio de emplear modelos de simulación para el estudio del movimiento y destino de los agroquímicos, OPUS (Smith, 1992), un modelo integrado a escala de campo, fue empleado en este trabajo para simular la lixiviación de tres agroquímicos en una zona de alto riesgo de Chile Central. OPUS se seleccionó debido a su sólida base física y a su flexibilidad para simular los diversos procesos hidrológicos, químicos y de manejo agrícola.

DESCRIPCION DEL MODELO

Opus (Smith, 1992) es un modelo integrado de ecosistemas e hidrología agrícola ideado con el propósito de facilitar el estudio de los efectos del clima y de las prácticas agrícolas sobre el movimiento del agua y de los contaminantes en una cuenca pequeña. El modelo simula en forma simultánea el escurrimiento del agua en la superficie del suelo y en la zona de las raíces; los procesos de transporte de sedimentos y productos químicos; la evapotranspiración; y los ciclos del carbono, del nitrógeno y del fósforo en la zona no saturada.

El movimiento unidimensional del agua dentro del suelo se simula resolviendo para cada estrata la ecuación de Richards (Richards, 1931):

$$C_c(h) \cdot \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K(h) \frac{\partial h}{\partial z} + K(h) \right) + q_e \quad (1)$$

donde $C_c(h)$ es capacidad capilar ($C_c(h) = \partial \theta / \partial h$) h es la carga de presión de agua, t es el tiempo, z es la profundidad, $K(h)$ es la conductividad hidráulica y q_e es utilizado para representar los flujos locales debidos a la remoción que realizan las raíces de las plantas y/o la evaporación desde el horizonte superficial del suelo.

Las características de retención de humedad del suelo se describen por medio de una modificación a la función de Brooks-Corey (Brooks y Corey, 1964; Smith, 1992):

$$\frac{(\theta - \theta_r)}{(\theta_s - \theta_r)} = \left(1 + \left(\frac{h}{h_b} \right)^\alpha \right)^{-\frac{\lambda}{\alpha}} \quad (2)$$

$$K = K_s \cdot \frac{(\theta - \theta_r)^{\frac{2+3\lambda}{\lambda}}}{(\theta_s - \theta_r)} \quad (3)$$

donde θ representa en contenido volumétrico de humedad; θ_r y θ_s son los contenidos de humedad residual y a saturación, respectivamente; h_b es la carga de presión de entrada de aire; λ es el índice de distribución de tamaño de poro; α es un coeficiente de curvatura que afecta la forma de la curva $\theta(h)$ cercana a h_b ; K es la conductividad hidráulica no saturada para un valor dado de h ; y K_s es conductividad hidráulica saturada. Si se desconoce alguno de estos parámetros, Opus incluye una rutina para estimarlos a partir de la distribución granulométrica de las partículas del suelo.

El decaimiento del pesticida en el suelo y en el follaje se simula con una ecuación de primer orden. Se supone también que el decaimiento del pesticida en el suelo se afecta por la actividad microbiana, la temperatura y el contenido de humedad del suelo de acuerdo a Walker (1974). La adsorción del pesticida se describe mediante un modelo de adsorción lineal de equilibrio instantáneo o por un modelo de adsorción cinético, dependiendo de los datos ingresados por el usuario. Para una adsorción de equilibrio, la concentración de pesticida en solución (C_l) se calcula como:

$$C_l = K_d C_s \quad (4)$$

donde C_s es la concentración adsorbida, K_d es el coeficiente de reparto que es sitio-químico dependiente. K_d se supone a menudo relacionado con el K_{oc} , que es la constante de adsorción de equilibrio normalizada en suelos con carbono orgánico que es principalmente químico dependiente (Chiou *et al.*, 1979). Para la adsorción cinética, la concentración del pesticida en la fase adsorbida se supone

que cambia en proporción al tiempo. Este proceso se calcula como:

$$\frac{dC_s}{dt} = v (C_l K_d - C_s) \quad (5)$$

donde t es el tiempo, y v es un coeficiente de tasa cinética con unidades de $1/t$.

La concentración de pesticida en el escurrimiento superficial depende del grado de desagregación del suelo, la porosidad, las características de infiltración, y del mecanismo de adsorción seleccionado por el usuario (adsorción de equilibrio ó cinética). Una descripción más detallada del cálculo del transporte de los pesticidas se puede encontrar en Smith (1992).

OPUS utiliza un modelo mecanístico para simular el crecimiento del cultivo en respuesta a los principales factores que controlan el desarrollo de los vegetales. En el modelo se incluyen la radiación solar, la temperatura, la disponibilidad de agua y de nutrientes. El modelo de crecimiento es similar al empleado por el modelo EPIC (Williams *et al.*, 1984), y no obstante su simplicidad, ha mostrado resultados satisfactorios cuando se utilizan correctamente los parámetros (Bonilla y Muñoz, 1997; Smith, 1995).

En relación a las variables meteorológicas, a partir de una serie de parámetros que describen el comportamiento histórico de ellas en la localidad de interés y de acuerdo al modelo de Richardson (1981), OPUS genera estocásticamente los valores de temperatura, radiación solar y precipitación. Esta alternativa es altamente conveniente cuando se quiere analizar la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno.

En el caso particular de la precipitación diaria, se emplea un proceso de Markov, en el cual la variable en cada día tiene sólo dos posibles estados: lluvia o no lluvia (seco). Para esto, el usuario debe calcular y entregar al modelo la probabilidad de un día con lluvia después de un día con lluvia, y la probabilidad de un día con lluvia después de un día sin lluvia en la localidad de interés. Estas probabilidades cambian con la estación del año, por lo cual es necesario estimar sus valores para cada mes a partir de los datos históricos registrados.

La magnitud de la lluvia (cantidad de agua precipitada en cada evento) se modela mediante una función de probabilidad gamma de dos parámetros:

$$p(v) = \frac{v^{\alpha-1} \cdot e^{-v/\beta}}{\beta^\alpha \cdot \Gamma(\alpha)} \quad v, \alpha \text{ y } \beta > 0 \quad (6)$$

donde $p(v)$ es la probabilidad de que ocurra una tormenta de una magnitud v ; y α y β son los parámetros de forma y de escala, respectivamente. Al igual que las probabilidades de transición que varían de mes a mes, se deben calcular los parámetros a partir de los registros históricos.

MATERIALES Y METODOS

Sitio escogido

En Chile, Padre Hurtado es una de las localidades que concitan mayor interés en términos de la contaminación de aguas subterráneas con agroquímicos, a causa de la existencia de una napa muy superficial y la presencia de numerosos pozos de baja profundidad. Padre Hurtado se encuentra ubicado en el sector depresional de la zona surponiente de la Cuenca de Santiago (33°48' lat. Sur). El tipo de suelo característico de la localidad pertenece a la serie Agua del Gato, con una profundidad efectiva que varía entre los 0,6 y los 1,2 m. El drenaje es imperfecto, el escurrimiento superficial moderadamente rápido y el nivel freático puede alcanzar en algunos sectores los 0,8 m.

El río Mapocho es el principal cauce natural del territorio en estudio, y es la fuente de agua más importante para la red de canales que riegan los suelos. Por otra parte, en términos del agua subterránea, el análisis de las pruebas de bombeo de los sondeos que se ubican en esta área indica que ellos atraviesan los acuíferos de mejor calidad de la cuenca del río Maipo, donde la presencia de partículas de suelo finas es esporádica frente al contenido dominante de arenas y gravas (EMOS, 1992).

Parámetros empleados

Se simuló una hectárea de suelo cultivada con maíz sembrado en hileras cada 0,7 m. Tanto la pendiente longitudinal como la transversal se establecieron en 3%. Se simuló un sistema de riego por surcos, asegurando un suministro adecuado de agua durante toda la temporada de crecimiento, con una lámina promedio de 10 cm aplicada cada 20 días a partir del día 1 de diciembre (7 riegos durante la temporada).

De acuerdo a la literatura, se simularon 6 estratas de suelo, cuyas características se indican en el Cuadro 1. La conductividad hidráulica saturada de cada horizonte (K_s) se calculó utilizando la ecuación de Kozeny-Carman (Mishra *et al.*, 1989). Los parámetros h_b y λ fueron estimados por OPUS de acuerdo a la distribución granulométrica de las partículas del suelo, y las curvas de retención de humedad y conductividad hidráulica se calcularon de acuerdo a las ecuaciones 2 y 3.

Cuadro 1.-Características físico-químicas del suelo¹
Physical and chemical soil properties.

	Profundidad (cm)					
	0-18	18-29	29-38	38-50	50-56	56-80
Granulometría (%)						
Arcilla	31	31	33	33	21	13
Limo	55	53	46	41	44	31
Arena	14	16	21	25	35	56
Densidad aparente (g·cm ⁻³)	1,5	1,5	1,3	1,1	1,3	1,0
θ_r (cm ³ ·cm ⁻³)	26	22	23	37	26	30
θ_s (cm ³ ·cm ⁻³)	35	44	48	50	40	43
Materia orgánica (%)	5,7	4,6	2,8	1,9	1,0	0,9
pH	7,8	8,1	8,1	8,1	7,9	7,9
h_b (mm)*	703	678	465	345	399	145
λ *	0,25	0,25	0,26	0,26	0,31	0,38
K_s (mm·h ⁻¹)**	4,4	5,6	5,8	6,5	18,3	214,2

¹ Comisión Nacional de Riego (1981).

* estimado por OPUS de acuerdo a la distribución granulométrica.

** estimado de acuerdo a Mishra *et al.* (1989).

Dada la ausencia de una estación meteorológica en la localidad, se emplearon los registros de la estación Melipilla, dependiente de la Dirección General de Aguas, ubicada a 33°42' lat.Sur, 71°13' long.Oeste y a 200 msnm. El comportamiento mensual de las principales variables climáticas empleadas se indica en el Cuadro 2. Las probabilidades de transición para el proceso de Markov fueron estimadas para cada mes a partir de los datos de precipitación diaria. La probabilidad de ocurrencia de un día con lluvia después de un día con lluvia se calculó como:

$$p_i(w/w) = \frac{\text{número de días con lluvia después de uno con lluvia}}{\text{total de días con lluvia}} \quad (7)$$

la probabilidad de ocurrencia de un día con lluvia después de un día sin lluvia se calculó como:

$$p_i(w/d) = \frac{\text{número de días con lluvia después de uno sin lluvia}}{\text{total de días sin lluvia}} \quad (8)$$

Cuadro 2.- Medias mensuales de las variables climáticas empleadas.

Average monthly climatic data used in the simulations.

	Temperatura (°C)		Precipitación (mm/mes)	Evaporación (mm/mes)
	Mín.	Máx.		
Enero	11	28	0	212
Febrero	11	27	0	168
Marzo	10	26	4	134
Abril	8	23	13	73
Mayo	7	18	76	36
Junio	5	16	87	21
Julio	5	15	113	22
Agosto	6	17	52	37
Septiembre	6	19	25	64
Octubre	7	22	12	116
Noviembre	9	24	7	158
Diciembre	10	27	1	204
Total			390	1.246

Tanto las probabilidades de transición como los parámetros α y β de la función gamma obtenidos a partir de los registros de precipitación diaria se presentan en el Cuadro 3. Estos últimos fueron estimados de la siguiente forma:

$$\alpha_i = \frac{\bar{X}_i^2}{S_{xi}^2} = \frac{1}{C_{vi}^2} \quad (9)$$

$$\beta_i = \frac{S_{xi}^2}{\bar{x}_i} = C_{vi} \cdot S_{xi} \quad (10)$$

donde \bar{x} , S_x^2 y C_v son el promedio, la varianza y el coeficiente de variación de las observaciones respectivamente, en tanto que el subíndice i ($i=1$ a 12) hace referencia al mes del año.

Cuadro 3.- Probabilidades de transición estimadas y parámetros α y β de la distribución gamma.

Estimated rain transition probabilities and α and β gamma function parameters.

Mes	$pi(w/w)$	$pi(w/d)$	α	β
Enero	0,000	0,005	1,777	0,863
Febrero	0,000	0,004	1,445	1,176
Marzo	0,267	0,019	0,841	5,891
Abril	0,351	0,042	0,731	9,667
Mayo	0,396	0,114	0,603	21,44
Junio	0,474	0,105	0,872	16,92
Julio	0,500	0,114	0,966	16,52
Agosto	0,348	0,099	0,584	19,16
Septiembre	0,328	0,077	0,601	11,69
Octubre	0,235	0,044	0,730	8,868
Noviembre	0,429	0,021	0,836	8,450
Diciembre	0,375	0,009	2,600	0,970

En relación al cultivo, se simuló un rendimiento en grano de 12.000 kg·ha⁻¹, una producción total de materia seca de 25.000 kg·ha⁻¹ y una profundidad máxima de enraizamiento de 1,1 m. El resto de los parámetros se obtuvieron de tablas especialmente elaboradas para maíz (Smith, 1992).

Las fechas y labores realizadas en el terreno, pesticidas aplicados y tasas de fertilización se obtuvieron de fichas técnicas de la región, de las cuales se entrega un resumen en el Cuadro 4. A partir de esto se simularon dos fertilizaciones y tres aplicaciones de pesticidas. En el primer caso se incorporaron 100 kg·ha⁻¹ de P₂O₅ (superfosfato triple) en el rastrojo previo a la siembra y 250 kg·ha⁻¹ de N (urea), con la siembra. Se simuló la aplicación de atrazina como herbicida previo a la siembra; fonofos, como insecticida a la siembra; y por último, 2,4-D, como herbicida 35 días después de siembra. Las características físico-químicas de los pesticidas empleados se indican en el Cuadro 5.

En este ejercicio, se utilizó la opción de generación estocástica para los valores diarios de las variables climáticas, y se realizaron 9 años de monocultivo, repitiendo en cada uno las mismas prácticas de

manejo. Los principales resultados obtenidos se presentan a continuación.

Cuadro 4.- Prácticas agrícolas simuladas durante la temporada *Simulated management sequence.*

Fecha	Labor:
Mayo, 15	· aradura (18 cm de profundidad)
Septiembre, 10	· aradura (18 cm de profundidad)
Septiembre, 20	· rastraje (10 cm de profundidad)
Septiembre, 30	· rastraje (10 cm de profundidad)
	· aplicación de herbicida: atrazina (1,5 kg·ha ⁻¹)
	· fertilización (superfosfato triple, 100 kg·ha ⁻¹ de P ₂ O ₅)
Octubre, 15	· siembra
	· aplicación de insecticida: fonofos (1,5 kg·ha ⁻¹)
	· fertilización (urea, 250 kg·ha ⁻¹ de N)
Noviembre, 20	· aplicación de herbicida: 2,4-D (0,55 kg·ha ⁻¹)
	· restauración de surcos
Abril, 15	· cosecha
Abril, 16	· incorporación de residuos

Cuadro 5.- Características de los pesticidas utilizados en la simulación

Properties of the pesticides simulated.

	Atrazina	Fonofos	2,4-D
Coefficiente de decaimiento foliar (1/día)	0,35	0,28	0,08
Coefficiente de decaimiento en el suelo (1/día)	0,01	0,02	0,07
Coefficiente de adsorción en el suelo, K_{oc} (mL·g ⁻¹)	78	810	20
Solubilidad en agua (mg·L ⁻¹)	33	13	900
Energía de activación ecuación de Arrhenius (Kcal/mol)	10	10	10

RESULTADOS Y DISCUSION

Flujos hídricos

El Cuadro 6 entrega un resumen de las principales variables simuladas en este ejercicio a lo largo de los 9 años. Los ingresos de agua al sistema se realizaron a través de la lluvia y los riegos. Los valores mensuales de estas variables se grafican en la Figura 1. Las precipitaciones simuladas alcanzan un promedio de 379 mm al año, en tanto que los riegos aportaron 700 mm por año. El balance entre la oferta y la demanda hídrica hace que la evapotranspiración sea en promedio superior a los 900 mm por año.

Si bien la lluvia y los riegos son la fuente de agua

para los procesos de lixiviación, lo relevante en términos de contaminación del agua subterránea es la cantidad de agua que drena más allá de la profundidad de alcance de las raíces, y que en áreas de napas superficiales, como la estudiada, puede alcanzar y contaminar rápidamente el acuífero. De acuerdo al Cuadro 6, en la gran mayoría de los casos, se registraron flujos de drenaje positivos, es decir, la napa se recargó con el agua drenada a través del perfil del suelo. Sin embargo, si los valores se analizan a nivel mensual, tal como se presentan en la Figura 2, es posible observar que durante los 9 años simulados se registraron valores de drenaje negativo, los cuales se deben interpretar como ocasiones en las cuales la napa aportó parte del agua consumida por las raíces. Si se analiza con más detención esta última figura, se puede señalar que los valores positivos se registran durante los meses de invierno, debido exclusivamente a las recargas que genera el agua lluvia, situación que se ve favorecida por la ausencia de un cultivo en la superficie, el cual podría consumir y evapotranspirar el agua en su paso a través del perfil de suelo gracias al gradiente hidráulico que imponen las raíces. Si a esto se suma la menor demanda de agua que ejerce la atmósfera durante el invierno, particularmente en términos del proceso de evaporación en la superficie del suelo (q_e ecuación 1), se entiende entonces la mayor disponibilidad de agua para los procesos de drenaje durante los meses invernales.

Durante los meses de verano se registró el proceso inverso, con flujos en su mayoría negativos. Casi no se registran precipitaciones, y la demanda hídrica que imponen las raíces del cultivo y el proceso de evapotranspiración obligan a implementar el riego. Es por ello que al hacer un balance del Cuadro 6, se puede observar que, aun cuando las láminas de agua aportadas por el riego son importantes, estas no alcanzan a suplir la demanda evapotranspirativa, y se produce un gradiente hidráulico en la zona de raíces que genera flujos ascendentes desde la napa. En esta situación, es la napa la que recarga el perfil de enraizamiento, aportando agua directamente del acuífero. Estos procesos que se registran durante los meses estivales son de alta relevancia en términos de contaminación, y a diferencia de la creencia habitual, en un cultivo y suelo como los simulados, el agua proviene en cantidades importantes desde la napa, aun cuando se realicen riegos frecuentes.

Cuadro 6.- Valores anuales obtenidos con la simulación
Annual simulation results.

	Año									Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Precipitación (mm)	275	401	329	508	413	471	398	184	432	3.411
Riego (mm)	700	700	700	700	700	700	700	700	700	6.300
Evapotranspiración (mm)	911	882	943	917	908	947	957	906	946	8.316
Drenaje (mm)	29	182	44	252	170	156	111	-25	151	1.072
Lixiviado										
atrazina ($\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$)	3	48	17	98	48	60	27	14	84	400
fonofos ($\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$)	0	0	0	1	1	1	1	0	2	5
2,4-D ($\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$)	2	11	3	16	7	13	5	3	17	76

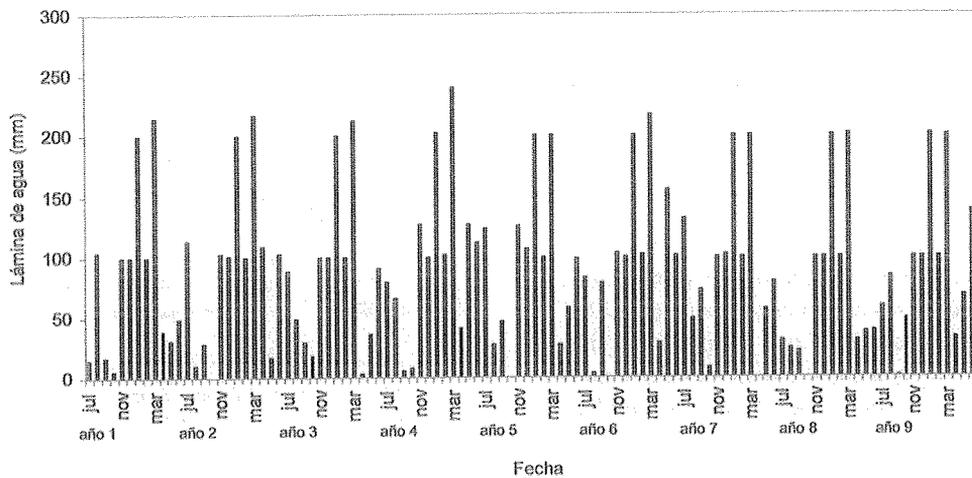


Figura 1.- Magnitud de las precipitaciones totales mensuales y de los riegos simulados.
Monthly rain values and irrigation rates.

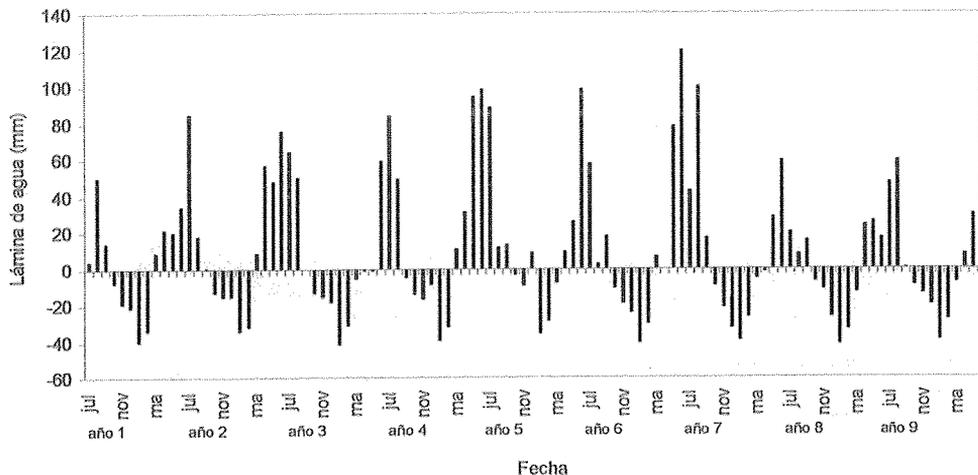


Figura 2.- Magnitud del drenaje total mensual simulado bajo la zona de las raíces. (Positivo indica flujo descendente)
Monthly drainage values below the root zone (positive values indicate downward water flow).

Lixiviación de agroquímicos.

En el Cuadro 6 se indica la magnitud de las tasas

anuales de lixiviación de los 3 pesticidas simulados. Como era de esperar, se observa una alta

correlación entre los valores de lixiviación y las láminas de agua entregadas, quedando de manifiesto que las cargas de agroquímicos aportadas a la napa están sujetas a la conjunción de los volúmenes de agua que fluyen, las tasas de producto aplicado y las propiedades hidrodinámicas de estos últimos (Cuadro 5).

En la Figura 3 es posible observar las tasas de lixiviación simuladas a nivel mensual. Las ocasiones durante las cuales la napa recibe el aporte de pesticidas se presentan, en su mayoría, en los meses de invierno y, aun cuando difieren en magnitud dependiendo del producto simulado, los tres agroquímicos exhiben la misma tendencia estacional. Si se analiza la correspondencia entre los valores de drenaje mensual y la cantidad de pesticida lixiviado durante el período es posible obtener los gráficos de la Figura 4. En los tres casos se observan valores de R^2 superiores a 0,6; destacando el valor registrado en el caso de atrazina de ($R^2 = 0,8$), situación que coincide con trabajos similares (Gaynor *et al.*, 1995) de acuerdo a las propiedades hidrodinámicas de los compuestos y su reactividad en el medio. Es por ello que atrazina ha sido ampliamente utilizada como indicador de la contaminación de los acuíferos por productos empleados en la agricultura.

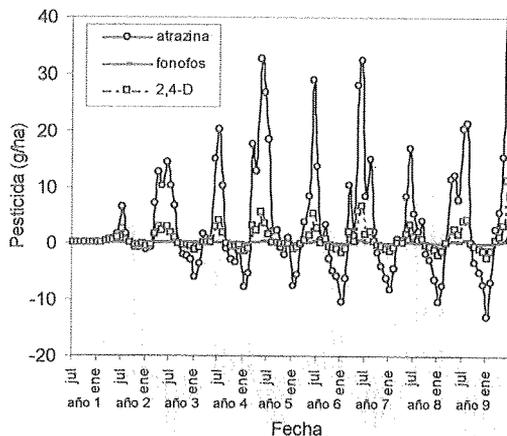
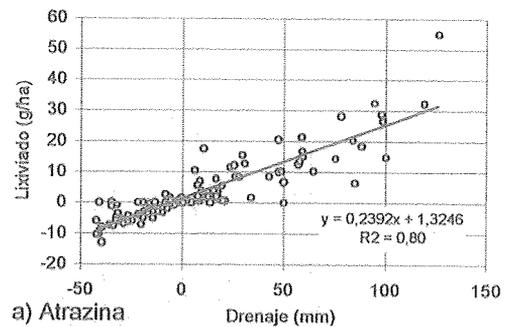


Figura 3.- Lixiviación mensual de pesticidas bajo la zona de alcance de las raíces.

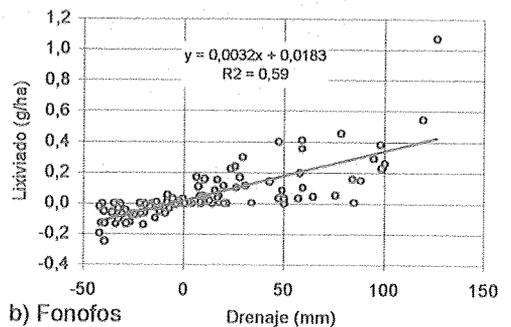
Monthly leaching values below the root zone.

Los valores acumulados de lixiviación de cada uno de los pesticidas se indican en la Figura 5. Del análisis de la figura se desprende que la cantidad de producto aplicado no es la principal variable expli-

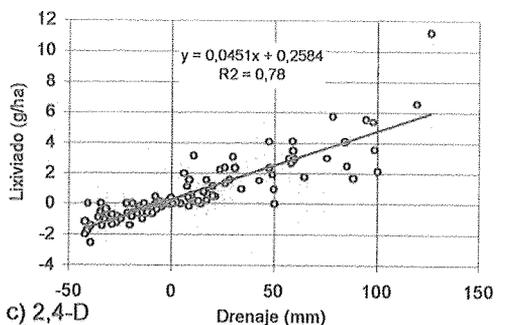
cativa de las diferencias obtenidas entre los distintos pesticidas, pues de ser así, atrazina y fonofos deberían haber registrado tasas de pérdida similares, ya que ambos se emplearon a razón de 1,5 kg-ha⁻¹. Sin embargo, atrazina exhibe el valor máximo de lixiviación, 400 g-ha⁻¹ de al final de año 9, y de fonofos sólo se pierden 5 g-ha⁻¹ durante el mismo período. Esta situación si se explica a través de las propiedades químicas de los solutos disueltos y de la reacción con las partículas del suelo, confirmando la operatividad de las ecuaciones de transporte e isothermas de adsorción empleadas por el modelo.



a) Atrazina



b) Fonofos



c) 2,4-D

Figura 4.- Relación obtenida entre las tasas de drenaje mensual y los correspondientes valores de lixiviación.

Simulated relation between monthly drainage and leaching values.

Producto de lo anterior, al cabo del año 9 se lixivió un 2,96% de la atrazina aplicada en el período. En

el caso de fonofos, la lixiviación acumulada fue de $5 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$, es decir, un 0,04% del producto aplicado. Por último, mediante el mismo mecanismo se perdieron $76 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ de 2,4-D; cifra equivalente a un 1,54% del total aplicado.

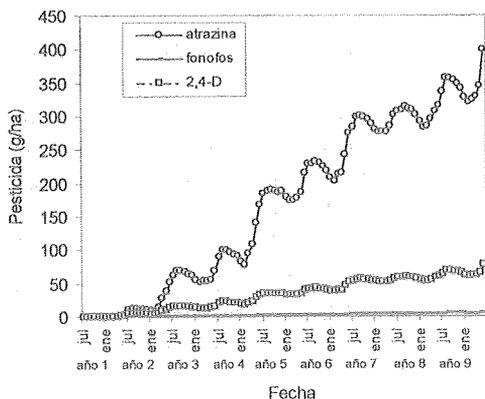


Figura 5.- Lixiviación acumulada de pesticidas bajo la zona de alcance de las raíces.

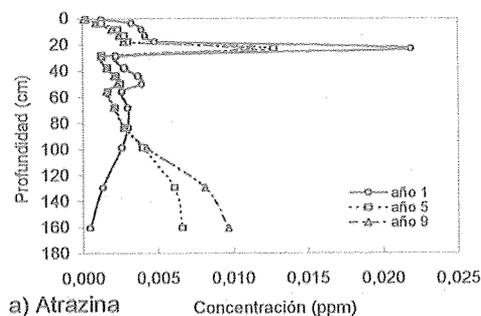
Cumulative pesticide leaching.

De las cifras antes señaladas se puede concluir que, a pesar de las condiciones extremas sobre las cuales se ha realizado este estudio, los valores de lixiviación de ninguno de los productos simulados superó el 3% al cabo de los 9 años simulados. Si se tiene en consideración que estos valores provienen de una simulación en la cual se utiliza un monocultivo, se deja el suelo descubierto durante todo el invierno, la napa se presenta muy superficial y las mismas prácticas agrícolas se repiten año tras año, es posible señalar que los valores obtenidos se encuentran dentro del rango normal y absolutamente tolerables en términos de lixiviación.

