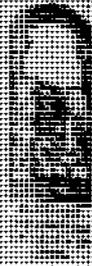


INSTITUTO NACIONAL
DE CIENCIAS AGRARIAS Y
TECNOLOGIA
CALLE 1010
BOGOTÁ, COLOMBIA



CIENCIA E INVESTIGACION AGRARIA

VOLUMEN 10 N° 2 SUPLEMENTO DICIEMBRE 1981 PAG. 125-134

REVISTA DE INVESTIGACIÓN

Estudio de sistemas "Fertilizante Programado" en cereales negros de zona
de montaña 125

Estudio de fisiología y calidad de vainilla
Castaño, Ochoa y Castro-Fernandez 128

Estudio de algunas especies de plantas raras y amenazadas de extinción
de la zona de Bogotá 131

Estudio de la fisiología de la planta de la zona de Bogotá 132

El desarrollo de la fisiología de la planta de la zona de Bogotá 133

NOTA DE INVESTIGACIÓN

Estudio de fisiología de la planta de la zona de Bogotá 134

REVISTA

El desarrollo de la fisiología de la planta de la zona de Bogotá 135

Estudio de la fisiología de la planta de la zona de Bogotá 136

REVISTA TECNOLÓGICA CULTURAL DE ZONA

ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN

ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
FACULTAD DE AGRONOMÍA

CIENCIA E INVESTIGACIÓN AGRARIA

COMITÉ EDITOR

Oswaldo Paladines
José Rodríguez
Christian Krarup
Carlos Budge

Jorge Pérez
Horacio Urzúa, Editor
Irma Soza, Secretaria Ejecutiva

CONSULTORES TÉCNICOS

Han sido consultores técnicos del Volumen 14, además de los Profesores de la Facultad de Agronomía, las siguientes personas:

Anrique, René	Gatti, Riccardo	Rojas, Carlos
Bascuñán, Jaime	Goic, Ljubo	Razetto, Bruno
Berger, Horst	Hargreaves, Antonio	Sapag-Hagar, Mario
Besoain, Eduardo	Herrera, Miguel Ángel	Santibáñez, Fernando
Bonilla, Sergio	Jahn, Ernesto	Schultz, Pablo
Bravo, Alonso	Manterola, Héctor	Troncoso, Javier Luis
Crempien, Cristian	Miranda, Oscar	Valenzuela, Alejandro
Cossio, Fernando	Moreno, Raúl	Varas, Luis
Eyzaguirre, Jaime	Novoa, Rafael	Vicuña, Rafael
Escudey, Mauricio	Pokniak, José	

PROPIETARIO

FACULTAD DE AGRONOMÍA PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE

Representante Legal
Juan de Dios Vial C.
Director Responsable
Juan Ignacio Domínguez C.

OFICINAS:

Vicuña Mackenna 4860
Santiago, Chile

Toda correspondencia relacionada a la revista debe dirigirse a:

all mail concerning this publication must be addressed to:

REVISTA CIENCIA E INVESTIGACIÓN AGRARIA

Facultad de Agronomía

Casilla 6177

Santiago, Chile

SUSCRIPCIONES:

Terms of subscription:

Chile:

\$ 200

\$ 600

Extranjero:

Other countries:

US\$ 4, single number

US\$ 15, anual subscription

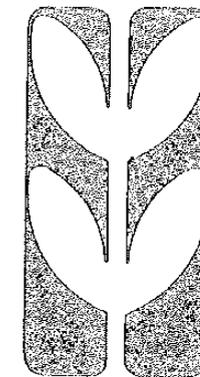
Abreviatura recomendada: Cienc. Inv. Agr.

AGRADECEMOS CANJE - WIR BITEN UM AUSTAUSCH - EXCHANGE

SOLICITED - ON DEMANDE L'ECHANGE - GRADIREMMO CAMBIO

Se autoriza la reproducción y cita del material que aparece en Ciencia e Investigación Agraria, siempre que se indique el nombre del 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 implican una recomendación por parte de la Universidad.

CIENCIA E INVESTIGACION AGRARIA



Volumen 14 - Nº 3

CIENCIA E INVESTIGACIÓN AGRARIA

Septiembre-Diciembre 1987

RESEARCH

Fertigation scheduling of trickle irrigated table grapes.
Luis Gurovich.

Stochastic efficiency and the selection of crop varieties.
Claudio Ortiz y Emilio Francisco.

Dispersion of some Chilean andisols with sodium hexametaphosphate and zirconium nitrate.
Gerardo Galindo, Ricardo Honorato y Rodrigo Millán.

Tautochron: a biomathematical concept to define precocity of annual crops.
Aldo Norero.

RESEARCH NOTES

Nitrogen fixation in pastures of southern Chile.
Horacio Urzúa, Manuel Ruiz y René Bernier.

ESSAYS

Animal production in the XXI century.
Osvaldo Paladines.

An up dating on growth hormone and milk production in dairy cows.
Rubén Pulido y Fernando García.

ARTICULOS DE INVESTIGACIÓN

APLICACIÓN DEL SISTEMA "FERTIGACIÓN PROGRAMADA"
EN PARRONALES REGADOS POR GOTEO

FERTIGATION SCHEDULING OF TRICKLE IRRIGATED TABLE GRAPES

LUIS A. GUROVICH
Departamento de Fruticultura y Enología
Facultad de Agronomía
Pontificia Universidad Católica de Chile
Casilla 6177, Santiago, Chile

SUMMARY

Application of a model for the programmed scheduling of irrigation and fertilization in table-grapes under drip irrigation systems is described. The model is based on the daily reposition of actual ET and nutrient requirements of table grapes, both estimated from data measured at each irrigation sector conforming a drip irrigation system. The measured data is incorporated into time functions, that describe cultivar Kc values and annual fertilization programs.

The use of the fertigation scheduling model also allows a daily control of the actual operation of the drip irrigation system, in relation to water application time, water discharge and the volume of concentrated fertilizer solution, actually used each day.

The computational data processing enabled sending to the farmer specific instruction for the operation of each irrigation sector, in relation to application cycling, total time span of each irrigation cycle, and the precise volume of the concentrated fertilizer solution, that must be applied every day throughout the season. In the same way, a weekly analysis of the actual fertigation practices permits: 1) effective daily operation, as compared to the instructions sent to the farmer, and 2) keeping a cumulative data file of relevant operational parameters of the irrigation systems, from the beginning of the season to date.

Application of the fertigation scheduling model described in this paper, on more than 1.000 hectares of drip irrigated table grapes in Chile, has resulted in a readily adopted technique of controlled application of irrigated water and fertilizer to crops, in an area where water resources are scarce.

Among the results obtained with fertigation management based on the system discussed in this paper, table grape yield and high quality are to be mentioned. Irrigation water use, energy consumption and fertilizer applications are aimed to optimize yield and quality, as well as to an equilibrated vegetative vine growth.

INTRODUCCIÓN

Un estudio publicado por la revista *Irrigation Journal* (1986) indica que se estaban regando por goteo en el mundo 417.000 hectáreas ese año; los huertos frutales y los parronales son los principales cultivos regados con este sistema de riego mecánico de baja presión. En Chile se estima que el área total regada por goteo es de 7.500 há; en más del 80% de esta superficie (6.000 há), se cultiva uva de mesa conducida en el sistema de "parronal español".

En el manejo de la vid regada por goteo, han sido descritos en la literatura varios resultados de interés. Goldberg *et al.* (1971) indican que la eficiencia en el uso de agua (kg de uva por m³ de agua aplicado) se incrementa más de un 45% con este sistema de riego; esto se debe al mejoramiento de la eficiencia de aplicación, que funciona con mínimas pérdidas. También se postula que los aumentos de eficiencia obtenidos, pueden deberse a la adecuación entre los requerimientos reales de agua del parronal y los aportes diarios, altamente controlados, que son posibles con el riego por goteo.

Cuando en una plantación de uva de mesa de 6 años de edad se ha cambiado el sistema de riego por surcos a un sistema de riego por goteo, ha sido posible reducir el criterio o umbral de riego en un 20%, sin afectarse los rendimientos (Smart, 1974). Para ello, ha sido necesa-

$$Y_r = 0,09 + 1,65*(SET) - 0,70(SET)**2 + 0,05(F) - 0,06*(F)**2$$

El rendimiento máximo (12.200 kg/há, en un período de producción de 163 días) se obtiene con 1,15 SET y un intervalo de riego de 3 días.

El manejo programado del riego por goteo en plantaciones de uva de mesa cv. Thompson Seedless en Delano, California, es discutido por Luvisi *et al.* (1985); las aplicaciones de agua en diferentes proporciones de la evapotranspiración real, en tres estados fenológicos, se estudian en relación con el desarrollo vegetativo, el rendimiento final y sus componentes. Se observa un efecto muy significativo sobre el desarrollo de las parras; el riego con 0,5 ET, resulta insuficiente para lograr un cubrimiento completo del parronal, y se obtiene un crecimiento exagerado de los brotes, cuando se usa una aplicación de agua equivalente a 1,5 veces la ET.

sario diseñar una estrategia o régimen del riego (frecuencia y duración) ajustada a los requerimientos reales de agua del parronal.

Las pérdidas por percolación profunda, bajo la zona de arraigamiento de vides establecidas y en producción, son minimizadas con el uso del sistema de riego por goteo, al compararse las eficiencias de aplicación de agua entre diferentes métodos de riego (Pcacock *et al.*, 1977). Esta reducción en la percolación profunda generalmente está asociada a una mayor eficiencia en el uso de los fertilizantes nitrogenados.

El artículo presentado por Bucks *et al.* (1985), en un estudio de 4 años de duración realizado en Phoenix, Arizona, en un suelo franco arenoso, compara sistemas de riego por surcos y por goteo en una plantación de uva de mesa cv. Perlette en plena producción. Se considera tres niveles de riego total, tres frecuencias de riego y dos descargas de goteros (3,8 y 7,6 l/hr) por planta. Las cantidades de riego se basan en proporciones de la evapotranspiración efectiva, estimada a base del uso de modelos climatológicos.

Los resultados presentados por estos autores permiten expresar los rendimientos relativos en función de la evapotranspiración total para el período entre brotación y cosecha (SET) y la frecuencia de riego (F), de acuerdo con la expresión:

El tamaño de las bayas es coincidente con el desarrollo vegetativo obtenido con los diferentes tratamientos; este efecto es muy evidente si el estrés hídrico coincide con los períodos de brotación a cuaja de la flor y de cuaja de flor a pinta de grano. Los tratamientos de riego deficitario (0,5 ET) afectan también la uniformidad del racimo e inciden en su coloración, por la falta de cubrimiento foliar completo.

De acuerdo a los resultados de las investigaciones comentadas anteriormente, puede deducirse que si el riego y la aplicación de fertilizantes se efectúa en forma programada, de acuerdo a estimaciones razonables de los requerimientos reales de agua y nutrientes de la vid, es posible alcanzar rendimientos y precocidad de cosecha óptimos desde el punto de vista de mercado, asociados con un desarrollo vegetati-

vo equilibrado, que tendrá su expresión sobre el rendimiento de la temporada siguiente (Gurovich *et al.*, 1986a).

El modelo de programación de la fertigación (riego y fertilización) se ha desarrollado a base del análisis de modelos de programación del riego utilizados en diferentes cultivos, en la agricultura de regiones en las que el agua es un factor limitante de la producción (Fishback *et al.*, 1980; ASAE, 1981; Salazar *et al.*, 1984). Asimismo, los resultados de la aplicación del sistema FERTIGACIÓN PROGRAMADA, obtenidos en las anteriores temporadas de producción, han sido integrados a las funciones principales que componen el sistema de manejo de la fertigación, en una forma de retroalimentación.

El objetivo de este artículo es analizar algunos resultados de producción y costos, en plantaciones de vid que han utilizado el sistema de manejo programado de la fertigación.

EL MODELO "FERTIGACIÓN PROGRAMADA"

El modelo de predicción de requerimientos hídricos y nutricionales de los parronales, que se asocia también al control de funcionamiento de los equipos de riego por goteo, ha sido descrito en detalle por Gurovich *et al.* (1986).

El sistema FERTIGACIÓN PROGRAMADA, en sus aspectos hídricos, se basa en la estimación diaria del consumo efectivo de agua de cada sector de riego y su reposición, también diaria, con el funcionamiento del equipo de riego, de acuerdo a sus características específicas de descarga.

El consumo efectivo de agua del parronal se determina a través del procesamiento computacional de datos obtenidos diariamente en bandejas evaporimétricas y lecturas de tensiómetros. La operación efectiva del equipo de riego queda definida por los datos de:

- 1) el tiempo efectivo de operación del día anterior,
- 2) el volumen efectivo de agua aplicada el día anterior, de acuerdo a las lecturas de totalizadores de volumen ubicados en los cabezales de control.

En sus aspectos nutricionales, el sistema FERTIGACIÓN PROGRAMADA se basa en

modelos de requerimientos diarios de N, P, y K de los diferentes cultivares de vid, asociados a la respuesta en desarrollo medido en brotes y bayas específicos en cada sector de riego. La operación efectiva de la aplicación diaria de fertilizantes queda definida por el volumen de solución concentrada de nutrientes, inyectada diariamente en cada sector de riego.

El uso de este sistema, con los datos obtenidos diariamente en el campo, permite:

- 1) definir las normas de operación del equipo de riego para cada día de la semana siguiente;
- 2) realizar el control de la operación efectiva del equipo, y
- 3) registrar el resumen actualizado de la fertigación, desde el comienzo de la temporada a la fecha.

RESULTADOS

La producción de uva de mesa en el Norte Chico chileno persigue cuatro objetivos, cuya combinación determina la rentabilidad de esta actividad productiva. Estos objetivos son:

- 1) máxima productividad (Ton/hectárea), acorde con una;
- 2) óptima calidad (% de uva clasificada en las mejores calidades);
- 3) precocidad de cosecha (la fecha de cosecha y llegada a los puertos de destino, en las mejores condiciones físicas y fitosanitarias de la uva, en aquellos aspectos que pudieran estar afectados por un programa de fertigación específico), y
- 4) mínimos costos de producción (interesa, en el caso de la fertigación programada, el costo de la energía y el costo de la fertilización).

Productividad

En el Cuadro I se resumen algunos de los valores de productividad promedio, correspondientes a los sectores de riego en que se utilizó el sistema FERTIGACIÓN PROGRAMADA en las temporadas 1985-1986 y 1986-1987. Los niveles de producción de los diferentes cultivares y localidades son significativamente elevados en la mayoría de los casos, en cada una de las zonas respectivas.

Los resultados presentados en el Cuadro I son solamente descriptivos, de acuerdo con los

CUADRO 1
PRODUCCIONES PROMEDIO DE SECTORES
EN QUE SE UTILIZÓ EL SISTEMA
FERTIGACIÓN PROGRAMADA

Average yield for drip irrigated plots, operated using
the SCHEDULED FERTIGATION system

Localidad Cultivar	Temporada			
	1985 - 1986		1986 - 1987	
	ton/há	cajas/há*	ton/há	cajas/há.*
Copiapó**				
Thompson s.	19,83	2418	19,42	2368
Ribier	8,35	1018	8,49	1036
Paihuano				
Thompson s.	8,19	999	9,43	1151
Ribier	6,35	774	6,65	811
Flame s.	7,76	946	8,76	1068
Perlette	5,51	672	4,53	553
Vicuña				
Thompson s.	12,30	1499	19,74	2407
Ribier	15,10	1841	11,94	1456
Flame s.	13,01	1587	14,27	1744
Black s.	3,46	422	6,83	833
El Palqui				
Thompson s.	20,14	2456	20,47	2499
Flame s.	17,61	2148	17,96	2193
Lonquén**				
Thompson s.	9,18	1119	11,89	1450
Flame s. (1985)	—	—	8,20	1000

*La caja de uva de exportación corresponde a un peso neto de 8.2 kg.

**Incorporado al uso del sistema FERTIGACIÓN PROGRAMADA sólo en la temporada 1986-1987.

objetivos de este trabajo; no se pretende comparar diferentes tratamientos de fertigación ni realizar una comparación cuantitativa con predios en que el riego y la fertilización se realizó con programación.

a) *El caso de los cultivares Thompson y Flame seedless*

Los rendimientos de los cultivares Thompson y Flame seedless, en cada temporada y localidad, son significativamente altos, si se considera que su cosecha finaliza el 25 de enero en todas las localidades, para lo cual ha sido necesario limitar en forma significativa el nú-

mero de racimos en relación con la fertilidad natural de las yemas frutales.

En el cultivar Thompson seedless, los rendimientos de uva exportada en la temporada 1986-1987 son bastante similares en Copiapó, Vicuña y El Palqui (19,42; 19,74 y 20,47 Ton/há, respectivamente). Si se compara la productividad de las dos temporadas, se puede estimar la significativa estabilidad en los rendimientos de este cultivar en las mismas localidades anteriores, con un incremento en Vicuña de 36,7%.

Los rendimientos de uva Thompson seedless, para las tres localidades analizadas en el párrafo anterior, representan un nivel de pro-

ductividad alto, en relación con los niveles obtenidos en las respectivas localidades e incluso en la zona central del país, por agricultores de similar nivel tecnológico. En la zona central el objetivo de precocidad no es de fundamental importancia, sino la obtención de productividad máxima.

En Paihuano y Lonquén la productividad alcanzada en el cultivar Thompson seedless es 9,43 y 11,89 ton/há, respectivamente. La causa de este rendimiento comparativamente bajo, está relacionada con las características de fertilidad de los suelos en que se encuentran estas plantaciones. En el concepto de fertilidad se integran la fertilidad física (especialmente su capacidad de retención de agua) y química (contenido y transformación de nutrientes esenciales) de los suelos.

Se trata de sectores plantados en cajas de río, con una pedregosidad superior al 90%, en áreas clasificadas con Capacidad de Uso VIII, o sea, suelos sin aptitud para cualquier cultivo agrícola. La incorporación de estos suelos a la producción de uva de mesa sólo ha sido posible gracias a la utilización de equipos de riego mecánico de descarga localizada (goteo y microjet), que tienen la posibilidad de una operación en varios ciclos diarios en un mismo sector de riego, ya que estos suelos tienen una capacidad de retención de agua inferior a los requerimientos evapotranspirativos diarios del parronal.

El significativo aumento en el rendimiento de los cultivares Thompson y Flame seedless, en las localidades de Paihuano y Lonquén, que se observa entre las dos temporadas de riego consideradas, se debe, en el caso de Paihuano, a modificaciones específicas realizadas al sistema FERTIGACIÓN PROGRAMADA, para incluir funciones adicionales, relacionadas con las características de los suelos descritas en el párrafo anterior. Estas mismas funciones se incorporaron en el sistema FERTIGACIÓN PROGRAMADA utilizado en el caso de los parronales de Lonquén, en los que se usó esta herramienta de manejo sólo en la última temporada (Gurovich, 1987).

En las localidades de Paihuano y Lonquén, a los cuatro objetivos de producción mencionados al comienzo de la sección de Resultados de este artículo, se incorporó un objetivo adicio-

nal, que se refiere al mejoramiento del material vegetal de poda para la temporada 1987-1988, por lo que se estableció un nivel de producción más limitada, para vigorizar el desarrollo vegetativo de las plantas. Este objetivo se cumplió ampliamente en ambos casos.

b) *El caso del cultivar Ribier*

La disminución de rendimientos observada en el cultivar Ribier en Vicuña, y el escaso rendimiento en Paihuano, se debe a la decisión del productor de utilizar una lámina de reposición de sólo un 80% del agua evapotranspirada efectivamente por el parronal (Cuadro 2).

El resultado de producción en el cultivar Ribier, en conjunto con otros resultados que se discuten más adelante en este artículo, indica que la estimación de los requerimientos evapotranspirativos del parronal es muy cercana al valor real.

A través del uso del sistema FERTIGACIÓN PROGRAMADA se ha logrado superar el problema de "millerandaje" o aborto floral, característico del cultivar Ribier. Este problema ha podido ser superado con un tratamiento de estrés hídrico, inducido en el período comprendido desde 10 días antes de la apertura de la caliptra, hasta el fin de cuaja de la flor; la magnitud del estrés corresponde a un riego restringido de 40 a 60% de los requerimientos evapotranspirativos máximos del parronal.

Sin embargo, a pesar de haberse superado el problema del aborto floral, con la técnica de riego restringido al comienzo de la etapa reproductiva anual, ha alcanzado un límite de producción para el cultivar Ribier en la zona norte. Esta situación, combinada con su precio de mercado, se traduce en una menor rentabilidad, comparada con el resto de los cultivares. Una conclusión similar resultó del análisis de la temporada 1985-1986 (Gurovich *et al.*, 1986) y, efectivamente, los productores están comenzando a reemplazar sus cuarteles de Ribier o a injertarlos con cultivares de mejor rentabilidad.

Precocidad

En la producción de uva de mesa en el Norte Chico además del rendimiento total exportable, interesa la precocidad y el ritmo de cose-

CUADRO 2
 APLICACIÓN DE AGUA DE RIEGO EN LA TEMPORADA 1986-1987
Irrigation water use for 1986-1987 season

Localidad Cultivar	ET real* (m ³ /há)	V aplicado (m ³ /há)	% exceso o (déficit)	Ey**
Copiapó				
Thompson s.	11215	12219	13,2	1,50
Ribier	10243	10837	5,5	0,78
Paihuano				
Thompson s.	8954	9646	6,2 (21,6)	0,99
Ribier	8350	6869	0,8	0,97
Flame	9130	9203	1,8	0,95
Perlette	8930	9091		0,50
Vicuña				
Thompson s.	8730	8688	—	2,28
Ribier	6777	5695	(19,5)	2,10
Flame	7603	7575	—	1,88
Black	7958	8038	1,0	0,85
El Palqui				
Thompson s.	5682	5626	—	3,64
Flame s.	5149	5876	12,4	3,06
Lonquén				
Thompson s.	6505	9883	34,2	1,20
Flame s.	6220	8618	27,8	0,95

*Estimada a través del uso del sistema "Fertigación Programada".

**Ey es el coeficiente de utilización del agua de riego, definida por Viets *et al.* (1965), como la relación entre el peso de la producción y el volumen de agua de riego aplicado.

cha, persiguiendo el objetivo de embarcar la mayor cantidad de fruta en los primeros barcos. Las diferencias semanales de precios, hasta la producción desembarcada en destino el 20 de enero, significaron US\$ 183 por tonelada (el equivalente US\$ 1.5 por caja cada semana de adelanto). A modo de ejemplo, en las Figuras 1 y 2, se presenta el ritmo de cosecha para los cultivares Thompson y Flame seedless en la localidad de El Palqui, en las temporadas 1985-1986 y 1986-1987.

Respecto al inicio de la etapa de cosecha, debe hacerse notar que en la última temporada hubo un adelanto generalizado en todos los cultivares y localidades, producto de una primavera relativamente fría en su inicio (septiembre y 2 primeras semanas de noviembre)

seguido por meses de verano muy calidos y secos.

El ritmo de maduración resulta influenciado por el manejo de la fertigación, por medio de una técnica de riego ligeramente deficitario (80% de los requerimientos de ET, aplicados diariamente), con un intenso control del incremento diario en la concentración de azúcar en la baya. Esta técnica se inicia en el momento que en la baya hay 14 grados Brix de azúcar y se mantiene hasta que el incremento en la concentración de azúcar entre 2 días consecutivos se paraliza, inmediatamente se riega con el 100% de la evapotranspiración, repitiendo el proceso 2 a 3 días después, hasta completar la cosecha.