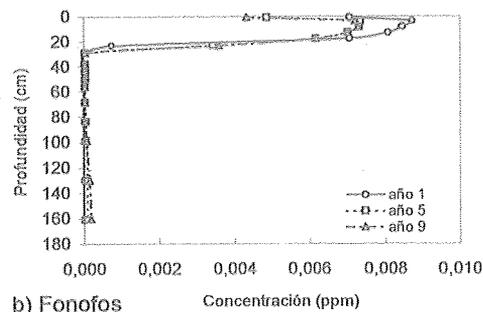
Disipación de los pesticidas.

La lixiviación registrada en un año particular, durante un período de rotación, no depende exclusivamente de la cantidad de producto aplicado ese año. Normalmente la aplicación del año constituye la fuente principal de soluto para el proceso de lixiviación que toma lugar durante la temporada, sin embargo, es necesario considerar también los procesos de adsorción/desorción que se desarrollan a lo largo del tiempo y a los que está sujeto el pesticida de las aplicaciones previas en su avance a través del perfil. Es por ello que en la Figura 6 se grafican los perfiles de concentración de cada uno de los pesticidas simulados al cabo del año 1, 5 y 9. Estas gráficas, que pretenden mostrar las canti-

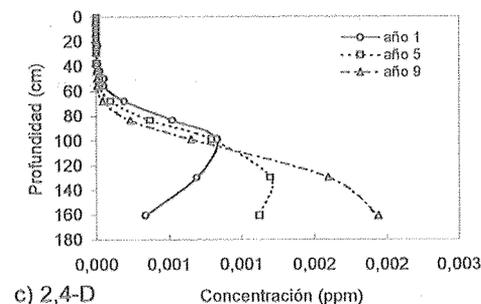
dades acumuladas al inicio, al medio y al final de la simulación describen el desplazamiento de cada uno de los productos en profundidad. Para el caso particular de atrazina, se observa que al final del primer año las concentraciones máximas se registran en los primeros 60 cm de profundidad, región comúnmente colonizada por las raíces de los cultivos. Sin embargo, al final del año 9 se observa un máximo a los 30 cm de profundidad, debido a la última aplicación simulada. También es posible ver un aumento en la concentración del producto en profundidad, el cual a los 160 cm de profundidad alcanza un valor de 0,01 ppm. Este número es de alta relevancia para los procesos de lixiviación debido a que son las capas de suelo más profundas las que primero recargarán las napas superficiales.



a) Atrazina



b) Fonofos



c) 2,4-D

Figura 6.- Avance y disipación de los pesticidas simulados en tres fechas durante la simulación.

Movement and pesticide dissipation of three dates during the period simulated.

Aún cuando también se lixivia en el tiempo, se observa un perfil de acumulación absolutamente diferente en el caso de fonofos. Casi no se registran concentraciones significativas del producto más allá de los 30 cm de profundidad, siendo altamente adsorbido por las partículas del suelo de los primeros estratos. Aun así, el leve incremento de las concentraciones en profundidad confirman el desplazamiento que sufre el producto en dirección a la base del perfil.

El caso de 2,4-D confirma las inquietudes existentes a nivel científico respecto al producto. Si bien las concentraciones en profundidad al cabo del año 9 no son extremadamente altas, los perfiles de los tres años graficados muestran la alta movilidad y respuesta que presenta el producto. A diferencia de los otros dos pesticidas simulados, en los cuales al final de cada uno de los años se observa un máximo cercano a la superficie del suelo, correspondiente a la última aplicación, en este caso se constata un rápido desplazamiento hacia los estratos inferiores, y se encuentra por ejemplo un máximo de concentración al final del primer año casi al metro de profundidad.

La relevancia de estas características guarda relación con el efecto acumulativo y de largo plazo que pueden tener en términos ambientales las aplicaciones de un producto. Aun cuando se suspendan las aplicaciones de un pesticida en particular, eso no asegura la rápida desaparición de este en el perfil, ni tampoco el término del riesgo de contaminación de la napa. Es por ello que el fenómeno de contaminación de las napas subterráneas es particularmente diferente a la contaminación de los cursos superficiales, no sólo por la dificultad para la detección del contaminante, sino también por el retardo observado en relación a la acción de las fuentes contaminantes, la permanencia prolongada del efecto y el retardo frente a las acciones correctivas, que en último término determinan la evolución espacial y temporal del contaminante en las aguas subterráneas.

CONCLUSIONES

Luego de emplear el modelo OPUS para simular la lixiviación de tres pesticidas en la localidad de Padre Hurtado se puede señalar que las pérdidas de atrazina, fonofos y 2,4-D no alcanzan al 3% del total del producto aplicado en 9 años de simulación.

Las mayores tasas de lixiviación se registran durante los meses de invierno, en los cuales el suelo está sujeto al régimen de precipitación local y no existe una cubierta vegetal que a través del sistema de raíces remueva el agua y los productos disueltos en su paso a través del perfil. Sin embargo, durante los meses de verano la demanda evapotranspirativa impuesta por la atmósfera y la existencia de un cultivo activo en la superficie del suelo provoca un gradiente energético tal, que el drenaje promedio toma un valor negativo, donde la napa aporta el agua necesaria para establecer el balance hídrico. En el caso de existir pesticidas disueltos en el agua subterránea, esta última situación se encuentra asociada a una recaptura de productos desde la napa, y una actividad de fitorremediación del cultivo en dichas condiciones.

Por último, si bien la lixiviación de los pesticidas no alcanza valores preocupantes en la localidad estudiada, a partir de los resultados es posible sugerir el establecimiento en terreno de un cultivo de invierno, que en rotación con el maíz atenúe la lixiviación durante los meses fríos.

RESUMEN

La modelación matemática es una de las principales herramientas para predecir la movilidad y persistencia de los contaminantes hacia y en el agua subterránea. Es por ello que con este fin, numerosas instituciones han desarrollado modelos en los últimos años. Ante la conveniencia de emplear dichas herramientas matemáticas para evaluar la lixiviación en sectores de alto riesgo, en este ejercicio se empleó un modelo integrado de ecosistemas e hidrología agrícola elaborado por el ARS/USDA (OPUS) para simular el movimiento de atrazina, fonofos y 2,4-D en un cultivo de maíz en un sector de alto riesgo de la zona central de Chile, bajo condiciones de riego y una napa superficial. Los resultados permiten distinguir claramente dos situaciones: i) durante el invierno la napa se recarga con el agua que drena a través del perfil de suelo, con el correspondiente aporte de agroquímicos, y ii) durante el verano se desarrolla el proceso inverso, en el cual la napa aporta cantidades de agua importantes a las raíces del cultivo, evitando la lixiviación de productos y ejerciendo un proceso de limpieza ambiental de la napa. La suma de ambos procesos hace que la lixiviación total de los tres pesticidas simulados no alcance a ser mayor que el 3% del total del producto aplicado. A lo

largo del artículo se describen brevemente las características del modelo empleado, y los proce-

dos de flujo, lixiviación y disipación de los pesticidas estudiado.

LITERATURA CITADA

- AGERTVED, J., K. RÜGGE y J. BARKER. (1993) Transformation of the herbicides MCPP and atrazine under natural aquifer conditions. *Ground Water* 30(4):500-506.
- BONILLA, C. y J. MUÑOZ. (1997) Simulating the drainage and nitrate leaching with Opus model. Proceedings of XXVII IAHR Congress, ASCE Water Resources Engineering Division, 10-15 Agosto 1997. San Francisco, E.U.A. p. 391-396.
- BROOKS, R. y A. COREY. (1964) Hydraulic properties of porous media. Colorado State University, Hydrology Paper 3.
- BUTTLER, T., MARTINKOVIC, y O. NESHEIM. (1993) Factors influencing pesticide movement to ground water. Extension Bulletin RF-WQ-107. IFAS, University of Florida, Gainesville.
- CHIOU, C., L. PETERS y V. FREED. (1979) A physical concept of soil-water equilibrium for nonionic organic compounds. *Science* 206:831-832.
- COMISION NACIONAL DE RIEGO. (1981) Estudio de suelos del Proyecto Maipo. Comisión Nacional de Riego, Chile.
- DONALD, D. y J. SYRGIANNIS. (1995) Occurrence of pesticide in Praire Lakes in Saskatchewan in relation to drought and salinity. *J. Environ. Qual.* 24:266-270.
- EMOS. (1992) Plan de desarrollo zona poniente de Santiago, Padre Hurtado. Estudio de prefactibilidad, II etapa. IFARLE, Ingenieros civiles consultores Ltda. Volumen 1.
- GAYNOR, J., D. MAC TAVISH y W. FINDLAY. (1995) Atrazine and metolachlor loss in surface and subsurface runoff from three tillage treatments in corn. *J. Environ. Qual.* 24:246-256.
- GONZALEZ, S. (1993) Contaminación de aguas continentales en Chile con nitratos y residuos de plaguicidas. *In: FAO 1993. Prevención de la contaminación del agua por la agricultura y actividades afines. Informe sobre temas hídricos, Santiago.* p. 87-102.
- GREEN, J., R. HORTON y J. BAKER. (1995) Crop residue effects on the leaching of surface-applied chemicals. *J. Environ. Qual.* 24:343-351.
- INSTITUTO DE INGENIEROS DE CHILE. (1990) Contaminación en Chile. Informe Gerencial. Coordinado por: Aidis, Sociedad Académica del Instituto de Ingenieros, Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.
- MISHRA, S., J. PARKER y N. SINGHAL. (1989) Estimation of soil hydraulic properties and their uncertainty from particles size distribution data. *Journal of Hydrology* 108:1-18.
- PEÑA, H. (1993) Caracterización de la calidad de las aguas naturales y contaminación agrícola en Chile. *In: FAO 1993. Prevención de la contaminación del agua por la agricultura y actividades afines. Informe sobre temas hídricos, Santiago.* p. 75-85.
- PEÑA, H., R. ABELIUK, G. CABRERA, J. CASTILLO, J. MUÑOZ, F. PEREZ y C. SALAZAR. (1990) El problema de la contaminación de las aguas subterráneas en Chile. *Revista de la Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica* 5(3):25-42.
- RICHARDS, L. (1931) Capillary conduction of liquids through porous mediums. *Physics* 1:318-333.
- RICHARDSON, C. (1981) Stochastic simulation of daily precipitation, temperature, and solar radiation. *Water Resources Research* 17(1):182-190.
- SMITH, R. (1992) Opus: An integrated simulation model for transport of nonpoint-source pollutants at field scale. Vol I, Documentation. USDA-ARS, USA.
- SMITH, R. (1995) Opus: simulation of a wheat/sugarbeet plot near Neuenkirchen, Germany. *Ecological Modelling* 81:121-132.
- WALKER, A. (1974) A simulation model for prediction of herbicide persistence. *J. Environ. Qual.* 3:396-401.
- WAUCHOPE, R. (1978) The pesticide content of surface water draining from agricultural fields. *J. Environ. Qual.* 7:459-474.
- WILLIAMS, J., C. JONES y P. DYKE. (1984) A modeling approach to determining the relationship between erosion and soil productivity. *Trans. ASAE* 27:129-144.

INTERFERENCE OF NITROGENOUS COMPOUNDS IN TECHNIQUES OF *IN-VITRO* RUMINAL GAS PRODUCTION. ¹

INTERFERENCIA DE COMPUESTOS NITROGENADOS EN LAS TECNICAS DE PRODUCCION DE GAS RUMINAL *IN-VITRO*.

GASTON PICHARD D., BRUNO TESSER O. AND ANA MARIA BIANCO R. ²

Departamento de Zootecnia,
Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal,
Pontificia Universidad Católica de Chile,
Vicuña Mackenna 4860, Santiago - Chile

Summary

Techniques of forage evaluation based on *in-vitro* rumen gas production have the potential for monitoring rumen fermentation kinetics of different energy yielding compounds. Observations in our laboratory led to identify proteins as a source of error in gas pressure measurements and the underlying hypothesis was that dissolved CO₂ is uptaken by basic compounds and prevented from escaping to the bottle head-space. Bases would be generated during hydrolysis of proteins, and the higher the protein content the higher the potential for CO₂ uptake by ammonia. The experimental methodology was based on *in-vitro* batch rumen incubation system, a pressure transducer, manual gas measurement and frequent gas release. In a purely chemical assay a protein-free rumen-like buffer incubation media was dosed with six levels of ammonium hydroxide (NH₄OH) as an alkaline agent and gas pressure recorded at hourly intervals. Gas production was depleted at a rate of 0.24 psi/mgN/bottle of 110 mL as NH₄OH increased from 0 to 25 mg/bottle. In a rumen *in-vitro* incubation experiment six levels of soy peptone or casein hydrolysate containing 0 to 160 mg protein/bottle were dosed to a basal substrate of 300 mg purified cell walls of *Lolium multiflorum* Lam. Results showed an inverse relationship between gas production and level of protein supplementation, being more severe at longer incubation time. Another experiment compared soy peptone and ammonium sulphate as sources of organic and inorganic nitrogen supplemented to same basal substrate at 15 mgN/bottle. A consistent depletion in apparent gas production was observed as the proportion of organic N was increased. When ammonium sulphate was substituted by 100% organic N, gas production at end point was underestimated by 28%. In another experiment soybean meal and leafy fractions of lucerne, red clover and orchardgrass were dosed to supplement the basal cell wall substrate with 10 or 25 mg protein/bottle. Opposite effects in digestibility and gas production were observed by increasing supplementation. *In-vitro* dry matter digestibility increased from an average 52.7 to 60.8%. However, gas production diminished from 410, 421, 418 and 409 mL·g⁻¹ to 392, 393, 377, and 347 mL·g⁻¹ fermented dry matter in all four forages respectively. The results confirmed that ammonia resulting from ruminal hydrolysis of nitrogenous compounds performs as sink for dissolved CO₂ thus interfering with the measurement of gas actually produced in the *in-vitro* system. This effect was large enough to offset the ammonia uptaken by rumen microbes and the CO₂ released from buffer for fatty acids neutralisation. Modelling was sensitive to this artifact and kinetic parameters were altered, particularly in pool sizes.

Key words: Gas production, feeds evaluation, nitrogen, rumen, *in-vitro*.

Ciencia e Inv. Agr. 25:81 - 90

INTRODUCTION

One of the most significant advancements in ruminant nutrition was the early establishment of a methodology for *in-vitro* rumen digestion studies by Tilley and Terry (1963). Since then several modifications have been adopted which rely on the same principle: estimation of substrate disappearance, or digestibility, based on measurement of residual substrate at predetermined incubation

times. The original two-stage technique was replaced in many laboratories by a single-stage system (Goering and Van Soest, 1970) which assumes that plant cell contents are fully digestible and undigested cell wall is the only component in residue of plant origin.

An alternative method has been developed using the gas produced during fermentation as an index of microbial activity in the rumen. The relation-

¹ Project funded by Fondecyt Grant Nr. 1960643.

² Facultad de Agronomía, Universidad de la República Oriental del Uruguay.

Correspondence to : gpichard@puc.cl

Acknowledgements : The authors wish to express their thanks to Mr. Eduardo Leiva for his very effective assistance in the laboratory while carrying on this research work.

ship between the quantity of gas produced and ruminal digestion was described in a pioneer work by Quin (1943, as cited by Blümmel *et al.*, 1997a) who monitored the gas production in rumen fistulated sheep using manometers linked to the canulae. Menke *et al.* (1979) suggested the use of an *in vitro* fermentation system by incubating the substrate, culture media and inoculum in a well lubricated syringe which would allow an easy measurement of the quantity of gas produced. In a more recent work Theodorou *et al.* (1994) proposed the use of pressure sensors that allow the control of intervals between measurements for timely release of built pressure as well as more precise measurements of gas production in larger number of samples.

Methods of *in-vitro* rumen gas production have two major potential advantages over those based on substrate disappearance. First, they would allow monitoring the rate and contribution of non-cell wall components to total fermentation, and second, the fate of not being destructive allows automation as well as inexpensive measurements of fermentation rates. However, some problems have been encountered regarding the use of gas techniques for studies of rumen digestion, like the need for stoichiometric adjustments in carbon dioxide and methane when fermenting different substrates (Huntington *et al.*, 1998), the effects of releasing the gas pressure in bottles head space by frequent venting (Kohn and Dunlap, 1998, and Lowman *et al.*, 1997) the need for correction of changes in atmospheric pressure (Pell *et al.*, 1997) and the effects of substrate concentration in the fermentation vessel (Cone *et al.*, 1996). Alternative mathematical models have been used to interpret gas production profiles, some based on the simple exponential, logistic, Gompertz and other known models, including several modifications of them (Beuvink and Kogut, 1993, France *et al.*, 1993, Schofield *et al.*, 1994 and Groot *et al.*, 1996) These models have been applied with different criteria to predetermined numbers of pools and divergence in results has frequently been observed. Their adequacy to assess actual pools and kinetic parameters continues to be a challenge that needs more research and discussion (Adesogan *et al.*, 1997).

Concerning the protein content in the system, either as a component of the culture medium, the inoculum or the substrate that is incubated, not

enough attention has been paid to the interference-derived from basic compounds in the system, which had been presented by Menke and Steingass in 1988. There has been an increasing interest in adopting the gas technique for routine evaluation of ruminants feeds (Rymer *et al.*, 1997) including calibration of near infra-red reflectance spectroscopy (Adesogan *et al.*, 1998 and Herrero *et al.*, 1996) but apparently with little concern about the magnitude of the above mentioned interference. Some laboratories have used this gas technique for evaluation of forages and feeds with contrasting protein contents (Cone *et al.*, 1998). Moreover, Wood *et al.* (1997) suggested the convenience of supplementing nitrogen in the culture media for low quality feeds without discussing the potential interference on gas production. A negative gas production can be observed in the figures reported by Chamberlain (1994) when casein was supplemented.

Regarding the CO₂ balance in the system, Menke and Steingass (1988) suggested that the effects of bases generated during protein hydrolysis would as a rule be cancelled out by the acid production during fermentation. But in our laboratory during a study of aminoacid supplementation to poorly fermented silages (Bianco, 1997) we observed a consistent negative slope in gas pressure as aminoacid level was increased during several hours of *in-vitro* rumen incubation. This observation made evident the need for better assessment of this potential source of error.

This work was undertaken in order to investigate the interference derived from different nitrogen sources as well as from varying protein contents of the samples and to explain the chemical mechanism underlying such response.

MATERIALS AND METHODS

Two types of experiments were designed. First a purely chemical assay that describes the behaviour of a rumen-like buffer system in presence of ammonium hydroxide as an alkaline agent. Second, a set of experiments devoted to study the physico-chemical behaviour of the gas system in presence of biological catalysts and organic compounds that could yield alkaline ions. These experiments include rumen fluid and different types of proteins, peptides and aminoacids as potential sources of ammonia.

Chemical experiment : Uptake of carbon dioxide by the buffer.

Treatments. Six levels of ammonium hydroxide were dosed, each to three bottles, by preparing solutions of different concentration that would provide in one millilitre doses of 0, 5, 10, 15, 20 and 25 mg NH₄OH per bottle.

Incubation procedure. The incubation media was as in Goering and Van Soest (1970) modified to exclude casein hydrolysate and cystein chloride and, in order to compensate for lower reducing power, sodium sulfide was increased by 100%. Resazurin was used as reduction indicator. Three bottles (110 mL) per treatment were filled with 40 mL media, thoroughly gassed and capped. CO₂ was injected until the gas pressure in the bottle head space raised to 3 psi.

Measurements. Gas pressure and volume were monitored at hourly intervals during 5 hours by means of a pressure transducer (Mfg. IGER, UK) and a syringe coupled with a three-way valve to the bottle septum.

***In vitro* rumen experiment 1 : Effect of level of organic nitrogen.**

Treatments. Six levels of organic nitrogen as casein enzymatic hydrolysate (Sigma N^oC0626) or soy peptone (Sigma N^oP1265) were used as main sources of nitrogen for the ruminal fermentation of a basal substrate of 300 mg purified cell wall of *Lolium multiflorum* Lam. A 2 mL solution containing 0, 40, 80, 120 or 160 mg protein of either one source was added to each bottle prior to inoculation.

***In vitro* rumen incubation procedure.** Incubation was done in 5 bottles per treatment with same media and technique as described in previous experiment, but using 15mg glucose/bottle as an energy primer and reducing factor. The rumen content was obtained from a donor cow fed a medium quality lucerne hay at maintenance level and fasted during 4 hours prior to collection. It was homogenised in a waring blender and strained under CO₂. Inoculum size was reduced to 5 ml/bottle in order to minimize protein coming from this source. Complete wetting of the samples was allowed prior to inoculation.

Gas measurement procedure. Gas was measured and released every hour during the first 6 to 8 hours, and at progressively longer intervals not allowing the pressure to reach over 2.5 psi. Cumulative gas production was expressed per unit of substrate dry matter fermented at end point of incubation, including the protein supplement as part of the fermentable substrate. The residue of unfermented cell wall substrate was obtained by refluxing with neutral detergent and filtration in coarse Gooch crucibles; consequently contamination from microbial mass was avoided. Analysis of 48 hours cumulative gas production was performed using a two pools logistic model (Doane *et al.*, 1998) that can describe two fractions with distinct kinetic behaviour.

***In vitro* rumen experiment 2 : Comparison of organic and inorganic sources of nitrogen.**

Treatments. Soy peptone and ammonium sulfate were used as organic and inorganic sources of nitrogen for supplementing a basal substrate of 300 mg purified cell wall of *Lolium multiflorum* Lam. Different solutions were prepared in order to provide an isonitrogenous supplement containing 15 mg N per bottle, equivalent to a final crude protein content of 20% in the substrate. Treatments were five combinations of soy peptone and ammonium sulphate in the following proportions 0:100, 20:80, 40:60, 60:40 and 100:0.

In vitro rumen incubation and gas measurement procedures were as in rumen experiment 1. In order to adjust for small time delays in manual gas recording of numerous bottles, the actual times of infusions or gas measurements were recorded for each bottle, plotted and submitted to curve fitting (Curve Expert 1.34). In this way results shown at determined incubation times have undergone the corresponding time adjustment.

***In vitro* rumen experiment 3 : Comparison of four forages as nitrogen sources.**

Treatments. Four forages were used as main nitrogen sources, offered at two levels, as supplements to a basal substrate of 300 mg *Lolium multiflorum* Lam. purified cell walls. Finely ground soybean meal (*Glycine max* Merr.) and leafy fractions of lucerne (*Medicago sativa* L.), red clover (*Trifolium pratense* L.) and orchardgrass (*Dactylis*

glomerata L.) were dosed at 10 or 25 mg protein per bottle. The composition of forages is shown in Table 1 along with the quantity of each of them that provided the levels of protein supplement.

Digestibility and gas measurement. In vitro rumen incubation and gas measurement procedures were as in rumen experiment 1. Plant cell wall disappearance was measured in order to describe cell wall digestibilities for each treatment. From this information, dry matter true digestibility was calculated as per Goering and Van Soest (1970).

RESULTS

Chemical experiment.

When the quantities of ammonium hydroxide increased from 0 to 25 mg per bottle, a reduction in the original gas pressure set in the bottles was observed (Figure 1) and the extent of reduction was positively correlated with quantity of ammonium hydroxide dosed. In all treatments the reaction was completed by 3 hours.

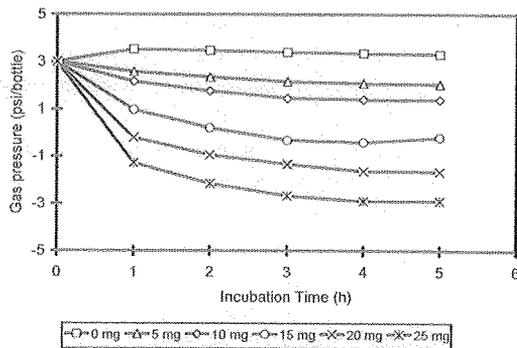


Figure 1.- Effect of ammonia level on gas uptake in a rumen-like media. Six levels of nitrogen were infused as NH₄OH in each bottle.

In vitro rumen experiment 1.

The logistic model showed a fast and a slow pool with their corresponding rates and lag times (Table 2). Statistical analysis showed good fitting of the model in all treatments. Increasing levels of protein supplement had a dramatic effect on the total cumulative gas production, being the size of the slow pool responsible for most of this effect. The depletion in gas production was consistent for both protein sources, although the model partitioned the pools differently, probably as a result of the protein nature in each supplement. The levels of soy peptone or casein hydrolysis added to the

basal cell wall yielded for the complete substrates crude protein contents from 7.3 up to 33.4%, values that are within the ranges of feedstuffs used in ruminant diets.

In vitro rumen experiment 2.

The fate of CO₂ uptake by ammonia released from protein breakdown is clearly shown in Figure 2. The greater the proportion of nitrogen in organic form, the greater the apparent depletion in gas production. At 12, 24 and 48 hours of incubation the quantity of gas produced with 100% inorganic N was 163, 291 and 405 mL per bottle. When substituted by 100% organic N, gas production was underestimated by 20, 26 and 28% respectively. In this experiment 1 mg of organic N was responsible for a reduction of 7.56 mL in final gas production.

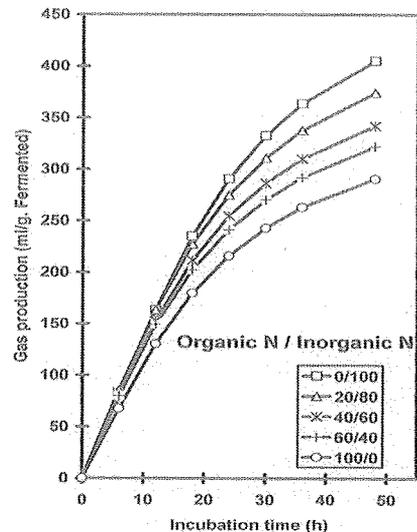


Figure 2.- Effect of varying the proportions of organic (soy peptone) and inorganic (ammonium sulphate) nitrogen sources on gas production of an isonitrogenous diet.

In vitro rumen experiment 3.

The four plant species used in this experiment as supplements had different levels of crude protein, low fiber content and good potential for high digestibility (Table 1). All treatments had the same basal diet and received the same quantity of nitrogen supplementation, so we expected either not to find differences in the quantity of gas produced per unit of fermented matter or to observe an augmentation in view of the effects of a greater availability of added carbohydrate sources. In fact, gas production was similar among species when a low level of protein was supplemented (Figure 3), ranging from 409 to 421 mL.g⁻¹ fermented.

Table 1-Composition and quantities of supplemented forages

Protein Supplement	Supplement composition			Supplemented quantity	
	Dry Matter	Crude Protein (%)	NDF	10 mg Prot. (mg DM/bottle)	25 mg Prot.
Soybean	89.9	45.9	9.8	21.79	54.47
Lucerne	93.2	39.4	17.5	25.38	63.45
Red Clover	92.1	23.1	22.4	43.29	108.23
Orchardgrass	90.9	18.3	57.9	54.64	136.61

* Crude protein = N · 6.25 ; NDF = neutral detergent fiber

Table 2-Effects of protein level on kinetic parameters of *in vitro* rumen gas production ¹

	Pool size (ml)			Specific Rate		lag (h)		r ²	SE
	Fast	Slow	Total	Fast	Slow	Fast	Slow		
Casein hydrolyisate (mg/bottle)									
0	161.1	204.8	365.9	0.080	0.039	2.9	11.9	0.994	9.6
40	130.9	197.8	328.7	0.097	0.040	2.3	9.6	0.996	7.1
80	151.0	148.3	299.3	0.088	0.040	2.6	11.0	0.994	8.7
120	166.1	115.0	281.0	0.078	0.035	2.8	12.9	0.995	6.9
160	167.2	92.9	260.1	0.073	0.038	3.0	13.5	0.992	8.4
Soy Peptone (mg/bottle)									
0	93.2	256.1	349.3	0.071	0.032	9.9	13.8	0.992	10.8
40	130.5	163.4	293.9	0.068	0.041	7.6	18.0	0.991	10.0
80	126.0	146.1	272.0	0.069	0.040	6.2	16.8	0.998	4.4
120	117.3	124.5	241.8	0.073	0.041	6.4	17.0	0.995	6.2
160	118.8	115.8	234.6	0.073	0.041	6.1	16.7	0.997	4.6

$$1 \text{ Logistic model : } V = V_{F1} \cdot (1 + e^{(2-4 \cdot S_1 \cdot (t-L_1))})^{-1} + V_{F2} \cdot (1 + e^{(2-4 \cdot S_2 \cdot (t-L_2))})^{-1}$$

V = gas production at time t; V_{F1} = maximum volume; S₁ = Specific rate; L₁ = Lag time.

However, when the supplementation was increased to 25 mg, two phenomena were observed. First, a significant difference among species, (393 mL·g⁻¹ in lucerne and 346 mL·g⁻¹ in orchardgrass), second, a dramatic reduction in apparent gas production within the same species, in the same incubation run, as a response to the greater protein supply. The depletion in gas pressure was higher in orchardgrass and red clover than in soybean meal and lucerne.

Conversely, *in-vitro* digestibility showed a response opposite to gas production when the quantity of soybean or forage leaf meals increased from 10 to 25 mg of protein per sample (Figure 3).

Digestibility of the purified cell wall substrate enriched with low and high levels of supplements were 52.6 and 60.1% respectively, being statistically different (P<0.01).