Los resultados presentados en las Figuras 1

y 2, para la localidad de El Palqui son muy similares para el resto de las localidades y cultivares en que se realizó un manejo programado de la fertigación. La disminución en la duración de la etapa de cosecha, con la técnica de riego restringido, es eficiente, pero requiere un especial cuidado, ya que se ha observado una tendencia al desgrane de los racimos en sectores en que se ha mantenido el riego deficitario por dos o más días, una vez que el incremento en concentración de azúcar se ha detenido. El muestreo constante, 3 a 4 veces por día, y en mínimo de 150 bayas por sector, parece ser indispensable para regular en forma precisa la duración del riego restringido.

Los ritmos de cosecha presentados en la Figura 1 y 2 para ambas temporadas en los cultivares Thompson y Flame seedless, en la localidad de El Palqui, indican un inicio de cosecha muy similar, pero con una forma de producción inferior en los primeros días para la

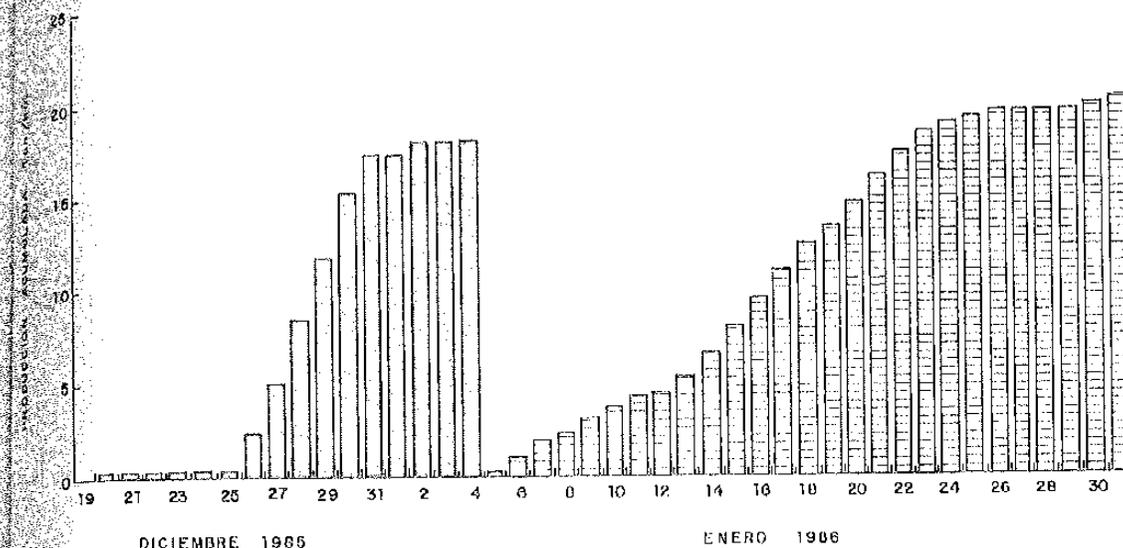


FIGURA 1
 RITMO DE COSECHA. LOCALIDAD "EL PALQUI"
 TEMPORADA 1985-1986

Harvesting rate. "El Palqui"
 1985-1986 season

temporada 1985-1986 en relación con la siguiente. La duración total de la temporada de cosecha, desde su inicio hasta que se completó el 85% del rendimiento final, fue de 19 y 10 días para el cultivar Thompson seedless en ambas temporadas, período muy favorable desde el punto de vista de mercados y de funcionamiento del equipo de embalaje (packing).

La evapotranspiración efectiva del parronal (Gurovich *et al.*, 1986) estimada por medio de lecturas diarias de evaporímetros de bandeja y de la función continua del coeficiente Kc del parronal, permite establecer normas o instrucciones para el riego de reposición diario de la ET en cada sector de riego. En el Cuadro 2 se presenta una comparación entre el volumen total de agua, definido por el sistema FERTIGACIÓN PROGRAMADA como la evotranspiración efectiva del parronal, y el volumen total de agua aplicado por el productor, para toda la temporada de riego.

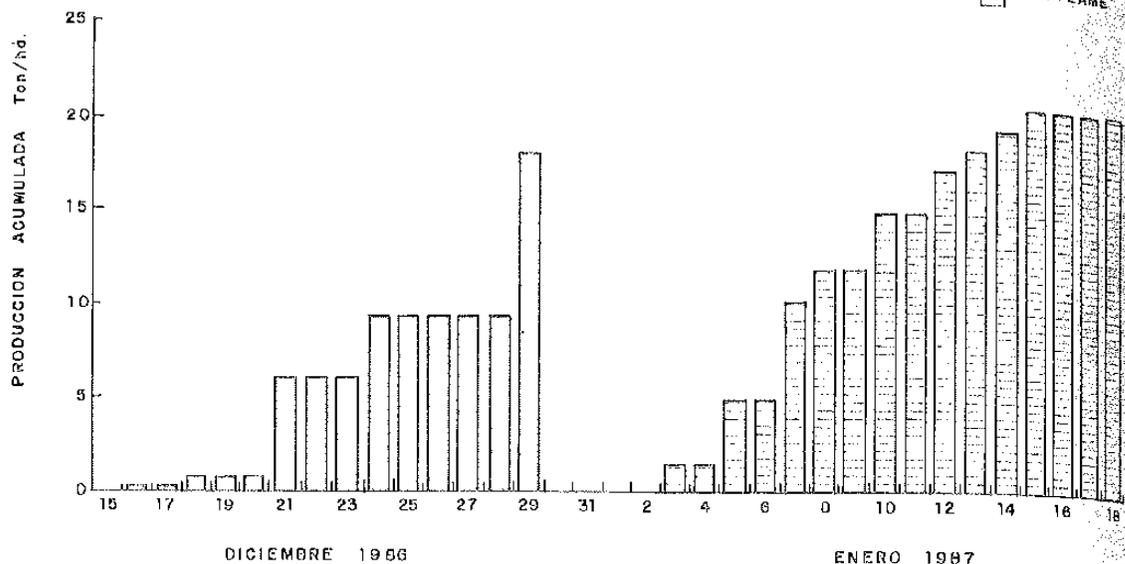


FIGURA 2
RITMO DE COSECHA. LOCALIDAD "EL PALQUI"
TEMPORADA 1986-1987

Harvesting rate. "El Palqui"
1986-1987 season

Aquellos productores que utilizaron el sistema FERTIGACIÓN PROGRAMADA por segundo o tercer año consecutivo, aplicaron las normas de operación diaria con exactitud, como es el caso de las localidades de Paihuano, Vicuña y El Palqui. Las otras dos localidades corresponden a productores que sólo en la temporada 1986-1987 se incorporaron al uso de este sistema programado del manejo de la fertigración y, por ello, aplicaron un exceso de agua por sobre las normas de operación diarias, calculadas con el uso del sistema FERTIGACIÓN PROGRAMADA, con el objeto de compensar eventuales errores que el sistema pudiera tener en el caso de sus predios. Los resultados de producción, calidad y precocidad obtenidos, indican que la estimación de los requerimientos de agua que hace el sistema FERTIGACIÓN PROGRAMADA, se ajusta significativamente bien a los requerimientos reales de los diferentes cultivares y localidades.

Volúmenes de agua aplicados

En el análisis de los datos presentados en el Cuadro 2, resaltan también las diferencias en el volumen total de agua de riego, aplicado para un mismo cultivar en la temporada 1986-1987 en localidades distintas. Estas diferencias se deben a la variación en la intensidad de la demanda evaporativa de la atmósfera, en los diferentes valles agrícolas, incrementándose desde la Región Metropolitana hasta la III Región. El parámetro climático más relevante, relacionado con la intensidad de la demanda evaporativa de la atmósfera, es la radiación solar, que en la Región Metropolitana es de 525 cal/cm²/día y en el valle de Copiapó alcanza a 685 cal/cm²/día.

Otro factor que afecta significativamente la demanda evaporativa de la atmósfera, se relaciona con la presencia de agua embalsada, en las cercanías de los parronales. En el caso de El Palqui, área que se encuentra inmediatamente

sobre el espejo de agua del embalse La Paloma, la evapotranspiración total es significativamente menor que en el resto de las localidades.

Los volúmenes totales de agua aplicados en la temporada son comparables a aquellos que se utilizan en otros países, bajo condiciones de demanda evapotranspirativa de la atmósfera similares a las de las áreas consideradas en programación del riego esta temporada en Chile. Los volúmenes de agua utilizados en esta temporada constituyen 55 a 70% de los volúmenes aplicados en temporadas anteriores por los mismos productores, cuando el riego no se programó de acuerdo a los requerimientos reales del parronal, según la información reunida para la temporada anterior en estos mismos sectores de riego.

Los volúmenes totales de agua utilizados pueden aún reducirse sin afectar los rendimientos, a través de un riego subóptimo en algunas etapas del desarrollo vegetativo, de acuerdo a

la información presentada por Doorenbos y Kasam (1979); de esta manera, será posible asignar con algún criterio de optimización, los recursos de agua disponibles en años de sequía, cuya ocurrencia presenta ciclos interanuales bastante definidos (Fernández, 1985). El estudio de las funciones de producción del agua en el caso de los principales cultivares de vid está en estudio (Gurovich, 1986). Datos sobre el consumo de agua de parronales han sido presentados por Bucks *et al.*, 1985; Cline *et al.*, 1985; Goldberg *et al.*, 1976; Safan *et al.*, 1971 y Smart *et al.*, 1974.

La eficiencia de uso del agua evapotranspirada (Ey), de acuerdo con la definición de Viets (1965), es bastante variable entre localidades y entre cultivares. El concepto de relación entre la producción (kg exportados en este caso) y el volumen evapotranspirado (m³), no resulta un índice adecuado para evaluar el comportamiento de la vid en este sentido. Sin embargo, en condiciones en que el agua sea un

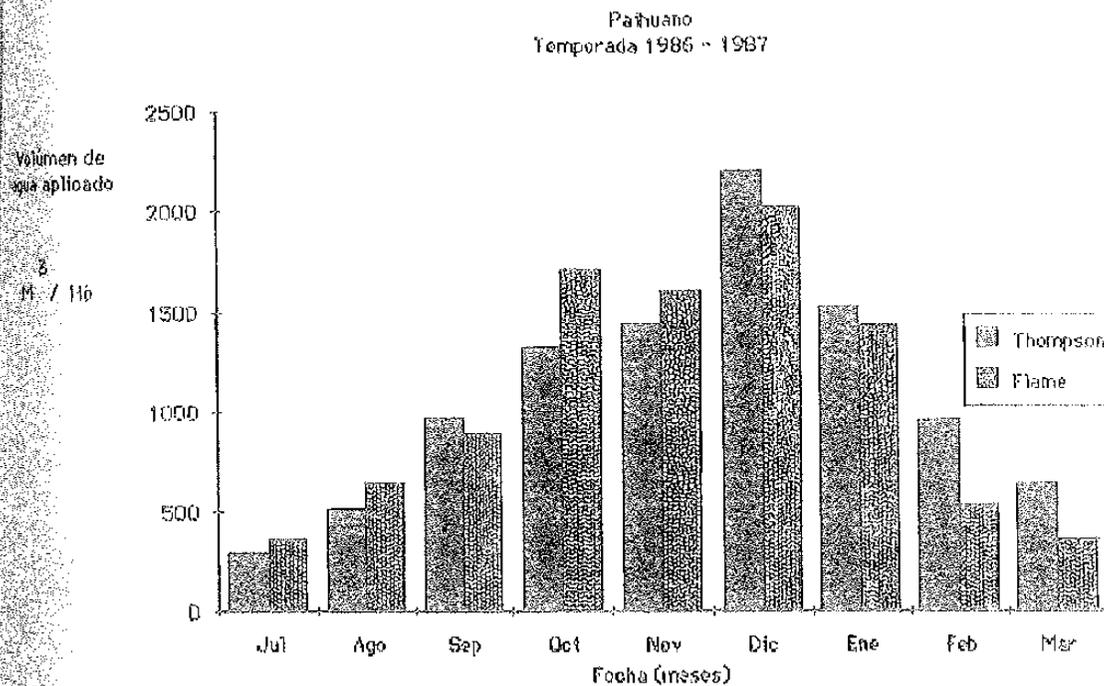


FIGURA 3
VOLUMEN DE AGUA APLICADO. LOCALIDAD "PAIHUANO". VARIETADES THOMPSON Y FLAME SEEDLESS, TEMPORADA 1986-1987

Water applied. "Paihuano". Thompson and Flame seedless varieties.
1986-1987 season

recurso limitado, con una disponibilidad inferior a los requerimientos evapotranspirativos del parronal, el índice Ey puede señalar alguna orientación acerca de la asignación del recurso agua hacia cultivares más eficientes en su utilización.

El análisis de los datos presentados en el Cuadro 2 indica que los requerimientos hídricos de los diferentes cultivares son bastante similares entre sí, ya que las diferencias no superan el 10%; sin embargo, en el ritmo de aplicación del agua a lo largo de la temporada, las diferencias varietales se hacen mucho más evidentes (Figura 3 a 6). Estas diferencias se deben a la duración (días) de cada una de las etapas de desarrollo fenotípico, así como el índice de área foliar específico de cada cultivar.

Si las diferencias varietales en requerimientos hídricos, a lo largo de la temporada, no se toman en cuenta, se producen situaciones de riego excesivo y/o de riego deficitario en algu-

nos períodos críticos del desarrollo fenológico, ya sea en la etapa vegetativa o reproductiva, cuyo efecto sobre la productividad puede ser significativo, como han podido comprobar productores cuyos equipos de riego por goteo se han diseñado de tal forma que un mismo sector de riego está compuesto por 2 cultivares de requerimientos hídricos diferentes (Gurovich, 1986).

Costos de producción asociados a la fertigración

a) Energía

Los costos de la fertigración programada corresponden a dos aspectos principales: El uso de energía eléctrica y el costo de los fertilizantes aplicados junto con el agua de riego. En el Cuadro 3 se presentan datos acerca del uso de energía eléctrica, expresados en KWh por hectárea y por tonelada de uva exportada, así como índices de costo referido al valor de la energía

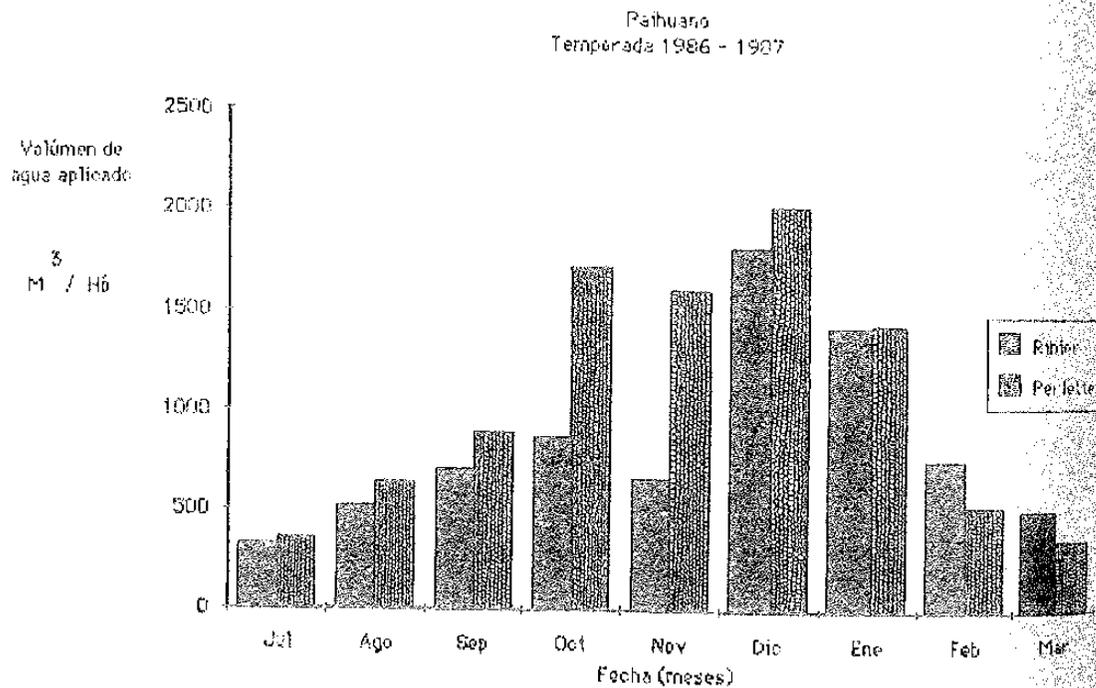


FIGURA 4
VOLUMEN DE AGUA APLICADO. LOCALIDAD "PAIHUANO". VARIEDADES RIBIER Y PERLETTE. TEMPORADA 1986-1987

Water applied. "Paihuano". Ribier and Perlette varieties. 1986-1987 season

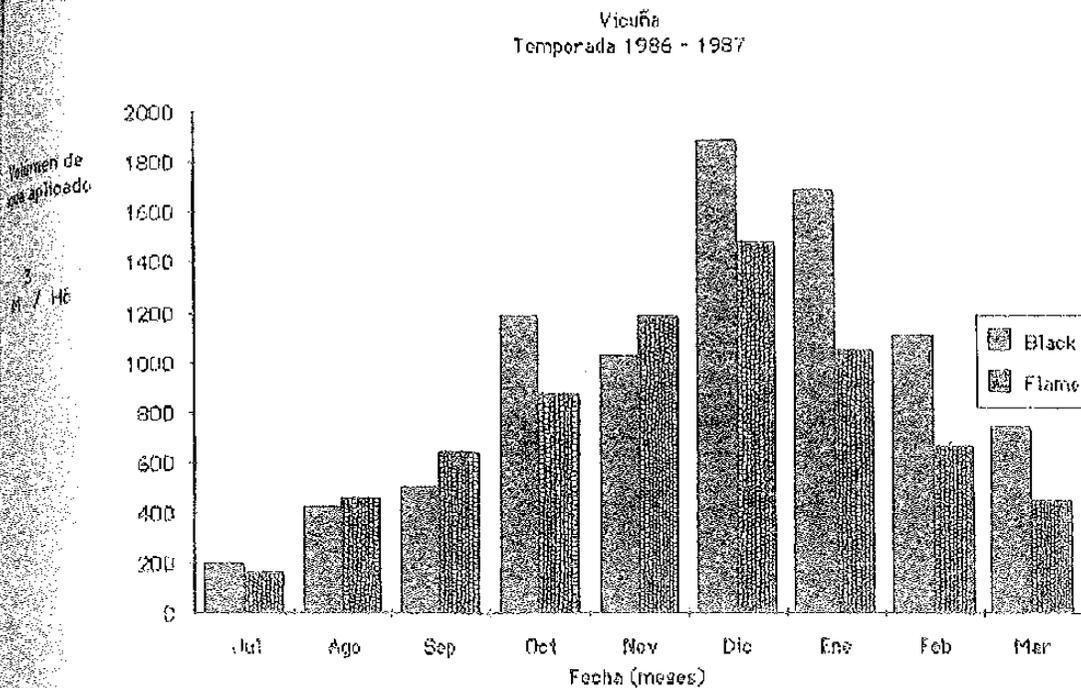


FIGURA 5
VOLUMEN DE AGUA APLICADO. LOCALIDAD "VICUÑA". VARIEDADES THOMPSON SEEDLESS Y RIBIER. TEMPORADA 1986-1987

Water applied. "Vicuña". Thompson seedless and Ribier varieties 1986-1987 season

El consumo de energía eléctrica está relacionado con el volumen total de agua utilizada para el riego; sin embargo, el diseño del equipo de riego afecta también en forma directa la energía utilizada. En los casos en que el agua debe ser bombeada del subsuelo (pozos profundos) o debe ser impulsada hacia cotas superiores a la de la ubicación de la bomba, el consumo de energía por m³ de agua aplicada con el sistema de riego, es superior al consumo energético que debe utilizarse en un terreno plano, cuando el agua se obtiene desde un canal de regadío. En el primer caso se encuentra el equipo de riego de Copiapó y en el segundo caso, el equipo de El Palqui.

El costo de la energía eléctrica varía en un rango de US\$ 105.8 y US\$ 45.8 por hectárea; en ambos casos, es un costo poco significativo, al ser considerado en el conjunto de los costos totales de producción. Sin embargo, el incremento constante en el costo de la energía puede convertir, en un futuro, a este insumo en uno de

los más costosos, como ha ocurrido en otros países. Una parte importante de este costo está representada por la cuota fija correspondiente a la potencia instalada, que el productor debe pagar aunque no utilice su equipo de riego. La estructura de costos de la energía es un aspecto que requiere un análisis muy detallado por parte del productor y sus asesores, ya que es posible lograr un ahorro muy significativo en este ítem, ahorro que puede cubrir por sí mismo varias veces el valor de la asesoría en programación de riego.

b) Fertilizantes

El total de fertilizantes aplicados en cada sector de riego corresponde al programa anual, establecido antes del comienzo de la temporada, con los ajustes que la observación de la respuesta de las parras fue aconsejando incorporar; esta respuesta se analizó día a día, por medio de la medición del largo de los brotes, así como a través de los resultados del análisis

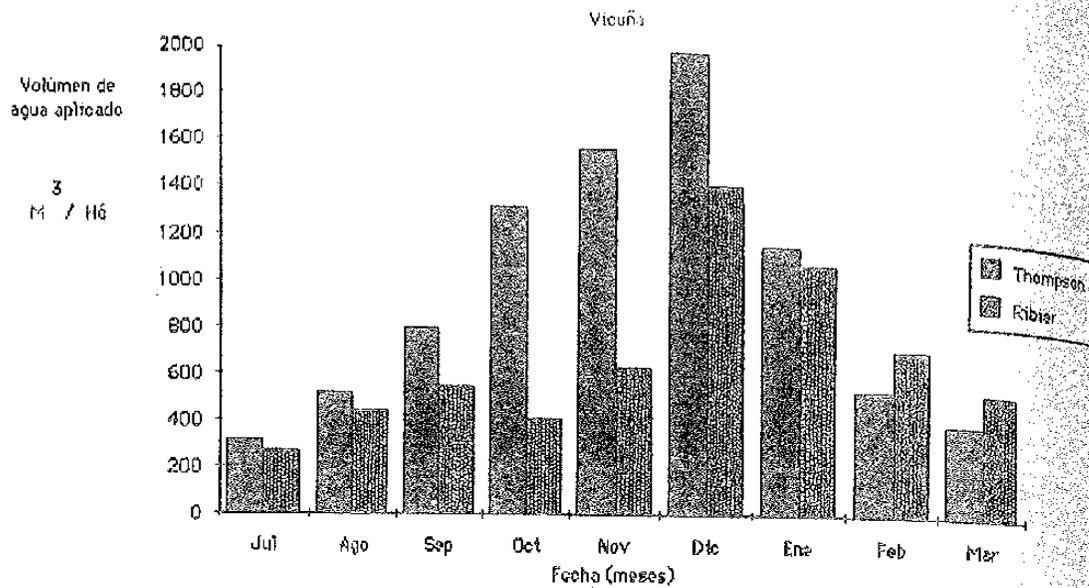


FIGURA 6

VOLUMEN DE AGUA APLICADO. LOCALIDAD "VICUÑA". VARIETADES BLACK Y FLAME SEEDLESS TEMPORADA 1986-1987

Water applied. "Vicuña". Black and Flame seedless varieties 1986-1987 season

CUADRO 3

COSTOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA EL RIEGO POR GOTEO (1986-1987)

Energy costs for drip irrigation (1986-1987)

Localidad Cultivar	KWh	KWh	US\$	US\$	US\$
	há	ton	há	ton	caja
Copiapó					
Thompson	2020	104	105.1	5.4	0.044
Ribier	1787	210	92.6	10.9	0.089
Paihuano					
Thompson	1492	142	82.5	8.8	0.072
Ribier	1396	189	72.7	10.9	0.090
Flame	1439	148	77.2	8.8	0.072
Perlette	1421	282	76.7	16.9	0.139
Vicuña					
Thompson	2033	93	105.8	5.3	0.043
Ribier	1336	101	69.5	5.8	0.048
Flame	1184	75	63.8	4.4	0.037
Black	1257	166	65.4	9.6	0.079
El Palqui					
Thompson	885	43	45.8	2.24	0.018
Flame	969	54	50.2	2.80	0.023
Lonquén					
Thompson	1545	130	80.4	6.76	0.055
Flame	1347	164	70.0	8.54	0.070

efectuado en muestras de la etapa de floración y, en algunos casos, también en la etapa del grano.