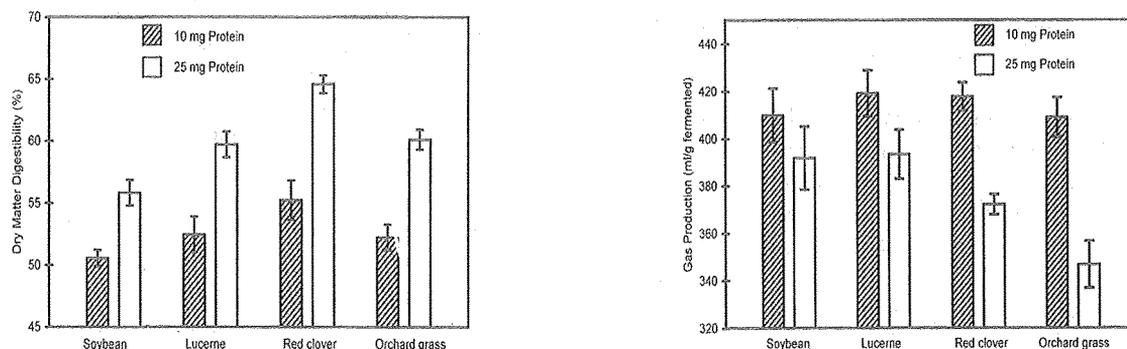


Figure 3-Opposite responses to supplementation of a ryegrass cell wall substrate with two levels and four sources of organic nitrogen. a) *in-vitro* true dry matter digestibility and b) *in-vitro* gas production.

Table 3.- *In-vitro* cell wall (IVCWD) and dry matter true digestibility (IVTDM) of ryegrass cell wall supplemented with four protein sources.

Protein Supplement.	IVCWD		IVTDM	
	10 mg Prot.	25 mg Prot.	10 mg Prot.	25 mg Prot.
	(%)			
Soybean	47.5	57.3	50.5	58.6
Lucerne	49.9	52.6	52.4	59.7
Red Clover	50.9	55.3	55.8	64.6
Orchardgrass	48.7	53.8	52.2	60.1
<i>Average</i>	<i>49.3</i>	<i>54.8</i>	<i>52.7</i>	<i>60.8</i>

DISCUSSION

The measurement of *in vitro* rumen gas production has a strong theoretical and empirical base, even though stoichiometric relationships have not been incorporated to a satisfactory extent. The validity of the relationships of gas production with microbial growth and organic matter disappearance is high mainly in early stages of incubation, when it is unlikely that data may be much confounded with recycling processes in the batch culture system and with gas derived from secondary fermentation. Probably the greatest advantage of his technique, other than simplicity, relies on the actual possibility of monitoring the early fermentation kinetics resulting from substrates which differ in susceptibility to enzymatic breakdown. The disappearance of carbohydrates fractions like free sugars, non-structural and structural polysaccharides and their hydrolysis products, might be followed by measuring the gas output, thus improving the information in digestion studies with respect to the one collected from the "two fractions" system that consider complete availability of plant cell contents and measures the undigested plant cell wall. The rates of fermentation of non-structural polysaccharides has become increasingly important in the nutrition of high producing ruminant animals.

However, the results in this paper show a significant interference from nitrogenous fractions in feeds, which may lead to severe underestimation of the actual quantity of gas produced. The buffer designed by McDougall (1948) used in the original *in vitro* rumen technique by Tilley and Terry (1963) and the one by Goering and Van Soest (1970) involve carbonate/bicarbonate systems that can handle acid or basic compounds generated

through ruminal fermentation by shifting the equilibrium to the production of bicarbonate or carbonate respectively. Under such conditions the solubility of CO₂ is different and it affects the measurement of gas released to the atmosphere. This is the reason why the addition of ammonium hydroxide induced an increased solubility of carbon dioxide with the consequent loss of gas pressure in the bottles.

The data support the hypothesis that ammonia released during breakdown of proteins, peptides or aminoacids, mainly from feed source but also from microbial lysis, acts as a sink for CO₂ dissolved in the rumen fluid. Such condition shifts the equilibrium between gas in head-space and gas in the solution towards the latter and consequently, measurement of gas production is underestimated when CO₂ is uptaken by ammonia to form ammonium bicarbonate. Ammonia taken up by microbial cells as well as ammonium that is already in the form of bicarbonate salt would not be active as CO₂ sinks. It is the ammonium ion produced in excess of demand for cell synthesis the one that potentially interferes with measurements of CO₂ production.

During rumen fermentation an opposite effect takes place due to neutralization of fatty acids and the consequent release of CO₂ from the buffer. Menke and Steingass (1988) proposed that the depletion in gas production due to protein hydrolysis would generally be balanced by this effect. However, the net result obtained in this work indicates that protein did interfere, being very much dependent on the composition of the N compounds and this alteration in the true gas production was significant. The neutralization of fermentation acids and the production of CO₂ from the buffer should be more important in high energy yielding feeds thus offsetting to a greater extent the apparent reduction in gas production due to protein hydrolysis. In our experiments the fibrous nature of the basal substrate made the system more sensitive for studying the mentioned interference from proteins. Blümmel *et al.* (1997b) found that the gas production per unit of degraded substrate was greater in isolated NDF than in the whole roughage, what is consistent with the results of our work, but rather than an increased degradability of cell walls due to extraction of solubles or a shift in the parti-

tion of carbon to fatty acids instead of microbial mass, we think that the bases generated from proteins in cell solubles did offset the additional quantity of gas released from the buffer and the net result was a diminished gas production in the whole roughage sample. Similar observations regarding greater gas production in isolated NDF were reported by Doane *et al.* (1998).

Increasing the quantity of protein supplement was responsible for depleting the apparent gas production particularly in the slow pool. The fast pool did not suffer such a severe effect, probably because of interactions with other factors during early fermentation times. The initial hydrolysis of proteins provide small amounts of peptides, aminoacids and ammonia which may have been largely utilised by bacteria for growth; also, the glucose primer as well as the readily fermentable energy compounds brought in the rumen fluid inoculum, may have released CO₂ from the buffer for fatty acids neutralisation, thus compensating the gas uptaken by nitrogenous bases.

Similarly, at later fermentation times, when there has been a great gas uptake by basic compounds, there is already a large quantity of gas produced from fermentation of carbohydrates and neutralisation of fatty acids, what may explain why the negative effect on gas measurement from the protein derived alkaline agent has been overlooked. This experiment with several levels of purified protein supplements and a plant cell wall substrate, allowed to assess the actual underestimation of gas production due to protein hydrolysis during *in-vitro* rumen fermentation.

The composition and quantity of nitrogenous compounds vary among forages according with species, phenological stage, fertilization strategies and climate (Buxton and Fales, 1994 and Van Soest, 1994). Some agronomic practices can also alter the content and composition of crude protein in forages, namely wilting and silage conservation (Broderick, 1994 and Pichard & Rybertt, 1994). Thus a wide spectrum in complexity and availability of nitrogenous compounds can be found, from high molecular weight true proteins up to simple molecules like urea, nitrate or ammonia, and therefore a great variability in the potential of different forages for release of active ammonia. Feeds containing urea would yield free ammonia upon

hydrolysis in the rumen, thus taking up free CO₂ and reducing apparent gas production. When total mixed ratios or balanced diets include buffers in their formulation, a new source of error can be created for the evaluation of such feed by means of *in vitro* gas production.

The microbial lysis should also be regarded as a source of protein that may undergo the same routes as the proteins from the feed, and this process in *in vitro* batch cultures becomes increasingly important at longer incubation times, when the remaining fermentable substrate is depleted, environmental conditions cannot support a net microbial growth and a decline is observed in the microbial mass.

The rate at which ammonia is released would also have confounding effects on fermentation rate studies. Our results showed that carbon dioxide equilibrium is slowly reached over an extended period of time. Also, the variable amount and composition of nitrogen fractions in the feeds affected the kinetic parameters. The high content of low molecular weight ammonia precursors in silages (McDonald *et al.*, 1991) or the supply of nitrogen in excess for potential microbial growth represent two situations where ammonia can severely interfere with measurement of actual rate and extent of gas production. In this regard, the intrinsic patterns of protein breakdown in each feedstuff suggest the need for reassessing the strategy of curve subtractions used by some researchers to study gas production in alternative substrates (Schofield and Pell, 1995, Stefanon *et al.*, 1996 and Doane *et al.*, 1998). For the same reason trying to overcome the interference of the variable protein contents by means of supplementation in order to attain isoprotein samples, would have restricted validity particularly in kinetics analyses.

Supplementation of the basal diet of purified cell wall with highly digestible and protein rich forages resulted, as expected, in higher *in-vitro* digestibility values of the overall sample. However, the results of apparent gas production failed to agree with the effect of enriching the substrate and a decline in the quantity of gas produced per unit of fermented matter was observed. This phenomenon is explained by the depressing effect of basic compounds derived from protein hydrolysis.

The opposite responses to protein supplementation observed in digestibility measurements and in apparent gas production bring a serious backdrop regarding the use of gas techniques for the evaluation of ruminant feeds. Recent papers have also pointed out the difficulties arising from the poor correlation between gas production and digestibility found when comparing feeds with different nitrogen contents. Abreu and Bruno-Soares (1998) found poor correlations between gas production and organic matter digestibility in nine legume grains. Dryhurst and Wood (1998) described an inhibitory effect in gas production when urea was supplemented to barley straw. These papers confirm the interference derived from some nitrogenous fractions in feed evaluation techniques based on *in vitro* gas production.

CONCLUSIONS

The evaluation of energy sources in ruminant feedstuffs by means of gas production techniques relies on strong theoretical concepts and has the potential for enhancing nutritional information about their dynamic behaviour, particularly during early rumen fermentation times. However, there are complex biological and chemical reactions in the system that require an integrated approach and careful examination in order to avoid errors in routine analyses and in application of mathematical models used to provide information to nutritionists.

The results suggest that there should be awareness particularly with respect to the nitrogenous fractions in feeds to be tested, where the potential generation of free ammonia, that performs as sink for dissolved CO₂, varies according with diet composition and with the rate of uptake in microbial cells. The generation of basic ions may severely affect the pools identification and kinetic parameters of gas production. Similarly, the contribution of fermentation acids to the production of CO₂ from the buffer should also be accounted for.

More research is needed in order to explore the ways to overcome the interference born in the nitrogen-buffer interaction without altering the natural conditions of the rumen microbial ecosystem. Fermentation occurs as a constant release and uptake of acid and basic compounds from and to the incubation media and the kinetics of such pro-

cesses are governed to a large extent by the nature of the feeds and the microbial reactions to them.

RESUMEN

Las técnicas de evaluación de forrajes basadas en la producción de gas *in vitro* tienen la capacidad de monitorear la cinética de fermentación ruminal propia de diferentes fuentes de energía. Observaciones hechas en nuestro laboratorio han permitido identificar a las proteínas como fuentes de error en la medición de gas, siendo la hipótesis subyacente que el CO₂ es capturado en solución por compuestos básicos lo cual impide su escape al compartimento de gas en la botella. Las bases se generarían durante la hidrólisis de proteínas, correspondiendo a un mayor contenido de proteína un mayor potencial de captura de CO₂ por el amoníaco. La metodología experimental se basó en un sistema de incubación ruminal *in vitro* en batch, con un transductor de presión, lectura manual de las producciones de gas y frecuentes liberaciones del exceso de gas. En un experimento químico el medio de incubación ruminal, libre de proteínas, fue expuesto a seis niveles de hidróxido de amonio como agente alcalinizante. La producción de gas, medida a intervalos de una hora, se deprimió a una tasa de 0,24 psi/mgN/botella. En una incubación *in vitro* con licor ruminal, 6 niveles de peptona de soya e hidrolizado de caseína, entre 0 y 160 mg/botella, se adicionaron a un sustrato base de 300 mg de paredes celulares purificadas de *Lolium multiflorum* Lam. Los resultados mostraron una relación inversa entre producción de gas y el nivel de proteína suplementado, la cual se acentuaba a mayores tiempos de incubación. En otro experimento se comparó peptona de soya y sulfato de amonio como fuentes de nitrógeno orgánico e inorgánico respectivamente, agregándolos al mismo sustrato basal en cantidades de 15 mgN/bot. Una consistente depresión en la producción aparente de gas se observó al incrementar la proporción de N orgánico; cuando el sulfato de amonio se sustituyó completamente por N orgánico la producción de gas final fue subestimada en un 28 %. En otro experimento, harina de soya y de fracciones foliares de alfalfa, trébol rosado y pasto oville se suplementaron al sustrato basal de pared celular en dosis equivalente a 10 y 25 mg de proteína/botella; efectos opuestos de digestibilidad y producción de gas se observaron al incrementar la suplementación.

La digestibilidad de la materia seca se incrementó en un promedio de 52.7 a un 60.8%, mientras que la producción de gas disminuyó de 410, 421, 418 y 409 mL a 392, 393, 377 y 347 mL.g⁻¹ fermentado respectivamente para los cuatro forrajes. Los resultados confirman que el amoníaco resultante de la hidrólisis de compuestos nitrogenados captura CO₂ disuelto interfiriendo con la medición de

producción de gas en el sistema *in vitro*. Este efecto se manifiesta a pesar de la captura de amoníaco por los microorganismos ruminales y del CO₂ liberado desde el buffer por neutralización de los ácidos grasos volátiles. El ajuste a modelos matemáticos fue sensible a este artefacto, resultando sus parámetros cinéticos alterados, en particular el tamaño de los pools.

REFERENCES

- ABREU, J.M.F. and BRUNO-SOARES, A.M. 1998. Chemical composition, organic matter digestibility and gas production of 9 legume grains. *Anim. Feed. Sci. and Tech.* 70 : 49-70.
- ADESOGAN A.T., OWEN E. and GIVENS. D.I. 1998. Prediction of the *in vivo* digestibility of whole crop wheat from digestibility, chemical composition, *in situ* rumen degradability, *in vitro* gas production and near infrared reflectance spectroscopy. *Anim. Feed Sci. and Techn.* 74 : 259-272
- ADESOGAN, A. T., GIVENS, D. I. and OWEN, E. 1997. A comparison of the suitability of different models for describing the *in vitro* gas production kinetics of whole crop wheat. *In Proceedings of an Intl. Symp. on in vitro Techniques for Measuring Nutrient Supply to Ruminants*, Reading, England. p. 46.
- BEUVINK, J. M. W. and KOGUT, J. 1993. Modeling gas production kinetics of grass silages incubated with buffered ruminal fluid. *J. Anim. Sci.*, 71 : 1041-1046
- BIANCO A. M. 1997. Efecto del perfil nitrogenado de ensilajes de alfalfa sobre la cinética de fermentación ruminal. Tesis para optar al grado de Magister, Pontificia Universidad Católica de Chile.
- BLÜMMEL, M., STEINGASS, H. and BEKER, K. 1997a. The relationship between *in vitro* gas production, *in vitro* microbial biomass yield and ¹⁵N incorporations and its implications for the prediction of voluntary feed intake of roughages. *Brit. J. of Nutrition* , 77, 911-921.
- BLÜMMEL, M., MAKKAR H., P., S. and BEKER, M., S. 1997b. The *in-vitro* gas production characteristic of whole roughage versus isolated roughage neutral detergent fibre and their implications for analysing the fermentation of cell solubles by a differential approach. *In Proceedings of an Intl. Symp. on in vitro Techniques for Measuring Nutrient Supply to Ruminants*, Reading, England. p12.
- BRODERICK, G.A. 1994. Quantifying forage protein quality. *In Forage quality, evaluation and utilization*, pg. 200-228. Ed. G.C.Fahey, ASA-CSA-SSS, Madison, Wisconsin.
- BUXTON, D.R. and FALES, S.L. 1994. Plant environment and quality. *In Forage quality, evaluation and utilization*, pg. 155-199. Ed. G.C.Fahey, ASA-CSA-SSS, Madison, Wisconsin.
- CHAMBERLAIN, A.T. 1994. The gas production capacity of purified chemicals and feedstuffs when incubated *in vitro* with rumen microbes as a possible indicator of energy availability in the rumen. *In Proceedings of 50th Winter Meeting, British Society of Animal Production*, Scarborough, p. 91
- CONE, J. W., VAN GELDER, A. H., VISSCHER, G. J. W., and OUDSHOORN, L. 1996. Influence of rumen fluid and substrate concentration on fermentation kinetics measured with a fully automated time related gas production apparatus. *Anim. Feed Sci. Techn.* 61:113-128.
- CONE, J. W., VAN GELDER, A. H. and VALK, H. 1998. Prediction of nylon bag degradation characteristics of grass samples with the gas-production technique. *J. Sci. Food and Agric.*, Vol 77 (3) : 421-426.
- DOANE P. H., PELL, A., N. and SCHOFIELD, P. 1998. Ensiling effects on the ethanol fractionation of forages using gas production. *J. Anim. Sci.* 76:888-895.
- DRYHURST, N. and WOOD, CD. 1998. The effect of nitrogen source and concentration on *in vitro* gas production using rumen microorganisms. *Anim. Feed Sci. Tech* 71:131-143.
- FRANCE, J., DHANOA, M.S., THEODOROU, M.K., LISTER, S.J., DAVIES, D.R. and ISAC, D. 1993. A model to interpret gas accumulation profiles associated with *in vitro* degradation of ruminant feeds. *J. Theor. Biol.* 163 : 99.
- GOERING, H.K. and VAN SOEST, P.J. 1970. Forage fiber analysis. *Agricultural Handbook N° 379*. Agriculture Research Service, Washington, DC. USA.
- GROOT, J. C. J., CONE, J. W., WILLIAMS, B. A., DEBERSAQUES, F. M. A. and LANTINGA, E. A., 1996. Multiphasic analysis of gas production kinetics for *in-vitro* fermentation of ruminant feeds. *Anim. Feed Sci. Techn.* 64: 77-89.
- HERRERO, M., MURRAY, I., FAWCETT, R. H. and DENT, J. B. 1996. Prediction of the *in-vitro* gas production and chemical composition of kikuyu grass by near-infrared reflectance spectroscopy. *Anim. Feed Sci. Techn.* 60:51-67.
- HUNTINGTON, J. A., RYMER, C. and GIVENS, D. I. 1998. The effect of diet on the gas-production profile of hay and high-temperature dried grass. *Animal Science*, 67: 59-64
- KOHN, R. A. and DUNLAP, T. F. 1998. Calculation of the buffering capacity of carbonate in the rumen and *in vitro*. *J. Anim. Sci.* 76:1702-1709.
- LOWMAN, R. S., BROOKS, A. E., THEODOROU, M. K., DHANOA, M. S. and CUDDFORD, D. 1997. The effect of head-space pressure on gas production profiles as determined using the pressure transducer technique. *In Proceedings of an Intl. Symp. on In-vitro Techniques for Measuring Nutrient Supply to Ruminants*, Reading, England, p.42.

- MCDONALD, P., HENDERSON, N. Y HERON, S.. 1991. The biochemistry of silage. Chalcombe Publications, UK
- MCDUGALL, E.I. 1948. Studies on ruminant saliva. I. The composition and output of sheep's saliva. *Biochem. J.* 43 : 99-109.
- MENKE, K.H. and STEINGASS H., 1988. Estimation of energetic feed value obtained from chemical analysis and *in-vitro* gas production using rumen fluid. *Anim. Res. Dev.* 28:7-55.
- MENKE, K. H., RAAB, L., SALUWSKI, A., STEINGASS, H., FRITZ, D. and SCHNEIDER W. 1979 The estimation of digestibility and metabolizable energy content of ruminant feeding-stuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor *in-vitro*. *J.agric. Sci. Camb* 93:217-222.
- PELL, A. N., SCHOFIELD, P. AND PITT, R. E. 1997. The development, use and application of the gas production technique at Cornell University, U.S.A. *In Proceedings of an Intl. Symp. on In-vitro Techniques for Measuring Nutrient Supply to Ruminants*, Reading, England, p 7.
- PICHARD G. and RYBERTT G. 1994. Degradación de las proteínas en el proceso de ensilaje. *Ciencia e Inv. Agr.* 20(2):402.
- RYMER, C., HUNTINGTON, J.A. and GIVENS, D.I. 1997. A study of the inter-laboratory variation in results obtained using the gas production technique. *In-vitro Techniques for Measuring Nutrient Supply to Ruminants*, Reading, England.
- SCHOFIELD, P. and PELL, A.N. 1995. Validity of using accumulated gas pressure reading to measure forage digestion *in-vitro*: a comparison involving three forages. *J. Dairy Sci.* 78:2230-2238.
- SCHOFIELD, P., PITT, R.E. and PELL, A. N. 1994. Kinetics of fiber digestion from *in-vitro* gas production. *J. Anim. Sci.* 72:2980-2991.
- STEFANON, B., PELL, A. N. and SHOFIELD, P. 1996. Effect of maturity on digestion kinetics of water-soluble and water-insoluble fractions of alfalfa and brome hay. *J. Anim. Sci.* 74:1104-1115.
- THEODOROU, M.K., WILLIAMS B.A., DHANOA M.S., MCALLAN A.B. and FRANCE. J. 1994 new gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminal feeds. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 48:185-197.
- TILLEY, J.M.A. and TERRY, R.A. 1963. A two stage technique for the *in-vitro* digestion of forage crops. *J. British Grassland Soc.* 18:104-111
- VAN SOEST. P.J. 1994. *Nutritional ecology of the ruminant.* 2nd Ed., 476 pp. Cornell University Press, Ithaca, USA.
- WOOD, C.D., PRATHALINGAN, N.S., MURRAY, A.M. and MATTHEWMAN, R.W. 1997. Use of the gas production technique to investigate the supplementation of nitrogen deficient feeds. *In Proceedings of an Intl. Symp. on in-vitro Techniques for Measuring Nutrient Supply to Ruminants*, Reading, England. p. 41.

ALFORFON (*Fagopyrum esculentum* Moench.). VALOR NUTRITIVO, USOS, FITOSANIDAD Y MANEJO AGRONÓMICO.

BUCKWHEAT (*Fagopyrum esculentum* Moench.). NUTRITIVE VALUE, USES, PHYTOSANITARY ASPECTS AND AGRONOMIC MANAGEMENT

PATRICIO PARODI P. e ISABEL M. NEBREDA M.

Departamento de Ciencias Vegetales
Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal
Pontificia Universidad Católica de Chile
Casilla 306, Correo 22, Chile

Summary

Buckwheat is a very short life cycle species, which may be planted in Chile's North Central Zone, approximately 27 to 36° lat. South, as a summer crop in December and early January, immediately after the wheat harvest. In the South Central and Southern Zones, approximately 36 to 42° lat. South, it must be planted as a spring crop, from mid-October to late November. Recommended planting distance is 30 to 50 cm between rows, with a seed rate of 40 to 80 kg-ha⁻¹. Planting depth is 4 to 6 cm. Effects of nitrogen fertilization in the North Central Zone have been inconsistent. Recent research suggests an application of 40 kg-ha⁻¹ of N at planting, and a similar rate 40 days later. In trumao soils, with low P and high Al content, response to N and P has been positive and significant. Crop diseases are scarce, and none have been described in Chile; insect attacks are seldom seen and have been of minor importance. Weeds, including wheat volunteer plants, must be controlled. Several cultivars studied in Chile have produced yields above 2 ton-ha⁻¹. Current information suggests that buckwheat is a viable agronomic alternative as a spring crop in the country's Southern Zone, and as a second crop after wheat in the irrigated North Central Zone. Its economic viability depends on the international market, dominated by Japan as the main importer, and China, as the largest exporter.

Key words: Buckwheat, *Fagopyrum esculentum* Moench, cholesterol, cropping, phytosanitary status.

Ciencia e Inv. Agr. 25: 91-101

INTRODUCCION

Existen al menos tres especies de alforfón cultivado, de las cuales las dos más importantes son *Fagopyrum esculentum* Moench. y *F. tartaricum* Gaertn. Su centro de origen ha sido descrito en China. El cultivo está documentado en la Edad Media en Europa; actualmente, además de Europa, se le cultiva en China, Japón, Rusia, Canadá y Estados Unidos. Su uso comercial en Chile, todavía es incipiente y esporádico.

El alforfón cultivado es una especie muy precoz, 7 a 10 semanas de siembra a madurez; se desarrolla en una amplia variedad de suelos, además de adaptarse a suelos pobres. En general, las aplicaciones de fertilizantes aumentan significativamente los rendimientos de semilla en suelos de baja fertilidad (Marshall, 1969). La especie tiene una mejor respuesta si se cultiva bajo condiciones frescas y húmedas. La temperatura y el estrés hídrico son los factores de mayor incidencia en la reducción del rendimiento. En zonas templadas, el alforfón debe sembrarse 10 a 12 semanas antes de la fecha probable de la primera helada de otoño. Esto

aumenta la probabilidad de que el máximo de floración ocurra después de las más altas temperaturas del verano. Las temperaturas altas aumentan la absorción de agua y acortan el ciclo de vida de la planta (Hall, 1950). Las temperaturas diurnas más satisfactorias durante el período de floración son de 17 a 19°C (B.O. Ruzkowska, 1965; M. Ruzkowska, 1965). A mayores temperaturas, es posible que el desarrollo del tubo polínico se detenga antes de haber alcanzado suficiente extensión para la fertilización (Sugawara, 1958).

El alforfón necesita unos 70 mm de precipitación desde siembra hasta floración, y otros 20 mm desde floración hasta madurez (M. Ruzkowska, 1965). Sus hojas tienden a marchitarse cuando la mayoría de las otras especies no muestran signos de estrés; un déficit de agua puede inhibir los efectos de la fertilización o causar el aborto del cigoto.

Es recomendable regar durante períodos de sequía y alta temperatura (Marshall, 1980).

En Chile se ha realizado investigación científica sobre esta especie, la mayor parte en forma de tesis

de grado no publicadas formalmente; parte de esa información se resumirá en esta publicación. Actualmente se cultiva comercialmente alforfón en la Zona Sur del país, pero debido a que la presencia de la especie en la agricultura nacional todavía es incipiente, no hay datos estadísticos de superficie, producción, y rendimiento. Sin embargo, se pretende demostrar que el alforfón también tiene la posibilidad de cultivarse con éxito como segunda siembra, después de la cosecha del trigo, en la Zona Central Norte regada de Chile, ocupando recursos como suelo y agua, que de otra manera pueden permanecer ociosos.

Valor nutritivo

El contenido de proteína del alforfón es de alrededor de 13,7%, dentro de la cual el amino ácido esencial lisina constituye más de un 6%, por lo que tiene un alto valor nutritivo. Sin embargo, presenta un alto contenido en fibra cruda (15%), y taninos (1,6%), lo que hace que la proteína digestible verdadera sea menor al 80%. Tiene alto contenido de potasio y fósforo y el doble de vitamina B que el trigo (Pomeranz y Robbins, 1972). Los ácidos palmítico, oléico y linoléico conforman el 95% del total de los ácidos grasos de la semilla. El contenido de lípidos es similar al encontrado en los cereales (De Jong, 1972).

Los estudios de Lifschitz, Nebreda y Parodi (1981), realizados con siete cultivares de alforfón en segunda siembra, indicaron contenidos de proteína entre 19,46 y 22,08% para los cultivares UTI-India y Bogatyr, respectivamente. El promedio del contenido de proteína de los siete cultivares analizados fue 20,94%, el cual es alto si se compara con el promedio de 13,7% antes citado.

La proteína del alforfón ha demostrado tener efectos hipocolesterolemicos. Kayashita, Shimaoka y Nakajyoh, 1995, para investigar el efecto de la proteína de alforfón sobre el metabolismo del colesterol, prepararon un extracto de proteína de harina de alforfón. Se alimentó durante 3 semanas ratas macho Sprague-Dawley con una dieta semipurificada rica en colesterol en la cual la fuente de proteína fue extracto de proteína de alforfón, proteína de soya o caseína. No hubo diferencias significativas en consumo de alimentos ni tasa de crecimiento en las ratas alimentadas con las tres fuentes de proteína. El nivel de colesterol del plasma disminuyó en las ratas alimentadas con proteína de alfor-

fón en comparación con las que fueron alimentadas con proteína de soya o caseína. La concentración de colesterol hepático también disminuyó en las ratas alimentadas con las otras fuentes de proteína. Estos resultados sugieren que la proteína de alforfón es uno de los factores de la dieta disponibles para mejorar el metabolismo del colesterol.

Un estudio posterior de Kayashita *et al.*, 1997, demostró que los efectos de la proteína de alforfón en la disminución del colesterol y en un aumento de los esteroides fecales neutros podría deberse a la baja digestibilidad de este producto. El mismo grupo de investigadores en 1996 había demostrado además que el extracto de proteína de alforfón reducía la concentración de triglicéridos hepáticos, peso del tejido adiposo y la lipogénesis hepática en ratas.

Utilización nutricional

Los usos principales del alforfón son como alimento humano y animal, en forma de harinas y concentrados. En alimentación humana, en Japón se elaboran tallarines llamados soba, en mezcla con harina de trigo candeal (*Triticum turgidum* var. *durum*); en Estados Unidos y Canadá se produce una harina oscura para panqueques y otros productos de repostería. En la ex Unión Soviética, y en algunos países de Europa del este, se consume el grano como guiso. Dentro de la alimentación animal, es especialmente importante en aves; el afrecho es indicado para ganado bovino por ser rico en proteínas, carbohidratos y grasas. Además, la planta de alforfón puede usarse directamente como forraje, y también como abono verde.