Los objetivos del programa de fertilización fueron diversos según el caso, ya sea para lograr una producción determinada, lograr un cubrimiento completo de follaje, que no se había logrado en años anteriores y la formación de madera del año, acorde con los requisitos de la poda siguiente, así como para corregir excesos o deficiencias de algunos de los nutrientes principales, detectada a través del análisis foliar.

El costo del programa de fertilización efectivamente aplicado a los sectores de riego, en que se operó a base del sistema FERTIGACIÓN PROGRAMADA, se presenta en el Cuadro 4; se indica la aplicación total de N, K₂O y P₂O₅ por hectárea, así como el costo total de los fertilizantes aplicados en cada sector, considerando en cada caso la formulación

específica que se utilizó para preparar las soluciones concentradas de fertilizantes.

El costo de la fertilización varía significativamente con la composición de la solución concentrada de fertilizantes. En suelos más arenosos, se ha preferido la adición de un mayor porcentaje del N en forma de nitratos (salitre potásico y nitrato de potasio), a expensas de las formas amoniacales (urea), con el consiguiente incremento en los costos. La adición de ácido fosfórico e hipoclorito de sodio a la solución, contribuye significativamente al costo de la solución (en una proporción superior al 30% del total).

En el caso del El Palqui, se agregó a la solución concentrada una proporción de sulfato de potasio, equivalente en costo al 45% del total de los fertilizantes nitrogenados incluidos en la solución. En cualquier caso, el costo de la fertilización por hectárea representa, al igual que en el caso de la energía eléctrica, un insu-

CUADRO 4

COSTOS DE LA FERTILIZACIÓN CON LOS EQUIPOS DE RIEGO POR GOTEO (1986-1987)

Fertilizer costs for drip irrigation (1986-1987)

Localidad Cultivar	N	K ₂ O	P ₂ O ₅	US\$	US\$	US\$
	kg/há	kg/há	kg/há	há	ton	caja
Copiapó						
Thompson	82	210	—	148	7.6	0.062
Ribier	51	125	—	131	15.4	0.126
Paihuano						
Thompson	180	175	50	197	20.9	0.171
Ribier	85	84	22	149	22.4	0.183
Flame	182	223	57	203	23.2	0.190
Perlette	122	176	34	199	43.9	0.360
Vicuña						
Thompson	109	151	30	168	8.6	0.070
Ribier	90	122	23	135	11.3	0.092
Flame	160	185	49	189	13.2	0.109
Black	124	177	35	170	24.9	0.204
El Palqui						
Thompson	132	300	50	221	10.8	0.088
Flame	6	130	27	103	5.7	0.047
Lonquén						
Thompson	38	114	9	87	7.3	0.060
Flame	43	130	10	107	13.1	0.107

mo menor, comparado con el resto de los insumos de la producción, pero la selección económica de los componentes de la solución concentrada de fertilizantes, puede tener como resultado un ahorro significativo para el productor.

El ritmo de aplicación de los fertilizantes resulta tan importante como la cantidad total de fertilizantes aplicados en la temporada. El control del ritmo de aplicación se logra a través de variaciones en la dosificación de la solución concentrada aplicada en cada sector de riego, y tiene importantes diferencias entre los cultivares de acuerdo a su vigor y ritmo de crecimiento.

En cada cultivar, y para cada una de las etapas de desarrollo fenológico, se ha establecido la fracción del total de nutrientes requeridos en la temporada. La dosis correspondiente a cada etapa fenológica, cuya duración es variable entre cultivares y localidades, es distribuida diariamente, con una función creciente o decreciente. Así, cada sector del parronal recibe un volumen de solución concentrada de fertilizantes que varía en el tiempo. El submodelo que determina el programa de fertilización anual, se basa en ritmos de requerimientos nutricionales de la vid, publicados por Rodríguez *et al.* (1974), Lafon *et al.* (1965), Cook *et al.* (1966), Cummings (1977) y Marocke (1976).

La rápida respuesta de las plantas a la aplicación de fertilizantes, que pudo observarse en los sectores con riego programado en esta temporada, está indicando que la eficiencia de utilización de los fertilizantes en el riego por goteo, especialmente con aplicaciones continuas (diarias), acordes con los requerimientos reales de la vid, alcanza valores muy altos en comparación con la eficiencia de otras técnicas de aplicación discretas en el tiempo. Este aspecto requiere de un estudio más detallado en condiciones de campo y puede significar uno de los ahorros más significativos de entre los costos de producción, que se puede alcanzar en forma relativamente sencilla.

El costo de la fertilización varía entre US\$ 221 y US\$ 87 por hectárea, dependiendo del tipo de productos usados en la formulación de la solución concentrada específica, y la dosis total aplicada. El costo de fertilización no es

significativo en el conjunto de los costos de producción; sin embargo, también este insumo, cuya producción requiere grandes cantidades de energía, ha experimentado alzas en su valor en los últimos años, de allí la importancia de una aplicación eficiente y en dosis parcializadas, acorde con los requerimientos efectivos del parronal.

RESUMEN

Se describe un modelo de programación del riego y la fertilización, desarrollado para su aplicación en parronales regados por goteo. El modelo se basa en la reposición diaria de la evapotranspiración efectiva y los requerimientos nutricionales diarios del parronal, estimados a partir de datos obtenidos en los diferentes sectores de riego, asociados a funciones temporales que describen los coeficientes de evapotranspiración y los programas anuales de fertilización para diferentes cultivares de uva de mesa.

El uso del modelo permite también un control diario de la operación efectiva del equipo de riego por goteo, en relación con el tiempo de operación en cada sector, la descarga de agua y el volumen de solución concentrada de fertilizantes que se han utilizado efectivamente el día anterior.

El procesamiento computacional de los datos anteriores permite entregar diariamente al productor normas específicas de operación de su equipo de riego, en lo referido al número de ciclos de riego, duración del riego total y volumen de la solución concentrada de fertilizantes, que deben ser utilizados cada día durante la temporada, en cada uno de los sectores en que se encuentra el equipo de riego. Asimismo, se realiza un análisis de la fertigración efectiva de la semana anterior, para su comparación con las instrucciones entregadas al productor, se resume también la información de la operación del riego y la fertilización hasta la fecha.

Con la aplicación del modelo de programación de la fertigración descrito en este trabajo, en más de 1.000 hectáreas de parronales regados por goteo en los valles de los ríos Copiapó, Elqui y Limarí, en el Norte Chico de Chile, se ha logrado un consumo controlado del agua de riego, en una zona en que este recurso es limit-

Asimismo, se ha alcanzado producciones de 20 toneladas de uva Thompson seedless por hectárea, cosechadas al inicio de la temporada, con una aplicación total de agua de 5.625 a 12.219 m³ por hectárea, entre los meses de agosto y marzo, en El Palqui y Copiapó, respectivamente. Asimismo, se ha adaptado el ritmo de entrega de nutrientes a los requere-

mientos efectivos de la vid, especialmente en el caso del nitrógeno, en dosis que varían entre 60 y 150 kg N/há, para la misma producción anterior.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece la colaboración de las Srtas. Carmen Pérez y Teresa Jiménez.

LITERATURA CITADA

- IAAE. 1981. Irrigation Scheduling for Water and Energy conservation in the 80s. Irrigation Scheduling Conference, Chicago. 231 p.
- LUCKS, D.A., FRENCH, O.F., NAKAYAMA, F.S., and FANGMEIR, D.D. 1985. Trickle irrigation management for grape production. Proc. Third Internat. Drip/Trickle Irrigation Congress. Fresno, California. USA. Vol. 1: 204-211.
- LING, R.A., FISHER, K.H., and BRADT, O.A. 1985. The effects of trickle irrigation and training system on the performance of concord grapes. Proc. Third. Int. Drip/Trickle Congress. Fresno, California. USA. Vol. 1: 220-229.
- LOOK, J.A. 1966. Grape nutrition. In: Nutrition of fruit crops edited by N.F. Childers. Rutgers, The State University, 776-812.
- HUMMINGS, G.A. 1977. Variations in the concentration of certain elements in Muscadine Grape Leaves related to season. Leaf portion and age. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 102: 339-342.
- BORENBOS and A. KASSAM. 1979. Yield response to water. FAO N° 33, Irrigation and Drainage Paper. Roma, Italia. 193 p.
- FERNÁNDEZ, B. 1985. Análisis de las sequías en Chile mediante técnicas de hidrología estocástica. Proyecto Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico de Chile. 19 p.
- HAMBACK, P.F. 1980. Irrigation Scheduling. Cooperative Extension Service. University of Nebraska. 120 p.
- GOLDBERG, D., RINOT, M. and KARN, N. 1971. Effects of trickle irrigation on distribution and utilization of soil moisture in a vineyard. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 35: 127-130.
- GOLDBERG, D., GORNAT, B. and D. RIMON. 1976. Drip irrigation. Principles, design and agricultural practices. Kfar Shmaryahu, Israel.
- GUROVICH, L. and V. STEINER. 1986. Fertigation Scheduling of drip/trickle irrigated grapes in Chile. Proc. International OIV Congress. Vol. 3: 527-558.
- GUROVICH, L. 1986. Riego programado en parronales de exportación regados por goteo. Experiencias de la temporada 1985-1986. Revista ACONEX. 12: 7-14.
- GUROVICH, L. 1987. Riego de parronales en condiciones de sequía. Revista Norte Agrofrutícola N° 1(1): 27-28.
- LAFON, A., COMILLARD, P., GAY-BELILLE, F., LEVY, J.F. 1965. Rhythme de l'absorption minérale de la vigne au cours de un cycle végétatif. Vignes et Vin 140: 17-21.
- LUVISI, D., HARRELL, D. and WILLIAMS, L. 1985. Irrigating table grapes. California Grape Grower, Nov. 1985: 11-15.
- MAROCKE, A.J. 1976. Exportations en éléments fertilisants des principaux cépages cultivés en Alsace. CR Acad. Agr. Fr. 6: 420-429.
- PEACOCK, W.L., ROLSTON, D.E., ALIBURY, F.K. and RANSCHKOLB, R.S. 1977. Evaluating drip, flood, and sprinkler irrigation in wine grapes. Amer. J. Enol. Vitic. 28(4): 139-195.
- RODRÍGUEZ, J., GIL, G., URZÚA, H. y SUÁREZ, D. 1974. Absorción de nutrientes minerales por la vid cv. "Cabernet-Sauvignon" durante una estación de desarrollo y su distribución en los órganos aéreos. Ciencia e Inv. Agraria 1(2): 98-105.
- SAFAN, B., BRAVDO, B. and Z. BERNSTEIN. 1974. L'irrigation de la vigne par goutte a goutte. Bulletin de l'OIV 48: 405-429.
- SALAZAR, L., G.H. HARGREAVES y R.K. STUHER. 1984. Irrigation Scheduling Manual. International Irrigation Center, Utah State University.
- SMART, R.E. 1974. Aspects of water relations of the grapevine (Vitis vinifera). Amer. J. of Enol. and Viticult. 25: 84-91.
- SMART, R.E., TURKINGTON, C.R., and EVANS, J.C. 1974. Grapevine response to furrow and trickle irrigation. Amer. J. Enol. and Viticult. 25: 62-66.
- VIETS, F.G., JR. 1965. Increasing water use efficiency soil management. In: Plant Environment and Efficient Water Use (W.H. Pierre, D. Kirkham, J. Pesek, R. Shaw, eds.), pp. 259-274. Amer. Soc. of Agron. and Soil Sci. Soc. of Amer. Madison, Wisconsin.

EFICIENCIA ESTOCÁSTICA Y SELECCIÓN DE VARIEDADES

STOCHASTIC EFFICIENCY AND THE SELECTION OF CROP VARIETIES

CLAUDIO ORTÍZ R.¹ Y EMILIO FRANCISCO G.²

SUMMARY

Stress is made on the importance of risk in the selection of varieties for a series of large scale agricultural experiments developed in Chile over a number of years covering wide geographical areas. A procedure is implemented based on rules of stochastic dominance that permits an efficient selection of dominant varieties for wheat, oats, barley, rice, beans, chick peas, lentils and potatoes. The results obtained emphasize the crucial importance of the lower tails of the probability distribution of yields in the final selection of varieties acceptable to farmers.

1. INTRODUCCIÓN

La agricultura nacional atraviesa en las últimas temporadas (1986/1987 y 1987/1988) por un proceso de crecimiento y desarrollo de las diferentes actividades que la componen. Ello se manifiesta en el incremento que han experimentado las exportaciones del sector, el crecimiento en la superficie sembrada y las mejoras en productividad (rendimientos) de los diferentes rubros.

La mantención de la situación anterior no puede estar solamente basada en incrementos de la superficie bajo cultivo, vía incorporación de nuevas tierras, pues nuestros suelos arables son limitados y ya están, en general, razonablemente utilizados. En este sentido, el desarrollo sólo será permanente si se basa en una incorporación constante de tecnologías adecuadas y adaptadas a las diferentes condiciones agroecológicas junto con un eficiente uso de los recursos productivos. Así el uso de semillas mejoradas de alto potencial y amplia adaptación ambiental, es un factor fundamental a

considerar por el agricultor, pues en ellas está contenido un potencial de rendimiento y mejor adaptación respecto a las actuales variedades disponibles en los mercados.

Como la mantención y el incremento en los volúmenes de producción estará dado principalmente por la incorporación de tecnologías y, dentro de ellas, la selección de las variedades a utilizar en cada zona es uno de los factores importantes, interesa conocer el comportamiento de las diferentes variedades respecto a rendimiento, adaptación ambiental, resistencia o tolerancia a problemas ambientales y sanitarios y su potencial de rendimiento.

Existen una serie de especies agrícolas que son componentes principales de la dieta nacional y que a su vez, constituyen alternativas importantes en la actividad productora de la mayoría de los agricultores, como son los cereales, excepto maíz, las leguminosas de grano y las papas. Estas especies son cultivadas por un gran número de agricultores que se distribuyen a través de las diferentes zonas agroeco-

¹Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Estación Experimental "La Platina". Casilla 439 Correo 3, Santiago.

²Departamento de Economía Agraria, Facultad de Agronomía, Universidad Católica de Chile, Casilla 6177, Santiago, Chile.

Publicación aprobada por el Comité Editor de la Facultad de Agronomía de la Universidad Católica con el N° 436/87. Fecha de recepción: 17 de julio de 1987.

lógicas y climáticas de producción y, dependiendo de la especie, presentan diferentes situaciones productivas y comerciales. En conjunto, estos rubros cubrieron una superficie agrícola aproximada de 870.000 hectáreas en la temporada 1984/1985 y 880.070 hectáreas en la temporada 1986/1987.

Las perspectivas de crecimiento de la producción agropecuaria estarán dadas por un eficiente uso de los recursos productivos, eficiencia que implica la consideración de los precios y por la adopción de tecnologías mejoradas que permitan un incremento de la productividad.

Por otra parte, el país invierte importantes cantidades de recursos en programas de mejoramiento genético para crear, adaptar y multiplicar variedades de semillas de diferentes especies, que posean un alto potencial de rendimiento y se adapten a las condiciones agroecológicas y climáticas de las diferentes zonas productoras. Estas semillas poseen algunas características de resistencia o tolerancia a los principales fenómenos ambientales y de plagas que los afectan. Los programas mencionados ofrecen a los agricultores variedades desarrolladas en el país que presentan mejor potencial de rendimiento y adaptación ambiental, en promedio, que las variedades existentes en uso, lo cual unido a las condiciones de precio y rentabilidad de cada cultivo en cada período, permite la producción y productividad de sus empresas.

Estos ensayos de rendimientos son realizados por instituciones especializadas de investigación y de producción de semillas certificadas, con personal profesional especializado, donde todo el material genético promisorio es sometido a pruebas regionales de rendimiento. En esta etapa se incorporan todas aquellas variedades y líneas en proceso de certificación, con un manejo agronómico similar, que permite captar la variabilidad ambiental, independiente de otros factores de manejo, reflejando su comportamiento en el rendimiento obtenido en cada localidad y permitiendo observar los rendimientos resultantes a través de una amplia distribución geográfica y en varias temporadas agrícolas.

El problema de la selección de variedades

La selección de variedades por parte de los

agricultores es uno de los factores más importantes en el éxito de su cultivo y por consiguiente en su productividad y rentabilidad. El uso de semillas adaptadas y de alto potencial, unido a la adopción de tecnologías mejoradas, permite incrementar la producción en un período razonablemente corto, con los consiguientes beneficios sociales.

Por otro lado, los fitomejoradores están interesados en conocer el comportamiento productivo y ambiental de sus líneas avanzadas respecto de las semillas actualmente en uso. El comportamiento productivo es obtenido a través del rendimiento, producto de los diferentes manejos agronómicos, en tanto que el comportamiento ambiental se obtiene por medio de ensayos de rendimiento en diferentes localidades. Es común que en estos ensayos las líneas avanzadas y variedades sean sometidas a un manejo productivo similar, lo cual permite a las diferentes semillas captar todo el efecto de las variables ambientales y manifestarlo a través de su respuesta en el rendimiento en cada localidad y en cada temporada agrícola. Todo ello permite visualizar el comportamiento frente a diferentes ambientes y determinar la evolución de los rendimientos de cada variedad en cada localidad. Esta "función de distribución" de los rendimientos es de gran importancia puesto que entregará información sobre la estabilidad de los rendimientos ante diferentes situaciones ambientales.

Generalmente los fitomejoradores y genetistas usan los rendimientos medios y algunas variables cualitativas para comparar entre variedades nuevas y tradicionales. Si existe una diferencia significativa entre estos rendimientos medios se puede decir que una variedad o línea nueva es superior a la tradicional, y viceversa¹.

El primer problema con el procedimiento descrito reside en la excesiva atención en los rendimientos medios, en desmedro de un interés en los extremos de la distribución de rendimientos. Es decir, cuán probables son los rendimientos "muy malos" o "muy buenos" de tal o cuál variedad en comparación con otra.

¹Para detectar diferencias significativas los fitomejoradores se valen de test estadísticos tradicionales.

Cuanto más grandes sean estas probabilidades, mayor será la variabilidad o el riesgo de esa línea o variedad¹.

En el proceso de selección de variedades como en la adopción de nuevas tecnologías, los agricultores perciben frecuentemente un riesgo mayor en aquellas tecnologías provenientes de la investigación agrícola que en sus prácticas tradicionales. En consecuencia, el riesgo actúa como un impedimento a la adopción de prácticas mejoradas y como un freno al uso eficiente de los recursos. En este sentido, la investigación y extensión agrícola están interesadas en identificar tecnologías más productivas y rentables y que además sean de menor riesgo, de tal forma que no sean rechazadas por los agricultores aversos al riesgo. Estos agricultores son aquellos que al optar entre dos variedades con igual rendimiento medio pero con distinta variabilidad, prefieren la variedad con menor variabilidad.

Este tipo de comportamiento al tomar decisiones productivas es común para la mayoría de los agricultores en todos los países del mundo, por lo que sería altamente deseable que los fitomejoradores y genetistas incluyeran las características de este comportamiento en la selección de líneas y variedades. Es decir, dado que el objetivo final de los fitomejoradores, es producir variedades con alguna característica superior a las tradicionales y que sean aceptables para los agricultores, el ideal sería incluir premisas de comportamiento empresarial que tomen en cuenta las actitudes antes mencionadas.

No se pretende sugerir que los fitomejoradores usen sólo un sistema para realizar la selección final, sino más bien dar a conocer y probar un procedimiento con las características señaladas más arriba que sea rápido y eficiente en la preselección de variedades y que pueda ser usado cuando existe un gran número de opciones que usualmente dificultan la búsqueda rápida de variedades exitosas. Por variedades exitosas se quiere indicar aquellas variedades que no sólo tienen rendimientos medios más altos que las tradicionales, sino que además

¹Además de los test de medias tradicionales asumen un comportamiento "normal" de las variables, lo que para el caso de análisis de rendimientos no siempre resulta pertinente.

sean favorablemente acogidas por los agricultores. El procedimiento se denomina Dominancia Estocástica (DE).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Método

El análisis de Dominancia Estocástica (DE) es un método que selecciona dentro de las alternativas inciertas aquellas más eficientes, denominadas dominantes, para diferenciarlas de las alternativas que se descartan por ser dominadas.

El análisis de DE incluye en su procedimiento consideraciones de riesgo reflejadas en la variabilidad de la distribución de la variable aleatoria. Por lo tanto, el método de DE es más general que el análisis estadístico convencional, ya que no requiere de la premisa de normalidad y además tiene la gran ventaja de incluir consideraciones relacionadas con el comportamiento empresarial. Esto hará que las líneas o variedades que resulten "dominantes" del proceso de selección sean más aceptables para los agricultores que las "dominadas".

El método compara directamente distribuciones probabilísticas de rendimientos, por ejemplo, si todos los valores de la distribución de rendimientos de la variedad A son mayores que los de la variedad B, entonces, la variedad A domina a la variedad B, ya que nunca la variedad B va a tener un rendimiento superior a la variedad A. En este caso se habla de Dominancia Estocástica de Primer Grado.

Muchas veces las distribuciones de rendimientos no son tan fácilmente separables y se requiere de algunos procedimientos más complejos para llegar a obtener la (o las) variedad(es) dominante(s). En este caso se habla de Dominancia Estocástica de Segundo o Tercer Grado.

Los conceptos de Dominancia Estocástica de Primer Grado han sido desarrollados por James Quirk y Rubin Saposnik (1962) y Fishburn (1964) y están basados en el supuesto de conducta de los empresarios que indica que si X es la medida no proporcional de consecuencias de un evento, la persona encargada de tomar decisiones siempre prefiere más que menos de X.

En términos de análisis de utilidad de los

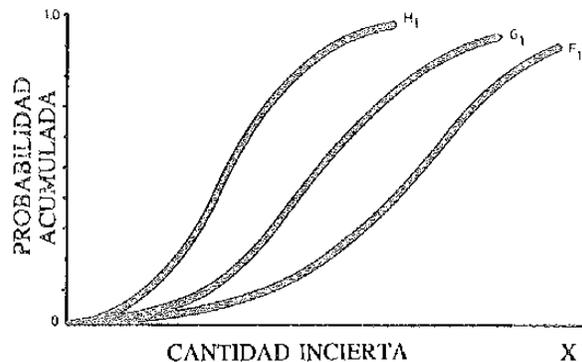


FIGURA 1
Ilustración de Dominancia Estocástica de Primer Grado.
First degree Stochastic dominance.

empresarios este supuesto implica que la función de utilidad [U(X)] es monótonicamente creciente entre a y b, o equivalente a que la primera derivada de la función de utilidad es estrictamente positiva, o $U_1(X) > 0$.

Bajo estos supuestos generales el criterio de Dominancia Estocástica de Primer Grado puede ser definido como sigue:

Dadas dos alternativas inciertas con distribución acumulativa $f(X)$ y $g(X)$, X dentro del intervalo cerrado (a, b), que es el espacio muestral de ambos prospectos, una condición necesaria y suficiente para que $f(X)$ domine a $g(X)$ por Dominancia Estocástica de Primer Grado es que:

$$F_1(R) \leq G_1(R)$$

Para todos los R en (a, b) con estricta desigualdad para lo menos un valor de R.

La utilidad esperada asociada con $f(X)$, U_f es al menos tan grande como la utilidad esperada de $g(x)$, U_g , con lo cual el empresario con cualquier función de utilidad [U(X)], tal que $U(X) > 0$; preferirá una distribución dominante a una distribución que es dominada. Todos los criterios de eficiencia son transitivos, es decir, si $F_1(X)$ domina a $G_1(X)$ y $G_1(X)$ domina a $H_1(X)$, entonces $F_1(X)$ debe dominar a $H_1(X)$.

La demostración matemática de esta regla ha sido realizada por Hadar y Russell (1969) y Hanoch y Levy (1969). Asimismo, estos teoremas son válidos para los casos de distribucio-

nes discretas, donde X toma solamente un número finito de valores X; tal que $i=1, 2, \dots, n$, todos dentro del intervalo (a, b).

$$F_1(R) = P(X \leq R) = f(x_i)$$

para todo $X \leq R$

La interpretación de este criterio es directa e intuitiva e implica como condición necesaria que:

$$E_f(X) \geq E_g(X)$$

donde E indica esperanza matemática, de tal modo que el prospecto dominante debe tener un valor medio mayor (Hanoch y Levy, 1969), lo cual nos asegura que la selección que realiza el empresario con el criterio DE de Primer Grado, es consistente con la decisión del análisis media-varianza.

Una demostración del supuesto de utilidad creciente se encuentra en Schlaifer (1967).

La regla para identificar el set de alternativas eficientes por el criterio de DE de Segundo Grado fue desarrollada independientemente por Fishburn (1964), Hanoch y Levy (1969), Hadar y Russell (1969) y Hammond (1968) y se agrega al supuesto conductual de utilidad creciente de DE de Primer Grado, restringiendo el set de resultados.

El supuesto que se incorpora en este criterio es que los empresarios son aversos al riesgo o que cantidades sucesivas de X tienen un valor

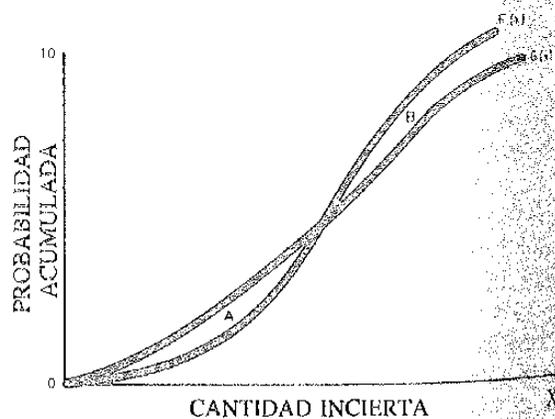


FIGURA 2
Dominancia Estocástica de Segundo Grado (Área A > Área B)
Second degree Stochastic dominance (A > B)

decreciente para éste. En términos formales, corresponde al supuesto de utilidad marginal decreciente o de una función de preferencia cóncava. Desde el punto de vista algebraico equivale a suponer que con DE de Primer Grado, $U_1(X) > 0$, y la segunda derivada $U_2(X) < 0$, siendo la función de preferencia cóncava respecto a X. La regla de orden para el criterio de DE de Segundo Grado considera que:

La distribución $f(X)$ domina a $g(X)$ por DE de Segundo Grado sí y sólo sí $F_2(R) \leq G_2(R)$ para todas las posibles R con estricta desigualdad por lo menos para un valor de R.

Las distribuciones dominadas por este criterio serán aquellas que no serán preferidas por un empresario que maximiza la utilidad y que es averso al riesgo donde $U_2(X) < 0$.

Una característica de todas las reglas de ordenamiento, y que es una condición necesaria para que una distribución domine a otra, es que el promedio de la distribución dominante no sea menor. Otra condición necesaria es que el valor más pequeño de una distribución dominante no puede ser menor que el valor más pequeño de una distribución dominada.

Más, recientemente, ha sido desarrollado el criterio de Dominancia Estocástica de Tercer Grado por Whitmore (1970) y Hammond (1974), donde a los supuestos de utilidad monótonicamente creciente y aversión al riesgo o utilidad marginal decreciente, se incorpora el supuesto adicional acerca de la función de utilidad implícita del empresario que indica que será decrecientemente averso al riesgo en la medida que aumente su riqueza.

Las reglas de orden para Dominancia Estocástica de Tercer Grado indican que:

La distribución $f(X)$ domina a $g(X)$ por DE de Tercer Grado sí y sólo sí:

$F_3(R) \leq G_3(R)$ para todas las R dentro del rango (a, b), con estricta desigualdad para a lo menos un valor de R y si $F_2(b) \leq G_2(b)$. Este requisito es equivalente al requerimiento que la media de f no sea menor que la media de g y así es condición necesaria para DE de Segundo y Tercer Grado.

Para que un prospecto sea dominante por el

En general, $F_n(R) = \int_a^R f(x) dx$ para $n=1, 2, \dots, n$ de tal forma que $F_0(R) = f(X)$.

criterio de DE de Tercer Grado, la función de preferencia del empresario debe cumplir con los supuestos conductuales de $U_1(X) > 0$; $U_2(X) < 0$ y $U_3(X) > 0$ para que $f(X)$ sea a lo menos tan preferida que $g(X)$.

El procedimiento de aplicación de conceptos de DE a un set de alternativas disponibles al empresario permite ir reduciendo sucesivamente el set eficiente de alternativas, de tal modo que el criterio de DE de Segundo Grado seleccionará las alternativas eficientes dentro del set eficiente por DE de Primer Grado y el criterio de DE de Tercer Grado, seleccionará las alternativas eficientes desde el set eficiente DE de Segundo Grado.

La aplicación del criterio de DE a prospectos riesgosos nos asegura set eficientes de soluciones, crecientemente restrictivos, a medida que incorporamos mayores supuestos acerca de la función de utilidad del empresario. En la generalidad de los casos, el set eficiente estará compuesto por más de una alternativa, permitiendo al empresario individual elegir dentro de esas alternativas, incorporando consideraciones acerca de su propia función de utilidad.

La información analizada

La información de rendimientos corresponde a los resultados del Programa Nacional Cooperativo de Ensayos de Variedades de Trigo y a los programas de Fitomejoramiento del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Chile. El Programa Cooperativo es administrado por el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) usándose información de los períodos agrícolas comprendidos entre 1979/1980 y 1983/1984, inclusive. En este Programa Cooperativo participan el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA); la Sociedad Nacional de Agricultura (SNA); la Universidad Católica de Chile (UC); la empresa de semillas Baer; la Universidad Austral de Chile; la Universidad de Concepción; la Universidad de Chile y el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG). El propósito de este programa es estudiar el comportamiento para certificación de variedades de trigo.

Los ensayos del Programa Cooperativo tienen por objeto: a) comprobar en las condiciones ecológicas, ambientales y de manejo más

variadas, las características agronómicas de las nuevas variedades de trigo, de modo que se incluyan en certificación sólo aquellas que signifiquen un real beneficio para la agricultura; b) asegurar que las variedades en certificación mantengan las características agronómicas que permitieron su inclusión en el Registro de Variedades aptas para la certificación; c) comprobar que este tipo de ensayos son justificables como metodología de evaluación en cuanto a prestigio, eficiencia y economía, de modo que pueda estudiarse su incorporación obligatoria en las normas de certificación, y d) propender a incentivar una colaboración más amplia entre los fitomejoradores de modo que puedan aprovechar con más oportunidad los mejores germoplasmas y los recursos que emplean en investigación.

Los ensayos de variedades han sido clasificados en cuatro grupos según el área ecológica de influencia y del hábito de desarrollo, teniendo las siguientes categorías:

- Los ensayos denominados "Tipo A" incluyen variedades de trigo de primavera adaptables a la Zona Centro-Norte, desde Vallenar a Talca;
- Los ensayos "Tipo B" incluyen variedades de trigo de primavera y alternativos adaptables a la Zona Centro-Sur, desde Talca a Biobío;
- Los ensayos "Tipo C" incluyen variedades de trigo de invierno y alternativos adaptables a la Zona Centro-Sur, desde Ñuble a Cautín, y
- Los ensayos denominados "Tipo D" incluyen variedades de trigo de primavera y alternativos adaptables a la Zona Sur del país, desde Malleco a Llanquihue.

En estas agrupaciones se han realizado ensayos de rendimiento y comportamiento de las variedades en 33 localidades diferentes con 551 variedades en estudio por un período agrícola de cinco años, los que son analizados en el presente estudio.

Asimismo se analiza por el criterio de Dominancia Estocástica los Ensayos Regionales conducidos por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) en sus programas de fitomejoramiento de las especies cebada, avena, arroz, frejol, lenteja, garbanzo y papas.

Los ensayos conducidos por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias se distribuyen en:

- Los Ensayos Regionales de Trigo están repartidos en cuatro tipos con 17 localidades entre la III y X Regiones y 317 variedades comparadas;
- Los Ensayos Regionales de Trigo Candeal son llevados en 5 localidades con 76 variedades comparadas;
- Los Ensayos de Cebada son conducidos en 8 localidades con 111 variedades comparadas entre la IV y la X Regiones;
- Los Ensayos Regionales de Avena son conducidos en 2 localidades con 45 variedades comparadas en la VIII y IX Regiones;
- Los Ensayos Regionales de Arroz están distribuidos en 2 localidades en la VII y VIII Regiones con 17 variedades comparadas;
- Los Ensayos Regionales de Frejoles son conducidos en tres localidades con 7 diferentes tipos de variedades según clase de fréjol, entre la Región Metropolitana y VIII Región;
- Los Ensayos Regionales de Lenteja están distribuidos en 16 localidades con 173 variedades comparadas, entre la VI y IX Regiones;
- Los Ensayos Regionales de Garbanzo son conducidos en 5 localidades con 50 variedades comparadas en la VI Región, y
- Los Ensayos Regionales de Papas están distribuidos entre la IV y X Regiones con 7 localidades y 78 variedades comparadas.

Existe una amplia cobertura geográfica para captar la variabilidad ambiental, con manejo similar en todos los ensayos y conducidos por los profesionales de una institución con metodología homogénea.

En los procesos de creación y selección de semillas, es muy importante determinar el rango de adaptación de ellas a las diferentes condiciones agronómicas y climáticas que enfrentarán los agricultores que posteriormente las usarán. Para ello existe la posibilidad de probar el comportamiento de estas variedades en todos los posibles ambientes donde serán usadas o tener información del comportamiento de estas variedades, en localidades representativas, para un período de varios años con todo el manejo

CUADRO 1
LOCALIDADES Y NÚMERO DE VARIEDADES EMPADRONADAS
DE LOS ENSAYOS COOPERATIVOS DE TRIGO
Y REGIONALES DEL INIA USADOS EN ESTE ESTUDIO

Location and Number of Varieties of Cooperative and Regional Experiments of INIA

Tipo de Ensayo	Localidades	Nº Variedades Comparadas
Ensayo Cooperativo de Trigo Tipo A	6	157
Ensayo Cooperativo de Trigo Tipo B	4	98
Ensayo Cooperativo de Trigo Tipo C	7	183
Ensayo Cooperativo de Trigo Tipo D	6	113
Ensayo Regional de Trigo	17	317
Ensayo Regional de Trigo Candeal	5	111
Ensayo Regional Cebada	8	111
Ensayo Regional Avena	2	45
Ensayo Regional Arroz	2	17
Ensayo Regional Fréjol	9	59
Ensayo Regional Lenteja	16	173
Ensayo Regional Garbanzo	5	50
Ensayo Regional Papas	7	78

Fuente: Ortiz, Claudio (1985) "Dominancia Estocástica en el Problema de Selección de Variedades de Cultivos en Chile". Serie de Tesis Nº 38. Departamento de Economía Agraria, Facultad de Agronomía, Universidad Católica de Chile.

productivo constante durante el tiempo de prueba. La primera alternativa entregará mayor información ante variaciones de localidades pero con un costo muy alto. La segunda (pocas localidades representativas y con manejo constante) puede captar eficientemente la variabilidad real de los rendimientos medios causados por factores ambientales.

Todos los aspectos de manejo productivo son considerados cuidadosamente por los investigadores que realizan los ensayos con el objeto de eliminar las interacciones medio ambiente-manejo cultural, permitiendo a las variedades demostrar su comportamiento ante cambios en el ambiente.

En el Cuadro 1 se destacan el número de localidades y variedades de los Ensayos Cooperativos de Trigo y los Ensayos Regionales de INIA. En el caso de estos últimos es necesario

señalar la amplia cobertura geográfica para captar la variabilidad ambiental y son manejados con metodologías homogéneas.

El gran número de variedades por especie que se deben analizar justifica por sí solo el emplear metodologías tales como DE para poder discriminar en forma rápida entre variedades.

Antes de discutir los resultados, es importante señalar que no se pretende hacer recomendaciones específicas en materia de variedades. Sólo se busca aportar antecedentes sobre variedades dominantes que contribuyan a la mejor toma de decisiones de los agricultores. Se desea además verificar un procedimiento rápido y eficiente que permita hacer preselección de variedades para ser usado en estaciones experimentales donde existe un gran número de opciones.

El uso de DE en la selección de variedades de diferentes cultivos ya ha sido implementado en CIMMYT (Anderson, 1974) y otros centros de investigación internacionales, pero su aplicación masiva en Chile a programas de fitomejoramiento es relativamente reciente (Troncoso, Haro y Banse, 1984; Troncoso, Barriga y Haro, 1986).

3. RESULTADOS

En el Cuadro 2 se presenta el número total de variedades de trigo que fueron comparadas entre sí en cada localidad por un período de 5 años en los ensayos del Programa Nacional Cooperativo. Es destacable el gran número de líneas alternativas, lo que dificulta enormemente las comparaciones, especialmente si se desea examinar la información de los 5 años en forma conjunta de manera de captar la variabilidad de rendimientos entre años.

En el Cuadro 3 se presentan los resultados de la aplicación de la técnica de DE al total de líneas y variedades del Cuadro 2.

Es claro que la técnica de DE es extremadamente eficiente como un método para preseleccionar entre variedades, ya que el set dominante para cada agregación mostrada en el Cuadro

3, es bastante más pequeño que el conjunto original de líneas.

Se deben enfatizar los supuestos básicos de esta técnica. Cualquier agricultor averso al riesgo en esas localidades tendería a seleccionar las variedades destacadas en el Cuadro Nº 3 por sobre el total de las disponibilidades. Algunos de los nombres son conocidos, sin embargo hay otros, que todavía no poseen un nombre comercial.

Antes de proceder a examinar los ensayos regionales, es conveniente detenerse en los rendimientos medios mostrados en el Cuadro Nº 3. Dado que estos son ensayos experimentales es natural que los rendimientos medios sean elevados en relación a lo obtenible a nivel de predio. Si bien, no existen reglas generales, es común suponer que el tope superior de rendimiento obtenible por un buen agricultor es aproximadamente igual al 80% del rendimiento obtenido en un ensayo experimental. Este comentario se aplica no sólo a los rendimientos de trigo sino que también a los rendimientos medios experimentales que se verán en los siguientes cuadros.

En el Cuadro 4 se muestra el total de variedades comparadas por localidad para avena,

CUADRO 3
ENSAYOS PROGRAMA NACIONAL COOPERATIVO DE TRIGO.
VARIEDADES DOMINANTES DE SEGUNDO GRADO
National Wheat Cooperative Program. Selection of Varieties Based on Second Degree Stochastic Dominance

Tipo	Localidad	Variedades	Rendimiento Medio (qq/há)	
A	La Platina	SNA 12	80	
		Millaleu	84	
		V-23	76	
	Pencahue	SNA 5	50	
		Sto. Domingo	SNA 14	82
	Graneros	Maitén	80	
		UC-14-B	90	
	Pirque	SNA 24	87	
		SNA 12	114	
	B	Ovalle	Victoria	56
Quilamapu			Lucero	53
Victoria		Victoria	56	
		Labriego	63	
		QU 10091	58	
Cisne		Cisne	60	
		U. Concepción	Qu 10091	72
Humán		U. Chillán 2	57	
		Onda	61	
Pencahue		Millaleu	44	
	C	Carillanca	Talcón	67
Quilamapu		Lancero	63	
Cajón		Astro ET 49	88	
Gorbea		Asbacr	85	
Traiguén		Exito	60	
Collipulli		Tgs 39-39-77	73	
Yungay		Q 14-75	54	
		Manquefén	48	
D		Carillanca	Andifén	58
			Millaleu	46
	Onda		47	
	Cajón	Austral	38	
		Inter	51	
	Gorbea	Invicto	52	
		Impacto	54	
	Valdivia	UACH-3	50	
		Huenufén	49	
		Budifén	44	
Temuco	Millaleu	79		
	La Pampa	Inter	69	

Fuente: Ortíz, Claudio (1985) "Dominancia Estocástica en el Problema de Selección de Variedades de Cultivos en Chile". Serie de Tesis Nº 38. Departamento de Economía Agraria, Facultad de Agronomía, Universidad Católica de Chile.

CUADRO 2
TRIGO. ENSAYOS PROGRAMA NACIONAL COOPERATIVO:
COMPARACIÓN DE VARIEDADES POR LOCALIDAD (1979/1980 - 1983/1984)

*Wheat. Experiments of the National Cooperative Program:
Comparison of Varieties for each Locality (1979/1980 - 1983/1984)*

Localidad	Tipo A Variedades		Tipo B Variedades		Tipo C Variedades		Tipo D Variedades	
	Nº de variedades	Localidad	Nº de variedades	Localidad	Nº de variedades	Localidad	Nº de variedades	
La Platina	27	Quilamapu	29	Carillanca	32	Carillanca	22	
Pencahue	24	U. Concepción	29	Quilamapu	26	Cajón	16	
Sto. Domingo	29	Humán	16	Cajón	32	Gorbea	24	
Graneros	32	Pencahue	24	Gorbea	32	Valdivia	19	
Pirque	24			Traiguén	21	Temuco	23	
Ovalle	21			Collipulli	22	La Pampa	9	
				Yungay	18			
Total	157		98		183		113	

Fuente: Ortíz, Claudio (1985) "Dominancia Estocástica en el Problema de Selección de Variedades de Cultivos en Chile". Serie de Tesis Nº 38. Departamento de Economía Agraria, Facultad de Agronomía, Universidad Católica de Chile.

CUADRO 4

ENSAYOS REGIONALES DE AVENA, CEBADA, ARROZ, FRÉJOL, GARBANZOS,
LENTEJAS Y PAPAS: COMPARACIÓN DE VARIEDADES POR LOCALIDAD
(1978/1979 - 1983/1984)

Regional Experiments of Oats, Barley, Rice, Beans, Chick Peas, Lentils and Potatoes.
Comparison of Varieties by Locality (1978/1979 - 1983/1984)

CEREALES					
Cebada		Avena		Arroz	
Localidad	Nº de Variedades	Localidad	Nº de Variedades	Localidad	Nº de Variedades
Ovalle	16	Quilamapu	21	Parral	5
La Platina	29	Carillanca	24	Chillán	12
Quilamapu	28				
Carillanca	29				
La Pampa	9				

LEGUMINOSAS					
Fréjol		Lentejas		Garbanzos	
Localidad	Nº de Variedades	Localidad	Nº de Variedades	Localidad	Nº de Variedades
Graneros tórtola	3	Santo Domingo	8	Lolol	4
Platina tórtola	3	Matanzas	19	Hidango	31
Platina exportación	5	Paredones	30	Paredones	3
Platina consumo interno	9	Bucalemu	4	Marchigite	9
Platina arroz	3	Pichilemu	20	Bucalemu	3
Platina cristal blanco	3	Chillán	2		
Platina coscorrón	9	Chanco	9		
Chillán consumo interno	12	San Nicolás	3		
Chillán exportación	12	Pemuco	4		
		Cafiete	11		
		Yungay	10		
		Linares	5		
		Carillanca	11		
		Collipulli	13		
		Carahue	12		
		Cholchol	12		

PAPAS			
Localidad	Nº de Variedades	Localidad	Nº de Variedades
La Serena	10	Los Lagos	9
Curacaví	10	Remehue	16
La Platina	15	Los Muermos	9
		Castro	9

Fuente: Ortíz, Claudio (1985) "Dominancia Estocástica en el Problema de Selección de Variedades de Cultivos en Chile". Serie de Tesis N° 38. Departamento de Economía Agraria, Facultad de Agronomía, Universidad Católica de Chile.

CUADRO 5

ENSAYOS REGIONALES DEL INIA.
VARIEDADES DOMINANTES DE SEGUNDO GRADO

Regional Experiments. Selection of Varieties Based on Second Degree Stochastic Dominance

Especie	Localidad	Variedad	Rendimiento Medio (qq/há)	
Cebada	Ovalle	Aramir	35	
		Manapou	35	
	Platina	Mazurka	63	
		B-5	65	
		Manapou	66	
		Nord Garden	64	
	Quilamapu	P 22397	48	
		Legia	45	
	Carillanca	Varunda	42	
		Mata	61	
Avena	La Pampa	Zeta	56	
		Ave 78/106	54	
	Carillanca	Ave 79/231	55	
		Ave 80/104	52	
		Ave 80/113	74	
		Quilamapu	74	
	Arroz	Parral	Quella	65
			Quila	73
		Chillán	Diamante	74
			Oro	71
Quila 15.403			80	
Quila 15.306			74	
Papas	La Serena	Quila 27.001	76	
		Mirka	210	
	Curacaví	Ultimus	220	
		Remehue-3	230	
	La Platina	Fueguina	230	
		Remehue-6	400	
	Los Lagos	Desiree	160	
		Mirka	150	
	Remehue	Remehue-3	380	
		Los Muermos	Desiree	110
Castro	Castro	Pimpernel	100	
		Cardinal	270	
	Castro	Desiree	300	
		Mirka	280	
		Pimpernel	280	
		Pimpernel	280	
Fréjol	Graneros tórtola	Tórtola Diana	10	
		Platina tórtola	21	
	Platina Exportación	Tórtola Diana	20	
		Tórtola INIA	13	
	Platina Consumo Int.	Red Kloud	12	
		Arroz 3	28	
	Platina Arroz	Platina Arroz	Suave	19
			Tórtola Corriente	24
		Platina Cristal Blanco	Hallados Dorados	13
			Arroz	20
F 16 GN 31 × CBL 258			21	
785310-B			21	
Platina Coscorrón	785317-B	21		

Especie	Localidad	Variiedad	Rendimiento Medio (qq/há)
Lentejas	Chillán Consumo Int.	Hallados Dorados	26
	Chillán Exportación	05-15	28
	Agrupación Sto. Domingo-Bucalemu-Pichilemu	Araucana	16
	Agrupación Chillán-Yungay	Constitución	15
		Araucana	15
Garbanzos	Agrupación Lolol-Hidango-Bucalemu	764088	12
		Sm SA	17
	Agrupación Marchigue-Paredones	73035	7
		74148	7

Fuente: Ortíz, Claudio (1985) "Dominancia Estocástica en el Problema de Selección de Variedades de Cultivos en Chile". Serie de Tesis N° 38. Departamento de Economía Agraria, Facultad de Agronomía, Universidad Católica de Chile.

cebada, arroz, fréjoles, garbanzos, lentejas y papas en los ensayos regionales del INIA, por un período de 6 años.