Utilización medicinal

El alforfón tiene importancia farmacológica al obtenerse de este el rutín, un glucósido flavonoide extraído de hojas, flores y semillas, que es usado para el tratamiento de vasos sanguíneos débiles, ciertas hemorragias e hipertensión. Además, previene la gangrena y se afirma que tiene efectos curativos sobre los efectos de rayos X y gama de seres humanos y animales (Ohara *et al.*, 1991). En un estudio de Kitabayashi *et al.*, 1995, se demostró diferencias significativas en el contenido de rutin en 14 genotipos de alforfón tártaro, determinado utilizando HPLC. El contenido de rutin de las semillas varió desde 1.110 y 1.950 mg/100 g de peso seco, y el de las hojas desde 2.460 a 3.610 mg/100 g de peso seco.

Esta información demuestra que el valor nutritivo del alforfón es alto, y que su utilización en dietas humanas, por ejemplo en alimentación escolar de adultos mayores, puede ser de interés nacional. Además, los usos medicinales del rutín pueden agregar valor al cultivo, en especial considerando la tendencia mundial de utilizar productos naturales para resolver problemas de salud.

MANEJO CULTURAL DE PRECOSECHA

Fecha de Siembra

Un factor condicionante para el rendimiento de alforfón es la fecha de siembra, debido a la susceptibilidad de esta especie a las heladas tardías de primavera y tempranas de otoño. Las temperaturas altas o sequías en época de floración, pueden producir aborto floral (Delorit y Alhgren, 1967). Con temperaturas menores a 10°C, el alforfón detiene su crecimiento y a mayores que 20°C, la tasa de crecimiento se mantiene constante (Angus *et al.*, 1982). La temperatura óptima de germinación es 26,6°C con un rango entre 5,8 y 32,4°C.

Martini (1982)¹, determinó que la fecha óptima de siembra para alcanzar los mayores rendimientos en la Zona Centro Norte de Chile sería entre noviembre y diciembre, logrando un rendimiento promedio de 2.300 kg·ha⁻¹. El atrasar la fecha de siembra hasta comienzo de enero, indujo una disminución de los rendimientos alcanzando un promedio de 1.900 kg·ha⁻¹. Las plantas sembradas tardíamente siguieron expresando una alta precocidad aunque se produjo una disminución del número de entrenudos y de la altura de plantas. No obstante lo anterior, no son competitivos con los de otras especies, como maíz, a los precios actuales de mercado.

En las Zonas Centro Sur y Sur el alforfón debe sembrarse como cultivo de primavera, posiblemente no más tarde que a fines de noviembre. Las condicionantes climáticas de mayor trascendencia son heladas de primavera y/o períodos de sequía cuando no se dispone de riego. La precocidad de la especie le permite madurar antes de las primeras heladas de otoño. La fecha óptima de siembra en la Zona Sur de Chile sería entre el 21 de noviembre y

el 5 de diciembre para el cultivar Mancan, recomendándose no efectuar siembras más tempranas por el riesgo de daños por heladas (Barriga *et al.*, 1988). En la Zona Centro Sur la siembra puede realizarse desde mediados de Octubre.

Distancia, profundidad de siembra y población

El rango de distancias entre hileras informado en la literatura es amplio, 15 a 75 cm. Se ha realizado investigación nacional con el objetivo de determinar la distancia óptima que maximice el rendimiento por la vía de lograr un óptimo desarrollo de las plantas, aprovechamiento del agua de riego, y competencia con las malezas.

Pefaur (1982)², en la zona Centro Norte, usando los cultivares Bogatyr y Tempest sembrados a distancias de 35 y 50 cm entre hileras, con dosis de semilla de 40,55 y 70 kg·ha⁻¹, observó que los mayores valores promedio de rendimiento y peso de semillas se obtenían, en ambos cultivares, con una distancia entre hileras de 50 cm.

Respecto a la dosis de semilla, Kalus (1977) sugiere 50 a 75 kg·ha⁻¹, lo que equivale a una población entre 1,6 y 2,5 millones de plantas por hectárea, dependiendo del tamaño y peso de la semilla. Raghuvir, Arya y Singh (1996) condujeron experimentos durante 2 años para investigar el efecto de tres distancias entre hileras, 20, 30 y 40 cm, y tres dosis de semilla, 20, 30 y 40 kg·ha⁻¹. El mayor rendimiento de semilla, 1,84 ton·ha⁻¹ se obtuvo con hileras espaciadas a 30 cm y con 30 kg·ha⁻¹ de semilla.

En la investigación de Pefaur (1982), en ambos cultivares y en las dos distancias de siembra, el número de plantas aumentó al incrementar la dosis de semilla de 40 a 70 kg·ha⁻¹. A diferencia de Kalus (1977), el rendimiento tendió a disminuir con dosis mayores a 55 kg·ha⁻¹. Los mayores rendimientos se observaron en el cultivar Tempest con 40 kg·ha⁻¹ de semilla.

En experimentos realizados por Segovia (1986)³ y Barriga *et al.* (1988), en la zona Sur, el menor rendimiento se obtuvo con la dosis más baja de semilla utilizada, 20 kg·ha⁻¹; sin embargo, no hubo dife-

1 Martini, C. 1982. Respuesta del alforfón (*Fagopyrum esculentum* Moench), a diferentes fechas de siembra. Tesis de Grado. Facultad de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

2 Pefaur, M. 1982. Efecto de la distancia de siembra y dosis de semilla en el comportamiento agronómico del alforfón. Tesis de Grado. Facultad de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

3 Segovia, J.H. 1986. Efecto de época y dosis de siembra sobre características agronómicas y de calidad en alforfón (*Fagopyrum esculentum* Moench). Tesis de Grado. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile..

rencias significativas entre las dosis de 40, 60 y 80 kg·ha⁻¹.

Se recomienda una profundidad de siembra entre 4 y 6 cm, dependiendo de la humedad del suelo.

Singh (1968), determinó que el rendimiento estaba positivamente correlacionado con el número de ramas por planta, pero no con la altura de la planta. Esto sugiere una población de plantas relativamente baja para permitir ramificación y evitar el excesivo crecimiento en altura.

Fertilización

Si las condiciones climáticas son húmedas y templadas, la utilización de los nutrientes del suelo por el alforfón es mayor que la de otras especies en suelos de baja fertilidad o mal preparados. Aparentemente el alforfón sería capaz de usar nutrientes que no están disponibles para otros cultivos, especialmente fósforo.

El alforfón es un cultivo más bien rústico, con el cual es factible obtener buenos rendimientos en suelos pobres, delgados, de alta acidez y en localidades con clima fresco y húmedo (Delorit y Ahlgren, 1967).

En general, la planta de alforfón responde bien a la fertilización cuando el contenido de nutrientes del suelo es bajo. Campbell y Gubbels (1978) estiman que, en promedio, un cultivo que rinde 1.600 kg·ha⁻¹, extrae del suelo 47 k·ha⁻¹ de N, 22 k·ha⁻¹ de P₂O₅ y 40 kg·ha⁻¹ de K₂O.

Marshall (1980) afirma que los análisis de suelo son la mejor guía para establecer los requerimientos de fertilizantes; sin embargo, en ausencia de esta información, se debería aplicar 168 a 224 kg·ha⁻¹ de una mezcla fertilizante que contenga 10-20-20 partes de nitrógeno, fósforo y potasio.

Fertilización Nitrogenada

La fertilización nitrogenada no parece tener una incidencia consistentemente positiva sobre el rendimiento del alforfón. Experimentos de Kusiorska y Maykowski (1978) demostraron que dosis de N

sobre 90 kg·ha⁻¹ aumentaban el rendimiento de paja, pero no el de semilla. Trusova, Amantova y Arknipov (1976) observaron diferencia en la respuesta al N asociados al clima y a la distancia entre hileras. Bajo condiciones climáticas favorables, niveles de 30 a 60 kg·ha⁻¹ de N aumentaron el rendimiento entre 190 y 340 kg·ha⁻¹ con el cultivo sembrado en hileras separadas a 15 cm, y sobre 500 kg·ha⁻¹ en hileras separadas a 45 cm. Al incrementar la dosis de N a 90 kg·ha⁻¹ aumentó la tendedad y disminuyó el rendimiento. Marshall (1980) estima que la fertilización nitrogenada no es recomendable en suelos de alta fertilidad, ya que tiende a producir un exceso de crecimiento vegetativo a expensas de la producción de semillas.

Los estudios realizados en Chile han producido resultados inconsistentes. Castillo (1982)⁴ usó cuatro niveles de N, 0, 30, 60 y 90 kg·ha⁻¹ con los cultivares Mancan y Odesskaya, sembrados en hileras espaciadas a 50 cm, con una población de 1,3 millones de plantas por hectárea. El contenido inicial de N del suelo era de 24 ppm. No se observó efectos estadísticamente significativos sobre el rendimiento de semillas con los cuatro niveles de N. Montiel (1984)⁵ trabajó con cuatro dosis de N, 0, 32, 64 y 96 kg·ha⁻¹, sobre los cultivares Manor, Mancan y Odesskaya, sembrados en hileras separadas a 35 cm, con una población de 2,3 millones de plantas por hectárea. El contenido inicial de N del suelo era de 21 ppm.

En ambas investigaciones, se observó un significativo deterioro en el número de plantas cosechadas con relación al número de semillas sembradas, lo que se atribuyó en forma empírica a una toxicidad de N.

En un estudio realizado por Valle (1987)⁶, con los cultivares Manor y Mancan, se empleó cinco dosis de N, 0, 20, 40, 60 y 80 kg·ha⁻¹, con hileras espaciadas a 35 cm, y una población de 2,3 millones de plantas por hectárea. El contenido inicial de N del suelo era de 33 ppm. Los resultados mostraron, a diferencia de los trabajos anteriores, efectos diferenciados de los cinco niveles de N utilizados sobre la población de plantas a cosecha, número de racimos por planta, número de semillas por raci-

4 Castillo, G. 1982. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el comportamiento de dos cultivares de alforfón (*Fagopyrum esculentum* Moench). Tesis de Grado. Facultad de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

5 Montiel, M.C. 1984. Comportamiento agronómico, respuesta al nitrógeno y análisis económico de tres cultivares de alforfón (*Fagopyrum esculentum* Moench). Tesis de Grado. Facultad de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Chile.

6 Valle, R. 1987. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento, caracteres agronómicos y producción de materia seca de dos cultivares de alforfón (*Fagopyrum esculentum* Moench). Tesis de Grado. Facultad de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

mo, peso de 100 semillas, rendimiento y contenido de proteína. Ambos cultivares mostraron un deterioro significativo de la población de plantas a cosecha a partir de la aplicación de 40 kg·ha⁻¹ de N, Cuadro 1. La respuesta de los tres componentes del rendimiento, número de inflorescencias por planta, número de semillas por inflorescencia y peso de semillas, a dosis crecientes de N, fue positiva, Cuadro 1. Los resultados sugieren la capacidad de estos dos cultivares de incrementar simultáneamente sus componentes de rendimiento por efecto

de dosis crecientes de fertilización nitrogenada. Esto diferenciaría al alforfón, al no producirse las clásicas compensaciones entre componentes observables en otras especies, por ejemplo, trigo.

En ambos cultivares se produjo un incremento del rendimiento a partir de la dosis de 40 kg·ha⁻¹ de N. En Manor se alcanzó el mayor rendimiento, 2.976 kg·ha⁻¹, con la dosis de 80 kg·ha⁻¹ en Mancan, el mayor rendimiento fue de 2.640 kg·ha⁻¹ con la dosis de 60 kg·ha⁻¹ (Cuadro 1).

Cuadro 1.- Población de plantas a cosecha, número de inflorescencia por planta, número de semillas por inflorescencia peso de semillas y rendimiento de los cultivares Manor y Mancan bajo cinco niveles de fertilización nitrogenada¹

Plant population at harvest, number of inflorescens per plant, number of seeds per inflorescence, seed weight and yield of cultivars Manor and Mancan under five levels of nitrogen fertilization.

Cultivares	Dosis de nitrógeno kg·ha ⁻¹	Población de plantas a cosecha x 1.000	Número de inflorescencias por planta.	Número de semillas por inflorescencia.	Peso de 100 semillas g	Rendimiento kg·ha ⁻¹
Manor	0	252,75 a ²	17,23 f	47,33 e	2,71 e	1.158 e
	20	225,25 a	18,85 ef	51,10 a	2,72 e	1.355 e
	40	209,75 cd	26,30 cd	103,30 bcd	2,85 d	2.099 d
	60	195,50 cde	27,18 cd	112,78 abc	2,95 b	2.235 cd
	80	180,25 de	31,58 bc	139,03 ab	3,01 ab	2.976 a
	Promedio	218,10 A³	21,23 A	90,71 B	2,85 A	1.965 A
Mancan	0	218,00 bc	18,30 f	75,30 cde	2,79 de	1.166 e
	20	242,25 ab	24,00 de	69,98 de	2,77 de	1.456 e
	40	171,25 ef	38,28 a	149,30 a	2,93 bc	2.105 d
	60	144,00 f	36,28 ab	148,30 a	2,95 ab	2.640 ab
	80	144,00 f	36,28 ab	146,50 a	3,05 a	2.513 bc
	Promedio	183,90 B	30,73 A	117,88 A	2,90 A	1.976 A

¹ Valle, R., 1987

² Los valores unidos por la misma letra minúscula, en cada columna, no son estadísticamente diferentes, Duncan 0,05.

³ Los valores unidos por la misma letra mayúscula, en cada columna, no son estadísticamente diferentes, Duncan 0,05.

Los estudios de Valle (1987) mostraron en Manor un incremento en la producción de materia seca asociada a las dosis crecientes de fertilización nitrogenada.

Este incremento fue significativo en los primeros 40 días después de la emergencia, hasta la dosis de 40 kg·ha⁻¹. Desde los 50 días hasta los 80 días después de la emergencia, la producción de materia seca se incrementó hasta 80 kg·ha⁻¹ de N. Esto sugiere que en la primera mitad de desarrollo del cultivo, este presenta una menor demanda de N que en la segunda mitad de su ciclo de desarrollo, en lo que respecta a la producción de materia seca.

La producción de materia seca en Mancan presentó algunas variaciones; sin embargo, la respuesta general permitió elaborar una estrategia conjunta de fertilización para ambos cultivares.

Esta consiste en aplicar hasta 40 kg·ha⁻¹ de N junto con la siembra, evitando así efectos fitotóxicos

sobre la semilla, y efectos depresivos de las dosis altas de N sobre la producción de materia seca en la primera mitad del ciclo de desarrollo de las plantas. Luego, 40 días después de la emergencia, se deben agregar otros 40 kg·ha⁻¹ de N para permitir una máxima expresión del potencial de rendimiento del cultivo.

Al estudiar la incidencia de la fertilización nitrogenada, Sokolov, Kuderyarov y Leoshko (1979), trabajando sobre la asimilación y distribución del N en diferentes órganos de la semilla, determinaron que a medida que aumentaba el nivel de N en el suelo, este era depositado principalmente en el embrión, aumentando su contenido de proteína. Esto fue corroborado por Castillo (1982) en los cultivares Odessakaya y Mancan. En la investigación de Valle (1987) el contenido de proteína, en respuesta a dosis crecientes de N, demostró un incremento de 4,6% y de 8,3% en los cultivares Manor y Mancan, respectivamente.

Valle también analizó el efecto del N sobre la coloración de las plantas, medida como intensidad del color verde. Se determinó que la intensidad de la coloración aumentó en forma significativa en respuesta a dosis crecientes de N, lo que sugiere que este es un indicador adecuado del estado nutricional de las plantas. El vigor de las plántulas no mostró una asociación directa con el incremento de las dosis de N, asociación que tampoco se observó en la altura de planta adulta.

Fertilización Fosforada

Osipova (1970) informó que la aplicación de fósforo (P) al suelo indujo un aumento en el índice de área foliar, el contenido de clorofila, la productividad fotosintética y la producción de grano.

Los estudios realizados en la zona Centro Norte de Chile se condujeron sobre suelos cuyos contenidos de P eran adecuados, y por lo tanto sólo se aplicó este nutriente en dosis de mantención. En los suelos de trumano de las zonas Centro Sur y Sur, la disponibilidad de P está restringida por la fijación de aluminio (Al). Estudios de Ma *et al.* (1997) han demostrado capacidad de alforfón de detoxificar aluminio; la secreción de ácido oxálico por las raíces de alforfón se produjo dentro de los 30 min de exposición a una solución de $AlCl_3$.

Jequier (1983)⁷ estudió el comportamiento del cultivar Mancan en siembra de primavera bajo tres combinaciones de N y P en un suelo trumao de la IX Región, con un bajo contenido inicial de P (6 ppm) y un contenido medio de N (16 ppm). La dosis de N y P_2O_5 aplicadas fueron de 0, 40 y 60 $kg\cdot ha^{-1}$, respectivamente, lo que se expresó en nueve combinaciones de nutrientes.

Los resultados, Cuadro 2, mostraron que la población de plantas a cosecha aumentó en respuesta al P en ausencia de N, presentó una leve tendencia al deterioro con 40 $kg\cdot ha^{-1}$ de N, y se comportó en forma inconsistente con 60 $kg\cdot ha^{-1}$ de N; la respuesta de la población a dosis crecientes de N se caracterizó por una tendencia al deterioro bajo los tres niveles de P.

La altura de planta adulta, Cuadro 2, aumentó en respuesta al P bajo las tres dosis de N, y también lo hizo en respuesta al N bajo las dosis de P. El número de inflorescencias por planta, Cuadro 2, en ausencia de N aumentó hasta los 40 $kg\cdot ha^{-1}$ de

P_2O_5 , y hasta los 60 $kg\cdot ha^{-1}$ de P_2O_5 con 40 y 60 $kg\cdot ha^{-1}$ de N. También hubo respuesta positiva de N en cada una de las dosis de P_2O_5 . El número de semillas por planta, Cuadro 2, mostró una positiva respuesta al P bajo los tres niveles de N, alcanzando incrementos del 97,5, 89,4 y 143,3% con la mayor dosis de P_2O_5 , con 0, 40 y 60 $kg\cdot ha^{-1}$ de N, respectivamente. El comportamiento de este componente en respuesta al N tuvo algunas diferencias asociadas al nivel de P.

Cuadro 2.- Población de plantas a cosecha, altura de planta adulta, número de inflorescencia por planta, número de semilla por planta y rendimiento del cultivar Mancan, bajo tres niveles de fertilización nitrogenada y fosforada.

Plant population at harvest, adult plant height, number of inflorescences per plant, number of seeds per plant and yield of cultivar Mancan, under three levels of nitrogen and phosphorous fertilization.

Dosis de nitrógeno $kg\cdot ha^{-1}$	Dosis de P_2O_5 $kg\cdot ha^{-1}$		
	0	40	60
Población de plantas a cosecha			
0	111,7 cd ¹	124,7 abc	133,3 a
40	121,0 bc	116,0 bcd	118,3 bc
60	116,7 bcd	98,0 d	129,0 ab
Altura de planta adulta			
0	67,8 f	83,0 e	92,0 c
40	67,8 f	96,9 bc	100,6 ab
60	87,2 d	99,0 ab	103,8 ab
Número de inflorescencias.			
0	7,9 d	9,3 bc	9,2 bc
40	7,9 d	9,4 bc	10,3 ab
60	10,1 ab	10,0 ab	11,0 a
Número de semillas por planta			
0	94,7 g	93,7 g	187,0 c
40	113,0 f	159,3 d	214,0 b
60	96,3 g	140,3 e	234,3 a
Rendimiento $kg\cdot ha^{-1}$			
0	760 h	3.100 e	4.170 b
40	1.720 g	3.500 d	4.070 b
60	2.430 f	3.770 c	4.630 a

¹ Los valores unidos por la misma letra, en cada variable, no son estadísticamente diferentes, Duncan 0,05.

Así, con 0 y 40 $kg\cdot ha^{-1}$ de P_2O_5 aumentó hasta los 40 $kg\cdot ha^{-1}$ de N, para luego decaer con la dosis mayor de N, aunque a valores superiores a los observados en ausencia de N. Con 60 $kg\cdot ha^{-1}$ de P la respuesta fue positiva hasta la mayor dosis de N.

⁷ Jequier, J. 1983. Datos no publicados.

El efecto de las combinaciones de nutrientes sobre el rendimiento fue notorio, Cuadro 2. En ausencia de N y P, el rendimiento fue de 760 kg·ha⁻¹, aumentando a 4.630 kg·ha⁻¹ con la dosis 60-60 de N y P₂O₅, un incremento del 509,2%. En ausencia de N, el rendimiento aumentó de 760 hasta 4.170 kg·ha⁻¹ al incrementar la dosis de P de 0 a 60 kg·ha⁻¹, lo que significó un aumento del 448,7%; con 40 kg·ha⁻¹ de N, la respuesta al P se expresó en un incremento del 136,6%, desde 1.720 hasta 4.070 kg·ha⁻¹, y con la mayor dosis de N se observó un incremento del rendimiento desde 2.430 hasta 4.630 kg·ha⁻¹, equivalente al 90,5%. También hubo respuesta positiva de N en los tres niveles de P. En ausencia de P las dosis crecientes de N se expresaron en un incremento lineal del rendimiento, desde 760 hasta 2.430 kg·ha⁻¹, un 219,7%; con la dosis intermedia de P₂O₅, el rendimiento aumentó de 3.100 a 3.770 kg·ha⁻¹ con 40 kg·ha⁻¹ de N, un incremento de 21,7%, para luego disminuir a 3.500 kg·ha⁻¹ con la mayor dosis de N. Finalmente, con 60 kg·ha⁻¹ de P₂O₅, el rendimiento no varió estadísticamente (4.170 y 4.070 kg·ha⁻¹, respectivamente) al aumentar el N de 0 a 40 kg·ha⁻¹, para luego subir a 4.630 kg·ha⁻¹ con la dosis de N.

Estos resultados sugieren que en suelos con bajo contenido inicial de P, la adición de este nutriente es esencial para inducir altos rendimientos del alforfón, aun en ausencia de N.

Los incrementos atribuibles al N fueron de menor magnitud, excepto en ausencia de fertilización fosforada. Se aprecia también que el alforfón presenta un alto potencial de rendimiento como cultivo de primavera en la Zona Sur.

Fertilización Potásica

Ivanov y Bondarchuck (1976) señalan que a mayor cantidad de potasio (K) en el suelo, mayor será la absorción del cultivo. Experimentos realizados en macetas, mostraron que la absorción de K por el alforfón, determinada usando ⁸⁵Rb, aumentó con el incremento del contenido de K en el suelo. Aumentos en la dosis de fertilizante potásico aumentó la absorción de K desde el fertilizante pero no tuvo efecto sobre el K tomado desde el suelo. El coeficiente de utilización de K aumentó con el incremento en los niveles nutricionales de N y P. La información de Campbell y Gubbels (1978) indica que el requerimiento de K de un cultivo de

alforfón que rinde 1.600 kg·ha⁻¹ es de 40 kg·ha⁻¹ de K₂O. Teniendo en consideración estas cifras, no se ha realizado investigación nacional para determinar la respuesta del alforfón al K.

La investigación nacional no ha abordado la fertilización potásica, omisión que debe ser corregida para desarrollar una visión completa de los requerimientos nutricionales de la especie.

FITOSANIDAD

Enfermedades

Los organismos patógenos que atacan al alforfón son escasos. No obstante, la literatura internacional recomienda como medida preventiva no sembrar alforfón en el mismo suelo dos años consecutivos. Esto no tendría trascendencia en la Zona Centro Norte de Chile, donde el alforfón sería un constituyente de la rotación de cultivos.

Entre las enfermedades descritas en la literatura se puede mencionar una pudrición de raíz por *Rhizoctonia sp.*, manchas foliares causadas por *Ramularia sp.* y "Aster yellow" causado por un micoplasma. Estas enfermedades, ni otras, no han sido identificadas en Chile.

Plagas

La literatura indica un limitado número de especies que atacan al alforfón, entre ellas larvas de *Agrostis*, gusanos alambre y áfidos de las especies *Aphis fabae*, *A. nasturtii*, *A. gossypii* y *Macrosiphum euphorbiae* (Blackman y Eastop, 1988). Los ataques observados en Chile han sido de baja intensidad y controlables con los productos disponibles en el mercado.

Malezas

Un factor que interfiere directamente sobre el rendimiento del alforfón son las malezas presentes durante el desarrollo del cultivo. El trigo (*Triticum sp.*), ballica (*Lolium perenne*), pega-pega (*Setaria sp.*), y piojillo (*Poa annua*), son algunas de las malezas que se encuentran con mayor frecuencia en el cultivo de alforfón realizado como segunda siembra después de trigo en la zona Centro Norte.

La literatura señala al alforfón como un buen competidor de las malezas, pero una alta incidencia de estas durante los primeros estados de desarrollo del cultivo pueden deteriorar la población de plantas.

En labranza tradicional, el período crítico de com-

petencia corresponde a un 44,1% del lapso desde la emergencia a cosecha. Dentro de este período crítico el cultivo podría permanecer el 50% del tiempo con malezas, sin que se afecte el rendimiento (Guzmán, 1985)⁸.

Vlasova *et al.* (1978), determinaron que con aplicaciones de preemergencia de 1,5 L·ha⁻¹ de 2,4 D, 1,2 a 1,5 L·ha⁻¹ de 2,4 D amina a 1,0 a 1,5 L·ha⁻¹ de MCPA, las poblaciones de malezas anuales disminuyeron entre 68 y 87%, y los rendimientos aumentaron notoriamente.

Jequier⁹, al comparar tres sistemas de preparación de suelo, labranza tradicional, mínima labranza y cero labranza, determinó que bajo el sistema de cero labranza se produjo los menores rendimientos, debido al exceso de población de malezas, lo cual se manifestó en un efecto depresivo sobre los componentes de rendimiento, número de racimos por planta, número de semillas por plana y peso de semillas. Cabe destacar que bajo este sistema la temperatura sobre la superficie del suelo fue superior al de mínima labranza y labranza tradicional; la temperatura más alta se produjo en floración traduciéndose en aborto floral que disminuyó el rendimiento. Guzmán⁸ llegó a conclusiones similares, indicando que el sistema de labranza tradicional del suelo fue el más adecuado para el desarrollo de esta especie, a diferencia de cero labranza en el que se observó limitado desarrollo del cultivo debido al enmalezamiento, tendadura, altura de planta adulta, población a cosecha, granos, rendimiento, índice de cosecha, días de siembra a floración y madurez.

Jequier⁹ estudió el efecto de aplicar dos herbicidas desecantes en presiembra (glifosato y paraquat) y tres herbicidas de post-emergencia (sethoxydim, haloxyfop-metil y bentazon) sobre el control de malezas y manejo de rastrojo en el alforfón como segundo cultivo después de trigo en la zona Central de Chile. Con respecto al control total de las malezas, el mejor resultado se logró con la aplicación de glifosato seguido de haloxyfop-metil. También la combinación paraquat con haloxyfop-metil fue satisfactoria; sin embargo, subsistieron algunas malezas anuales de hoja ancha. Por otra parte, paraquat en mezcla con sethoxydim se identificó

como la combinación de herbicidas de menor costo; sin embargo, la combinación paraquat-haloxyfop-metil presentó una mejor relación costo-beneficio, a los precios de la fecha en que se hizo el experimento.

MANEJO DE COSECHA, TRILLA, RENDIMIENTO Y ALMACENAMIENTO

El cultivo puede ser cosechado con automotriz cerealera. La cosecha debe comenzar cuando un 75% de la semilla está madura, y debe realizarse en horas de la mañana cuando la humedad relativa es alta, de manera de evitar el desgrane, que puede llegar a un 22% (Campbell y Gubbels, 1978).

Es conveniente aplicar un desecante para uniformar la madurez; el momento óptimo de aplicación se produce cuando el 70% de la semilla está madura. El desecante produce defoliación en 3 a 4 días, facilitando así la cosecha, y reduciendo el volumen total de cosecha en 0,5 ton·ha⁻¹, sin afectar los rendimientos de semilla o su calidad.

Para un almacenamiento seguro, el contenido de humedad del grano no debe exceder al 16%. Si se requiere de secado, la temperatura no debe ser mayor a 43°C tanto para su uso industrial o como semilla (Campbell y Gubbels, 1978).

Rendimiento

Como se indicó, no existen estadísticas oficiales respecto al rendimiento del alforfón. La literatura internacional señala para *F. esculentum* y *F. tartaricum*, rangos entre 500 y 4000 kg·ha⁻¹ (Espig, 1990). Borghi *et al.*, 1996, informan de rendimientos en Italia entre 1200 y 1500 kg·ha⁻¹, donde las nuevas variedades superaban a un 20 a 30% a las poblaciones locales.

Bjorkman (1995a) indicó que una posible limitación en el rendimiento del alforfón se deba a su reducida producción de polen; las flores del alforfón cultivado reciben cargas de polen inferiores a 10 granos, y presentan además alta variabilidad genética para el carácter producción de polen. En estudios realizados en invernadero con el cultivar Manor, se demostró que la penetración de los sacos embrionarios era universal con 10 o más granos de polen; sin embargo, la producción de semillas aumentó cuando las cargas de polen llegaron hasta

⁸ Guzmán, M.T. 1985. Período crítico de competencia de alforfón (*Fagopyrum esculentum* Moench) con malezas, bajo tres sistemas de preparación del suelo y control químico de malezas. Tesis de Grado. Facultad de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

⁹ Jequier, J.C. 1983. Comparación de tres sistemas de preparación de suelo y control de malezas en alforfón (*Fagopyrum esculentum* Moench). Tesis de Grado. Facultad de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

30 granos por flor. Mayores cargas de polen, lo que intensifica la selección entre gametofitos, resultó en una progenie más vigorosa. Las plántulas producidas por altas cargas de polen (15-20 granos) fueron 40% superiores en peso que las resultante de cargas bajas (cinco granos de polen). Los resultados constituyen evidencia que en alforfón puede ocurrir competencia entre los granos de polen, lo que beneficia al comportamiento de la progenie. El mismo investigador (Bjorkman, 1995b) señala que la carga de polen puede aumentar por la presencia de insectos polinizadores eficientes. En el estado de Nueva York, EUA, el alforfón es polinizado principalmente por abejas melíferas, cuyo comportamiento no parece estar bien adaptado al cultivo; la efectividad de las abejas como polinizadores no aumentó a mayores densidades poblacionales.

Toda nuestra investigación para evaluar rendimiento se condujo colocando el equivalente a cuatro colmenas por hectárea; aunque no se estudió el comportamiento de los insectos, la actividad de estos fue intensa, en parte debido a la baja disponibilidad de flores de otras especies en la misma época. Los resultados de rendimiento parecen indicar que en las condiciones locales las abejas serían un buen insecto polinizante; no obstante, dados los resultados, sería interesante estudiar otras alternativas para evaluar eficiencia comparativa.

La investigación nacional indica en general un alto potencial de rendimiento. La primera prueba de germoplasma, realizada por Lifschitz *et al.* (1981) informó de un rango de rendimiento, en siembra de verano, entre 395 y 1.916 kg-ha⁻¹. Estos valores se comparaban en 984 kg-ha⁻¹ de un cultivar de soya perteneciente al grupo de madurez 00, y de 1.885 kg-ha⁻¹ de un híbrido precoz de maravilla.

Como se indica en el Cuadro 3, en siembras de verano, en la zona Centro Norte del país, se han informado rangos de rendimiento entre 395 kg-ha⁻¹ para el cultivar UTI-India, un genotipo completamente inadaptado a las condiciones locales, hasta 3.900 kg-ha⁻¹ para el cultivar Mancan, el cual consistentemente ha demostrado amplia adaptación a las condiciones agroecológicas del país.

Los cultivares Mancan, Manor, Tempest, Bogatyr y Odesskaya, produjeron rendimientos sobre 2 ton-ha⁻¹, lo que permitirá su cultivo comercial con precios internacionales de más de US\$350 por tonelada. Con el cultivar Mancan, en la zona sur del país, se obtuvieron resultados superiores a los de la zona Central.

Cuadro 3.- Rendimientos experimentales producidos por el Alforfón en Chile.

Experimental yields produced by buckwheat in Chile.

Cultivar	Rendimiento kg-ha ⁻¹	Referencia
Zona Centro Norte (segunda siembra)		
Mancan	1.916	Lifschitz <i>et al.</i> , 1981
	2.395	Martini, 1982
	1.783	Castillo, 1982
	2.397	Jecquier, 1983
	3.900	Montiel, 1985
	1.159	Guzmán, 1985
	2.640	Valle, 1987
Manor	3.780	Montiel, 1985
	2.976	Valle, 1987
Tempest	1.559	Lifschitz <i>et al.</i> , 1981
	1.869	Martini, 1982
	2.570	Pefaur, 1982
Bogatyr	1.230	Lifschitz <i>et al.</i> , 1981
	1.920	Martini, 1982
	2.041	Pefaur, 1982
Odesskaya	1.229	Lifschitz <i>et al.</i> , 1981
	2.514	Martini, 1982
	2.520	Castillo, 1982
UTI-India	395	Lifschitz <i>et al.</i> , 1981
Pennquad	750	Lifschitz <i>et al.</i> , 1981
Zona Sur (Siembra primaveral)		
Mancan	3.390	Segovia, 1986
	3.300	Barriga <i>et al.</i> , 1988
	4.006	Barriga <i>et al.</i> , 1988
	4.630	Jecquier, 1983

CONCLUSIONES

Los cultivares de alforfón, Manor, Mancan, Bogatyr y Odesskaya, todos con rendimientos experimentales sobre 2 ton-ha⁻¹, constituyen una alternativa variable para ser sembrados a comienzos de verano después de un cereal en la zona Centro Norte del país, y como cultivo de primavera el cultivar Manca, sembrado en Noviembre en la Zona Sur, si el nivel de precios del mercado internacional, principalmente Japón, es superior a US\$ 350 por tonelada. Los estudios realizados muestran una buena adaptación de las especies a las condiciones agroecológicas del país.

En la Zona Sur, como cultivo de primavera, se han obtenido rendimientos superiores a los de la Zona Centro Norte, donde el cultivo se debe sembrar inmediatamente después de un cereal.

No obstante, en la Zona Centro Norte, el cultivo

del alforfón sucesivo a la cosecha de trigo permitiría incrementar la rentabilidad del suelo, utilizando recursos como suelo y agua que de otra manera pueden ser subutilizados. Esto es especialmente importante en consideración a la necesidad de mejorar el negocio agrícola, optimizar la utilización de recursos, y buscar alternativas de competitividad en el mercado internacional.

La dosis de semilla recomendada está entre 40 y 80 kg-ha⁻¹, para asegurar una adecuada población de plantas. Las distancias entre hileras determinadas por la investigación nacional son variables pero, en general, con espaciamento entre 30 y 50 cm se han obtenido rendimientos sobre 2 ton-ha⁻¹, en las Zonas Centro Norte y Sur del país.

Como estrategia de fertilización nitrogenada en la Zona Centro Norte, se recomienda una dosis de 80 kg-ha⁻¹ de N aplicado en dos parcialidades. Los bajos requerimientos del cultivo durante la primera mitad de su ciclo permiten aplicar 40 kg-ha⁻¹ de N al momento de la siembra, y una dosis igual 40 días después de la emergencia de las plantas, para permitir la expresión del máximo potencial de rendimiento del cultivo. En la Zona Sur, la fertilización fosforada es indispensable para alcanzar los altos rendimientos que la especie ha presentado, asociada a nitrógeno de acuerdo al historial de manejo del suelo. Los requerimientos de potasio no han sido determinados.

Dado el daño que producen las malezas sobre el rendimiento y para cosechar semilla limpia se justifica el uso de herbicidas. La mezcla de los productos paraquat y haloxyfop-metil parece una alternativa rentable de control. No se han detectado organismos patógenos que ataquen al alforfón en el país; los insectos que pudieran presentarse

son de fácil control.

RESUMEN

El alforfón es una especie de hábito de crecimiento primaveral, caracterizada por su alta precocidad, la cual puede sembrarse en la zona Centro Norte de Chile, aproximadamente 27° a 36° lat. Sur, como cultivo de verano, en diciembre y comienzos de enero, sucesivo al trigo. En las Zonas Centro Sur y Sur, aproximadamente 36° a 41° lat. Sur, debe sembrarse como cultivo primaveral, desde mediados de octubre hasta fines de noviembre. La distancia óptima de siembra varía entre 30 y 50 cm entre hileras, con una dosis de semilla entre 40 y 80 kg-ha⁻¹. La profundidad de siembra se recomienda entre 4 y 6 cm. El efecto de la fertilización nitrogenada en la Zona Centro Norte ha sido inconsistente. Investigación reciente permite proponer una estrategia de fertilización que recomienda la aplicación de 40 kg-ha⁻¹ de N con la siembra, y una dosis igual 40 días después. En suelos trumao, con bajo contenido de P y alto de Al, la respuesta al N y P ha sido positiva y significativa. Los organismos patógenos que atacan al cultivo son escasos, ninguno descrito en Chile; los ataques de plagas han sido de baja intensidad. Las malezas, incluyendo plantas voluntarias de trigo, deben ser controladas. Varios de los cultivares estudiados en el país han producido rendimientos superiores a las 2 toneladas por hectárea

La información generada sugiere que el alforfón es una alternativa viable como cultivo de primavera en la Zona Sur, y como cultivo sucesivo al trigo en la Zona Centro Norte regada. Su rentabilidad depende del precio en el mercado internacional, dominado por Japón como el principal importador y por China como el mayor exportador.

LITERATURA CITADA

- ANGUS, J., D. MACKENZIE, R. MYERS y M. FOOLE. 1982. Phasic development in field crops. III. The pseudo-cereals buckwheat and grain amaranth. *Field Crops Research* 5: 305-318.
- BARRIGA, P., R. FUENTES, J. SEGOVIA, J. THOMBERT y M. MANRÍQUEZ. 1988. Rendimiento y calidad del alforfón (*Fagopyrum esculentum* Moench.) en el sur de Chile. *Agro Sur* 16:94-102.
- BARRIGA, P. 1989. Producción de alforfón en el sur de Chile. Instituto de Producción y Sanidad Vegetal. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile.
- BJORKMAN, T. 1995a. The effect of pollen load and pollen grain competition on fertilization success and progeny performance in *Fagopyrum esculentum*. *Euphytica* 83: 47-52.
- BJORKMAN, T. 1995b. Role of honey bees (Hymenoptera: Apidae) in the pollination of buckwheat in eastern North America. *J. Econ. Ent.* 88:1739-1745.
- BLACKMAN, R.L. y V.F. EASTOP. 1988. Aphids on the world's crops. An identification guide. Wiley. Toronto, Ontario, Canadá.
- BROVARENKO, S. y A. GONCHAROV. 1975. Dependence of seed yield of buckwheat on fertilizers and soil moisture. *Referativnye Zhurnal* 6. *In* Field Crops Abstr. 31:95.

- CAMPBELL, C. G. y G. H. GUBBELS. 1978. Growing buckwheat. Pub. 1468. Agr. Canada. Research Station, Morden, Manitoba, Canadá.
- DE JONG, H. 1972. Buckwheat. Review article. Canada Dept. of Agr. Research Station, Morden, Manitoba, Canadá.
- DELORIT, R. y H. AHLGREN 1967. Crop production. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, EUA. 662p.
- ESPIG, G. 1990. A plea for pseudocereals buckwheat, quinoa and amaranthus. *In* Field Crops Abst. 43:1.
- HALL, W.C. 1950. Growth and development of buckwheat under differential temperature gradients. *Bot. Gaz.* 111: 331-343.
- IVANOV, S. y A. BONDARCHUCK. 1976. Potassium nutrition of buckwheat from fertilizers and soil. *Doklady Akademil Nauk.* 20. *In* Field Crops Abst. 33:175.
- KALUS, Y.O. 1977. Cultivation of buckwheat in Odessa province and some methods of increasing its yields. *In* Field Crops Abst. 31:7708.
- KAYASHITA, J., I. SHIMAOKA y M. NAKAYJOH. 1995. Hypocholesterolemic effects of buckwheat protein extracts in rats fed cholesterol enriched diets. *Nutrition Research* 15: 691-698.
- KAYASHITA, J. I. SHIMAOKA, M. NAKAYHOH y N. KATO. 1996. Feeding of buckwheat protein extract reduces hepatic triglyceride concentration, adipose tissue weight, and hepatic lipogenesis in rats. *J. Nutr. Biochem.* 7: 555-559.
- KAYASHITA, J. I. SHIMAOKA, M. NAKAYJOH, M. YAMASHAKI y N. KATO. 1997. Consumption of buckwheat protein lowers plasma cholesterol and raises fecal neutral sterols in cholesterol-fed rats because of its low digestibility. *J. Nutr.* 127: 1395-1400.
- KITABAYASHI, H., A. UJIHARA, T. HIROSE y M. MINAMI. 1995. On the genotypic differences for rutin content in tartary buckwheat, *Fagopyrum tartaricum* Gaertn. *Breeding Sci.* 45: 189-194.
- KUSIORSKA, K. y K. MAYKOWSKY. 1978. The effect of nitrogen top-dressing and defoliation on yield and harvest of buckwheat. *Nauk Rolniczych* 102. *In* Crop Abst. 31: 409.
- LIFSCHITZ, M., I. M. NEBREDA y P.C. PARODI. 1981. Comportamiento del alforfón (*Fagopyrum esculentum* Moench.) como cultivo sucesivo al trigo en la zona central de Chile. *Cien. Inv. Agr.* 8: 197-206.
- MA. J.F., S.J. ZHENG, H. MATSUMOTO, y S. HIRADATE., 1997. Detoxifying aluminum with buckwheat. *Nature:* 390: 569-570.
- MARSHALL, H.G. 1969. Description and culture of buckwheat. Bull. 754. Pennsylvania State Univ., University Park, PA, EUA.
- MARSHALL, H.G. 1980. Buckwheat. *In* W. R. Fehr y H.H. Hadley (Eds.) Hybridization of crop plants. American Society of Agronomy and Crop Science Society of America, Publishers, Madison, WI, EUA.
- OHARA, T. H. OHINATA, N. MURAMATSU y T. MATSUHASHI. 1991. Studies on buckwheat rutin. I. Determination of rutin in buckwheat foods by high performance liquid chromatography. *In* Food Science and Technology Abst. 23:95.
- OSIPOVA, P. 1970. Effect of P nutrition on some physiological processes and yield of buckwheat. *Referativnyye Zhurnal* 55. *In* Field Crops Abst. 25: 361.
- POMOVERANZ, Y. y G. ROBBINS. 1972. Ammino acid composition of buckwheat. *Agr. Food Chem.* 20: 270-274.
- RAGHUVI, S., M. P. S. ARYA y R. SINGH. 1996. Effect of row spacing and seed rates on the yield of buckwheat (*Fagopyrum esculentum*). *Indian J. Agron.* 41: 315-317.
- RUSZKOWSKA, B.O. 1965. Studies on buckwheat. XIII. Analysis of the fructification structure of buckwheat on the background of environmental conditions. *Zaklad Roslin Zbozowych IUNG, 1965: 77-97.*
- RUSZKOWSKA, M. 1965. Studies on buckwheat. Effect of growth and development on the yield. *Zaklad Rslin Zbozowych IUNG, 1965: 3-76.*
- SINGH, K.B. 1968. Correlation studies in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench.). *In* Field Crops Abst. 84.
- SOKOLOV, O., V. KUDEYAROV y V. LEOSHKO. 1979. Aspect of increasing protein contents of buckwheat seeds. *Sel Biologiya* 36. *In* Field Crops Abst. 32: 752.
- SUGAWARA, K. 1958. On the injury of pistil growth. Retardation of pistil growth as influenced by day-length. *Proc. Crop Sci. Soc. Japan* 26: 264-265. (Plant Breed. Abst 27, 1648).
- TRUSOVA, N., N. AMANTOVA y V. ARKHIPOV. 1976. Effect of nitrogen rates, sowing methods and meteorological conditions on buckwheat yield. *Referativnyye Zhurnal* 5. *In* Field Crop Abst. 32: 222.
- VLASOVA, E.P., B.P. GONCHAROV, V.E. LOSER y S.S. SALOBNIKOR. 1978. Control of weeds in buckwheat on gray forest soils. *Referativnyye Zhurnal* 55. *In* Field Crops Abst. 32: 1911.
- WOLFE, T.K. y M.S. KIPPS. 1953. Production of field crops. McGraw-Hill, New York, NY, EUA.

VALIDACION DE UN MODELO PARA ESTIMAR LA RADIACION NETA DE UNA CUBIERTA VEGETAL EN CONDICIONES DE REFERENCIA¹

VALIDATION OF A MODEL FOR ESTIMATING THE NET RADIATION OVER A CANOPY UNDER REFERENCE CONDITIONS

SAMUEL ORTEGA-FARIAS, WINSTON MEDIAVILLA A., SIGFREDO FUENTES J.
Y RICHARD CUENCA²

Servicio Integrado de Agroclimatología y Riego (SIAR),
Departamento de Producción Agrícola,
Facultad de Ciencia Agrarias,
Universidad de Talca. Casilla 747-Talca, Chile.

Summary

A study was performed to evaluate a net radiation model in the Panguilemo (UAP) and Corvallis (UAC) agroclimatological plot located in Talca (Chile) and Oregon (USA), respectively. In both location, an automatic meteorological station was installed over a grass canopy maintained in reference conditions to measure net radiation, solar radiation, air temperature and air vapor pressure on hourly basis.

Results indicated that there was an excellent correlation between measured (R_{no}) and estimated (R_{ne}) values of net radiation, with a correlation coefficient of 0,97 and 0,98 for UAP and UAC, respectively. Greater disagreements were observed during the nighttime, but they did not significantly affect the final calculation of net radiation. This analysis suggests that the net radiation model could be used in the Penman-Monteith equation to compute crop water requirement in Talca and Oregon

Key words: Radiation, evapotranspiration, water, model, water requirements.

Ciencia e Inv. Agr. 25:103-107

INTRODUCCION

Los avances en la instrumentación han permitido el desarrollo de estaciones meteorológicas automáticas que miden variables climáticas en intervalos cortos de tiempo (15 minutos, 30 minutos o 1 hora), lo que ha hecho posible la aplicación práctica del modelo de Penman-Monteith, que presenta en su formulación un mayor fundamento físico y fisiológico para determinar los requerimiento hídricos de los cultivo (Ortega-Farías *et al.*, 1996b). Al respecto, varios investigadores han indicado que el modelo de Penman-Monteith puede ser una excelente herramienta para estimar la evapotranspiración de referencia, bajo diferentes condiciones climáticas (Allen *et al.*, 1989; Jensen *et al.*, 1990; Ortíz, 1996; Solis, 1995). Además la FAO ha recomendado el método de Penman-Monteith para estimar las demandas hídricas de los cultivos en reemplazo de la metodología propuesta por Doorenbos y Pruitt en el año 1976 (Allen *et al.*, 1994)

El modelo de Penman-Monteith requiere mediciones simultáneas de la temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del viento, radiación neta y

flujo de calor del suelo; siendo la radiación neta (R_n) la principal fuerza motriz que determina la pérdida de agua de una cubierta vegetal creciendo sin restricción hídrica. De hecho, en climas húmedos y subhúmedos entre el 50 y 60 % de la R_n puede ser convertida en calor latente o evapotranspiración. Desafortunadamente, en la mayoría de las estaciones meteorológicas automáticas las mediciones de R_n no están disponibles por lo que se requiere de modelos para estimarla. Al respecto, Jensen *et al.* (1990) y Mediavilla (1996) presentan una metodología similar para estimar la radiación neta en intervalos de una hora, a partir de relaciones matemáticas que utilizan como variables de entrada la radiación solar, temperatura del aire y humedad relativa.

En base a los antecedentes anteriores, el objetivo de la presente investigación es evaluar un modelo para estimar la variación diurna de la radiación neta en intervalos de una hora, para las condiciones climáticas de Talca y Oregon (USA).

TEORIA

La radiación neta, que representa el balance de la radiación de onda corta (0,15 a 3 μm) y de onda

¹ Investigación financiada con el apoyo de FONDECYT N° 1970309.

² Department of Bioresource Engineering, Oregon State University, Corvallis, OR 97331-3906, USA.

larga (3 a 100 μm), se define como (Monteith and Unsworth, 1990):

$$R_n = R_{gi} - R_{gr} + R_{li} - R_{lr} \quad (1)$$

donde R_n = radiación neta ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$); R_{gi} = radiación de onda corta incidente o radiación solar ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$); R_{gr} = radiación de onda corta reflejada ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$); R_{li} = radiación de onda larga incidente o atmosférica ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$); R_{lr} = radiación de onda larga emitida o terrestre ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$).

El resultado de la ecuación [1] constituye la energía disponible que tiene la cubierta vegetal para realizar trabajo, el cual se traduce en la producción de calor latente (energía utilizada para evaporar el agua desde la cavidad subestomática), calor sensible (energía para calentar el aire y producir el movimiento ascendente de las masas de aire), flujo de calor al interior del suelo y en la producción primaria a través del proceso de fotosíntesis. Entre un 20 % y 32 % de la R_{gi} , que es la principal variable de entrada en la ecuación [1], es reflejada a la atmósfera por la cubierta vegetal, con un valor promedio de 25% para el periodo de crecimiento de los cultivos (Sharma, 1985). Por otro lado, R_{li} y R_{lr} se cuantifican a través de la ley de Stefan-Boltzman y dependen de la temperatura del aire y de la cubierta vegetal, respectivamente (Monteith and Unsworth, 1990). Considerando lo anterior, la ecuación [1] queda como:

$$R_n = (1-\alpha) \cdot R_{gi} + \epsilon_a \sigma \cdot T_a^4 - \epsilon_{cv} \cdot \sigma \cdot T_{cv}^4 \quad (2)$$

donde α = fracción de R_{gi} reflejada a la atmósfera (0,25); ϵ_a = emisividad del aire (fracción); ϵ_{cv} = emisividad de la cubierta vegetal (fracción); T_a = temperatura del aire (K); T_{cv} = temperatura de la cubierta vegetal (K); σ = constante de Stefan-Boltzman ($5,8 \cdot 10^{-8} \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$). La ϵ_{cv} es relativamente constante y en muchas aplicaciones agrícolas se utiliza un valor promedio de 0,98. ϵ_a , que depende del tipo de nube y grado de cobertura nubosa, humedad atmosférica y la temperatura del aire, se puede cuantificar como (Brustsaert, 1982):

$$\epsilon_a = 1,723 \cdot \left(\frac{e_w}{T_a} \right)^{1/7} \quad (3)$$

donde e_w = presión de vapor (kPa)

Sin embargo la ecuación (2) no se puede aplicar directamente porque la temperatura de la cubierta vegetal no está disponible en la mayoría de las estaciones meteorológicas automáticas y menos en las manuales. Considerando que la cubierta vegetal es mantenida sin restricción hídrica (en referencia), se puede asumir que T_a es igual a T_{cv} , sin producir graves errores en la estimación final de R_n (Mediavilla, 1996). Tomando en cuenta lo anterior y combinando las ecuaciones (2) y (3), la expresión final para calcular la R_n de una cubierta vegetada en condiciones de referencia se puede expresar como (Barría, 1997):

$$R_n = 0,75 \cdot R_{gi} + (1,723 \cdot \left(\frac{e_w}{T_a} \right)^{1/7} - 0,98) \cdot \sigma \cdot T_a^4 \quad (4)$$

MATERIALES Y METODOS

Los datos meteorológicos usados en este estudio fueron obtenidos de las unidades agroclimáticas de Panguilemo (UAP) (latitud sur $35^{\circ}23'13''$; longitud oeste $71^{\circ}40'42''$; 110,5 m sobre el nivel del mar) y Corvallis (UAC) (latitud norte $44^{\circ}37'46''$, longitud oeste $123^{\circ}13'13''$ a 70 sobre el nivel del mar) ubicadas en Talca (Chile) y Oregon (USA), respectivamente. El clima de Talca es de tipo mediterráneo subhúmedo con estación seca prolongada y en Oregon es de tipo marítimo modificado.

En ambas unidades, una estación meteorológica automática fue ubicada sobre una cubierta vegetal de festuca en condiciones de referencia (mantenida a una altura entre 8 cm y 15 cm, bien regada y libre de enfermedades, plagas y malezas) para medir la radiación neta, radiación global, temperatura de aire y presión de vapor en intervalos de una hora.

Para cada localidad, los valores de radiación neta estimada (R_{ne}) por el modelo (ecuación 4) fueron comparados con los valores de R_n observados (R_{no}) por un radiómetro neto. Para esto se seleccionaron al azar 30 días entre los meses de Junio y Septiembre de 1993 y entre Septiembre de 1997 y Marzo de 1998 para UAC y UAP, respectivamente. La comparación incluyó la desviación estándar del error (DEE), un análisis de regresión a través

del origen y el test Z para evaluar si la pendiente fue estadísticamente diferente de uno, con un intervalo de confianza del 95% (Ortega *et al.*, 1996a).

RESULTADOS Y DISCUSIONES

En este estudio se observó una buena comparación entre los valores de Rne y Rno, con un coeficiente de determinación de 0,98 y 0,97 para UAP y UAC, respectivamente (Cuadro 1).

Cuadro 1.- Comparación global entre los valores de radiación neta observada y estimada para una cubierta vegetal de Festuca en condiciones de referencia.

Overall comparison between observed and estimated net radiation for a fescue canopy under reference conditions.

Localidad	R ²	B	Test-Z	SEE (W·m ⁻²)
Talca (UAP)	0,97	0,97	V	43
Oregon (UAC)	0,98	1,06	F	31

Esto se puede observar en la figura 1, la cual ilustra que la distribución de puntos se ajusta bien a la línea recta con una pendiente igual a uno. En

ambas localidades se puede observar que la mayor dispersión de puntos se encuentra ubicada para valores menores a 100 W·m⁻², los que fueron encontrados al amanecer, atardecer y durante la noche. En el caso específico de UAC se observa que la nube de puntos se ubica por sobre la línea 1:1 para valores de Rn superiores a 550 (Figura 1b).

La comparación global entre Rne y Rno para UAC indicó que el modelo tendió a sobrestimar la Rn en un 6% pues la pendiente de la línea de regresión a través del origen fue estadísticamente diferente de uno. En el caso de UAP, el test-Z indicó que la pendiente ($b = 0,97$) no fue estadísticamente diferente de uno a pesar de los errores observados durante la noche. Por otra parte, la DEE fue de 31 y 43 para UAP y UAC, respectivamente, valores que se encuentran dentro del rango de precisión de las mediciones del radiómetro neto. La figura 1 indica que el modelo presenta un mayor grado de dispersión en UAP que en UAC para estimar la radiación neta, pero en ambas unidades se observa que el modelo tiende a subestimar para valores de Rn menores a 100 .

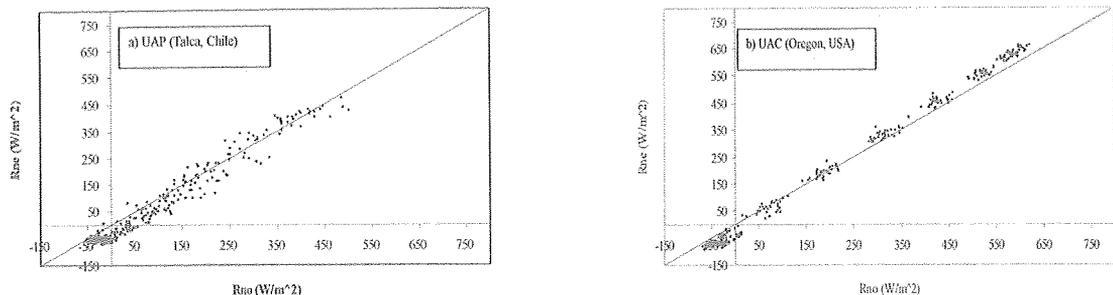


Figura 1- Comparación global entre la radiación neta observada (Rno) y estimada (Rne) de una cubierta vegetal de Festuca ubicada en Talca (Chile) y Oregon (USA) .

Overall comparison between observed (Rno) and estimated net radiation for a fescue canopy located in Talca (Chile) and Oregon (USA).

La variación diurna de la Rne y Rno de la cubierta vegetal de festuca ubicada en UAP y UAC es ilustrada en las figuras 2 y 3, respectivamente. En estas figuras se puede observar que Rne y Rno presentaron un comportamiento similar durante las 24 horas, tanto para los días nublados como despejados, con valores negativos durante la noche y positivos durante el día. En los días despejados (Figura 2.a y 3.a) se puede observar que los valores de Rne y Rno van aumentando en forma gradual durante la mañana, llegando a valores máximos al mediodía.

Luego ambas curvas comienzan a disminuir llegando a valores negativos durante la noche donde el modelo tendió a subestimar la Rn en ambas localidades (Fig. 2.a y 3.a). Durante la mañana los valores de Rne fueron superiores a los de Rno, especialmente en la unidad agroclimática de Corvallis donde se observó una alta demanda de vapor de agua por parte de la atmósfera lo que produjo en algunos días un estrés temporal en el cultivo de festuca.

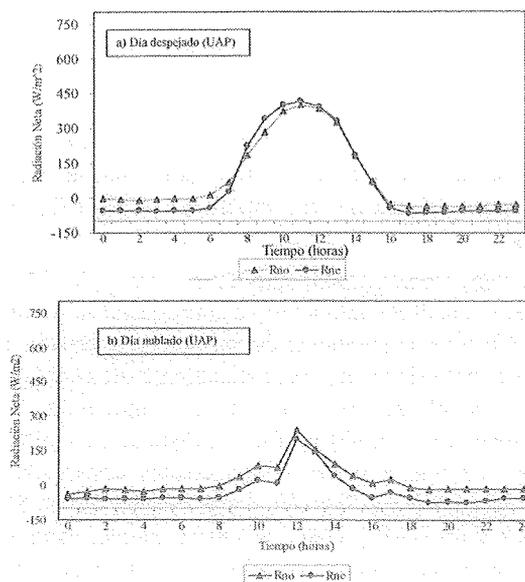


Figura 2.- Variación diurna de la radiación neta observada (Rno) y estimada (Rne) para una cubierta vegetal ubicada en Talca, Chile.