En el Cuadro 5 se muestran las correspondientes variedades seleccionadas usando DE para cada especie y localidad. Los resultados deberían ser de utilidad para los agricultores de las distintas localidades mencionadas, al igual que para los fitomejoradores.

4. CONCLUSIONES

En la actualidad es ampliamente reconocido que el riesgo es un factor clave en todas las actividades agrícolas tornándose más importante aún en la adopción de nuevas tecnologías por parte de los agricultores, principalmente en el caso de los cultivos tradicionales en donde existen arraigadas prácticas culturales en uso. En este sentido, un enfoque promisorio consiste en categorizar las expectativas de riesgo empresarial de acuerdo a reglas que tienen como objetivo fundamental ayudar en los procesos de decisión en presencia de riesgo lo que constituye la esencia de la técnica de Dominancia Estocástica.

A través de la técnica señalada, se pudo aislar eficientemente las variedades dominantes para una serie de especies, siendo de especial importancia los resultados obtenidos en los Ensayos de Trigo, cultivo de gran relevancia socioeconómica en Chile.

El uso de la Dominancia Estocástica permitió discriminar exitosamente entre variedades a base de la DE de Primer y Segundo Grado. No se encontraron diferencias significativas entre la discriminación de Segundo y Tercer Grado.

La difusión de nuevas tecnologías en agricultura será más efectiva si se reconoce debidamente la importancia del riesgo. Esto va a permitir que las tecnologías que difundan las extensionistas sean mejores, en promedio, que las tradicionales y a su vez, menos riesgosas.

En la investigación agropecuaria la consideración del riesgo tiene un alto interés por cuanto la actividad del sector es esencialmente incierta en sus resultados. Sin embargo, típicamente los investigadores orientan su selección de tecnologías en base al promedio de los tratamientos experimentales y no es común que exploren la variabilidad de los mismos. La investigación orientada al promedio supone indiferencia al riesgo como actitud empresarial predominante sin embargo, la evidencia empírica no parece consistente con dicha premisa. Lo que justifica el caso de técnicas como las descritas, que si bien aparecen como complejas, permiten una mayor precisión en el análisis de la investigación agropecuaria. En último término ello se traduce en un proceso de toma de decisiones más informado.

La investigación orientada a considerar el riesgo y la actitud de los agricultores frente a él, implica analizar las tecnologías generadas

dejo condiciones ambientales amplias (desfavorables, típicas y muy favorables) a fin de captar la variabilidad ambiental e idealmente, la variabilidad intertemporal. En este estudio, los ensayos aquí analizados aparecen como extremadamente beneficiosos desde el punto de vista de la información disponible y los resultados obtenidos, ya que la variabilidad ambiental y especialmente la intertemporal fueron claramente consideradas en el análisis desarrollado para todas las especies evaluadas.

5. RESUMEN

En este artículo se hace especial énfasis en la

importancia del riesgo en la selección de variedades de cultivares para una serie de experimentos agrícolas realizados en el país a lo largo de varios años y en diversas zonas geográficas. Se implementa un procedimiento, basado en reglas de dominancia estocástica, que permite la selección eficiente de variedades dominantes de trigo, cebada, avena, arroz, fréjoles, garbanzos, lentejas y papas. Los resultados obtenidos enfatizan la crucial importancia que tienen las colas inferiores de las distribuciones probabilísticas de rendimientos en la selección final de variedades aceptables para los agricultores.

6. LITERATURA CITADA

- ANDERSON, J. (1974). "Risk Efficiency in the Interpretation of Agricultural Production Research". *Review of Marketing and Agricultural Economics*, 42(3), September: 131-184.
- FISHBURN, P. (1964). *Decision and Value Theory*, New York, Wiley.
- HADAR, J. and W. RUSSELL. (1969). "Rules for Ordering Uncertain Prospects". *American Economic Review*, 59(1): 25-34.
- HAMMOND, J. (1974). "Simplifying the Choice between Uncertain Prospects where Preference is Non-Linear". *Management Science*, 20(1): 1047-1072.
- HANOCH, G. and H. LEVY (1969). "The Efficiency Analysis of Choices Involving Risk". *Review of Economic Studies*, 36(3): 335-346.
- ORTÍZ, C. (1985). Dominancia Estocástica en el Problema de Selección de Variedades de Cultivos en Chile. Serie de Tesis N° 38. Departamento de Economía Agraria, Facultad de Agronomía, Universidad Católica de Chile.
- QUIRK, J. and R. SAPOSNIK (1962). "Admissibility and Measurable Utility Function". *Review of Economic Studies*, 29(2): 140-146.
- SCHLAIFER, R. (1959). *Probability and Statistics for Business Decisions*. New York, McGraw-Hill.
- TRONCOSO, J.L., HARO, R. y BANSE, J. (1984). "Evaluación Económica de Variedades Precoces de Papa para la Zona Sur". *Agro Sur*, 12(1): 28-35.
- TRONCOSO, J.L., BARRIGA, P. y HARO, R. (1986). "Evaluación Económica del Trigo Austral: Una Variedad de Trigo de Primavera". *Agro Sur*, 14(1): 19-23.

DISPERSIÓN DE ALGUNOS ANDISOLES CHILENOS MEDIANTE HEXAMETAFOSFATO DE SODIO Y NITRATO DE CIRCONIO

DISPERSION OF SOME CHILEAN ANDISOLS WITH SODIUM
HEXAMETAPHOSPHATE AND ZIRCONIUM NITRATE

GERARDO GALINDO G.¹, RICARDO HONORATO P. y RODRIGO MILLÁN A.
*Departamento de Ciencias Vegetales, Facultad de Agronomía
Pontificia Universidad Católica de Chile*

SUMMARY

Zirconium nitrate and sodium hexametaphosphate effect on the dispersion of Andisols was compared, using either mechanical or ultrasonic agitation. The most efficient method to disrupt the soil microagregates was ultrasonic agitation with zirconium nitrate. Nevertheless, mechanical agitation with zirconium nitrate was almost as efficient than the first method, in most of the studied soils.

INTRODUCCIÓN

En un trabajo anterior (Galindo *et al.*, 1986), estudiaron el efecto del carbono orgánico-residual en la dispersión de algunos Andisols, con agitación mecánica y con la aplicación de ultrasonido. El tratamiento con ultrasonido favoreció la dispersión, originando contenidos de arcilla significativamente superiores a los obtenidos con agitación mecánica. El comportamiento de los horizontes A y B de los suelos fue diferente, y se relacionó con el contenido de alofán e imogolita, aluminio y hierro no cristalino inorgánico. En algunos casos, a pesar de la aplicación de ultrasonido, del aumento de la cantidad de agente dispersante y de lavados sucesivos de la suspensión para eliminar constituyentes disueltos, la dispersión fue incompleta.

Esta situación se podría atribuir al hecho que en el trabajo se realizó con hexametafosfato de sodio, dispersante aniónico que le confiere car-

ga negativa a las partículas y por esta razón existiría la posibilidad de interacciones entre partículas a través de las diferentes formas de Al y Fe presentes en los minerales de la arcilla. Con el objetivo de comprobar esta hipótesis, se repitieron las experiencias con nitrato de circonio, que es un dispersante catiónico. El circonio, elemento altamente electropositivo y con un bajo potencial de ionización puede originar una carga neta positiva en la arcilla y de esta manera favorecer la dispersión, a través de una reversión de la carga.

MATERIALES Y MÉTODOS

Suelos

Se emplearon tres series pertenecientes a los Andisoles típicos: Osorno (O), Puyehue (P) y Puerto Octay (PO); además, se incluyó la serie Corte Alto que es un intergrado (Honorato *et al.*, 1984). De cada suelo se empleó un hori-

¹Facultad de Ciencia, Universidad de Santiago de Chile.

zonte superficial (A) y otro del subsuelo (B), las muestras se recolectaron con la humedad de campo, se tamizaron en húmedo y se conservaron en bolsas plásticas a baja temperatura.

Tratamientos

La materia orgánica se destruyó de acuerdo al procedimiento señalado por Galindo *et al.* (1986), empleando el criterio del punto visual y las cantidades de H_2O_2 consideradas adecuadas por estos autores. El procedimiento de dispersión con hexametáfosfato de sodio, el análisis granulométrico y la determinación de punto isoeléctrico (PIE) se realizaron empleando las condiciones de trabajo establecidas en la misma publicación.

Cuando la dispersión se realizó con nitrato de circonio, se empleó el procedimiento recomendado por Ahmad y Prashad (1970), donde se considera debidamente el efecto del pH sobre la efectividad del proceso, ya que es sabido que la estabilidad de estos suelos se ve afectada, a valores extremos de pH (Escudéy *et al.*, 1987).

Se compararon dos métodos de agitación al realizar el análisis granulométrico; la agitación mecánica se hizo en un agitador de vaivén a 120 oscilaciones/min, durante una noche y para la agitación con ultrasonido se empleó un sonicador "Braun Sonic 1510" a $140 W/cm^2$ durante 6 min.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1, donde se presentan los resultados obtenidos por migración electroforética en las fracciones arcilla de los horizontes A y B del suelo Puerto Octay, se aprecia claramente la reversión de la carga superficial. En presencia de hexametáfosfato de sodio se determinó un punto isoeléctrico (PIE) inferior a 4 y al ser tratados con nitrato de circonio, éste tiene valores superiores a 8; esto significa que para obtener una buena dispersión, potencial zeta (PZ) superior a 30 mU, se requiere trabajar a pH alcalino y ácido, respectivamente.

Los resultados del análisis granulométrico empleando ambos dispersantes y los dos métodos de agitación se presentan en el Cuadro 1.

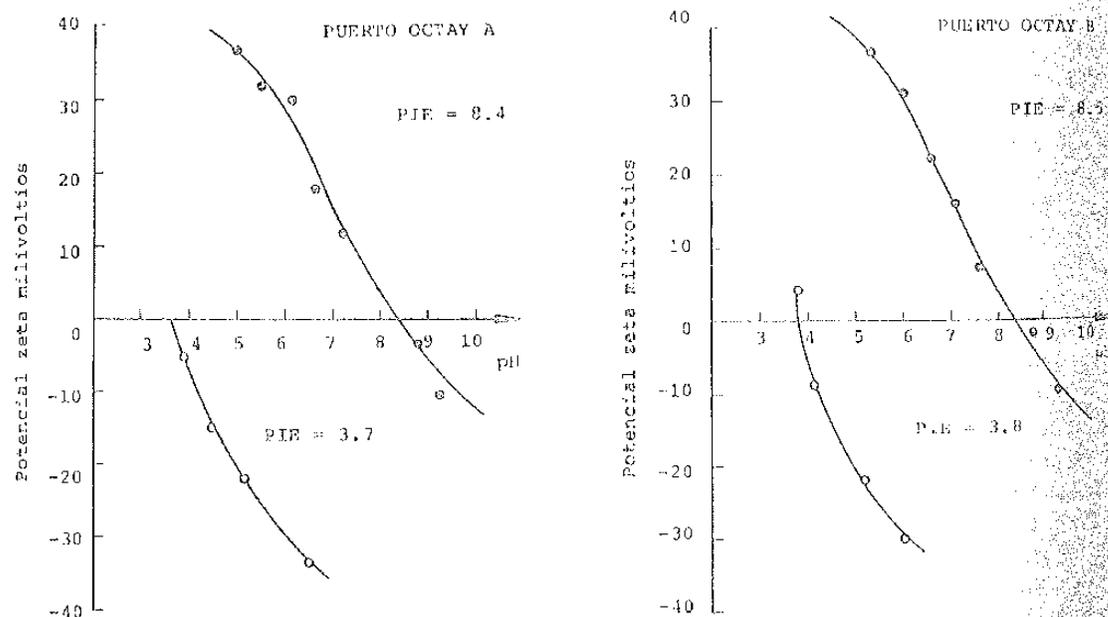


FIGURA 1

RELACIÓN ENTRE EL POTENCIAL ZETA Y pH DEL SUELO PUERTO OCTAY TRATADO CON $Zr(NO_3)_4 \cdot 5H_2O$ (●) Y CON HEXAMETÁFOSFATO DE SODIO (○)

Relationship between Zeta potential and pH in Puerto Octay soil treated with $Zr(NO_3)_4 \cdot 5H_2O$ (●) and with sodium hexametáfosfato (○).

Al utilizar nitrato de circonio como dispersante, el empleo de ultrasonido aumenta significativamente la cantidad de arcilla en algunos horizontes, a expensas del limo, como puede determinarse por la variación de los índices de tratamiento (US/MC). Esto significa que el tratamiento con ultrasonido contribuye a la

ruptura de microagregados del tamaño de los limos y de las arenas finas (Galindo *et al.*, 1986; Honorato, 1987). Los mayores incrementos coinciden con los contenidos más elevados de Al provenientes de alofán e imogolita (suelos Osorno y Puerto Octay), lo que permite inferir que estos minerales de la arcilla favore-

CUADRO 1
GRANULOMETRÍA UTILIZANDO $Zr(NO_3)_4 \cdot 5H_2O$ CON AGITACIÓN MECÁNICA (MC) Y ULTRASONIDO (US)

Particle size analysis using $Zr(NO_3)_4 \cdot 5H_2O$ with mechanical (MC) and ultrasonic (US) agitation

Suelo	Horizonte	Granulometría (%)							
		Arcilla			Limo			Arena	
		MC	US	US/MC	MC	US	US/MC	MC	US
Osorno	A	33	50	1,5	57	39	0,7	10	11
	B	37	48	1,3	55	44	0,8	8	8
Puyehue	A	11	11	1,0	32	33	1,0	57	56
	B	26	27	1,0	37	36	1,0	37	37
Puerto Octay	A	32	37	1,2	53	49	0,9	15	14
	B	42	58	1,4	48	32	0,7	10	10
Corte Alto	A	56	50	0,9	28	35	1,2	16	15
	B	53	54	1,0	35	33	0,9	12	13

CUADRO 2
GRANULOMETRÍA UTILIZANDO "CALGON" (HEXAMETÁFOSFATO DE SODIO) (H) Y NITRATO DE CIRCONIO (Z) CON AGITACIÓN MECÁNICA (MC) Y CON ULTRASONIDO (US)

Particle size analysis using "Calgon" (sodium hexametáfosfato (H) and zirconium nitrate (Z) with mechanical (MC) and ultrasonic (US) agitation

Suelo	Horizonte	% Arcilla							
		MC-H		MC-Z MC-H	US-H		US-Z US-H	US/MC	
		H	Z		H	Z		H	Z
Osorno	A	25	33	1,3	33	50	1,5	1,3	1,5
	B	22	37	1,7	47	48	1,0	2,1	1,3
Puyehue	A	7	11	1,6	9	11	1,2	1,3	1,0
	B	14	26	1,9	26	27	1,0	1,9	1,0
Puerto Octay	A	21	32	1,5	32	37	1,1	1,5	1,2
	B	15	42	—	12*	58	—	—	1,4
Corte Alto	A	51	56	1,1	52	50	1,0	1,0	0,9
	B	52	53	1,0	54	54	1,0	1,0	1,0

*Dispersión incompleta.

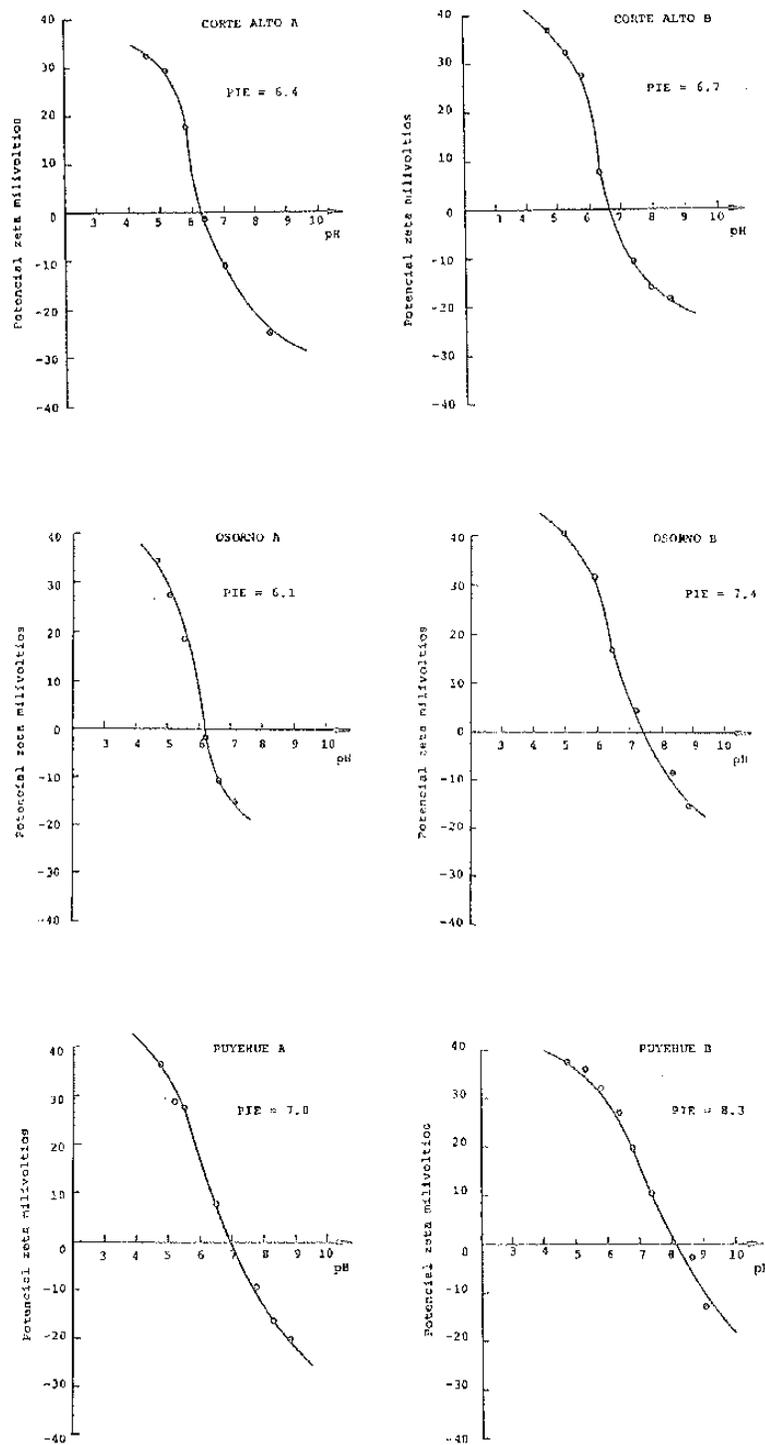


FIGURA 2
RELACIÓN ENTRE EL POTENCIAL ZETA Y pH EN LOS SUELOS OSORNO,
PUYEHUE Y CORTE ALTO TRATADOS CON $Zr(NO_3)_4 \cdot 5H_2O$
Relationship between Zeta potential and pH in Osorno, Puyehue
and Corte Alto soils, treated with $Zr(NO_3)_4 \cdot 5H_2O$

con la formación de microagregados de gran estabilidad.

No es posible asociar la eficiencia del procedimiento con los PIE ya que los valores determinados estuvieron en el rango 6,1-8,5. Aparentemente, bastaría reducir el pH en menos de 2 unidades para alcanzar valores de PZ que permitan predecir una dispersión adecuada (Figura 2). Además, esta dispersión se lograría dentro del rango de pH (4,5 a 9,5) donde se produce la menor disolución de componentes inorgánicos (Escudey *et al.*, 1987).

En el Cuadro 2 se puede comparar la eficiencia de dispersión entre nitrato de circonio (Z) y hexametáfosfato (H) de sodio ("Calgón") con agitación mecánica y con ultrasonido.

Es evidente que con agitación mecánica mejora la calidad de la dispersión del nitrato de circonio, con excepción del suelo Corte Alto. Este comportamiento se relaciona con la mineralogía predominante de los suelos Osorno, Puyehue y Puerto Octay (alofán, imogolita y terrhidrita), que originan altos niveles de Al y Fe unidos a compuestos de baja cristalinidad y que se contraponen con el suelo Corte Alto que tiene fundamentalmente haloisita y óxidos cristalinos de Fe (Galindo *et al.*, 1986). El

resultado más concluyente es el observado en el horizonte B del suelo Puerto Octay, el que presenta el mayor contenido de Al activo unido a alofán e imogolita, que no pudo ser dispersado completamente con hexametáfosfato, aun aplicando ultrasonido; sin embargo, con nitrato de circonio se obtuvo una buena dispersión.

CONCLUSIONES

Al comparar el efecto de ambos dispersantes, utilizando el ultrasonido, no existen diferencias notables, con la excepción del horizonte A del suelo Osorno. Este comportamiento nos estaría indicando que el nitrato de circonio tiene una mejor capacidad de ruptura de los microagregados del tamaño de los limos (característicos de los Andisoles), que el hexametáfosfato de sodio; pero, que su eficiencia no llega a reemplazar completamente a la correspondiente al tratamiento con ultrasonido. Así, en ausencia de este instrumento, se puede obtener una buena estimación del contenido de arcilla utilizando el nitrato de circonio como agente dispersante, en vez de hexametáfosfato de sodio.

LITERATURA CITADA

- AHMAD, V. and S. PRASHAD. 1970. Dispersion, mechanical composition, and fractionation of west indian volcanic yellow earth soils (Andepts). *J. Soil Sci.* 21(1): 63-71.
- ESCUDEY, M., P. DÍAZ y G. GALINDO. 1987. Titulación potenciométrica de suelos, fracciones de suelos y aluminosilicatos sintéticos semejantes al alofán. Estudio de estabilidad. V Simposio Nacional de la Ciencia del Suelo: 21-24.
- GALINDO, G., R. HONORATO y R. MILLÁN. 1986. Efecto del carbono orgánico residual en la dispersión de algunos Andisoles. *Ciencia e Inv. Agr.* 13(1): 37-52.
- HONORATO, R., G. GALINDO y D. PINOCHET. 1984. Aplicación de algunos indicadores de propiedades ácidas en suelos chilenos derivados de materiales volcánicos. *Ciencia e Inv. Agr.* 11(3): 179-190.
- HONORATO, R. 1987. Micromorfología de Andisoles. V Simposio Nacional de la Ciencia del Suelo: 208-215.

EL TAUTOCRÓN: UN CONCEPTO BIOMATEMÁTICO PARA DEFINIR LA LONGEVIDAD DE CULTIVOS ANUALES

TAUTOCHRON: A BIOMATHEMATICAL CONCEPT TO DEFINE PRECOCITY OF ANNUAL CROPS

ALDO NORERO SCH.

*Departamento de Ciencias Vegetales, Facultad de Agronomía
Pontificia Universidad Católica de Chile*

SUMMARY

Agronomic planning of annual crops requires the estimation of the probable length of their development cycle and of relevant phenological events. Ambient temperature is the most influential factor in development rate of plants and several functions have been proposed to describe this influence.

The method proposed in this study is based on the concept of time integration of a non-linear thermal function, as contrasted to the conventional linear summation of heat units. Use is made of a fundamental formula derived from theoretical consideration of temperature effects on enzyme catalysis.

Evidence is presented to show adequacy of the proposed method and its relatively less variability as compared with the common procedure based on the degree-days concept. As a consequence, a new term is coined, the tautochron, which may be used to rigorously define precocity of crops or cultivars.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de un cultivo anual se define como la secuencia reproducible de diferenciaciones cualitativas, a nivel celular, tisular y orgánico, de las células, tejidos u órganos vegetales que se manifiesta durante el curso de su ciclo vital. La manifestación macroscópica de estas modificaciones ontogénicas son, por ejemplo, los componentes mayores de la estructura vegetal: raíces, hojas, tallos, ramificaciones, inflorescencias, frutos, semillas, etc. La progresión en que éstos se suceden muestra un patrón característico. Además, el desenvolvimiento relativo entre estas estructuras revela

una reproducible constancia alométrica, sugiriendo en ambos casos un marcado control genético. A diferencia del crecimiento, cuya magnitud en términos de biomasa gravimétrica o volumétrica experimenta amplia variación según los cambios en recursos energéticos y materiales del medio, el desarrollo muestra mucho menor variabilidad. Pero, aun así, en estrictos términos cuantitativos, la duración total del ciclo de desarrollo de un cultivo, o de sus distintas etapas fenológicas no son cronológicamente constantes: en algunas circunstancias se ve acelerado; otras veces, retardado.

Estas diferencias cronológicas del desarrollo están sensiblemente vinculadas a los cam-

bios en la temperatura ambiental, circunstancia que ya en 1730 había notado Reamur (Mederski, Miller y Weaver, 1973). A este científico se atribuye por cierto, el origen de los intentos por describir cuantitativamente la duración del desarrollo de las plantas a base de algún criterio de acumulación térmica, en vez de cronológica.

Es sabido que cada fase o expresión morfológica que acusa el cultivo en su progresión ontogenética, evoluciona dentro de un marco definido de temperaturas, llamadas por eso temperaturas cardinales: una temperatura mínima, o umbral, bajo la cual no hay desarrollo ostensible, sino una suspensión o latencia; una temperatura óptima, a la cual el desenvolvimiento estructural ocurre con máxima rapidez, y una temperatura máxima, sobre la cual cesa el desarrollo por extralimitación o exceso terminal. Cada cultivar manifiesta reproducibilidad notable en estas temperaturas cardinales, por lo cual se les atribuye una dependencia genética. Sobre esta base se han apoyado todos los intentos de cuantificación del desarrollo de los cultivos mediante una determinada suma de unidades calóricas.

Varios autores han hecho notar que la variación relativa de cualquier método de suma térmica para describir la duración de fases o de todo el desarrollo de las plantas, es considerablemente menor que la designación común a base de días-calendario (Mederski, Miller y Weaver, 1973; Gilmore y Rogers, 1958; Cross y Zuber, 1972; Aspiazu y Shaw, 1972; Shaw, 1975 y Colville y Curtiss, 1986). A pesar de esto sigue siendo práctica frecuente referirse a la precocidad de cultivares anuales a base de días-cronológicos.

Existen numerosas variantes del concepto básico de acumulación térmica por sumatoria de temperaturas efectivas diarias. Éstas han sido descritas, aconsejadas y criticadas por diversos autores (Romo y Arteaga, 1983; Wang, 1960; Kiniri y Keener, 1982 y Major, Johnson y Lewdders, 1975). Una de las limitaciones más serias es la presunción de una relación lineal entre la temperatura y la rapidez del desarrollo vegetal, a pesar de que ya en 1914 Lehenbauer había llamado la atención de la respuesta notoriamente curvilínea de esta función.

La mayoría de los autores se han contentado con realizar ajustes en las temperaturas basales, suprimir temperaturas superiores a la óptima, incorporar efectos por radiación o duración del día, etc. En todo caso, las fórmulas propuestas son sencillamente empíricas y son adaptadas y ajustadas para servir propósitos utilitarios específicos. Las aproximaciones teóricas al problema son escasas (Kiniri y Keener, 1982 y Gent y Enoch, 1983), y aún no suficientemente aplicadas, a pesar de que la mayoría de los autores que usan las fórmulas simples de sumas térmicas reconocen que deben perfeccionarse formulaciones que posean menor variabilidad en la caracterización del requerimiento calórico de los cultivos (Shaw, 1975; Colville y Curtiss, 1986; Coligado y Brown, 1975; Major, Johnson y Lewdders, 1975 y Cranc *et al.*, 1977).

El objeto de este trabajo es presentar un criterio diferente para expresar la edad fisiológica de los cultivos, y sugerir la aplicación de una nueva fórmula, basada en ese criterio, para estimar las duraciones de fases, o de todo el ciclo vital de los cultivos.

TEORÍA

El concepto de desarrollo, y el rol de la temperatura se esquematizan en la Figura 1. Lo que es oportuno destacar, a los fines de este artículo, es la vinculación de la temperatura con la cinética enzimática. Evidentemente, la temperatura que interesa es la de los propios tejidos vegetales y no la temperatura ambiente, entre las cuales puede haber en ocasiones diferencias no triviales. Sin embargo, y a pesar de que es posible estimar la probable temperatura del cultivo a base de un análisis agrofísico (Norero, 1983), es cómodo suponer, para fines prácticos, identidad de esas temperaturas y servirse entonces directamente de la información meteorológica estándar. El adoptar esta simplificación supone admitir también que el cultivo no experimenta déficit hídrico importante puesto que éste se traduce en diferencias térmicas de consideración entre las hojas del cultivo y el aire e invalidaría el procedimiento.

Un análisis basado en los conceptos ilustrados en la Figura 1, y cuyas conclusiones han

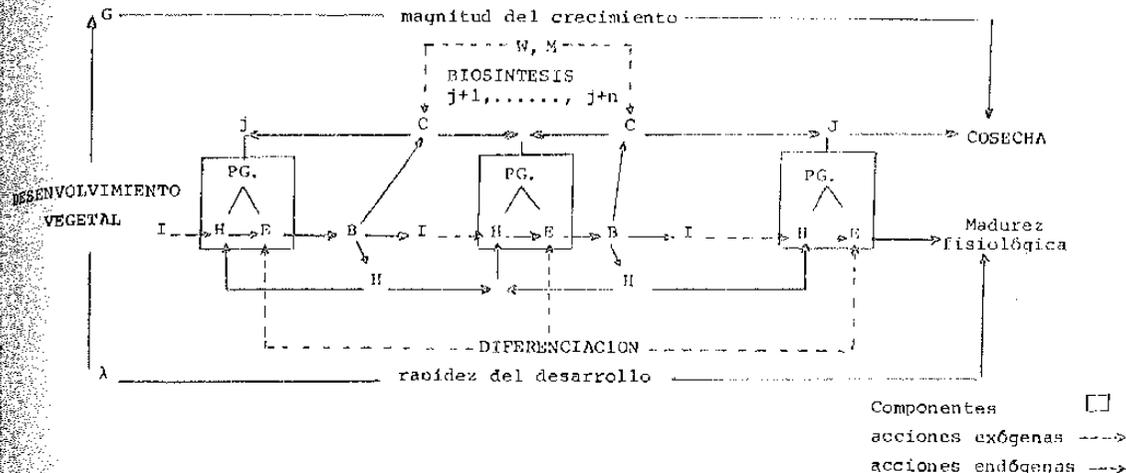


FIGURA 1

Esquema del crecimiento y desarrollo de un cultivo. El desenvolvimiento vegetal comprende el crecimiento G (aumento de biomasa) y desarrollo λ (diferenciaciones estructurales en el tiempo. Puede requerirse una inducción o estímulo específico I para iniciar una fase morfológica. Las hormonas H son las ordenadoras de la progresión ontogenética; las enzimas E son las mediadoras del metabolismo. Las funciones de ambas (H y E) son inherentes al cultivar y a cada fase, y son manifestación de un programa genético, PG. La acción de E modula la biosíntesis, B, de nuevos compuestos funcionales (H), y estructurales (C). El crecimiento C es destinado a la propia estructura j, que lo genera y/o a las estructuras siguientes j+1,.....,j+n, hasta alcanzar la estructura final que interesa cosechar J. Las flechas que retroalimentan los H entre estructuras advierten del fenómeno sinérgico y antagonístico de las hormonas. Las flechas divergentes en C expresan el reparto del crecimiento. Las flechas que unen B a I sugieren que también la concentración de fotosintatos puede actuar como factor inductivo. El crecimiento total, G, y de sus componentes j₁,... j_n, J, dependerá de los recursos energéticos, W, y materiales, M de la atmósfera y del suelo. La rapidez del desarrollo, λ, dependerá de la acción de la temperatura, T, sobre la dinámica enzimática.

ido apoyadas por numerosos resultados experimentales, según se ha mostrado en un trabajo

precedente (Norero, 1987), conduce a la siguiente proposición matemática:

$$v = 1,227 v_{m\acute{a}x} \left(\frac{T-T_i}{T_o-T_i} \right) \exp \left\{ - \frac{0,0606 (T_o-T_i)}{T-T_i} - \frac{443,5 (T-T_i)}{T_o-T_i} \exp \left| - \frac{8,03 (T_o-T_i)}{T-T_i} \right| \right\}$$

En esta fórmula v es la intensidad del proceso biológico controlado por enzimas; v_{máx} es la máxima intensidad del mismo cuando la temperatura (T) es óptima (T_o), y T_i es la temperatura mínima para la activación del proceso.

La fórmula 1 se dedujo de consideraciones biomatemáticas aplicadas a la acción de la temperatura sobre la cinética enzimática y ha demostrado describir adecuadamente una variedad de procesos a nivel bioquímico, citológico, histológico y morfológico. Se trata ahora de proyectarla a la progresión ontogenética de todo el cultivo, o de sus fases fenológicas específicas de diferenciación estructural.

La intensidad del desarrollo puede describirse de la siguiente forma:

$$v = \frac{dx}{dt}$$

en la cual x es el número de unidades de que se compone, en un momento dado de tiempo, t, una estructura del cultivo; v, es por lo tanto la rapidez con que aumenta esa estructura.

Ahora bien, una estructura dada completará su desarrollo cuando haya acumulado el número total de unidades que la componen en su madurez, número que se simbolizará por X, y se supone genéticamente determinado. El desarrollo de esta estructura comenzará en un día cualquiera t_i, cuando reciba el estímulo corres-

pendiente, exógeno o endógeno, y se completará en un día cualquiera t_f . Matemáticamente el término del desarrollo podrá ser expresado entonces por la ecuación:

$$[2] \quad X = \int_{t_i}^{t_f} \left(\frac{dx}{dt} \right) dt = v \max \int_{t_i}^{t_f} f(T) dt$$

Por otra parte, entre t_i y un día cualquiera $t < t_f$, cuando todavía no se cumple el desarrollo ple-

$$[4] \quad \frac{x(t)}{X} = \frac{\text{edad fisiológica al tiempo } t}{v \max \int_{t_i}^{t_f} f(T) dt} = \frac{\int_{t_i}^t f(T) dt}{\int_{t_i}^{t_f} f(T) dt}$$

La constante fisiológica $v \max$ puede ser retirada del integral y cancelarse convenientemente, puesto que sería en la práctica difícil de caracterizar. La función $f(T)$ queda dentro de los integrales, reconociendo así las normales variaciones que experimenta la temperatura ambiente en el tiempo.

La hipótesis básica de este análisis es que la integración termocronológica que aparece en el denominador es una constante genética de la estructura dada. En otras palabras, la estructura en cuestión siempre completará sus X unidades cuando se acumule el valor numérico correspondiente a ese integral. El interés fitotécnico práctico de este valor, o "constante fitométrica", radica en la expectativa de que sea reproducible en diferentes condiciones am-

$$\int_{t_i}^{t_f} f(T) dt = \int_{t_i}^{t_i=t_{\min}} (1) dt = (t_{\min} - t_i) = \Delta \text{mín; (días)}$$

Para abreviar la notación se adoptará la mayúscula griega Φ para designar al integral termocronológico total del desarrollo de la estructura, y la correspondiente minúscula $\phi(t)$, para el integral termocronológico parcial, hasta un día t cualquiera. Entonces, la edad fisiológica en un momento cualquiera será descrita por $\phi(t)/\Phi = \lambda(t)$.

El desarrollo de los cultivos involucra una sucesión característica de etapas, j , cada una de las cuales podrá caracterizarse por sus temperaturas cardinales y su integral termocronológico, Φ_j . A su vez, el integral termocronológi-

co de la estructura, se habrán formado sólo $x < X$ unidades:

$$[3] \quad x(t) = v \max \int_{t_i}^t f(T) dt$$

Entonces, la edad fisiológica de esa estructura puede ser expresada inequívocamente por la razón $\frac{x(t)}{X}$, es decir, por la relación entre un desarrollo parcial (x) y el total obtenible (X). Su valor o magnitud puede obtenerse relacionando [2] con [3]:

bientales, y por lo tanto, eficazmente extrapolable.

El examen dimensional de [4] revela que las unidades de los integrales son unidades de tiempo, por ejemplo, días, porque la función $f(T)$ termofisiológica es adimensional. El cociente de los integrales deja a la "edad fisiológica" con carácter adimensional y abarcando una gama de valores muy convenientes: desde un valor cero, ausencia de desarrollo, hasta un valor uno, término del desarrollo.

Además, es fácil comprobar que el significado fisiológico del integral del denominador corresponde al tiempo-mínimo en que se podría completar el desarrollo de la estructura si la temperatura permaneciese hipotéticamente en su valor óptimo ($T = T_o$). En este caso,

co de todo el ciclo vital del cultivo anual será Φ . Entonces, cada estructura j comenzará su desarrollo una vez alcanzada cierta y determinada edad fisiológica del cultivo, λ_{ji} , a partir de la cual deberá cumplir su valor Φ_j , para lograr su madurez fisiológica particular. Con estos criterios y convenciones, la progresión ontogenética de un cultivo puede representarse y evaluarse según el esquema explicado en la Figura 2. Para fines aplicados, a menudo interesa sólo evaluar la duración total del ciclo vital del cultivo, en diferentes temporadas o en diferentes localidades bajo diversas condiciones de

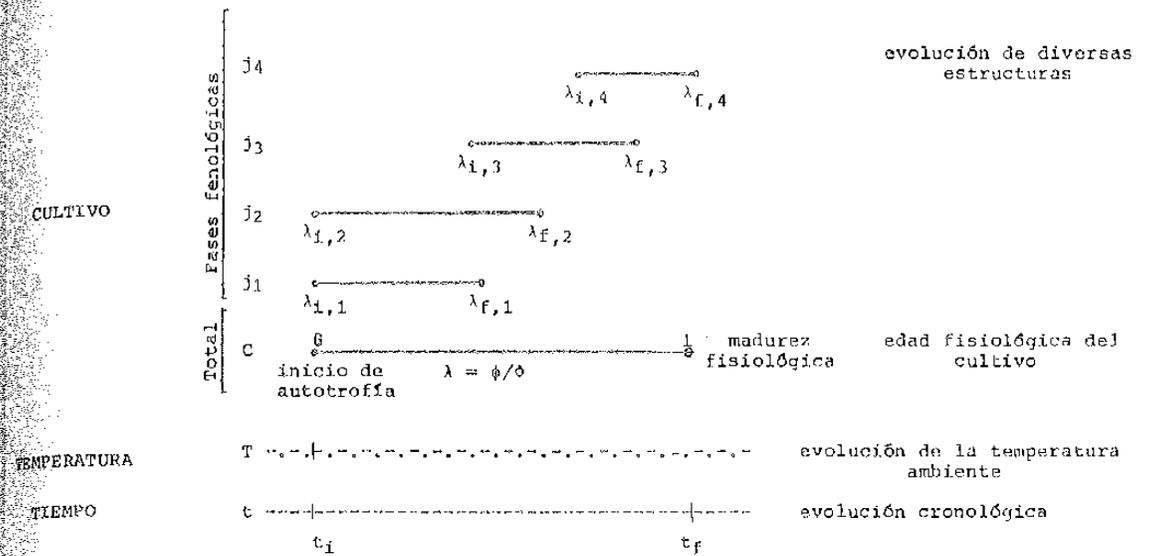


FIGURA 2

Esquema para la descripción y estimación del desarrollo de un cultivo, C , y de sus componentes estructurales, j . La temperatura T varía en el tiempo t . El cultivo requiere un valor Φ para cumplir su ciclo. En cualquier instante su edad fisiológica será $\lambda = \phi/\Phi$, siendo ϕ la integración térmica parcial. En edades fisiológicas, predeterminadas genéticamente, se iniciará el desarrollo de cada estructura λ_{ji} ; y, de igual modo, finalizará a la edad λ_{if} . Cada estructura requiere su propia integración termocronológica, Φ_j , e involucra temperaturas cardinales específicas. Cuando el cultivo alcanza el valor Φ está fisiológicamente maduro y su lapso autotrófico habrá sido $t_f - t_i$; siendo t_i la fecha de emergencia y t_f el día en que se cumple Φ . Debido a cambios estacionales de $T = f(t)$, la duración del período autotrófico será variable.

temperatura. Con tal fin, pueden adoptarse por simpleza, valores únicos de temperaturas cardinales para todo el ciclo, y estimar el valor $t_f - t_i$ del período autotrófico sencillamente con la ecuación:

$$[5] \quad \Phi = \int_{t_i}^{t_f} f(T) dt$$

Esto supone la progresiva integración de la función $f(T)$ a partir de un día t_i escogido arbitrariamente (fecha de emergencia en un cultivo anual) en sucesivos días, t , hasta conseguir el valor de Φ . El día en que el integral alcanza este valor será el día t_f estimado para madurez fisiológica. Los datos necesarios para esta estimación son los de las temperaturas cardinales (constantes genéticas), y las temperaturas del entorno (variable ambiental).

El valor práctico de [5] será tanto mayor cuanto menos variable resulte ser Φ , cuando se le determine en diferentes condiciones de temperatura. En todo caso, sólo se justificará su

empleo si su variabilidad fuese menor que la de las fórmulas empíricas actualmente en uso.

EXPERIMENTOS

1. Datos

La determinación de la integral termocronológica para determinadas fases del desarrollo, Φ_j , o de todo el ciclo, Φ , requiere de experimentos en los cuales se registra la temperatura del aire durante el desenvolvimiento autotrófico vegetal, y el momento en que se exprese el inicio y término de la fase fenológica de interés, o la maduración fisiológica del cultivo. No debe emplearse la temperatura del aire para determinar el requerimiento calórico de la fase de germinación porque ésta está influida por la temperatura del suelo, la cual puede diferir bastante de aquella. Tampoco pueden extenderse las medidas a un estado más avanzado de senescencia, particularmente en el caso de gra-

nos, porque la humedad del aire influye poderosamente en el contenido de agua de ellos (Olesen y Mikkelsen, 1985).

Con estos experimentos se espera demostrar la reproducibilidad del valor de Φ . Para ello se requiere sembrar un determinado cultivar en distintas épocas y/o en distintas condiciones ambientales. Los datos analizados en este trabajo proceden de cuatro experimentos de esta clase, empleando papa (*Solanum tuberosum*) en dos localidades; poroto (*Phaseolus vulgaris*), y maravilla (*Helianthus annuus*). Este último a su vez, comprende cuatro variedades híbridas.

Experimento 1

Se realizó en Lipingue (Los Lagos, X Región de Chile). Se sembró papa, var. Ginecke y Pimpnel, en dos períodos: noviembre de 1977 a abril de 1978, y noviembre de 1978 a abril de 1979. Se registró la evolución fenológica (emergencia, floración y maduración) y las temperaturas diarias¹. Mayores detalles de esta experiencia se dan en la publicación original (Gutiérrez *et al.*, 1985), en la cual sus autores consignan además los grados-días acumulados sobre una temperatura base de 7°C.

Experimento 2

Se llevó a cabo en Aspendale, Australia y comprendió tres siembras sucesivas de papa, var. Kennebec, desde agosto de 1965 a diciembre de 1966, abarcando dos condiciones de primavera y una de verano, con importantes cambios en la temperatura ambiental durante los ciclos vegetativos. Se reportan las temperaturas semanales y las etapas de emergencia y

$$\Phi \approx 1.227 \sum_{i=1}^{t=n} \left(\frac{T-T_i}{T_o-T_i} \right) \exp \left\{ - \frac{0.0606 (T_o-T_i)}{T-T_i} - \frac{443.5 (T-T_i)}{T_o-T_i} \exp \left[- \frac{8.03 (T_o-T_i)}{T-T_i} \right] \right\}$$

cu la cual T es la temperatura diaria de cada día t entre emergencia y los n días que dura el ciclo autotrófico hasta madurez fisiológica. Las temperaturas T_o y T_i corresponden a la óptima y mínima, respectivamente (Cuadro 1).

¹Se agradece a los profesores Dres. Alonso Bravo y Ernesto Hajek, haber suministrado los registros originales de temperatura para este trabajo.

maduración solamente. Los detalles experimentales secundarios se encuentran descritos por Dilley y Shepherd (1972).

Experimento 3

Se trata de dos cultivos de fréjol, var. Fleetwood, sembrados en verano a continuación de trigo, en Buin, Zona Central de Chile. La diferencia entre épocas de emergencia fue de siete días, y entre épocas de cosecha (17-18% de humedad en grano) fue de cinco días. Se registraron las temperaturas diarias, y se consignan las unidades calóricas acumuladas sobre 10°C, junto a otros pormenores experimentales en el trabajo original de Faiguenbaum (1986).

Experimento 4

Consistió en 4 siembras sucesivas de maravilla en Pirque, Santiago. Se emplearon cuatro variedades: Majak, Maribel, Sigco y Dwarf, registrándose varias fases fenológicas, temperaturas diarias, y calculándose los grados-días acumulados sobre una temperatura base de 10°C. Para los efectos de esta investigación, se usan sólo los resultados de las tres primeras siembras. La cuarta siembra siempre reveló índices agronómicos significativamente diferentes de aquellas (% aceite; rendimiento de semillas; número de aquenios; número de hojas y altura) presumiblemente provocado y por limitación hídrica (Román, 1984).