Daytime variation of observed (Rno) and estimated (Rne) net radiation for a fescue canopy located in Talca (Chile).

En el caso de los días nublados (Fig. 2.b y 3.b), los valores diurnos de Rne y Rno fueron fuertemente afectados por la cobertura nubosa; a pesar de esto la diferencia entre los valores de Rn estimado y calculados no fueron superiores a 30. Además, se puede indicar que el modelo tendió a subestimar la Rn durante las 24 horas en ambas localidades, especialmente en días con alta nubosidad y lluvia.

Los errores encontrados en este estudio durante la noche pueden estar asociados con la estimación de la emisividad del aire (ecuación 3), la cual determina la cantidad de radiación de onda larga que es emitida por la atmósfera hacia la cubierta vegetal (Mediavilla, 1996). Por otra parte, las diferencias entre Rne y Rno encontrados al mediodía pueden estar relacionadas con un incremento del gradiente de temperatura del aire y la cubierta vegetal debido a un estrés hídrico temporal que sufrió la cubierta vegetal producto de un aumento del déficit de presión de vapor (DPV). De hecho los valores del DPV superiores a 2,0 kPa pueden incrementar significativamente el gradiente de temperatura entre el aire y la cubierta vegetal. Afortunadamente, esta situación ocurrió en períodos cortos durante el día (entre 10:00 y 14:00

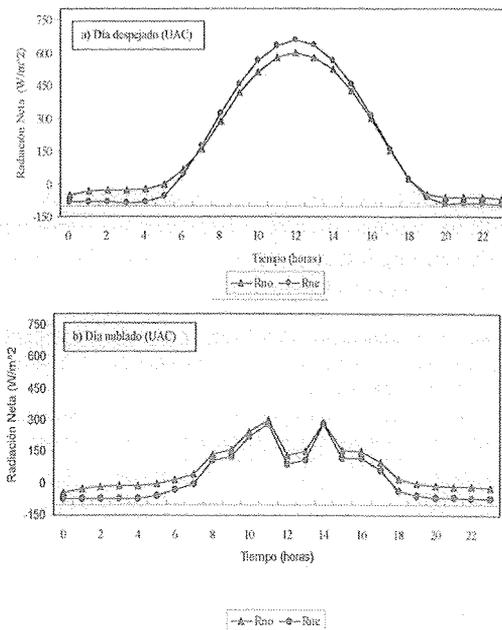


Figura 3.- Variación diurna de la radiación neta observada (Rno) y estimada (Rne) para una cubierta vegetal ubicada en Oregon, USA.

Daytime variation of observed (Rno) and estimated (Rne) net radiation for a fescue canopy located in Oregon (USA).

horas), lo que no afectó significativamente el cálculo de la radiación neta. De lo anterior se puede deducir que es muy importante mantener la cubierta vegetal en excelentes condiciones de humedad del suelo para mantener un gradiente de temperatura al mínimo y de esta forma no afectar significativamente la estimación final de la Rn. Esto es de vital importancia en zonas con climas de tipo árido y semiárido donde el DPV es muy alto. En este caso mediciones de la temperatura de la cubierta vegetal a través de la termometría infrarroja pueden ser la solución en estas condiciones climáticas (Ortega *et al.*, 1996a).

CONCLUSIONES

Los resultados indican que el modelo analizado en este estudio es una buena alternativa para estimar la radiación neta o energía disponible de una cubierta vegetal de festuca mantenida en condiciones de referencia (sin restricción hídrica) para las condiciones climáticas de Talca y Oregon. Los mayores errores fueron observados durante la noche, atardecer y amanecer, pero no superaron los 60 W·m⁻². De lo anterior se deduce, que el modelo de Rn estudiado en esta investigación puede ser

utilizado en la fórmula de Penman-Monteith para determinar los requerimientos hídricos de los cultivos, cuando se dispone de estaciones meteorológicas automáticas.

RESUMEN

Un estudio fue desarrollado para evaluar un modelo de radiación neta en las unidades agroclimáticas de Panguilemo (UAP) (latitud 35°23'13", longitud 71°40'42", 110,5 m sobre el nivel del mar) y de Corvallis (UAC) (latitud 44°37'46", longitud 123°13'13" a 70 sobre el nivel del mar) localizadas en Talca (Chile) y Oregon (USA), respectivamente. En ambas localidades, una estación meteorológica automática fue ubicada sobre una cubierta vegetal de festuca en condiciones de referencia

para medir la radiación neta, radiación global, temperatura de aire y presión de vapor en intervalos de una hora.

Los resultados indicaron que existió una alta correlación entre los valores de radiación neta observados (R_{no}) y estimados (R_{ne}), con un r^2 de 0,97 y r^2 de 0,98 para la UAP y UAC, respectivamente. Las mayores dispersiones entre R_{no} y R_{ne} fueron encontradas durante la noche, pero no afectaron significativamente el cálculo final de la radiación neta. Estos resultados sugieren que el modelo el modelo de R_n estudiado puede ser utilizado en la fórmula de Penman-Monteith para determinar los requerimientos hídricos de los cultivos en las localidades de Talca y Oregon.

LITERATURA CITADA

- ALLEN, R.G., SMITH, M., PERRIER, A., and PEREIRA, L. 1994. An update for the definition of reference evapotranspiration. *Agron. J.*(81): 650-662.
- ALLEN, R.G., JENSEN, M.E., WRIGHT, J.L., and BURMAN, R.D. 1989. Operational estimates of reference evapotranspiration. *ICID Bulletin*, Vol. 43: N° 2.
- BARRIA, R. 1997. Medición de la evapotranspiración mediante el método aerodinámico simplificado. Tesis de grado para optar al título de Ingr. Agrónomo, Esc. de Agronomía, Universidad de Talca. 51p.
- BRUTSAERT, W. 1982. *Evaporation in the atmosphere: Theory, history, and applications*. D. Reidel, Higham, Mass., 1982. 229 pp.
- JENSEN, M.E., R.D. BURMAN, and R.G. ALLEN. 1990. *Evapotranspiration and irrigation water requirements*. ASCE-Manuals and Reports on Engineering Practice, N° 70.
- MEDIAVILLA W. 1996. Estimación de la variación diurna de la radiación global, neta y calor del suelo para la determinación de la evapotranspiración por Penman-Monteith. Tesis de grado para optar al título de Ingr. Agrónomo, Esc. de Agronomía, Universidad de Talca. 66p.
- MONTEITH, J.L. and M.H. UNSWORTH. 1990. *Principles of environmental physics*. Edward Arnold, Ed. London. 291 p.
- ORTEGA-FARIAS, S., R. CUENCA, and M. EK. 1996a. Daytime variation of sensible heat flux estimated by the bulk aerodynamic method over a grass canopy. *Agric. and Forest Meteorology*. (81): 131-143.
- ORTEGA-FARIAS, S., R.H. CUENCA, B. SOLIZ y C. ORTIZ. 1996b. Evaluación de calor latente usando la ecuación de Penman-Monteith, con un valor variable de la resistencia de la cubierta vegetal a la transferencia de vapor de agua. *Ciencia e Investigación Agraria*. Vol. 23(2-3): 61-66.
- ORTIZ, C. 1996. Análisis de la evapotranspiración usando la ecuación de Penman-Monteith, bajo diferentes condiciones atmosféricas y dos niveles de humedad en el suelo. Tesis de grado para optar al título de Ing. Agrónomo, Esc. de Agronomía, Universidad de Talca.
- SOLIS, B. 1995. Evaluación de la ecuación de Penman-Monteith en la evapotranspiración de referencia. Tesis de grado para optar al título de Ing. Agrónomo, Esc. de Agronomía de la Univ. de Talca. Talca, Chile.

EFFECTO DEL TIPO DE GRASA Y NIVEL DE INCLUSION SOBRE LA FERMENTACION RUMINAL “*IN SITU*” MEDIDA A TRAVES DE LA DIGESTION DE LA FDN Y LA DINAMICA DE LA DIGESTION PROTEICA¹

EFFECT OF THE TYPE AND INCLUSION LEVEL OF FAT ON THE “*IN SITU*” RUMINANT FERMENTATION MEASURED BY THE DIGESTION OF NDF AND THE DYNAMICS OF PROTEIN DIGESTION.

JORGE AVILA S., FERNANDO GONZALEZ M., F. y FERNANDO BAS M.

Departamento Zootecnia,
Facultad De Agronomía e Ingeniería Forestal
Pontificia Universidad Católica de Chile

Summary.

Five total mixed rations based on corn, wheat middling, soybean meal, fish meal and lucern hay, including 0 (control), 3% and 6% of Hydrogenated Fish Oil (HFO) and 3% and 6% of Calcium Salt Fish oil (CSF), were used to assess the effect of this fats on protein and NDF rumen digestion kinetics.

One no lactating Holstein Friesian adult cow was fed with the five diets in six consecutive periods. Each diet was fed during 15 days before measurements.

N-NH₃ concentrations and pH of rumen liquor were determined four times a day; *in sacco* degradability of protein and NDF of the complete ration was estimated by the kinetics of incubation in the rumen.

In sacco results showed that protein digestion kinetic (a and b fraction and digestion rate) were not modified by HFO and CSF at any of the levels of inclusion in the diet.

There was no effect of fat on the ruminal behavioral patterns of pH or N-NH₃ concentration. A slight, but not significant reduction of NDF digestible fraction was observed for the supplemented diets. Lag time, digestion rate, and 48 hr residuals were not modified by fat addition.

Key words: Rumen, kinetics, digestibility, protected fish fats, bypass fats.

Ciencia e Inv. Agr. 25:109-117.

INTRODUCCION

Desde que la utilización de grasas adquiriera importancia en la suplementación del ganado lechero, con el fin de aumentar la densidad energética de la ración, diversas fuentes de grasa y formas de inactivación para evitar los efectos negativos de las grasas insaturadas sobre el metabolismo ruminal, han sido evaluadas. Dentro de los procesos utilizados, la inactivación de aceites o grasas insaturadas a través de la formación de sales cálcicas de ácidos grasos libres es probablemente la forma más común de tratamiento. Sin embargo, aceites o grasas sometidas a un proceso de hidrogenación han probado ser un producto insoluble y muy estable a nivel ruminal.

Las fuentes de lípidos más comúnmente usadas han sido los aceites vegetales, que en el país cons-

tituyen una materia prima escasa y cara. Dado el desarrollo del rubro pesquero en Chile, ha aumentado el interés por utilizar residuos provenientes de esta industria como materia prima para la elaboración de suplementos lipídicos para rumiantes.

Los aceites de pescado rara vez han sido utilizados en la alimentación de vacas lecheras. Sin embargo, los pocos estudios sobre la fermentación ruminal con dietas suplementadas con aceites de pescado no han mostrado disturbios marcados sobre la digestión de los carbohidratos, ya sea cuando estos son hidrogenados (Sundstol, 1974; Doreau, 1992) insaturados (Sutton *et al.*, 1975) o encapsulados con caseína (Borsting *et al.*, 1992).

No se han reportado en la literatura estudios cinéticos de la degradación ruminal de las proteínas o de la pared celular, bajo el efecto de aceites de

origen marino sobre el ambiente ruminal. Es por ello que se plantea como objetivo general en este estudio, evaluar las características del metabolismo ruminal bajo los efectos de una suplementación con grasa hidrogenada de pescado (GHP) y una sal cálcica de ácidos grasos libres de aceite de pescado (SCP) a través de una caracterización de las cinéticas de digestión de la proteína y de la pared celular (FDN) y de los patrones de respuesta de las concentraciones de nitrógeno amoniacal (N-NH₃) y valores de pH en rumen.

MATERIALES Y METODOS

Animal y Dietas

Se realizó un ensayo de digestibilidad *in sacco* durante seis períodos sucesivos de 15 días cada uno, para lo cual se utilizó una vaca Holstein Friesian no lactante, de 400 kg de peso vivo, provista de una cánula ruminal. En cada período de medición se suministró a la vaca raciones que diferían entre sí en el nivel de inclusión y tipo de grasa suministrada.

Las grasas probadas fueron una grasa hidrogenada de pescado (GHP)¹ y una sal cálcica de pescado (SCP)¹, en niveles de inclusión de 3 y 6%, con lo que se constituyó un total de 5 tratamientos incluyendo el control.

La composición y características de las grasas evaluadas se detallan en los cuadros 1 y 2.

Cuadro 1.- Composición de ácidos grasos (% del total).
Composition of fatty acids (% of total)

Ácidos Grasos <i>fatty acids</i>		GHP	SCP
Cáprico	C 13:0	-	5,30
Mirístico	C 14:0	7,23	6,10
Miristoleico	C 14:1	0,29	0,80
Palmitico	C 16:0	31,5	22,20
Palmitoleico	C 16:1	0,52	10,70
Heptadecanoico	C 17:0	1,49	-
Estéarico	C 18:0	23,60	8,10
Oleico	C 18:1	0,60	20,00
Linoleico	C 18:2	0,60	1,30
Linoléico	C 18:3	-	0,20
Araquídico	C 20:0	17,7	1,30
Icosamonoenoico	C 20:1	-	5,60
Eicosadienoico	C 20:2	-	2,80
Docosapentaenoico	C 20:5	0,60	1,80
Behénico	C 22:0	15,80	2,50
Brasídico	C 22:1	-	2,60
Docosapentaenoico	C 22:5	-	1,50
Docosahexaenoico	C 22:6	-	1,70

Fuente : Química Industrial SPES S.A. 1996.

Cuadro 2- Propiedades físico químicas de las grasas GHP y SCP.

Physical and Chemical characteristics of GHP and SCP

	GHP	SCP
Punto de Fusión (°C)	56-59	115-120
Oxidos metálicos (%)	-	10,6
Acidos Grasos Libres (% AGT)	2,0	2,4
Índice de saponificación (KOH mg·g ⁻¹)	88-190	188-190
Tipo de estructura	Triglicérido	jabón metálico

Fuente : Química Industrial SPES S.A. 1996.

Las raciones estaban constituidas por heno de alfalfa, grano de maíz, afrecho de soya, harinilla de trigo y harina de pescado, las que fueron formuladas para ser isoenergéticas, isoproteicas e isofibrosas, (igual contenido de fibra detergente neutro) con proporciones forraje/concentrado 50/50 % de la materia seca (cuadro 3). Todas las dietas contenían 0,8 de NaHCO₃ y 0,45% (%MS) de un suplemento mineral comercial para vacas lecheras (Anasal®).

Las dietas fueron suministradas como raciones completas, en dos raciones diarias de 5,4 kg de MS cada una, a las 09:00 y 16:00 horas, representando un consumo correspondiente al 2,6% del peso vivo. Cada dieta fue suministrada durante un período de 15 días, con el fin de permitir una adecuada adaptación del ecosistema ruminal. En las últimas 48 horas de cada período se realizó la etapa experimental propiamente tal.

Mediciones y análisis

Las dietas fueron analizadas para determinar sus contenidos de materia seca (MS), proteína cruda (PC) y extracto etéreo (EE) (AOAC, 1984); FDN, FDA y digestibilidad *in vitro* de la materia seca y de la FDN, de acuerdo a los procedimientos descritos por Goering y Van Soest (1970) y grasa total (GT) por medio de una hidrólisis ácida en HCl 0,3 N, previa al procedimiento común de determinación del extracto etéreo.

La degradación de la fibra detergente neutro (FDN) y de la proteína fue estimada por una técnica *in sacco*, para lo cual se utilizaron bolsas de dacrón de 12,5 x 5 cm con un tamaño de poro de 30-40 µm. Cada bolsa fue llenada con 5 g de la ración respectiva molida en un tamiz de 1 mm.

Cuadro 3-Composición físico - química de las dietas experimentales.
Physical and chemical composition of experimental diets.

D I E T A S					
	1 (0%)	2 (3% GHP)	3 (6% GHP)	4 (3% SCP)	5 (6% SCP)
Ingredientes (%MS)					
Maiz grano	20,42	14,89	9,63	14,89	9,63
Afrecho soya	6,80	7,65	10,63	7,65	10,63
Harinilla trigo	19,14	20,42	17,02	20,42	17,02
Harina pescado	3,40	3,40	0,90	3,40	0,90
Heno de alfalfa	50,21	50,61	56,17	50,61	56,17
GHP	-	3,00	6,00	-	-
SCP	-	-	-	3,00	6,00
Nutrientes (%MS)					
Materia seca (%)	92,67	93,47	93,86	91,38	92,37
Energía Metabolizable (Mcal · kg ⁻¹ MS)	2,53	2,50	2,56	2,51	2,57
Proteína cruda (%MS)	19,96	19,63	20,02	19,01	19,60
Fibra Detergente Neutro (%MS)	41,93	40,32	40,53	41,40	41,35
Fibra Detergente Acida (%MS)	22,49	20,96	21,43	21,30	21,90
Grasa total (%MS)	2,90	6,70	6,90	6,39	6,93

GHP = Grasa Hidrogenada de Pescado
SCP = Sac Cálcica de Pescado

Las bolsas fueron incubadas en rumen por tiempos de 0, 2, 6, 12, 24, 36 y 48 hr. (3 bolsas para cada horario). Para ello fueron introducidas en sentido inverso al horario de incubación y retiradas todas en forma simultánea. Fueron cerradas con poliamida monofilamento (0,35mm) y fijadas a una cadena de acero inoxidable por medio de destorcedores comunes. Los residuos de las bolsas se sometieron a análisis de FDN y PC por los métodos ya descritos.

Para estimar la cinética de degradación de la FDN se utilizó el modelo de Mertens y Loften (1980):

$$R = D \cdot e^{-k(t-L)} + U$$

Donde:

R : Residuo remanente a tiempo t,
D : Fracción potencialmente digestible de la FDN,
k : Tasa de digestión de la fracción D (%/h),
L : Fase "lag" o tiempo de retardo "y",
U : Fracción no digestible de la FDN.

La tasa "lag" se determinó utilizando la ecuación:

$$L = (\ln D) / -k$$

Donde:

D": Intercepto de la ecuación $\ln(R-U)$

La cinética de digestión de la proteína de la dieta fue estimada por medio del modelo de Orskov y Mc Donald (1979):

$$p = a + b(1 - e^{-ct})$$

Donde:

p : Cantidad de sustrato degradado en el tiempo t,
a : Proteína rápidamente soluble,
b : Fracción potencialmente degradable
c : Tasa de degradación de la fracción b expresada en unidades de porcentajes por hora (%/h).

La fracción no degradable de la proteína se obtiene por la sustracción 100 - (a+b) por lo que la ecuación se limita de forma que la fracción a+b (fracción potencialmente digestible) no pueda exceder el 100%.

Estos dos modelos se utilizaron por medio del programa computacional para el cálculo de la cinética de digestión ruminal desarrollado por Garciarena y Hofer (1993). El programa determina la fracción potencialmente digestible (FPD) de fibra y proteína por el método de la doble inversa (transformación de Lineweaver - Burk) para lo cual calcula una serie de regresiones entre la inversa del tiempo de incubación y el residuo.

Los valores de las FPD a usar, tanto para proteína

como para FDN, resultan ser aquellos que tengan el mayor coeficiente de determinación. El programa además calcula el efecto de diferentes tasas de pasaje sobre: i) la degradación efectiva de la FDN ii) la degradación efectiva de la proteína, iii) la competencia entre las tasas de pasaje y de digestión en la desaparición de la FDN, iv) la fracción de la FDN potencialmente digestible digerida en el rumen.

Para ello el programa utiliza las siguientes ecuaciones:

$$i) \quad DeF = D \cdot e^{(-Kp \cdot L)} \cdot (Kd / (Kd + Kp)) / 100$$

$$ii) \quad DeP = a + (b \cdot c) / (c + Kp)$$

$$iii) \quad Y = Kd / (Kd + Kp)$$

$$iv) \quad DFPD = e^{(-Kp \cdot L)} \cdot Y,$$

Donde :

DeF = Degradación efectiva de la FDN

DeP = Degradación efectiva de la proteína

Kd = Tasa de digestión

Kp = Tasa de pasaje

DFPD = Degradación de la fracción potencialmente digestible de la FDN.

Además del análisis de los residuos de las bolsas, en el último día de cada período se extrajo licor ruminal del animal antes de la ración de la mañana y a las 2, 4 y 6 horas después de suministrada la ración. Este fue filtrado y dividido en dos fracciones, una de las cuales fue usada para determinación de pH y la otra fue recibida sobre 50% de H₂SO₄ 4,5 N para determinación de nitrógeno amoniacal (N-NH₃) por arrastre de vapor con óxido de magnesio (AOAC, 1984).

Análisis estadístico

Los valores de las cinéticas de digestión de FDN y proteína entregados por los modelos de Mertens y Loftén (1980) y Orskov y Mc Donald (1979), fueron analizados por medio de un diseño de bloques completos aleatorizados cuyo modelo matemático es:

$$Y_{ij} = (\mu + T_i + B_j + E_{ij})$$

Donde :

Y_{ij} = Valor del parámetro de las cinéticas de digestión entregado para la repetición j de la ración y

μ = Media general.

T_i = Efecto de la ración i

B_j = Efecto del período j (repetición)

E_{ij} = Error aleatorio de la repetición j sometida a la ración i.

Los datos de las variaciones en el pH y N-NH₃ a diferentes horarios fueron analizados por medio de un diseño de parcelas divididas. El modelo matemático utilizado para tal efecto es:

$$Y_{ijk} = (+ B_k + T_i + E(a)_{ik} + H_j + (TB)_{ij} + E(b)_{ijk})$$

Donde a los estadísticos definidos para el modelo anterior se suman:

E (a) _{ik} = Error (a) correspondiente a ración i y repetición k

H_j = Efecto del horario de incubación j;

(TB)_{ij} = Efecto de la ración i y el horario de colección j,

E(b)_{ijk} = Error (b) aleatorio del experimento.

RESULTADOS Y DISCUSION

Ambiente ruminal

pH

Los valores de pH ruminal para las diferentes dietas y tiempos de muestreo no fueron modificados significativamente por la inclusión de GHP y SCP en ninguno de los niveles estudiados (Cuadro 4, gráfico 1). El comportamiento del pH fue algo disímil en la dieta control, pero los valores promedio para los 4 tiempos de muestreo fueron prácticamente iguales. La falta de efectos negativos en la digestión de la FDN puede explicarse en gran medida por la regularidad en el comportamiento del pH, los que estuvieron bastante cercanos a pH 6,7, descrito como óptimo para el crecimiento y funcionalidad de la población celulolítica ruminal (Van Soest, 1994).

El menor pH observado en los tratamientos con GHP respecto de SCP y el control, podría deberse a una mayor utilización ruminal de la FDN, con lo que se produciría una mayor proporción de productos ácidos y un menor pH.

Usualmente la adición de lípidos no modifica el pH ruminal (Pantoja *et al.*, 1994; 1995; Elliot *et al.*, 1994; Doreau, 1992; Doreau *et al.*, 1991b) o produce una leve disminución (Elliot *et al.*, 1995). Se

ha sugerido que dietas basadas en heno, especialmente de alfalfa, soportan mejor la inclusión de lípidos con respecto a dietas basadas en ensilajes (Elmeddah *et al.*, 1991). Esta afirmación se apoya en el efecto estimulante del heno sobre la secreción de saliva que es 3,2 veces superior al ensilaje y a la capacidad de intercambio catiónico de las paredes celulares (Van Soest, 1994). Así, el alto contenido de heno de alfalfa en las dietas (> 50%), el nivel de proteína cruda de la ración (19%) y la inclusión de bicarbonato, explicarían la mantención de los niveles de pH encontrados.

Cuadro 4.- Valores de pH en licor Ruminal post - ingesta. *pH values of post-ingesta in ruminal liquor.*

Tiempo de muestreo (h)	D I E T A S				
	1 (0%)	2 (3% GHP)	3 (6% GHP)	4 (3% SCP)	5 (6% SCP)
0*	6,89	6,89	6,87	6,88	6,89
2	6,69	6,69	6,70	6,68	6,69
4	6,67	6,67	6,53	6,67	6,70
6	6,71	6,71	6,60	6,65	6,71
Media	6,74	6,74	6,68	6,72	6,75

* Valores basales, pre-ingesta

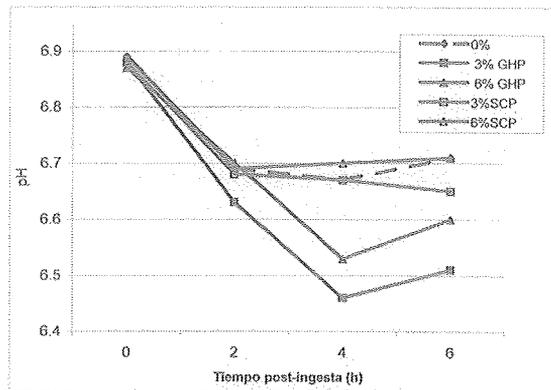


Figura 1- Valores de pH en licor Ruminal post - ingesta. *pH values of post-ingesta in ruminal liquor.*

Amonio

Los niveles de nitrógeno amoniacal obtenidos para los diferentes tiempos de muestreo se presentan en el cuadro 5. Las variaciones promedio entre raciones fueron pequeñas y el efecto ración no fué significativo. Si bien los valores obtenidos fueron superiores a la mayoría de los valores reportados en la literatura, Doreau (1991a) obtuvo resultados similares para las horas 1 y 3 post-ingesta. Las

concentraciones de PC de las raciones utilizadas en éste ensayo (19,9% + 0,3) fueron superiores a las reportadas en gran parte de la literatura, lo que pudo haber contribuido a la obtención de estos altos valores de N-NH₃ en rumen. Al hacer un análisis de los componentes de la ración, surgen otros factores que pueden haber incidido en los niveles de amonio, particularmente en las primeras horas post-ingesta, como lo son la alta solubilidad de la proteína y los bajos niveles de carbohidratos solubles que contenían las dietas. Por otra parte, Van Soest (1994) afirma que la proteína soluble no produce un incremento inmediato de los niveles de amonio sino que forma un pool de péptidos y aminoácidos, los que serían oxidados a amonio e isoácidos carboxílicos en la medida que sus concentraciones excedan los requerimientos de la población microbiana. De cualquier forma, el patrón de comportamiento del N-NH₃ es bastante similar al descrito por Chen *et al.* (1987) para raciones de vacas lecheras.

Cuadro 5.- Concentración de N-NH₃ (mg · L⁻¹) post-ingesta. *Post-ingesta concentration of N-NH₃ (mg · L⁻¹)*

Tiempo de muestreo (h)	D I E T A S				
	1 (0%)	2 (3% GHP)	3 (6% GHP)	4 (3% SCP)	5 (6% SCP)
0*	185,7	145,8	157,0	150,4	164,4
2	218,7	249,0	237,6	256,2	274,5
4	175,8	176,7	201,9	189,5	209,6
6	145,1	128,1	154,2	139,4	163,5
Media	181,3	174,9	187,7	183,9	203,0

* Valores basales, pre-ingesta

Otros autores han reportado una disminución en la concentración ruminal de N-NH₃ con la adición de lípidos (Van Houtert *et al.*, 1990; Elmeddah *et al.*, 1991). Este efecto es bastante controversial y ha sido atribuido a diversos factores, tales como una disminución en la proteólisis, un aumento en la absorción de NH₃ a través de la pared ruminal como consecuencia de valores más altos de pH o una eficiencia de síntesis de proteína microbiana incrementada debido a una defaunación parcial (Sutton *et al.*, 1983). Por otra parte, existen numerosos estudios que no reportan diferencias en las producciones de N-NH₃ (Doreau *et al.*, 1991b; Pantoja *et al.*, 1995; Elliot *et al.*, 1995; Klusmeyer *et al.*, 1991); esta ausencia de efectos sobre las concentraciones de N-NH₃ apoya la hipótesis de

que GHP y SCP se comportan como grasas inertes a nivel ruminal, lo que concuerda con los resultados obtenidos por Franulic *et al.* (comunicación personal), en ensayos *in vitro* realizados con los mismos suplementos grasos.

Cinética de Digestión de la FDN

Las fracciones no degradables, la tasa de digestión y la fase lag de la FDN no fueron afectadas significativamente ($p < 0,01$) por las inclusiones de GHP y SCP en la dieta (Cuadro 6). Pantoja *et al.* (1994) no obtuvieron efectos significativos por la inclusión de lípidos saturados sobre la cinética de digestión de la FDN de ensilaje de alfalfa. Los valores de la degradabilidad ruminal de la FDN obtenidos en este ensayo son similares a los reportados por Pantoja *et al.* (1995). Otros ensayos indican digestibilidades aparentes (tracto digestivo completo) menores a las de este estudio (Elliot *et al.*, 1994; Klusmeyer *et al.*, 1991; Pantoja *et al.*, 1994). Este efecto puede estar relacionado con la dieta base usada por estos autores cuyo contenido de ensilaje osciló entre 40 y 60% de la MS. En este estudio el aporte de FDN provino mayoritariamente del heno de alfalfa (50%MS). El contenido de calcio del heno de alfalfa estimularía la actividad enzimática de los microorganismos (Devendra y Lewis, 1974) y mejoraría la adhesión bacteriana a las partículas de alimento (Roger *et al.*, 1988). Además el heno estimularía la rumia, lo que estaría ayudando a la mantención de los niveles de pH en rangos adecuados para una buena actividad de la flora celulolítica.

Cuadro 6-Parametros de las cineticas de digestión de la pared celular.

Means of cell wall digestion kinetics.

Parámetros	D I E T A S				
	1 (0%)	2 (3% GHP)	3 (6% GHP)	4 (3% SCP)	5 (6% SCP)
Do (%)	66,65	58,34	61,87	57,94	59,93
K (%/h)	5,20	5,94	5,72	6,06	5,28
L (1)	3,86	2,73	2,26	2,99	2,34
M (%)	33,35	41,70	37,15	42,10	40,10

Do = Fracción potencialmente degradable de la FDN

k = Tasa fraccionaria de la digestión

L = Fase Lag (tiempo retardado)

M = Fracción no degradable

Otros estudios han obtenido una digestibilidad aparente (Doreau, 1992) y una degradabilidad

ruminal (Elmeddah *et al.*, 1991) de la FDN superiores a las obtenidas en éste ensayo, utilizando aceites hidrogenados de pescado y sales cálcicas de pescado, respectivamente.

La fracción potencialmente degradable de la FDN tiene una tendencia marcada pero no significativa ($p < 0,05$) a disminuir en las raciones suplementadas con grasa. La disminución de la degradabilidad de la FDN fué de 12,46; 7,17; 13,07 y 10,08 % con respecto a la ración control, en las dietas 2, 3, 4 y 5, respectivamente.

El hecho que este parámetro haya sido más afectado en las raciones con 3% de inclusión de los productos grasos, sugiere que éste efecto pudo no haberse debido al tipo de suplemento graso sino a otras características de la dieta o del ambiente ruminal. Una causa podría ser el menor contenido de maíz en la dieta suplementada al 6% con el fin de lograr dietas isoenergéticas, lo cual pudo favorecer una mayor utilización de la fibra para suplir el menor aporte de almidón. Por otra parte, aunque las diferencias no fueron significativas, el pH promedio de las raciones suplementadas al 3% fue el más bajo en los diferentes tiempos de muestreo, lo que pudo haber afectado negativamente a la flora celulolítica ruminal.

Los valores de degradación de la FDN corresponden a una permanencia en el rumen de 48 horas, lo que es poco factible en ganado lechero. Al analizar el comportamiento de la FDN a menores tiempos de permanencia en el rumen (según tasas de pasaje) se encuentran valores cercanos a los estimados para ganado lechero con altos niveles de consumo (Cuadro 7).

Si se considera que las vacas lecheras de alta producción pueden consumir sobre 2 veces sus requerimientos de mantención, la tasa de pasaje del alimento consumido fluctuaría entre 6 y 8% (ARC, 1993).

Si bien el efecto ración no fué significativo para la degradación efectiva de la FDN ($p = 0,07$), en el cuadro 7 se observa que la tasa de pasaje del alimento afecta en mayor grado a las raciones suplementadas con grasa que tienen menor FPD, pero tasas de digestión mayores. Esto se debe a que la participación de la digestión en la desaparición del alimento ($Kd/Kd+Kp$) es mayor para esas dietas, por lo que un aumento en las tasas de pasaje tendrá efectos más notorios.

Cuadro 7.- Degradación efectiva de la pared celular a diferentes tasas de pasaje.
Effective cell wall degradation as affected by different passage rates

D I E T A S						
Tasa de pasaje (%/h)	Tiempo de retención (h)	1 (0%)	2 (3% GHP)	3 (6% GHP)	4 (3% SCP)	5 (6% SCP)
5	20	41,04	36,31	37,28	36,88	36,26
6	17	38,84	34,19	34,94	34,84	27,48
7	14	37,06	32,43	33,00	33,15	25,16
8	13	35,60	30,94	31,38	31,73	33,18
9	11	34,40	29,67	30,02	30,52	31,49

Cuadro 8- Parametros de la cinetica de digestión de la proteína.
Means of protein digestion kinetics.

D I E T A S						
Parámetros	1 (0%)	2 (3% GHP)	3 (6% GHP)	4 (3% SCP)	5 (6% SCP)	Efecto
Fración soluble (a) (%PC)	37,77	38,59	36,90	36,75	33,47	n.s.
Fración degradable (b) (%PC)	54,20	53,18	55,14	55,12	57,68	n.s.
Tasa de digestión (c) (%/h)	7,70	6,50	7,94	6,26	7,52	n.s.
Degradabilidad potencial (%PC)	91,97	91,77	92,04	91,87	91,15	n.s.

Cinética de digestión de la proteína

Ninguno de los parámetros de las cinéticas de degradación de la proteína fue afectado en forma significativa por la ración (Cuadro 8). Diversos autores han reportado una disminución de la proteólisis ruminal por efecto de la adición de lípidos (Ikwuegbu y Sutton, 1983; Jenkins y Fotouhi, 1990). Aunque estos autores usaron grasas no protegidas, sin embargo existen antecedentes en la literatura que indican una disminución en las concentraciones de N-NH₃ al suplementar grasas cristalizadas y sales cálcicas de ácidos grasos en corderos (Van Houtert *et al.*, 1990; Elmeddah *et al.*, 1991) lo cual ha sido atribuido a una disminución parcial de la proteólisis.

La literatura no presenta datos sobre cinética de

digestión ruminal de las fracciones de proteína bajo efecto de suplementación lipídica; sin embargo, la ausencia de efectos sobre la digestión de la proteína ha sido reportada en numerosos estudios en los que se utilizó grasas protegidas tanto para mediciones efectuadas en rumen (Mir, 1988; Pantoja *et al.*, 1994) como en tracto digestivo completo (Elliot *et al.*, 1994; Pantoja *et al.*, 1995; 1996; Mir, 1988; Wu *et al.*, 1993). La degradación efectiva de la proteína disminuye al reducir su tiempo de permanencia en rumen por efecto de mayores tasas de pasaje (5-9 %/h) (Cuadro 9). Los valores estimados están dentro de los rangos sugeridos por Madsen y Hvelplund (1985) y Von Keyserlingk *et al.* (1996) para los ingredientes del concentrado usado en este estudio y el heno de alfalfa, respectivamente.

Cuadro 9- Degradación efectiva de la proteína (%) a diferentes tasas de pasaje.
Effective protein degradation as affected by different passage rates

D I E T A S						
Tasa de pasaje (%/h)	Tiempo de retención (h)	1 (0%)	2 (3% GHP)	3 (6% GHP)	4 (3% SCP)	5 (6% SCP)
5	20	70,57	68,62	71,73	67,30	68,10
6	17	68,18	66,21	69,18	64,80	65,50
7	14	66,12	64,16	66,97	62,80	63,30
8	13	64,32	62,40	65,05	60,90	61,40
9	11	62,74	60,86	63,35	59,40	59,70

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio, la inclusión de grasas GHP y SCP en raciones para vacas lecheras no modifica la concentración de nitrógeno amoniacal ni el pH ruminal, en los niveles de inclusión probados.

Tanto las tasas de digestión, como la degradabilidad potencial de las fracciones solubles y degradables de la proteína dietaria no fueron alteradas por la inclusión de los suplementos grasos GHP y SCP, en ninguno de los niveles probados en el estudio.

La fracción potencialmente digestible de la pared celular presentó una tendencia no significativa a disminuir en las dietas suplementadas con grasa. El tiempo de retardo (lag), la tasa de digestión y la fracción no degradable de la pared celular no fueron alteradas por la inclusión de ambos tipos de grasas.

La información obtenida en este estudio avala el hecho que las grasas sometidas a un proceso de hidrogenación (GHP) se comportan de igual manera que las sales cálcicas de ácidos grasos (SCP), no produciendo alteraciones de la fermentación a nivel ruminal.

RESUMEN

Cinco dietas completas basadas en maíz, harinilla de trigo, afrecho de soya, harina de pescado y harina de alfalfa que incluían 0, 3 y 6 % de grasa hidrogenada de pescado (GHP) o sal cálcica de pescado (SCP), fueron utilizadas para estudiar los efectos de dichos suplementos lipídicos sobre la dinámica de digestión de proteína y FDN dietaria.

Una vaca Holstein Friesian adulta, no lactante, fue alimentada con las cinco dietas en seis períodos consecutivos. Cada dieta fue suministrada durante 15 días antes de efectuar las mediciones. El pH y las concentraciones de N-NH₃ del fluido ruminal fueron determinadas cuatro veces al día. La degradabilidad *in sacco* de la proteína y la pared celular fueron estimadas por la cinética de digestión en rumen.

La cinética de degradación de la proteína (fracciones a y b) y tasa de digestión no fueron modificadas por el tipo de grasa en ninguno de los niveles probados. La inclusión de grasa no alteró los patrones de comportamiento del pH y las concentraciones de N-NH₃. La fracción potencialmente digestible de la FDN mostró una tendencia no significativa a disminuir en las dietas suplementadas. Sin embargo, la fase lag, la tasa de digestión y la fracción indigestible no fueron modificadas por la inclusión de estas grasas.

LITERATURA CITADA

- ANDREWS, R.J. y D. LEWIS. 1970. The utilization of dietary fats by ruminants. I digestibility of some commercially available fats. *J. Agric. Sci. (Camb.)* 75: 47-53.
- AOAC. Association of Official Analytical Chemists. 1984. Officially methods of analysis. Association of official analytical chemists. USDA, Washington, DC, EUA.
- ARC. 1993. Technical Committee on Responses to Nutrients. Energy and protein requirements of ruminants. CAB International, Wallingford, Inglaterra
- BORSTING, C.F., M.R. WEISBJERG y T. HVELPLUND. 1992. Fatty acid digestibility in lactating cows fed increasing amounts of protected vegetable oil, fish oil or saturated fat. *Acta Agric. Scand., Sect. A, Animal Sci.* 42: 148-156.
- CHEN, G., J.B. RUSSEL y C.J. SNIFFEN. 1987. A procedure for measuring peptides in rumen fluid and evidence that peptide uptake can be a rate-limiting step in ruminal protein degradation. *J. Dairy Sci.* 70: 1211-1219.
- DEVENDRA, C. y D. LEWIS. 1974. The interaction of dietary lipids and fiber in the sheep. *Anim. Prod.* 19: 67.
- DOREAU, M., F. LEGAY y D. BAUCHART. 1991a. Effect of source and level of supplemental fat on total and ruminal organic matter and nitrogen digestion in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 74: 2233.
- DOREAU, M., Y. CHILLIARD, D. BAUCHART y MICHELET-DOREAU. 1991b. Influence of different fat supplements on digestibility and ruminal digestion in cows. *Ann. Zootech.* 40: 19-30.
- DOREAU, M. 1992. Effects of supplementation with hydrogenated fish fat on digestion in dairy cows. *Ann Zootech.* 41: 137.
- ELLIOT, J.P., T.R. OVERTON y J.K. DRACKLEY. 1994. Digestibility and effects of three forms of mostly saturated fatty acids. *J. Dairy Sci.* 77: 789.
- ELLIOT, J.P., J.K. DRACKLEY, G.C. FAHEY y R.D. SHANKS. 1995. Utilization of supplemental fat by dairy cows fed diets varying in content of nonstructural carbohydrates. *J. Dairy Sci.* 78:1512
- ELMEDDAH, Y., M. DOREAU y B. MICHALET-DOREAU. 1991. Interaction of lipid supply in the diet of sheep with digestibility and ruminal digestion. *J. Agric. Sci. (Camb.)* 116:437.

- GARCIARENA, D.A. y C.C. HOFER. 1993. Curso de dinámica de digestión ruminal. FAO-Red Regional de producción lechera, Santiago, Chile.
- GOERING, H.K. y P.J. VAN SOEST. 1970. Forage fiber analysis. USDA, ARS. Agr. Handbook N° 379
- IKWUEGBU, O.A. y J.D.SUTTON. 1982. The effect of varying the amount of linseed oil supplementation on rumen metabolism in sheep. *Br. J. Nutr.* 48: 365.
- JENKINS, T.C. 1990. Nutrient digestion, ruminal fermentation and plasma lipids in steers fed combinations of hydrogenated fat and lecithin. *J. Dairy Sci.* 73: 2934.
- KLUSMEYER, T.H., G.L. LYNCH, J.H. CLARK, y D.R. NELSON. 1991. Effects of calcium salts of fatty acids and proportion of forage in diet on ruminal fermentation and nutrient flow to the duodenum of cows. *J. Dairy Sci.* 74: 2220.
- MAFSEN, J. y T. HVELPLUND. 1985. Protein degradation in the rumen. *Acta agric. Scand. Suppl.* 25: 103
- MERTENS, D.R. y J.R. LOFTEN, 1980. The effect of starch on forage fiber digestion kinetics *in vitro*. *J. Dairy Sci.* 63: 1437-1446.
- MIR, Z. 1988. A comparison of canola acidulated fatty acids and tallow as supplements to a ground alfalfa diet for sheep. *Can. Anim. Sci.* 68: 761.
- ORSKOV, E.R., R.S. HINE, y D.A. GRUBE. 1978. The effect of urea on digestion and voluntary intake by sheep of diets supplemented with fat. *Anim. Prod.* 27: 241.
- PANTOJA, J., J.L. FIRKINS, M.L. EASTRIDGE y B.L. HULL. 1994. Effects of fat saturation and source of fiber on site of nutrient digestion and milk production by lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 78:2247.
- PANTOJA, J., J.L. FIRKINS y M.L. EASTRIDGE. 1995. Site of digestion and milk production by cows fed fats differing saturation, esterification and chain length. *J. Dairy Sci.* 78: 2247.
- ROGER, V., G. FONTY, S. KOMISARCZUK, y P. GOUET. 1988. Effet de quelques facteurs physico-chimique sur l'adhésion à la cellulose de deux espèces bactériennes cellulolytiques du rumen. *Repr. Nutr. Dév.* 218, Suppl. 1, 77
- SUNTSTOL, F. 1974. Hydrogenated marine fat as feed supplement. III. Digestibility of rations containing hydrogenated marine fat in sheep. *Meld Nor Landbrukshogsk.* 161, 31pp. Citado por Doureau (1992).
- SUTTON, J. D., R. H. SMITH, A. B. MAC ALLAN, J. E. STORRY, y D. A. CORSE. 1975. Effects of variations in dietary protein and of supplements of cod liver oil on energy digestion and microbial synthesis in the rumen of sheep fed hay and concentrates. *J. Agric. Sci. (Camb)* 84:317.
- SUTTON, J. D., R. KNIGHT, A. B. MAC ALLAN, y M. OVAN. 1988. Digestion and synthesis in the rumen of sheep given diets supplement with free and protected oils. *British J. Nutr.* 49: 419.
- VAN HOUTERT, M., H. PERDOK and R. LENG. 1990. Factors affecting food efficiency and body composition of growing ruminants offered strawbased diets, supplementation with lipids with and without protein meal. *Animal Prod.* 51: 321.
- VAN SOEST, P.J. 1994. Nutritional ecology of the ruminant. Second edition. Comstock Publishing Associates Cornell University Press, Ithaca. EUA 475 pp.
- VON KEYSERLINGK, M.A., M.L. SWIFT, R. PUCLALA y J.A. SHELFORD. 1996. Degradability characteristics of dry matter and crude protein of forages in ruminants. *Amin. Feed Sci. Tech.* 57: 291.
- WU, Z., J. T. HUBER, F. T. SLEIMAN, J. M. SIMAS, K. H. CHEN, S. C. CHAN, y C. FONTES. 1993. Effect of three Supplemental fat sources on lactation and digestion in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 76:3562.

DETERMINACION DE LA FECHA DE COSECHA EN EL CULTIVO DE BORRAJA (*Borago officinalis* L.)

DETERMINATION OF HARVEST TIMELINESS IN BORAGE (*Borago officinalis* L.)

MARISOL BERTI D., JEAN PAUL JOUBLAN M., HUMBERTO SERRI G.
Y MIRIAM GONZALEZ C.

Facultad de Agronomía
Universidad de Concepción
Av. Vicente Méndez 595
Casilla 537, Chillán.

Summary

There is no reliable parameter to determine the best moment for harvesting and maximizing seed yield in borage. A field experiment was conducted during 1997 and 1998, at Chillán, Chile. The field design was a randomized complete block with four replicates. Treatments were six harvest dates, done every 7 days (crop stage 5:(1,4) through 5:n (8,25)). Crop stage refers to the mean position of the youngest flower on the apical cyme with mature or abscised seed where 5= seed maturation and abscission; 5:(1,0)= the first flower on the main stem is matured or abscised; 5:n:(8,25)= there are 8,25 flowers mature or abscised averaged in the secondary stems =n. Data collected included seed yield, thousand seed weight, moisture content, seed shattering, seed yield potential, plants/ ha, plant height, fresh and dry weight of the plants, seed oil content, fatty acids contents, harvest index and fruit set percentage. According to the results, the optimum harvest timeliness correspond to developmental stage 5: (8,5) and 5: (13,4) which had a seed yield of 180,7 kg. ha⁻¹, with 8,9 % moisture content and a thousand seed weight of 16,0 g.

Key words: *Borago officinalis* L., gamma-linolenic acid, oil, maturity, yield.

Ciencia e Inv. Agr. 25:119-126

INTRODUCCION

La borraja (*Borago officinalis* L.) es una planta anual de la familia Boraginaceae, nativa de Europa, el norte de Africa y Asia menor.

El ciclo de vida de la planta dura entre 120 a 150 días, y se divide en ocho estados y comprende las fases de germinación y emergencia, producción de hojas, ramificación, formación de inflorescencia, floración, maduración de semilla y abscisión, hojas senescentes y tallos senescentes Simpson, 1993a). En Europa florece en primavera, y se caracteriza por estar cubierta de tricomas en el tallo, hojas y cáliz. Sus flores son de color azul-violáceo o blanco, se agrupan en cima, es decir, entre 14-20 flores por tallo. Las flores más viejas se agrupan en la base mientras que las más jóvenes en la parte superior (Fieldsend, 1995).

Las hojas y flores de la borraja pueden ser utilizadas como alimento; pero el valor económico y agronómico radica principalmente en el aceite que se obtiene de sus semillas como fuente de ácido gamma linolénico (GLA), para aplicaciones clínicas y farmacológicas (Simpson, 1993b; Del Rio y De Haro, 1995).

El GLA es un ácido graso esencial, precursor de componentes indispensables para el organismo humano como las prostaglandinas y leucotrienos (Del Rio y De Haro, 1995).

Los leucotrienos son mediadores de las respuestas alérgicas e inflamatorias y las prostaglandinas tienen un conjunto de acciones como por ejemplo desempeñar un papel en la regulación del ciclo reproductivo en la mujer (Ganong, 1988). Por esto tienen un efecto en el tratamiento de numerosas enfermedades como: diabetes, reumatismo, artritis, alteraciones cardíacas, y otras (Del Rio y De Haro, 1995).

La fuente comercial más utilizada de GLA es el aceite de semilla de onagra (*Oenothera biennis*), que contiene 17-25% de aceite, del cual 7-10% es GLA. No obstante, la borraja tiene un 25-40% de aceite con 20-25% de GLA (Beaubaire y Simon, 1987; Del Rio *et al.*, 1993; Fieldsend, 1995). Sin embargo, Muuse *et al.* 1998, determinaron el contenido de GLA en 2,3 y 7,1%, respectivamente.

El cultivo de la borraja es limitado debido a la caída prematura y maduración desuniforme de la semilla, a su crecimiento vegetativo indeterminado y a su prolongado período de floración (Beaubaire

y Simon, 1987; Simon *et al.*, 1988). Estas características de crecimiento dificultan enormemente la cosecha y, más aún, llegar a explotar el rendimiento potencial del cultivo.

Sin embargo, la técnica tradicional del cultivo consiste en sembrar a inicios de primavera, cuando el suelo alcanza una temperatura de 8°C, en suelos fértiles, bien drenados, de texturas medias y libres de malezas, similar a los requeridos por cereales de primavera, considerando una dosis de semillas de 10 kg-ha⁻¹, con una densidad poblacional de 90.000 - 130.000 plantas por hectárea.

La fertilización en el cultivo de la borraja depende de factores como el suelo, clima, riego y costos de fertilización, lo que ha determinado que la fertilización nitrogenada varíe entre 40-100 kg-ha⁻¹ durante la preparación de suelo. Según Scott *et al.* (1973) no se debe agregar exceso de nitrógeno sobre los 200 kg-ha⁻¹, ya que disminuye el contenido de aceite; con respecto al fósforo y el potasio no se tienen antecedentes (Fieldsend, 1995).

La cosecha de la borraja se divide en dos etapas. La primera es cortar el material vegetal para permitir un secado uniforme y para la segunda etapa se emplea una cosechadora estacionaria o una automotriz, con un rendimiento promedio de 370 kg-ha⁻¹ (Beaubaire y Simon, 1987). Según Simpson, (1993) el momento óptimo de cosecha se presenta cuando la semillas de la 1° a 3° flor se encuentran maduras o ya se han caído, además deben tener un 8% de humedad, para evitar daños por calentamiento y crecimiento de hongos durante el almacenamiento. No obstante, existe otro método para cosechar la borraja, aspirando sus semillas directamente desde el suelo. Este método combinado con el método tradicional permitiría alcanzar un rendimiento potencial de 750 kg-ha⁻¹ (Beaubaire y Simon, 1987; Fieldsend, 1995).

Por lo tanto, para aumentar el rendimiento de la borraja, es necesario determinar el momento óptimo de cosecha, utilizando parámetros científicos, basados en el código que describe el desarrollo de la planta propuesto por Simpson, (1993a), puesto que, si se adelanta la cosecha, puede que fermente. Por el contrario, si se realiza demasiado tarde, se desgrana fácilmente.

De acuerdo a esto, el objetivo de esta investigación

fue determinar el momento óptimo de cosecha, de manera de poder realizar esta labor oportunamente, minimizando las pérdidas por desgrane y obteniendo el máximo rendimiento de semillas.

MATERIALES Y METODO

La investigación se realizó en la Estación Experimental de la Facultad de Agronomía, de la Universidad de Concepción, Campus Chillán, ubicada a 36°26' latitud sur y 72°06' longitud oeste, a 144 m.s.n.m., en un suelo serie Digiúllín.

Se utilizó una variedad mejorada de origen canadiense alta en contenido de aceite y GLA en las condiciones climáticas a las cuales está adaptada. La siembra se realizó el 26 de agosto de 1997. Cada unidad experimental constó de 3 hileras de 5 m de longitud separadas 0,5 m. La dosis de semillas fue de 2,3 kg-ha⁻¹, la siembra se realizó con una sembradora neumática de precisión (Gaspardo) a 50 cm entre la hilera y 15 cm sobre la hilera. El control de maleza se realizó en forma manual. Se utilizaron diez colmenas a menos de 1 km de distancia, con lo que se aseguró la polinización. El ensayo no fue fertilizado. En cuanto a los riegos, se realizaron por tendido, dos en el mes de diciembre y uno en enero.

El diseño experimental fue de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Para el contenido de aceite y su composición se analizó una sola muestra compuesta de las 4 repeticiones para cada tratamiento, debido al alto costo del análisis.

Para determinar el momento óptimo de cosecha se realizaron seis tratamientos, que correspondieron a seis fechas de cosecha a partir del 29/12/97 y cada siete días hasta el 02/02/98. La primera fecha se realizó a los 125 días después de la siembra y ésta correspondió al momento en que el 50% de las plantas de la hilera central tenían al menos una semilla negra o madura. Los parámetros evaluados fueron:

-Rendimiento de semilla: Se determinó cosechando 5 m lineales de la hilera central de cada unidad experimental.

-Potencial de rendimiento a cosechar: se calculó en base al rendimiento de semillas y el porcentaje de desgrane llevado a kilos por hectárea en cada tratamiento y repetición.

-El peso de 100 semillas: se obtuvo contando y pesando esa cantidad de granos en cada cosecha.

-El porcentaje de desgrane: se determinó utilizando un marco de 0,01 m², el que fue lanzado al azar cuatro veces sobre la hilera cosechada, donde se procedió a contar el número de semillas en esa superficie. Se obtuvo su peso a partir de 1.000 semillas y luego se llevó a porcentaje del rendimiento total obtenido en cada cosecha.

-El contenido de humedad de la semilla: Se determinó base peso húmedo. La semilla se secó en bolsas de papel por dos semanas aproximadamente a 35°C en invernadero.

- Número de plantas/ ha: Se contabilizó el número de plantas en la hilera central de cada unidad experimental.

-La altura de las plantas: Se determinó midiendo seis plantas seleccionadas al azar por tratamiento y repetición.

El análisis de concentración de aceites y composición de ácidos grasos, especialmente GLA, se realizó en Canadá, a través del método oficial A.O.C.S. (1989).

Para determinar el estado de desarrollo del cultivo se utilizó el código de desarrollo de la borraja descrito por Simpson (1993a) quien describe ocho estados, que van de germinación a tallos senescentes. El estado que está directamente relacionado con la cosecha de la borraja corresponde a semilla madura y caída y se define como estado número 5. Esta nomenclatura se refiere a la posición promedio de la flor más joven en la cima apical con semilla madura o ya caída; donde: 5= madurez y abscisión de semillas, 5: (1,0) = la primera flor del eje principal ya esta madura o ha caído, 5:n: (8,25)= hay en promedio 8,25 flores que se han caído o están maduras en los ejes secundarios, donde n= eje secundario.

Además se determinaron componentes del rendimiento, donde se evaluaron tres plantas de las hileras bordes por tratamiento y repetición, en las que se contabilizó el número de flores totales, (cerradas, abiertas y sin polinizar) y peso fresco y seco de la biomasa.

El peso seco de la biomasa se determinó secando el material en bolsas de papel por dos semanas aproximadamente en un ambiente a 35°C.

El peso fresco de la planta entera se obtuvo cortando la planta a 2 cm del suelo y fue pesada inmediatamente después de cosechada. Además se determinó índice de cosecha y el porcentaje de cuaja.

El índice de cosecha se define como la relación entre la producción de semilla o grano y la producción total de la planta o biomasa (Sadras y Connor, 1991); y el porcentaje de cuaja como la relación entre producción de semillas y flores; en este caso se relacionó número de flores abiertas con flores cerradas y sin polinizar, considerando al menos una semilla por flor abierta.

Los datos obtenidos se sometieron a un análisis de varianza y de comparación de medias utilizando el test de Duncan con un nivel de confianza del 95%.

RESULTADOS Y DISCUSION

Rendimiento de semilla. En el cuadro 1 se observa que el rendimiento aumentó hasta la cuarta cosecha (19/01/98) que correspondió al estado de desarrollo 5,13,4 alcanzando un rendimiento máximo de 189,9 kg·ha⁻¹; sin embargo, los rendimientos obtenidos en la 3^a, 4^a y 5^a cosecha, que correspondieron a los estados de desarrollo 5:(8,5): 5:(13,4) y 5:(18,6) no fueron diferentes entre sí.

Posteriormente el rendimiento disminuyó en la última cosecha. Esta disminución podría deberse al aumento del desgrane y la disminución del peso de mil granos durante este período.

El menor rendimiento se obtuvo en la primera cosecha alcanzando 80,3 kg·ha⁻¹ que correspondió al estado de desarrollo 5:(1,4). Este resultado difiere a lo obtenido por Simpson (1993b), y esto se puede haber debido al gran número de semillas inmaduras durante ese período en la planta, que al cosechar prematuramente se deshidrataron rápidamente, bajando considerablemente su peso.

Potencial de rendimiento. En el cuadro 1 se observa que el rendimiento de semillas aumentó a medida que el estado de madurez de la planta avanzaba, alcanzando su rendimiento máximo en las

dos últimas fechas de cosecha. Esto probablemente se deba al hábito de crecimiento indeterminado de la planta, en donde hay una constante producción de flores y semillas. Por lo tanto, el uso de múltiples cosechas, vale decir, el uso simultáneo de una aspiradora de semillas y una cosechadora estacionaria o una automotriz potenciaría la producción del cultivo.

De acuerdo a los datos obtenidos, el rendimiento potencial no coincide a lo obtenido por Beaubaire

y Simon (1987), que reportó 753,5 kg·ha⁻¹ y esto pudo deberse a la alta densidad de plantación utilizada en este ensayo, aproximadamente 87.000 plantas·ha⁻¹, favoreciendo una competencia interespecifica. Además, hay que considerar la falta de fertilización principalmente nitrogenada que pudo influir directamente en la producción o también a las diferentes condiciones climáticas de este ensayo respecto de las del ensayo citado.

Cuadro 1-Resultados de rendimiento de semillas, potencial de rendimiento, peso de mil semillas, desgrane y humedad de semillas de acuerdo a los distintos estados de desarrollo de la planta.

Seed yield, seed yield potential, thousand seed weight, shattering and seed moisture in different development stages.