2. Procedimiento para calcular Φ

Para calcular la integral termocronológica se aproximó la ecuación [1] a una sumatoria diaria de la función f(T):

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Cuadro 2 contiene los resultados del cómputo del integral termocronológico de los cuatro experimentos. Los valores de Φ conseguidos para los diversos cultivares en diferentes condiciones ecológicas, insinúan, para todo efecto práctico, que se trata de un valor constante. Además, no sólo es una característica

CUADRO 1 TEMPERATURAS CARDINALES EMPLEADAS EN EL CÁLCULO DE LA INTEGRAL TERMOCRONOLÓGICA

*Cardinal temperatures used to compute the
thermochronologic integral*

Experimento	Cultivo	Temperaturas (°C)	
		Mínima	Óptima
1	Papa, Var. Ginecke y Pimpnel	1	17
2	Papa, Var. Kennebec	2	19
3	Fréjol, Var. Fleetwood	6	32
4	Maravilla, cuadro híbridos	9	32

CUADRO 2 VALOR DE LA INTEGRAL TERMOCRONOLÓGICA (Φ) DE CULTIVARES DE PAPA, POROTO Y MARAVILLA EN DISTINTAS CONDICIONES EXPERIMENTALES

*Magnitud of the thermochronological integral (Φ) of potato, beans
and sunflower cultivars under various experimental conditions*

Experimento	Cultivo	Condición de Siembra	Φ , días
1	a) Papa (Chile)	1977-1978	118,28
	b)	1978-1979	117,19
2	a) Papa (Australia)	Oct. 1965	87,54
	b)	Feb. 1966	87,02
	c)	Sep. 1966	87,82
3	a) Fréjol (Chile)	4 enero	48,49
	b)	11 enero	48,51
4	a) Maravilla, var. Majak	—	49,29
	b)	—	47,50
	c)	—	49,25
a) Maravilla, var. Maribel	—	—	48,56
	b)	—	47,91
	c)	—	49,25
a) Maravilla, var. Sigco	—	—	48,79
	b)	—	48,10
	c)	—	49,25
a) Maravilla, var. Dwarf	—	—	48,21
	b)	—	48,61
	c)	—	48,85

interespecífica (fréjol vs. papa vs. maravilla), sino también claramente intervarietal, al menos en el caso de cultivar de papa (var. Ginecke vs. var. Kennebec), la variedad de papa en el experimento chileno (1) se muestra como genéticamente menos precoz, con un promedio de $\Phi = 117,7$ días, que la variedad empleada en Australia (2), cuyo promedio fue de $\Phi = 87,5$ días. En el experimento 3 el valor de Φ para el poroto var. Fleetwood es casi idéntico, pero no debe asignarse gran mérito a esta concordancia porque las dos siembras estuvieron separadas apenas por una semana, por lo cual no se consigue suficiente discriminación. Mayor interés ofrecen por eso las semejanzas de Φ conseguidas en los experimentos 1, 2 y 4. Menos notable fueron las diferencias interva-

rietales en maravilla, cuyos cuatro híbridos exhibieron valores muy semejantes.

Con propósitos comparativos se presentan en el Cuadro 3 los resultados del cálculo de los grados-días-acumulados (GDA) en iguales períodos fenológicos. A tal fin, se usaron las temperaturas basales propuestas por los propios experimentadores. En los trabajos originales de los experimentos 1, 3 y 4, se dan valores de GDA diferentes a los aquí presentados, porque en esos trabajos se incluyó la fase de germinación. Ya se explicó antes que lo pertinente es aplicar la temperatura del suelo, y no del aire, al desarrollo de esta etapa ontogénica.

La variación en los valores de GDA obtenida en estas experiencias son típicas (3,4). Mu-

CUADRO 3

UNIDADES CALÓRICAS (GRADOS-DÍAS-ACUMULADOS) CALCULADOS PARA LOS CULTIVOS Y CONDICIONES EXPERIMENTALES INDICADAS EN EL CUADRO 2

Heat units (degree-days) computed for crops and experiments of Table 2

Experimento	Cultivo	Grados-días-acumulados GDA	Temp. Base °C
1	a) Papa (Chile)	1125,0	7
	b)	1003,6	
2	a) Papa (Australia)	164,3	7
	b)	150,2	
	c)	131,7	
3	a) Fréjol (Chile)	746,0	10
	b)	728,0	
4	a) Maravilla, var. Majak	1331,9	10 ¹
	b)	1293,4	
	c)	1342,7	
	a) Maravilla, var. Maribel	1323,9	10
	b)	1295,0	
	c)	1325,9	
	a) Maravilla, var. Sigco	1314,9	10
	b)	1325,2	
	c)	1325,9	
	a) Maravilla, var. Dwarf	1295,8	10
	b)	1288,7	
	c)	1340,3	

¹Empleada por los experimentadores originales.

CUADRO 4
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (C.V.) DE LA INTEGRAL TERMOCRONOLÓGICA (Φ), Y DE LOS GRADOS-DÍAS-ACUMULADOS (GDA); EXPERIMENTOS CITADOS EN TABLAS 2 Y 3

Coefficient of variation (C.V.) of the thermochronological integral (Φ), and heat units (GDA). Experiments of Tables 2 and 3

Experimento	Cultivo	Coeficiente de Variación, C.V. %	
		Φ	GDA
1	Papa, var. Pimpernel, Ginecke	0,657	8,08
2	Papa, var. Kennebec	0,464	10,99
3	Fréjol, var. Fleetwood	0,029	1,72
4	Maravilla, var. Majak	2,09	1,96
	Maribel	1,38	1,31
	Sigco	1,19	0,50
	Dwarf	0,66	2,14

chos usuarios de este método empírico aceptan esta variabilidad para determinados fines prácticos, debido a la sencillez de su cálculo. En el Cuadro 4 se comparan los coeficientes de variación de este método tradicional (GDA) con los del método que aquí se propone (Φ).

La validez estadística de esta comparación es por cierto limitada, por lo reducido de las muestras. Aun así, queda el hecho de que en los cuatro casos consultados, en circunstancias muy diferentes, el coeficiente de variación de Φ es menor que 2%. En promedio, la variabilidad de Φ fue igual a 0,92%, cuatro veces menos que la variabilidad promedio de GDA (3,81%).

El reducido coeficiente de variación que muestra la integración termocronológica, sugiere que Φ es un parámetro fitométrico más reproducible, y con mayor capacidad de discriminación, que la suma térmica tradicionalmente empleada.

En vista de esto, resulta interesante interpretar fenomenológicamente la ecuación [5].

a) En un breve lapso dt , existirá una determinada temperatura T . Si ésta fuese igual a la temperatura óptima T_0 , el valor de la función $f(T)$ sería igual a 1. A esta temperatura, la morfogénesis ocurrirá a su máxima rapidez. El lapso dt será por eso un período de tiempo utilizado al máximo. Si esta condi-

ción se mantuviese permanentemente entre t_1 y t_2 (es decir durante todo el desarrollo autotrófico), la acumulación de estos lapsos dt se traducirá en un mínimo plazo de tiempo para completar el ciclo vital. El requerimiento calórico del desarrollo se habrá conseguido en el más breve plazo. Si este requerimiento de calor es una constante genética, el mínimo tiempo asociado a su consecución, simbolizado por Φ , deberá también considerarse constante. Las unidades de este parámetro son unidades de tiempo, por ejemplo días, y resulta conveniente acuñar un neologismo para referirse a él: tautocrón o tautocrones (de "tauto", el mismo, y "cronos", tiempo). Observando la ecuación básica 1, se apreciará que el tautocrón de un cultivo, o de sus fases ontogénicas, está genéticamente vinculado a sus temperaturas cardinales.

b) Por otra parte, si en el lapso dt , la temperatura es diferente de la óptima, por exceso o por déficit, la función $f(T)$ será inferior a 1: el lapso dt es ahora menos "eficaz" que antes para promover el desarrollo. Como el requerimiento calórico del cultivo sigue siendo el mismo, habrá que compensar con mayor duración esta menor eficacia, tanto porque se ha excedido la temperatura como por resultar subóptima. Puesto que en cir-

cunstances naturales las temperaturas no se mantienen en sus niveles óptimos fisiológicos, la duración cronológica real será cambiante de estación en estación y siempre excederá el valor mínimo teórico o tautocrón.

El concepto de tautocrón es por eso una medida más precisa de la precocidad de un cultivar, que la tradicional referencia cronológica. Por lo mismo, parece aconsejable en la práctica comercial adoptar ese concepto, y no sencillamente la ambigua y más variable cifra cronológica.

Además, la razón tautocrón/tiempo real es un índice de la adecuación térmica del cultivar. Ésta será tanto mayor cuanto más se aproxime al valor 1, y viceversa, hacia el valor 0.

Por último, debe recordarse que las formulaciones presentadas pretenden sólo describir y anticipar el probable curso temporal de la progresión ontogenética a base de las oscilaciones térmicas que experimente el cultivo. No se refieren al crecimiento, cuya magnitud depende del acopio y transformación de recursos energéticos y materiales de la atmósfera y del suelo. La cuantificación del desenvolvimiento de los cultivos, y de su cosecha, requiere un análisis separado de ambos procesos vitales (desarrollo y crecimiento), y luego, una acertada integración de ambos (15).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIÓN

1. La integración termocronológica, basada en una función de respuesta fisiológica a la temperatura, da origen a un parámetro fitométrico constante o reproducible, bajo distintas condiciones ambientales.
2. El coeficiente de variación de este parámetro es menor que el de la suma térmica (grados-días-acumulados) tradicionalmente empleado.
3. Conocido el valor de este parámetro, para el cual se sugiere el nombre de tautocrón, y el símbolo Φ , puede estimarse la duración de

fases fenológicas, o de todo el desarrollo de un cultivo, a base de datos de temperatura ambiente. El valor del tautocrón debe inicialmente determinarse por experimento. Su interés práctico radica en la posibilidad de extrapolarlo en el tiempo y espacio, puesto que es una característica inherente del cultivar. Requiere además incorporar el valor de sus temperaturas cardinales óptima y mínima.

4. Si otras experiencias ratifican la constancia del valor de Φ , el concepto de tautocrón pudiera recomendarse como un índice de precocidad, más preciso, y por lo tanto más práctico, que la actual referencia cronológica con que se clasifican los híbridos o cultivares.

RESUMEN

La planificación de cultivos anuales requiere estimar la probable duración de su ciclo de desarrollo y la de ciertos eventos fenológicos cruciales. La temperatura es el factor ambiental determinante en la intensidad de la ontogenia, y se han propuesto varias funciones matemáticas para describir esta influencia.

El método propuesto en este trabajo se basa en el concepto de integración de una función térmica no-lineal, en contraste con el método tradicional de sumas térmicas de carácter lineal. Se emplea una fórmula fundamental deducida de consideraciones teóricas sobre la influencia de la temperatura sobre catalisis enzimática, y previamente demostrada por experimentos.

Se presentan evidencias de la eficacia del método propuesto y de su menor variabilidad en comparación con el procedimiento común. Como corolario se sugiere un nuevo concepto, denominado tautocrón, el cual podría emplearse para definir con mayor rigurosidad la precocidad de cultivares o híbridos de cultivos.

LITERATURA CITADA

- BLAZU, C. y R.H. SHAW. 1972. Comparison of several methods of growing degree-days calculation for corn. Iowa State J. Sci. 46: 435-442.
- BRIGADO, M.C. y D.M. BROWN. 1975. A biophoto-thermal model to predict tassel initiation time in corn. Agric. Meteorol. 15: 11-31.
- BUVILLE, D.C. y C.F. CURTISS. 1986. Development rate and growth duration of oats in response to delayed sowing. Agron. J. 78: 417-421.
- CANE, P.L., P.R. GOLDWORTHY, R.L. CUANY, M.S. ZUBER y C.A. FRANCIS. 1977. Climatological factors in maize adaptation. En: Agrometeorology of the maize (corn) crop. pp. 48-56. World Meteorological Organization. Geneva, Suiza.
- COSS, H.Z. y M.S. ZUBER. 1972. Prediction of flowering date in maize based on different methods of estimating thermal units. Agron. J. 64: 351-355.
- HILEY, A.C. y W. SHEPHERD. 1972. Potential evaporation from pasture and potatoes at Aspendale. Agric. Meteorol. 10: 283-300.
- LAGUENBAUM, H. 1986. Fréjol como cultivo de segunda siembra después de trigo. IV Seminario Nacional de Leguminosas de grano. pp. 289-316.
- LENT, M.P.N. y H.Z. ENOCH. 1983. Temperature dependence of vegetative growth and dark respiration. A mathematical model. Plant Physiol. 71: 562-567.
- MILMORE, E.C. y J.S. ROGERS. 1958. Heat units as a method of measuring maturity in corn. Agron. J. 50: 611-615.
- MÉNDEZ, J.R., A. BRAVO, N. JAEGER y F.R. HAJEK. 1985. Fenología de la papa y su relación con la temperatura en Lipingue (Décima Región, Chile). Ciencia e Inv. Agr. 12(2): 137-142.
- MORI, J.R. y M.E. KEENER. 1982. An enzymatic equation to estimate maize development rates. Agron. J. 74(1): 115-119.
- LEHENBAUER, P.A. 1914. Growth of maize seedling in relation to temperature. Physiological Researches 1: 247-288.
- MAJOR, D.J., D.R. JOHNSON y V.D. LEWDDERS. 1975. Evaluation of eleven thermal unit methods for predicting soybean development. Crop. Sci. 15: 172-173.
- MEDERSKI, H.J., MILLER, M.E. y C.R. WEAVER. 1973. Accumulated heat units for classifying corn hybrid maturity. Agron. J. 65(4): 743-747.
- NORERO, A. 1983. Crecimiento y desarrollo de cultivos anuales: bases agrofísicas para modelos de simulación. Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras (CIDIAT). Mérida, Venezuela.
- NORERO, A. 1987. Fórmula para describir la influencia de la temperatura en procesos biológicos controlados por enzimas. Ciencia e Investigación Agraria 14(2): 107-125.
- OLESEN, J.E. y S.A. MIKKELSEN. 1985. A meteorological model for calculating the moisture content of ripe spring barley. I. Model description. Acta Agric. Escandinavica 35(4): 361-368.
- ROMÁN, M., H.A. 1984. Efecto de la fecha de siembra en rendimiento, componentes de rendimiento, contenido de aceite y fenología en cuatro cultivares de maravilla (*Helianthus annuus* L.). Tesis Ing. Agrónomo, Fac. de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago. 99 p.
- ROMO GONZÁLEZ, J.E. y R. ARTEAGA. 1983. Meteorología Agrícola. Escuela de Graduados, Universidad de Chapingo. Chapingo, México.
- SHAW, R.H. 1975. Growing-degree-units for corn in the north central region. Iowa Agric. Home Econ. Exp. Stn. Res. Bull. 581.
- WANG, J.Y. 1960. Heat units for crop development: a critique. Ecology 41: 785-790.

ANEXO 1

ALGORITMO DEL MODELO PARA DETERMINAR EL TAUTOCRÓN
DE UN CULTIVO

A. Selección del lugar de siembra: LUG

1. Lipingue, Chile, 1977
2. Lipingue, Chile, 1978
3. Buin, Chile
4. Pirque, Chile
5. Aspendale, Australia

B. Ingreso de datos

Localidad
Temperatura óptima de crecimiento
Temperatura mínima de crecimiento
Fecha de inicio de simulación
Fecha de término de simulación
Desea salida diaria (S/N)

: LOC
: TOPT
: TMIN
: FECINI
: FECTER
: SUBRUT SAL.

C. Cálculo del número de días a procesar: TODIA

D. Lee archivo de temperatura promedio diaria: TDIA

E. Cálculo de $f(T)$ y $\varnothing(D)$

F. Llama SUBRUT SAL

G. Print (D)

H. End

SIGNIFICADO DE LOS SÍMBOLOS

$f(T)$: Función termofisiológica
 $\varnothing(D)$: Días fisiológicos acumulados o cronos.
 $\lambda(D)$: Edad fisiológica

ANEXO 2

PROGRAMA DE COMPUTACIÓN PARA EL CÁLCULO
DEL TAUTOCRÓN DE CULTIVOS

```

NOMBRE PROGRAMA: CREC.TAPIA
SISTEMA/34 BASIC -- RELEASE 09
DATE

0010 | MODELO DE SIMULACION
0020 | Crecimiento de Cultivos en cinco localidades
0030 | Fecha de entrega : 8 de octubre de 1987
0040 | Modelador : Aldo Norero Sch.
0050 | Programador : Ramon Ossa C.
0060 |
0070 PRINT NEWPAGE
0080 PRINT FIELDS "20,20,C 50": " Para informacion tipee I "
0090 INPUT FIELDS "20,60,c 1": A$
0100 IF A$="I" THEN 2030
0110 | INICIALIZA VARIABLE MESES
0120 DIM M$(12)
0130 DIM LOC$=40
0140 M$(1)="ENERO " : M$(2)="FEBRERO " : M$(3)="MARZO "
0150 M$(4)="ABRIL " : M$(5)="MAYO " : M$(6)="JUNIO "
0160 M$(7)="JULIO " : M$(8)="AGOSTO " : M$(9)="SEPTIEMBRE "
0170 M$(10)="OCTUBRE " : M$(11)="NOVIEMBRE " : M$(12)="DICIEMBRE "
0180 PRINT NEWPAGE
0190 PRINT FIELDS " 1,18,C 60": " SELECCION DEL LUGAR DE SIEMBRA "
0200 PRINT FIELDS " 2,18,C 60": " ===== "
0210 PRINT FIELDS " 8,20,C 60": " <1> LIPINGUE,CHILE, 1977"
0220 PRINT FIELDS "10,20,C 60": " <2> LIPINGUE,CHILE, 1978"
0230 PRINT FIELDS "12,20,C 60": " <3> BUIN, CHILE "
0240 PRINT FIELDS "14,20,C 60": " <4> PIRQUE, CHILE "
0250 PRINT FIELDS "16,20,C 60": " <5> ASPENDALE, AUSTRALIA "
0260 PRINT FIELDS "22,18,C 60": " INGRESE LUGAR DESEADO, SEGUN NUMERO
0270 INPUT FIELDS "22,58,N 1": LUG
0280 ON LUG GOTO 290,340,390,440,490
0290 OPEN #1: "NAME=LIPIN77,RECL=5",RELATIVE,INPUT
0300 LOC$=" LIPINGUE, 1977"
0310 DIA=21:MESES=12:FECINI=2112
0320 FM$=" 27 DE ABRIL "
0330 GOTO 530
0340 OPEN #1: "NAME=LIPIN78,RECL=5",RELATIVE,INPUT
0350 LOC$=" LIPINGUE, 1978"
0360 DIA=12:MESES=12:FECINI=1212
0370 FM$=" 27 DE ABRIL "
0380 GOTO 530
0390 OPEN #1: "NAME=BUIN ,RECL=5",RELATIVE,INPUT
0400 LOC$=" BUIN "
0410 DIA=4:MESES=1:FECINI=401
0420 FM$=" 9 DE ABRIL "
0430 GOTO 530
0440 OPEN #1: "NAME=PIRQ83 ,RECL=5",RELATIVE,INPUT
0450 LOC$=" PIRQUE, 1983"
0460 DIA=23:MESES=9:FECINI=2309
0470 FM$="21 DE ABRIL "
0480 GOTO 530
0490 OPEN #1: "NAME=ASPENDA,RECL=5",RELATIVE,INPUT
0500 LOC$=" ASPENDALE (AUSTRALIA)"
0510 DIA=18:MESES=10:FECINI=1810
0520 GOTO 530
0530 PRINT NEWPAGE
0540 PRINT FIELDS " 2,20,C 60": " INGRESO DE DATOS "
0550 PRINT FIELDS " 3,20,C 60": " ===== "
0560 PRINT FIELDS "5,22,C 14": " LOCALIDAD . "

```

NUMBRE PROGRAMA: CREC.TAPIA
 SISTEMA/34 BASIC -- RELEASE 09
 LISTE

```

00570 PRINT FIELDS "5.36,C 40": LOC4
00580 PRINT FIELDS " 6.18,C 40": " Fecha de inicio del archivo "
00590 PRINT FIELDS " 6.47,N 3": DIA
00600 PRINT FIELDS " 6.54,C 12": ME(MES)
00610 PRINT FIELDS " 6.51,C 2": "de"
00620 PRINT FIELDS " 7.18,C 40": " Fecha de termino del archivo "
00630 PRINT FIELDS " 7.47,c 20": FMT
00640 PRINT FIELDS "10.18,C 40": " TEMPERATURA OPTIMA DE CRECIMIENTO "
00650 PRINT FIELDS "10.64,C 2": "C"
00660 PRINT FIELDS "12.18,C 40": " TEMPERATURA MINIMA DE CRECIMIENTO "
00670 PRINT FIELDS "12.64,C 2": "C"
00680 INPUT FIELDS "10.58,N 2": TOPT
00690 INPUT FIELDS "12.58,N 2": TMIN
00700 DI=TOPT-TMIN
00710 PRINT FIELDS "17.18,C 40": " FECHA DE INICIO DE SIMULACION (ddmm)"
00720 PRINT FIELDS "17.58,N 4": FECINI
00730 PRINT FIELDS "18.18,C 40": " FECHA DE TERMINO DE SIMULACION (ddmm)"
00740 INPUT FIELDS "17.58,N 4": FECINI
00750 INPUT FIELDS "18.58,N 4": FECTER
00760 PRINT FIELDS "22.12,C 50": " DESEA SALIDA DIARIA (S/N) ? "
00770 INPUT FIELDS "22.60,C 1": A$
00780 |
00790 |          CALCULO DEL LARGO DEL PERIODO EN DIAS
00800 |          Primera fecha de inicio y luego
00810 |          fecha de termino. La diferencia queda en TODIA
00820 |
00830 |          DF = DIA DE TERMINO
00840 |          DI = DIA DE INICIO
00850 |          DIA = DIA INICIO ARCHIVO
00860 DF=INT(FECTER/100)
00870 DI=INT(FECINI/100)
00880 MF=FECTER-(INT(FECTER/100)*100)
00890 MI=FECINI-(INT(FECINI/100)*100)
00900 IF MF<MI THEN MF=MF+12
00910 MESES=MF-MI
00920 IF DF<DI THEN MESES=MESES-1
00930 DIAS=(30-DI)+DF
00940 IF DIAS>30 THEN DIAS=DIAS-30
00950 IF MF=MI THEN DIAS=DF-DI
00960 TODIA=MESES*30+DIAS
00970 IF LUG=5 THEN TODIA=INT(TODIA/7)
00980 |
00990 |          INICIA CALCULO DE DIAS DESDE EL INICIO DEL ARCHIVO
01000 DD=0
01010 IF NI<MES THEN MI=MI+12
01020 MM=MI-MES
01030 IF DI<DIA THEN MM=MM-1
01040 DD=(30-DIA)+DI
01050 IF MES=MI THEN DD=DI-DIA
01060 DD=(MM*30)+DD
01070 IF MI=2 THEN DD=DD+2
01080 IF MI=3 THEN DD=DD-1
01090 IF DD<=0 THEN DD=1
01100 IF MI>12 THEN MI=MI-12
01110 MAC=MI
01120 DAC=DI
01130 |
01140 |          SI ES ASPENDALE. SALTA POR SEMANAS
01150 INC=1
01160 IF LUG<5 THEN INC=0
01170 DD=INT(DD/7)
01180 INC=7
01190 IF DD<=0 THEN DD=1
01200 TODIA=TODIA+DD-1