Fecha de cosecha	Estado de desarrollo	Rendimiento kg · ha ⁻¹	Potencial Rendimiento kg · ha ⁻¹	Peso de mil semillas g	Desgrane %	Humedad a Cosecha %
29/12/97	5:(1,4)	80,3 c	126,0 d	16,9 a	65,3 c	28,1 a
05/01/98	5:(4,0)	129,6 b	246,5 c	16,3 a	16,9 c	28,4 a
12/01/98	5:(8,5)	171,5 a	304,9 bc	16,2 ab	81,6 c	8,6 b
19/01/98	5:(13,4)	189,9 a	334,9 b	15,9 ab	90,1 c	9,2 b
26/01/98	5:(18,1)	182,5 a	441,7 a	15,0 bc	145,6 b	4,2 b
02/02/98	5:n:(8,25)	128,7 b	473,7 a	14,7 c	277,2 a	3,9 b
C.V. (%)	7,06	19,18	22,92	4,77	26,03	44,80

C.V.: coeficiente de variación

Letras iguales para un mismo parámetro, indican que no hay diferencia entre las distintas épocas de cosechas, según Duncan (P=0,05)

Peso de mil semillas. En el cuadro 1 se observa que el mayor y menor peso se obtuvo en la primera y última cosecha, respectivamente, con una media de 15,9 g similar a lo obtenido por Del Río *et al.* (1993) y Fieldsend (1995). Sin embargo, no hubo diferencias significativas entre la 1ª y 4ª cosecha (P=0,05).

La variación de peso obtenida a través de las distintas épocas de cosecha pudo deberse a un mayor desgrane de semillas maduras y de mayor peso quedando en la planta las semillas más livianas e inmaduras.

Porcentaje de desgrane. El análisis de varianza arrojó diferencia entre tratamientos. El cuadro 3 indica que el menor y mayor desgrane se obtuvo en la primera y última cosecha, con 65,3 y 277,2% respectivamente entre la 1ª a la 4ª cosecha no hubo diferencias significativas, pero sí entre la 5ª y 6ª cosecha (P=0,05) con 145,6 y 277,2% respectivamente y que corresponden a los estados de desarrollo 5:(18,1) y 5:n:(8,5). Esto se puede atribuir principalmente a una respuesta fisiológica de la

planta por la acción de auxinas, etileno y por cambios en la sensibilidad de los tejidos a dichos reguladores del crecimiento (Azcon-Bieto y Talon, 1993).

De acuerdo a los datos obtenidos en este ensayo se alcanzó una pérdida promedio de 179,1 kg·ha⁻¹ lo que representa un 55% del potencial medio del cultivo, dato que concuerda con lo obtenido por Fieldsend (1995).

Contenido de humedad. Para el contenido de humedad, en el cuadro 1 se observa que a medida que el estado de madurez avanzó, el porcentaje de humedad disminuyó de 28,1 a 3,9%. Entre la 1ª y 2ª cosecha y entre la 3ª y 6ª cosecha no hubo diferencias significativas.

El porcentaje de humedad es muy importante para determinar el momento más oportuno de la cosecha. Según Beaubaire y Simon (1987) y Fieldsend (1995), el valor más oportuno es alrededor del 8% de humedad, que se alcanza en la 3ª y 4ª cosecha.

Número de plantas por hectárea. De acuerdo a los datos obtenidos en el Cuadro 1, la densidad poblacional media en este ensayo fue de 87.000 plantas/ ha, alta según Beaubaire y Simon (1987), quienes determinaron que la población óptima era de 37.000 plantas/ha en ensayos realizados en Indiana, Estados Unidos.

Esto explicaría en parte el bajo rendimiento obtenido en el presente ensayo, ya que Weber *et al.* (1986) sugieren que altas densidades favorecen la competencia entre plantas, afectando la producción de semilla, pero a la vez favorecen la acumulación de materia seca.

Altura de plantas. De acuerdo a los datos obtenidos, entre la 1ª y 2ª y de la 3ª a 6ª cosecha no hubo diferencias significativas entre sí ($P=0,05$).

Según, Fieldsend (1995), la altura máxima que puede alcanzar el cultivo es de 100 cm. La baja estatura que alcanzó la borraja, 58,3 cm como pro-

medio, pudo deberse a la falta de fertilización, principalmente nitrogenada y a la alta densidad de plantación. También es importante considerar las condiciones climáticas en que se desarrolló el cultivo, principalmente el factor temperatura, puesto que en el período comprendido entre los meses de noviembre a febrero, el promedio de las temperaturas máximas y mínimas fue de 26°C y 10°C respectivamente, suficientes como para provocar un estrés por las altas temperaturas, alterando el potencial de crecimiento de la planta (Azcon-Bieto y Talon, 1993).

Componentes del rendimiento

Peso fresco y seco de la planta. En el cuadro 2, se observa que para el peso fresco no hubo diferencias significativas entre la 1ª y la 5ª cosecha ($P=0,05$). En cuanto al peso seco, el máximo se alcanzó en la 1ª cosecha con 24,4 g, para luego descender, no encontrándose diferencias significativas entre la 2ª y la 6ª cosecha.

Cuadro 2 -Resultados de número de plantas por hectarea, altura de plantas, peso fresco y seco de biomasa, indice de cosecha y porcentaje de cuaja.

Number of plants, plant height, fresh and dry weight of biomass, harvest index, and fruit set percentage.

Fecha de cosecha	Estado de desarrollo	Nº de plantas / ha	Altura plantas cm	Peso fresco biomasa g	Peso seco biomasa g	Indice de cosecha %	Cuaja %
29/12/97	5:(1,4)	107200 a	53,1 b	121,1 a	24,4 a	6,1 c	41,2 c
05/01/98	5:(4,0)	109200 a	53,5 b	97,5 ab	14,6 b	12,9 ab	57,4 b
12/01/98	5:(8,5)	87200 bc	60,5 a	133,1 a	16,9 b	9,1 bc	52,7 b
19/01/98	5:(13,4)	98000 ab	59,8 a	108,3 ab	16,2 b	14,7 a	59,8 b
26/01/98	5:(18,1)	81200 bc	62,2 a	105,5 ab	15,6 b	13,9 a	56,5 b
02/02/98	5:n:(8,25)	73200 c	60,7 a	85,9 b	16,9 b	11,1 ab	76,1 a
C.V. (%)	7,06	13,20	3,36	20,27	22,71	21,87	13,08

C.V.: coeficiente de variación

Letras iguales para un mismo parámetro, indican que no hay diferencia entre las distintas épocas de cosechas, según Duncan ($P=0,05$)

Según Allen *et al.* (1971) los niveles de fotosíntesis y respiración aumentan después de floración especialmente en *Brassica napus*, contribuyendo al incremento de peso fresco y seco después de floración. Esta teoría es aplicable para la borraja según Beaubaire y Simon (1987). No obstante, los datos observados en este ensayo no muestran claramente esta tendencia. Esto puede tener explicación en la falta de fertilización, principalmente nitrogenada. El suelo donde se realizó el ensayo viene de una rotación sólo de cereales y remolacha. Existiendo en los dos últimos año trigo y avena, donde además

los rastrojos son quemados cada año, lo que podría explicar los bajos niveles de suministro de nitrógeno del suelo, factor de particular importancia en el desarrollo de la biomasa (Scott *et al.*, 1973). Además en el ensayo de Beaubaire y Simon (1987) la borraja fue fertilizada con 112 kg-ha⁻¹ de N.

Indice de cosecha. El cuadro 2 muestra que no hubo diferencias entre la 2ª, 4ª, 5ª y 6ª cosecha ($P=0,05$), con un promedio de 13,2 %, notándose que la producción de semilla representa una pequeña parte de la producción total de biomasa, y esto

se puede deber principalmente al alto porcentaje de desgrane, condición que puede variar, ya que a través de estudios genéticos se han producido variedades parcialmente indehiscentes. Del mismo modo se ha aumentado la variabilidad disponible respecto del contenido de aceite en la semilla (Del Río y De Haro, 1994).

Porcentaje de cuaja. De acuerdo a los datos obtenidos, se observaron diferencias ($P=0,05$) entre la 1ª y 6ª cosecha, alcanzando el menor y mayor valor respectivamente (41,2 y 76,1%) (Cuadro 2). Esto indica un buen porcentaje de cuaja a medida que aumenta el grado de madurez de la planta, lo que se debe principalmente a la disminución de las flores cerradas y sin polinizar (Figura 1), característico de un período de floración prolongado, facilitando la polinización y posterior fecundación, iniciándose así la división de las células del ovario y posterior crecimiento del fruto.

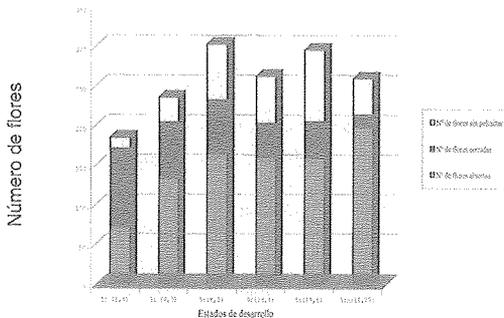


Figura 1.- Número de flores totales (cerradas, abiertas y sin polinizar) en distintos estados de desarrollo de la Borraja. Number of total flowers (closed, opened and non-pollinated), in different development stages in borage.

Análisis del contenido de aceite y ácidos grasos de la semilla. De acuerdo a los datos obtenidos (Cuadro 3), existe una tendencia positiva entre el contenido de aceite y GLA, resultado similar a lo obtenido por Muuse *et al.* (1988) (Figura 2). Esto es muy importante, ya que permite seleccionar material con altos niveles de aceite y GLA.

Además se observa que el máximo nivel de aceite y GLA se obtuvo en la primera fecha de cosecha con 33,1 y 18,46% respectivamente. El valor del GLA obtenido en este ensayo no es agrónomicamente comercial, ya que el nivel mínimo exigido

es de 22%. Según, Williams *et al.* (1988) y Azcon-Bieto y Talon (1993) esto se puede deber a la ausencia de bajas temperaturas durante floración y maduración de semilla y abscisión, y no a las rápidas variaciones de temperatura en el ambiente, provocando un aumento en la fluidez de las membranas y desnaturalización de proteínas y enzimas.

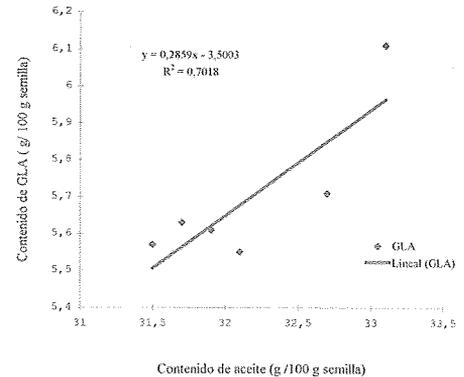


Figura 2.- Relación entre contenido de aceite y ácido gamma linolénico (GLA), en borraja.

Correlation between seed oil content and gamma linolenic acid (GLA) in borage.

Las alteraciones en la fluidez de las membranas se deben a cambios en la transición de fase de los lípidos, que depende de la relación fosfolípidos / esteroides, proteínas y el grado de saturación de los ácidos grasos. Las bajas temperaturas y las alteraciones enzimáticas aumentan el grado de insaturación de los lípidos membranosos. Al aumentar la insaturación de los lípidos membranosos aumenta la fluidez de la membrana y con ella la velocidad de desaturación.

También hay que considerar los niveles de ácido erúxico, ya que todos los valores alcanzados en las distintas épocas de cosecha están sobre el 2%. Esta concentración es considerada alta (Downey y Rimmer 1993) ya que está prohibido el consumo de aceite con más de 2% de ácido erúxico, porque está demostrado que este ácido graso puede producir disminución en la tasa de crecimiento y del apetito, alteraciones cardíacas (miopatía cardíaca, lipidosis cardíaca disminución de las reservas de glucógeno), alteraciones hepáticas y alteraciones del aparato reproductivo, en mamíferos (Parodi y Nebreda, 1988).

Cuadro 3 -Composición del aceite de semilla de Borraja en distintos estados de desarrollo
Borage seed oil composition in different development stages.

Estados de desarrollo	Contenido aceite %	γ C 18:3 %	C 16 %	C 18 %	C 18:1 %	C 18:2 %	C 20:1 %	C 22:1 %
5:(1,4)	33,1	18,46	11,26	4,52	19,57	36,12	4,22	2,70
5:(4,0)	32,7	17,49	11,43	4,83	20,49	35,80	4,18	2,68
5:(8,5)	31,5	17,71	12,03	4,39	20,28	35,37	4,18	2,84
5:(13,4)	32,1	17,30	11,75	4,61	20,95	35,29	4,18	2,80
5:(18,1)	31,7	17,78	11,88	4,56	20,05	35,38	4,19	2,95
5:n:(8,25)	31,9	17,61	11,76	4,59	20,61	35,10	4,19	2,95

γ C 18:3 ácido gamma linoléico
 C 18 ácido esteárico
 C 18:1 ácido oleico
 C 18:2 ácido linoleico
 C 22:1 ácido erúgico
 C 16 ácido palmítico

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el presente trabajo permiten concluir lo siguiente:

1. El momento óptimo para realizar la cosecha de borraja, desde el punto de vista de rendimiento de semillas, fue en la tercera y cuarta fecha de cosecha, que correspondieron a los estados 5: (8,5) y 5: (13,4), respectivamente, es decir cuando ya habían madurado entre 8,5 y 13,4 semillas en el eje central. En estos estados se alcanzó un rendimiento de 171,5 y 189,9 kg·ha⁻¹, respectivamente, con un contenido de humedad de 8,6 % para el primero y 9,2%. No obstante, el contenido de GLA no superó el 18,5 %, valor que no cumple con el estándar exigido comercialmente.

2. El desgrane influye directamente en el rendimiento, por lo que es un factor de suma importancia al momento de la cosecha.

RESUMEN

Para la borraja no se ha determinado un parámetro confiable que determine el momento óptimo de

cosecha, obteniendo el máximo rendimiento de semilla. Para determinarlo se llevó a cabo un ensayo en Chillán, Chile, durante la temporada 1997 y 1998. El diseño utilizado fue de bloques completos al azar con 4 repeticiones, realizándose una cosecha cada 7 días (6 en total), entre los estados de desarrollo 5: (1,4) y 5:n:(8,25). Esta nomenclatura se refiere a la posición promedio de la flor más joven en la cima apical con semilla madura o ya caída; donde: 5= madurez y abscisión de semillas, 5: (1,0) = la primera flor del eje principal ya esta madura o ha caído, 5:n: (8,25)= hay en promedio 8,25 flores que se han caído o están maduras en los ejes secundarios, donde n= eje secundario. Los parámetros evaluados fueron rendimiento y potencial de rendimiento, peso de mil granos, contenido de humedad, porcentaje de desgrane, número de plantas/ha⁻¹, altura de plantas, peso fresco y seco de plantas, contenido de aceite y ácidos grasos de la semilla, índice de cosecha y porcentaje de cuaja.

De acuerdo a los datos obtenidos, el momento óptimo para realizar la cosecha correspondió entre los estados de desarrollo 5:(8,5) y 5:(13,4); alcanzando un promedio en rendimiento de semilla, humedadranos de 180,7 kg . ha⁻¹, 8,9 % y de 16,0 g, respectivamente.

LITERATURA CITADA

- ALLEN, E.J., D.G. MORGAN y W.J. RIDGMAN. 1971. A physiological analysis of the growth of oilseed rape. *J. Agr. Sci.* 77:339-341.
- A.O.C.S. Official Method. 1989. Fatty acid composition by GLC. pg. 1-3.
- AZCON-BIETO, J. y M. TALON. 1993. Fisiología y Bioquímica Vegetal (1ª ed.) McGraw-Hill-Interamericana de España. Madrid, España.
- BEAUBAIRE, N.A. y J.E.SIMON. 1987. Production potential of *Borago officinalis* L. *Acta Horticulturae*. 208:101-113.
- DEL RIO, M., J. FERNANDEZ-MARTINEZ and A. DE HARO. 1993. Wild and cultivated *Borago officinalis* L.: Sources of gamma-linolenic acid. *Grasas y Aceites*. 44(2):125-126.

- DEL RIO, M. y A. DE HARO. 1995. Posibilidades medicinales de la borraja (*Borago officinalis* L.). Pp 360 In: VI Congreso de la Sociedad Española de Ciencias Hortícolas. Del 25-28 de abril, Barcelona, España. p. 360.
- DOWNEY, R.K. and S.R. RIMMER 1993. Agronomic improvement in oilseed brassicas. *Advances in Agronomy*. 50:1-54.
- FIELDSEND, A.F. 1995. Borage: a crop with a future?. *Biologist*. 42(5):203-207.
- GANONG, W.F. 1988. Fisiología médica (11ª edición). Edit. El Manual Moderno, S.A. de C.V. México. D.F.
- MUUSE, B.G., M.L. ESSERS And L.J.M. Van Soest. 1988. *Oenothera* species and *Borago officinalis*: sources of gamma-linolenic acid. *Nether. J. Of Agric. Sc.* 36:357-363.
- PARODI, P.C. y I.M. NEBREDA. 1988. Cultivares de raps para Chile libres de ácido erúxico en el aceite y glucosinolatos en el afrecho. Germoplasma de hábito de crecimiento primaveral. *Ciencia e Investigación Agraria*. 15(1): 11-21.
- SADRAS, V.O. and D.J. CONNOR. 1991. Physiological basis of the response of harvest index to the fraction of water transpired after anthesis: A simple model to estimate harvest index for determinate species. *Field Crops Research* 26:227-239.
- SCOTT, R.K., E.A. OGUNREMI J.D. INVINS y N.J. MENDHAM. 1973. The effect of fertilizers and harvest date on growth and yield of oilseed rape sown in autumn and spring. *J. Agric. Sci.* 81:287-193.
- SIMON, J.E., N.A. BEAUBAIRE, S.C. WELLER y J. JANICK. 1988. Borage; a source of gamma linolenic acid. p. 528 In: Janick, J., Simon, J.E. eds. *Advances in New Crops*. Purdue University Indianapolis.
- SIMPSON, M.J. 1993a. A description and code of development of borage (*Borago officinalis*). *Ann. Appl. Biol.* 123:187-192.
- SIMPSON, M.J. 1993b. Comparison of swathing and desiccation of borage (*Borago officinalis*) and estimation of optimum harvest stage. *Ann. Appl. Biol.* 123:105-108.
- WEBER, C.R., R.M. SHIBLES, and D.E. BYTH. 1966. Effect of plant population and row spacing on soybean development and production. *Agronomy Journal*. 58:99-102.
- WILLIAMS, J.P., M.U. KHAN, K. MITCHELL and G. JOHNSON. 1988. The effect of temperature on the level and biosynthesis of unsaturated fatty acids in diacylglycerols of *Brassica napus* leaves. *Plant Physiol.* 87: 904-910.

COMPENDIO DE NORMAS PARA LA PUBLICACION DE ARTICULOS: INSTRUCCIONES A LOS AUTORES

La Revista publica tres tipos de artículos y organiza simposios en temas específicos.

Tipos de artículos

- Artículos de Investigación
- Notas de Investigación
- Ensayos

Artículo de Investigación : Se define como tal a un escrito original¹ que comunica los resultados obtenidos en investigaciones particulares, y cuyo tratamiento de la información permite a la comunidad científica evaluar cabalmente las observaciones efectuadas, la metodología empleada, repetir los ensayos efectuados y especialmente sopesar si los datos obtenidos a partir de dichas observaciones justifican o soportan las conclusiones obtenidas. “*The contents of an article shall be new, true, important and comprehensible*” (De Barkey, 1976).

Para efectos de someter artículos a la revista, estos deben contener, en el orden que se indica, las siguientes partes:

- Resumen en inglés, de no más de 250 palabras
- Introducción, que incluya el planteamiento del problema, los antecedentes bibliográficos y los objetivos del trabajo.
- Materiales y métodos
- Resultados y discusión (juntos o por separado)
- Conclusiones (opcional)
- Resumen en español de no más de 250 palabras
- Literatura citada
- Una página con la lista de los títulos (en español e inglés) de todos los cuadros y figuras
- Finalmente, incluir los cuadros y las figuras, uno por página, en el orden que aparecen citados en el texto, indicando el número correspondiente con lápiz grafito.

Notas de Investigación : Corresponden a documentos que describen en forma sintética los resultados de una investigación completa. También se utilizan para describir o comunicar técnicas o metodologías de investigación así como para describir la observación de hechos, resultados o fenómenos únicos e irrepetibles. Para la revista, las notas de investigación no corresponden a resultados preliminares de artículos de investigación.

El procedimiento para presentar cuadros y figuras y el formato de las notas es el mismo que para los artículos de investigación y se detalla más adelante.

Ensayos: Se entienden como tales aquellos escritos donde se trata *in extenso* la investigación más reciente hecha sobre un determinado tema, en el cual los autores poseen una reconocida trayectoria de investigación en el tema tratado, avalada por sus publicaciones especializadas. Los autores del ensayo deben presentar una visión de la materia en forma tal, que englobe de manera dinámica, completa y matizada por sus experiencias, el estado del arte y los últimos avances en un determinado tema.

El procedimiento para presentar cuadros y figuras en ensayos así como el formato, es el mismo que para los artículos de investigación y se detalla más adelante.

La revista no publica revisiones bibliográficas en forma de ensayo. Se entienden como tales los escritos donde se expone o discute la investigación más actual en un determinado tema de interés para los autores, que no corresponde a una línea de investigación propia, en la cual por ende no poseen publicaciones especializadas ya sea individual o colectivamente.

Simposios : La revista organiza simposios en temas específicos, en los cuales participan autores invitados, enviando ya sean artículos de investigación o ensayos. Tanto el tema del simposio como los autores invitados son acordados por el Comité Editorial de la Revista.

Procedimiento:

Las personas que deseen publicar en la Revista Ciencia e Investigación Agraria deben pedir en la dirección administrativa de la revista el formulario “Solicitud de Publicación de Artículos”, el cual también se puede obtener por correo electrónico.

Los artículos deben enviarse con el siguiente material:

- a) Formulario de solicitud debidamente llenado.
- b) Tres copias impresas
- c) Copia magnética en diskette de 3,5” con la versión definitiva completa.

¹ Para efectos de la revista se entiende por “escrito original” el documento que cumple con los siguientes requisitos:

- a) Que el documento no haya sido publicado en otro medio de publicación científica.
- b) Cuyos resultados pueden haber sido presentados en Congresos o Seminarios Técnicos, siempre y cuando sólo se haya reportado un resumen del escrito. Además, una vez sometido el documento, los autores se comprometen a no enviarlo a otro medio de publicación científica, a menos que el escrito sea formalmente rechazado por el Comité Editorial.

Los artículos son sometidos a revisión crítica por referees asignados por el Comité Editorial, quienes bajo reserva de su nombre emiten su opinión y hacen las sugerencias de acuerdo al procedimiento de evaluación adoptado por la revista.

Según los resultados de la evaluación por los referees, la revista se reserva el derecho de publicar o rechazar los artículos.

El envío debe hacerse a :

Editor
Revista Ciencia e Investigación Agraria
Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal
Av. Vicuña Mackenna 4860- Macul
6904411 Santiago - Chile

o bien a Casilla 306 - Correo 22 - Santiago.

Estructura de los artículos

Idiomas : Son bienvenidos los escritos en español o en inglés

Encabezamiento del artículo

En la primera página del artículo, se deben incluir:

- **Título en español**, letra mayúsculas, en negrita, centrado.
- **Título en inglés**, letras mayúsculas centrado
- **Autores** : incluir nombres, apellido paterno, inicial de apellido materno, centrado
- **Nombre y dirección postal de la(s) institución(es) donde se realizó la investigación**. Si algunos de los autores pertenecen a otras instituciones, se deben usar superíndices a la derecha del nombre de cada uno indicando las respectivas instituciones y direcciones a pie de página.
- **Fuentes de financiamiento** deben ir a pie de página.
- **El resumen en inglés** debe ir antes del inicio de la introducción. Este resumen debe ser breve, no más de 250 palabras. (el resumen en español también debe contener menos de 250 palabras).
- **Palabras claves** : Se deben incluir cinco palabras claves en inglés, que se ubicarán inmediatamente después del resumen en inglés y antes de la introducción.

Instrucciones respecto al formato de escritura

- **Tipo de letra** : La revista imprime con el tipo de letra Times New Roman tamaño 10 puntos, sin embargo, los autores pueden usar otro tipo de letra de su elección, cuidando que sean claramente diferenciables los números 0 y 1 de las letra mayúsculas I y O, y que el tamaño permita una clara apreciación, tanto en pantalla como en papel, de los subíndices, superíndices, símbolos especiales, fórmulas matemáticas, notas al pie, etc.
- **Interlineado** : Todo el texto debe ir a espacio y medio. En los puntos aparte se saltará una vez el espacio anterior.
- **Justificación** : Todo el texto debe ir justificado a ambos lados, sin sangrías.
- **Nombres científicos** : En todas las partes del texto, los nombres científicos deben ir en letra itálica de acuerdo a la norma general (ej.: *Origanum vulgare* L., *Festuca rubra* var. *commutata* Gaud).
- **Compaginación** : No es necesario empezar cada sección del artículo en una página nueva.
- **Puntuación y números** : Los miles de unidades se indicarán con punto cuando corresponda y los decimales con comas, en todo el texto.
- **Unidades** : Las unidades deben expresarse de acuerdo a la norma ASA (American Society of Agronomy), la que utiliza puntos multiplicativos y potencias (ej. kg-ha⁻¹). La dirección administrativa de la revista dispone de un listado de unidades recomendadas por la ASA, que puede ser consultado o enviado a los autores, a petición de los mismos, sin cargo.
- **Abreviaciones** : Si se utilizan, deben ir entre paréntesis la primera vez que aparecen en el texto, precedidas de su significado. Ej. Ingrediente activo (i.a.)
- **Literatura citada**
 - La revista usa citar los autores de la siguiente forma : apellido e inicial del nombre para el primer autor e inicial del nombre y el apellido de los autores siguientes. Además se utiliza una sangría de 4 espacios en la segunda línea y siguientes de cada cita bibliográfica. Debe haber consistencia en toda la Literatura Citada.

Ejemplo :

Mac Donald, N.H., L.T. Frase, P.S. Glingrich y S.A. Keenan. 1982. The writer's workbench. Computer aids for text analysis. IEE Transactions on Communications (COM-30): 105-109.

- Los números de página deben escribirse completos (ej. 115-118 y no 115-18).
- Las abreviaciones de nombres de revistas deben estar de acuerdo a las normas establecidas o a la sugerencia de los editores de la propia revista citada.
- **Formato de Figuras y Cuadros**
 - Todos los cuadros y figuras deben presentar títulos en español e inglés.
 - En los cuadros, las letras o los asteriscos indicadores de significancia estadística no deben ser superíndices, sino ir al lado de los números.
 - Los números indicadores de notas explicativas al pie del cuadro deben ser números (1,2,3...) y superíndices, para no confundirlos con las letras o asteriscos de significancia estadística o con los algoritmos de datos del cuadro.
 - Se permite la utilización de los símbolos, * para "P<0,05", ** para "P<0,01" y *** para "P<0,001".

- Para los cuadros donde los datos son acompañados por la desviación estándar (los números tipo “ $\pm n,n$ ”), estos números deben ser en letra mas pequeña, para destacar el número principal. Ej: 12,75 \pm 3,34.
- Las figuras deben ser hechas con fondo blanco, no se aceptarán figuras con fondo tramado o de color. En caso de usar líneas, barras u otros tipos de gráfico en figuras, evitar el uso de colores o tonalidades grises para indicar diferencias. Preferir líneas o tramados distintos y claramente identificables.
- En cada cuadro, se debe evitar el uso de líneas verticales, espaciando las columnas.

Instrucciones para la copia magnética (diskette)

- El documento deberá presentarse preferiblemente en Word o Excel
- Los cuadros deben estar contenidos al final del texto o en un archivo separado del texto, un cuadro por página.
- En el caso de las figuras, deben presentarse solamente como archivos separados del texto.
- Los autores deben tener presente que las figuras serán reducidas, por lo que se recomienda usar líneas gruesas y distinguibles, tanto para el dibujo como para la simbología y leyendas dentro de la figura. Se recomienda que las figuras sean de tamaño aproximado de una página carta.
- Excepcionalmente se aceptarán figuras en colores provenientes de fotografías y diapositivas para publicación. Los costos de impresión a color son de cargo de los autores.

Reprints

La revista le ofrece a los autores la posibilidad de adquirir apartados o reprints de sus artículos. El costo de impresión es de cargo de los autores, y varía de acuerdo a la longitud o número de páginas que ocupa el artículo en la revista y a la presencia de fotografías a color

Retiro de artículos

- 1.- Los trabajos no aprobados por el Comité Editorial para publicación en la revista Ciencia e Investigación Agraria no serán devueltos a los autores.
- 2.- Al solicitar la publicación en Ciencia e Investigación Agraria los autores declaran expresamente conocer que su artículo será evaluado por referees designados por el Comité Editorial, quienes recomendarán la publicación y sugerirán correcciones.. Estas serán dadas a conocer a los autores para efectuar las modificaciones pertinentes al trabajo.
- 3.- Si no se reciben las modificaciones solicitadas a los autores dentro de los plazos establecidos por el Comité Editorial, la revista Ciencia e Investigación Agraria se reserva el derecho de proseguir con el proceso de publicación.
- 4.- En todo caso, una vez recibidas las correcciones por parte de los autores, y enviado el artículo a imprenta, no se aceptará el retiro del trabajo ni modificaciones al mismo.