```

NUMBRE PROGRAMA: CREC.TAPIA
 SISTEMA/34 BASIC -- RELEASE 09
 LISTE

```

01210 |
01220 |          CONTENZA ITERACION PARA CRECIMIENTO DESDE LA FECHA
01230 |          DE INICIO DEL ARCHIVO DE TEMPERATURAS HASTA LA
01240 |          FECHA DE TERMINO DE LA SIMULACION (TODIA)
01250 |
01260 IF A$="N" THEN INC=0
01270 GOSUB 1030
01280 GOTO 1310
01290 PRINT NEWPAGE
01300 PRINT FIELDS "12.20,C 60": " PROCESANDO DATOS "
01310 |
01320 TOP=32
01330 DIAS=0
01340 FOR J=DD TO TODIA
01350 DAC=DAC+INC
01360 IF DAC<27 THEN INC=1
01370 IF (MAC=11 OR MAC=9) OR (MAC=6 OR MAC=4) THEN TOP=30
01380 IF MAC=2 THEN TOP=20
01390 IF TOP>30 THEN TOP=31
01400 IF DAC<TOP THEN INC=1
01410 IF INC=7 THEN DAC=1+(DAC-TOP) ELSE DAC=1
01420 IF DAC<9 THEN MAC=1+MAC
01430 IF MAC>12 THEN MAC=1
01440 READ M1,USING 1450,REC=J:TDIA
01450 FORM N 4.1
01460 D2=TDIA-TMIN
01470 |
01480 |          EN CASO QUE SEA ASPENDALE. REPITE TEMPERATURA
01490 |          POR STEIE DIAS (CONTROLES SEMANALES)
01500 |
01510 FOR II=1 TO INC
01520 FDT=EXP(-8.03*D1/D2)
01530 FDT=1.227*(D2/D1)*EXP((-1.0606*D1/D2)-((443.5*D2/D1)*FDT))
01540 ACUM=ACUM+FDT
01550 |
01560 |          ENVIA A SUBRUTINA DE SALIDA DIARIA
01570 |
01580 IF A$="S" THEN GOSUB 1950
01590 DIAS=DIAS+1
01600 NEXT II
01610 NEXT J
01620 |
01630 |          ENTREGA SALIDA FINAL DE FDT
01640 |
01650 PRINT FIELDS "12.20,C 60": "
01660 |
01670 |          SALIDA FINAL
01680 |
01690 PRINT FIELDS "18.12,C 60": "===== "
01700 PRINT FIELDS "20.14,C 14": " F(T) FINAL "
01710 PRINT FIELDS "21.14,C 14": " FECHA : "
01720 PRINT FIELDS "20.32,N 6.2": " ACUM
01730 PRINT FIELDS "21.32,N 3": DAC
01740 PRINT FIELDS "21.37,C 12": ME(MAC)
01750 PRINT FIELDS "22.12,C 60": "===== "
01760 |
01770 |          TERMINO DEL PROCEDIMIENTO
01780 |
01790 GOTO FIN
01800 |
01810 |          SUBRUTINA PARA SALIDA DIARIA DE RESULTADOS
01820 |
01830 PRINT NEWPAGE
01840 PRINT FIELDS "2.18,C 60": " LISTADO DE SALIDA "

```

NOMBRE PROGRAMA: CRED.TAPIA
 SYSTEMA/34 BASIC --- RELEASE 09
 LISTP

ANEXO 3
 TEMPERATURAS DIARIAS PROMEDIOS REGISTRADAS EN LIPINGUE,
 1977-1978. X REGIÓN, CHILE
 C EXPERIMENTO 1

```

01850 PRINT FIELDS "3.18,C 60": "=====
01860 PRINT FIELDS "7.18,C 24": " FECHA INICIO de"
01870 PRINT FIELDS "8.18,C 24": " FECHA ACTUAL de"
01880 PRINT FIELDS "10.18,C 30": " TEMPERATURA ACTUAL, C"
01890 PRINT FIELDS "13.18,C 45": " DIAS TRANSCURRIDOS A LA FECHA "
01900 PRINT FIELDS "14.18,C 35": " F(T) ACUMULADO A LA FECHA"
01910 RETURN
01920 |
01930 | SUBROUTINA PARA SALIDA DIARIA DE DATOS
01940 |
01950 PRINT FIELDS "7.33,N 3": DI
01960 PRINT FIELDS "7.40,C 14": M$(MI)
01970 PRINT FIELDS "8.33,N 3": DAC
01980 PRINT FIELDS "8.40,C 14": M$(MAC)
01990 PRINT FIELDS "10.50,N 4.1": TDIA
02000 PRINT FIELDS "13.50,N 4": DIAS
02010 PRINT FIELDS "14.50,N 6.2": ACUM
02020 RETURN
02030 PRINT NEWPAGE
02040 PRINT " El presente modelo, permite determinar los dias"
02050 PRINT " fisiologicos acumulados por un cultivo, definiendo sus"
02060 PRINT " temperaturas optima y minima de crecimiento."
02070 PRINT
02080 PRINT " Se dispone de datos reales de temperatura en "
02090 PRINT " cinco localidades: cuatro en Chile y una en Australia."
02100 PRINT " Primero, se solicita elegir la localidad, luego se entrega"
02110 PRINT " informacion sobre los datos disponibles y se pide los va_"
02120 PRINT " lores de las temperaturas cardinales del cultivo."
02130 PRINT
02140 PRINT " Con estos datos, se calcula la acumulacion Ter-"
02150 PRINT " mo-Fisiologica del cultivo, entre las fechas solicitadas."
02160 PRINT FIELDS "22.10,c 40": " PARA CONTINUAR <INTRO>"
02170 INPUT FIELDS "22.50,c 1": A$
02180 GOTO 110
02190 |
02200 | DICCIONARIO DE VARIABLES
02210 | =====
02220 |
02230 | M$(I) : MESES DEL AÑO
02240 | LUG : REPRESENTA LA LOCALIDAD
02250 | DIA : DIA DE INICIO DEL ARCHIVO DE TEMPERATURAS
02260 | MES : MES DE INICIO DEL ARCHIVO DE TEMPERATURAS
02270 | TOPT : TEMPERATURA OPTIMA DE CRECIMIENTO
02280 | TMIN : TEMPERATURA MINIMA DE CRECIMIENTO
02290 | FECHINI : FECHA DE INICIO DE SIMULACION
02300 | ( POR DEFECTO ASUME INICIO DE ARCHIVO)
02310 | FECHTER : FECHA DE TERMINO DE LA SIMULACION
02320 | MF : MES DE TERMINO
02330 | DF : DIA DE TERMINO
02340 | MI : MES DE INICIO
02350 | DI : DIA DE INICIO
02360 | MESES : VALOR TEMPORAL DE LOS MESES DE SIMULACION
02370 | DIAS : " " " " " DIAS " " "
02380 | D1 : DIFERENCIA DE TEMPERATURA OPTIMA Y MINIMA
02390 | D2 : DIFERENCIA DE TEMPERATURA AMBIENTE Y OPTIMA
02400 | FDT : FUNCION TERMOFISIOLOGICA
02410 | ACUM : ACUMULADOR TERMOFISIOLOGICO
02420 | DAC, MAC : DIA Y MES EN SIMULACION
02430 FIN:
02440 END
    
```

	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril
1		1	21,0	1	14,5
2		2	19,0	2	17,0
3		3	16,5	3	17,2
4		4	16,0	4	19,1
5		5	14,0	5	19,5
6		6	18,0	6	18,5
7		7	17,5	7	16,5
8		8	18,0	8	17,8
9		9	17,5	9	14,5
10		10	17,5	10	14,7
11		11	17,0	11	14,5
12		12	17,0	12	19,4
13		13	16,5	13	19,5
14		14	17,5	14	18,0
15		15	16,5	15	13,5
16		16	17,5	16	15,9
17		17	18,0	17	17,0
18		18	16,0	18	16,5
19		19	16,1	19	19,0
20		20	18,5	20	17,4
21	20,5	21	16,5	21	16,0
22	21,0	22	17,0	22	19,5
23	19,0	23	16,5	23	19,0
24	17,5	24	17,5	24	19,0
25	17,0	25	16,0	25	19,0
26	17,0	26	15,0	26	16,5
27	17,0	27	16,0	27	18,0
28	14,0	28	17,0	28	18,5
29	15,5	29	18,5	29	14,5
30	17,0	30	15,5	30	17,0
31	20,5	31	14,5	31	15,5

A N E X O 4
TEMPERATURAS DIARIAS PROMEDIOS REGISTRADAS EN LIPINGUE,
1978-1979. X REGIÓN, CHILE
C EXPERIMENTO 1

Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	
1	1	13,2	1	20,7	
2	2	18,2	2	11,5	
3	3	15,0	3	18,5	
4	4	18,0	4	9,7	
5	5	17,2	5	13,7	
6	6	16,5	6	10,3	
7	7	13,7	7	9,6	
8	8	20,6	8	13,4	
9	9	14,2	9	14,3	
10	10	14,0	10	17,0	
11	11	17,0	11	17,2	
12	15,7	12	14,5	12	15,4
13	11,9	13	12,4	13	14,7
14	12,8	14	13,4	14	15,2
15	15,0	15	17,3	15	18,2
16	16,4	16	14,2	16	16,4
17	15,2	17	16,7	17	15,3
18	15,9	18	19,0	18	13,9
19	14,1	19	19,2	19	12,7
20	14,1	20	18,7	20	13,4
21	15,0	21	19,8	21	15,9
22	14,2	22	14,4	22	14,3
23	13,5	23	15,0	23	12,3
24	15,2	24	14,2	24	13,3
25	18,5	25	12,0	25	12,8
26	18,4	26	13,9	26	12,4
27	16,3	27	12,7	27	12,7
28	11,2	28	14,0	28	12,0
29	11,2	29	19,3	29	13,1
30	11,5	30	16,2	30	10,9
31	12,3	31	16,0	31	14,1
					11,3
					11,7

A N E X O 5
TEMPERATURAS DIARIAS (PROMEDIOS SEMANALES) REGISTRADAS
EN ASPENDALE, AUSTRALIA. 1965-1966
C EXPERIMENTO 2

Fecha de siembra a	Fecha de siembra b	Fecha de siembra c			
18-Oct.	17,8	07-Feb.	19,8	12-Sep.	14,2
25-Oct.	18,1	14-Feb.	18,5	19-Sep.	14,2
01-Nov.	16,1	21-Feb.	19,4	26-Sep.	16,6
08-Nov.	16,1	28-Feb.	22,3	03-Oct.	16,7
15-Nov.	15,5	07-Mar.	24,2	10-Oct.	16,9
22-Nov.	14,7	14-Mar.	19,8	17-Oct.	13,7
29-Nov.	19,5	21-Mar.	18,9	24-Oct.	14,2
06-Dic.	21,3	28-Mar.	18	31-Oct.	14,6
13-Dic.	17,7	04-Abr.	15,5	07-Nov.	16,6
20-Dic.	25,7	11-Abr.	16,8	14-Nov.	14,9
27-Dic.	18,3	18-Abr.	14,7	21-Nov.	22,1
03-Ene.	20,3	25-Abr.	12,6	28-Nov.	18,5
10-Ene.	24,2	04-May.	13,4	05-Dic.	18,4
		09-May.	14,3	12-Dic.	
		16-May.	12,2		

A N E X O 6
TEMPERATURAS DIARIAS PROMEDIOS REGISTRADAS
EN BUIN, CHILE. TEMPORADA 1985
C EXPERIMENTO 3

Enero	Febrero	Marzo	Abril				
1	1	21,4	1	17,7	1	13,1	
2	2	15,7	2	19,3	2	13,7	
3	3	19,5	3	19,0	3	13,1	
4	21,8	4	19,4	4	19,2	4	13,9
5	20,1	5	21,4	5	20,3	5	14,4
6	16,8	6	20,3	6	17,6	6	14,7
7	19,2	7	20,3	7	17,7	7	14,7
8	20,8	8	19,3	8	17,5	8	15,5
9	20,9	9	20,3	9	16,5	9	12,8
10	20,0	10	19,1	10	15,2		
11	19,4	11	19,5	11	17,9		
12	19,9	12	19,9	12	17,5		
13	18,9	13	19,8	13	16,2		
14	17,3	14	18,5	14	17,9		
15	17,2	15	18,4	15	16,9		
16	18,2	16	19,3	16	17,4		
17	17,0	17	19,2	17	17,4		
18	18,8	18	20,4	18	19,9		
19	20,3	19	19,8	19	18,7		
20	17,8	20	18,2	20	18,6		
21	20,3	21	21,2	21	20,1		
22	20,1	22	19,4	22	20,3		
23	19,6	23	17,9	23	19,2		
24	20,2	24	18,8	24	18,8		
25	20,1	25	18,2	25	17,8		
26	22,2	26	17,3	26	16,5		
27	21,1	27	17,6	27	16,2		
28	18,4	28	19,2	28	14,6		
29	18,5	29		29	15,5		
30	19,2	30		30	15,1		
31	21,5	31		31	14,9		

A N E X O 7
TEMPERATURAS DIARIAS PROMEDIOS REGISTRADAS EN LA ESTACIÓN
EXPERIMENTAL DE PIRQUE, 1983-1984
C EXPERIMENTO 4

Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril								
1	1	14,8	1	16,5	1	18,0	1	20,0	1	19,5	1	18,8	1	12,8	
2	2	16,0	2	16,8	2	17,0	2	19,8	2	19,0	2	17,3	2	16,3	
3	3	15,5	3	17,0	3	19,0	3	19,8	3	18,0	3	18,8	3	16,0	
4	4	17,5	4	18,3	4	19,8	4	20,0	4	14,3	4	19,0	4	16,3	
5	5	16,8	5	17,5	5	19,8	5	20,5	5	16,8	5	17,3	5	14,5	
6	6	16,3	6	17,0	6	18,0	6	18,8	6	16,8	6	15,3	6	16,3	
7	7	13,5	7	14,3	7	17,3	7	18,5	7	18,8	7	12,0	7	16,0	
8	8	13,5	8	14,3	8	16,5	8	18,8	8	19,5	8	16,0	8	15,5	
9	9	13,8	9	16,5	9	17,5	9	18,3	9	20,0	9	17,5	9	16,3	
10	10	12,8	10	15,5	10	17,5	10	19,3	10	17,8	10	16,3	10	16,0	
11	11	14,5	11	13,3	11	17,8	11	19,3	11	20,0	11	18,5	11	16,0	
12	12	13,8	12	14,5	12	18,8	12	19,0	12	18,0	12	16,8	12	15,8	
13	13	14,0	13	16,3	13	20,0	13	18,5	13	18,5	13	18,5	13	16,3	
14	14	13,0	14	15,0	14	18,0	14	19,5	14	16,5	14	17,3	14	16,8	
15	15	10,5	15	16,8	15	18,0	15	19,5	15	22,5	15	16,8	15	14,0	
16	16	13,3	16	12,3	16	19,3	16	19,5	16	19,5	16	17,5	16	15,5	
17	17	12,3	17	13,5	17	19,5	17	19,8	17	19,0	17	20,0	17	12,3	
18	18	9,0	18	15,8	18	19,0	18	19,8	18	19,3	18	18,5	18	10,5	
19	19	14,3	19	14,5	19	17,5	19	20,5	19	19,5	19	17,3	19	9,5	
20	20	14,8	20	18,8	20	19,8	20	20,5	20	19,3	20	17,0	20	8,5	
21	21	13,3	21	18,0	21	21,0	21	18,5	21	18,8	21	15,8	21	9,5	
22	22	16,0	22	18,0	22	20,0	22	18,5	22	19,0	22	14,8	22		
23	10,5	23	18,3	23	17,8	23	19,0	23	19,0	23	18,0	23	15,8	23	
24	12,5	24	10,3	24	20,5	24	20,5	24	20,0	24	16,5	24	14,8	24	
25	12,0	25	13,3	25	20,0	25	18,8	25	20,5	25	14,5	25	15,5	25	
26	11,5	26	13,3	26	19,3	26	19,3	26	20,6	26	15,8	26	16,0	26	
27	7,3	27	16,0	27	19,0	27	19,0	27	20,5	27	14,0	27	16,0	27	
28	8,0	28	17,5	28	20,8	28	19,3	28	20,0	28	15,8	28	19,0	28	
29	8,3	29	15,8	29	19,8	29	17,8	29	20,5	29	19,0	29	14,3	29	
30	11,8	30	15,8	30	18,8	30	18,3	30	19,5			30	14,5	30	
		31	17,3			31	19,5	31	18,5			31	15,8	31	

NOTA DE INVESTIGACIÓN

FIJACIÓN DE NITRÓGENO EN PRADERAS
DE LA X REGIÓN¹

NITROGEN FIXATION IN PASTURES OF SOUTHERN CHILE

HORACIO URZÚA², MANUEL RUIZ³ Y RENÉ BERNIER⁴

SUMMARY

Studies conducted to increase symbiotic nitrogen fixation in pastures of southern Chile show that white clover has a positive response to inoculation with selected strains of Rhizobium. Increased responses to inoculation were obtained when environmental, nutritional and management conditions are appropriate for both microorganisms and legumes. Effectiveness of inoculation may be increased by improving inoculation techniques.

INTRODUCCIÓN

En las praderas de la X Región, compuestas por gramíneas y leguminosas, principalmente trébol blanco (*Trifolium repens* L.), resulta muy conveniente aprovechar la simbiosis con *Rhizobium* para autoabastecer con nitrógeno fijado a la leguminosa y aportar una buena parte del N que requiere la gramínea asociada, con la consiguiente economía de fertilización nitrogenada (Broadbent *et al.*, 1982; Urzúa *et al.*, 1986).

En la X Región, sin embargo, existen problemas para lograr poblaciones de trébol suficientes para realizar aportes de N significativos. Ello debido a factores de manejo (de la pradera y del ganado) y de suelo (principalmente mal manejo de la fertilización fosforada).

Así, se estima de gran importancia establecer la respuesta a la inoculación con rizobios efectivos, competitivos y persistentes, junto con las técnicas de inoculación y agronómicas más adecuadas. Todo esto para realizar un mejor uso de los recursos de suelos y praderas de esta zona a fin de aumentar la producción ganadera regional, ahorrando fertilización nitrogenada.

Los objetivos de este estudio fueron:

- Seleccionar cepas efectivas, competitivas y persistentes de *Rhizobium* para trébol blanco.
- Determinar la necesidad de inoculación empleando las técnicas más adecuadas.
- Determinar el efecto de algunas prácticas agronómicas sobre el establecimiento del trébol y sobre la fijación de N₂.

¹Trabajo financiado por el Fondo de Desarrollo Productivo de la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) y por la Dirección de Investigación de la Pontificia Universidad Católica de Chile (DIUC).

²Departamento de Ciencias Vegetales, Facultad de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Chile. Casilla 6177, Santiago.

³Departamento de Química Orgánica, Facultad de Química, Pontificia Universidad Católica de Chile. Casilla 6177, Santiago.

⁴Estación Experimental "Reinohue", Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Casilla 1110, Osorno.

Publicación aprobada por el Comité Editor de la Facultad de Agronomía de la Universidad Católica con el N° 446/87. Fecha de recepción: 17 de noviembre de 1987.

MATERIALES Y MÉTODOS

Selección de cepas de *Rhizobium*

Muestreros anuales de tréboles nodulados de las principales zonas edafoclimáticas de la región. Aislamiento de rizobios nativos. Pruebas de efectividad "in vitro". Identificación de cepas por resistencia a antibióticos. Competitividad en macetas (1,6 L) y en terreno (parcelas de 18 m²). Persistencia en macetas y terreno (Torres y Urzúa, 1983; Urzúa y Torres, 1985; Urzúa, 1984).

Necesidad de inoculación

Muestreo de los principales suelos de la región. Respuesta a la inoculación en macetas determinando producción de materia seca, N-acumulado por las plantas, características de la nodulación (Urzúa y Torres, 1985) y eventualmente actividad de la nitrogenasa (Ruiz y Urzúa, 1980).

Caracterización física, química y biológica de los suelos (Saavedra, 1975). Obtención de antecedentes climáticos. Establecer la actividad fijadora de N₂ en terreno (Ruiz y Urzúa, 1980; Urzúa *et al.*, 1985).

Técnicas de inoculación

Inoculación tradicional. Técnicas mejoradas (peletización). Estudios en invernadero y terreno (Hall *et al.*, 1979; Urzúa *et al.*, 1986).

Efectos de otras prácticas agronómicas

Influencia de la nutrición fosforada (Urzúa *et al.*, 1984). Efecto del molibdeno. Influencia del pH (Al) y su eventual modificación con encaladura (Pinilla, 1983).

RESULTADOS

Un primer diagnóstico de la fijación de N₂ en praderas de la zona sur indica valores de fijación anual bajos comparados con los potenciales alcanzables en la zona si se contara con praderas equilibradas en sus componentes trébol y ballica (Cuadro 1). Se aprecia que la fijación puede incrementarse por un buen manejo de la pradera que signifique una mayor población de trébol, pero aún no se llegaría a los valores obtenidos en praderas que fijan

CUADRO 1
FIJACIÓN Y EFICIENCIA
DE LA FIJACIÓN ANUAL ACTUAL
Y POTENCIAL AJUSTADA DE PRADERAS
ESTUDIADAS (OSORNO, 1986)
Y DE PRADERAS EFICIENTES

Parámetros	Praderas		
	Actual	Potencial	Eficientes
Fijación Anual de N ₂ (kg/há)	56	108	200
Eficiencia de Fijación de N ₂ (kg N/Ton. M.S. del trébol)	60	42	63

altas cantidades de N₂, de acuerdo con la literatura (Hoglund *et al.*, 1979).

Esto se explicaría porque las praderas estudiadas no tendrían una eficiencia de fijación de N₂ comparable con aquellas en que la simbiosis opera en mejor forma (Cuadro 1).

La solución a este problema podría lograrse seleccionando cepas microbianas y métodos de inoculación adecuados para las leguminosas. El empleo de estas técnicas, unido a mejoras en aspectos agronómicos de manejo del sistema suelo-pradera-animal deberían lograr resultados positivos.

Selección de cepas de *Rhizobium*

Estudios "in vitro" indican la posibilidad de seleccionar cepas nativas de *Rhizobium trifolii* efectivas para trébol blanco comparadas con la aplicación de N-mineral, empleando como parámetros la materia seca producida, el N-acumulado y el número y tamaño de los nódulos. Un resumen de éstos se muestra en el Cuadro 2.

Experiencias en macetas, a su vez, muestran efectos positivos debidos a la inoculación con cepas seleccionadas. Sin embargo, no se alcanzan los valores obtenidos con N-mineral (Cuadro 3). Se aprecia el efecto depresivo de este elemento sobre la nodulación.

Algunas prácticas agronómicas y fijación de N₂ en macetas

El fósforo (P) es un nutriente esencial para la

CUADRO 2
EFECTIVIDAD DE CEPAS DE *R. TRIFOLII* "IN VITRO"
EN TRÉBOL BLANCO

Cepa	Materia Seca (mg/planta)	Nitrógeno Acumulado (mg/planta)	Cantidad Nódulos (N ^o /plantas)	Tamaño Nódulos (Nota 0-5)
— Testigo (no inoculado)	2,4 c ¹	0,08 c	0,0 d	0,0 c
— Cepa 1a	6,0 d	0,23 d	11,0 a	3,0 b
— Cepa 25b	10,9 ab	0,39 ab	5,7 bc	5,0 a
— Cepa 27a	11,9 a	0,44 a	4,0 c	5,0 a
— N mineral agregado	9,3 bc	0,40 ab	0,0 d	0,0 c

¹Duncan (P ≤ 0,05).

CUADRO 3
EFECTO DE LA INOCULACIÓN CON RHIZOBIUM SOBRE
PARÁMETROS DE FIJACIÓN DE N EN TRÉBOL
CRECIENDO EN MACETAS CON SUELO OSORNO
(% RELATIVOS, TESTIGO = 100%)

Tratamientos	Parámetros de fijación de N ₂		
	Materia Seca (mg/planta)	N-acumulado (mg/planta)	Nódulos (N ^o /planta)
Testigo	100	100	100
Inoculado	115	118	130
N-mineral	128	132	117

fijación y normalmente se encuentra deficitario en los suelos de la región, los que poseen alta fijación de este nutriente. Se demuestra, una vez más, el claro efecto de la aplicación de P sobre parámetros de fijación de N₂ del trébol y sobre la absorción de P en suelos de la región (Cuadro 4).

El molibdeno (Mo) es otro elemento esencial para una buena fijación de N₂. En estudios en que se aplicó Mo en macetas con trébol blanco se aprecia cierto efecto positivo principalmente sobre la calidad proteica del forraje (Cuadro 5).

Respecto al exceso de nitrógeno mineral (nitrato + amonio) presente en el suelo y su efecto depresivo sobre la nodulación y fijación de N₂ ya algo plenamente establecido. En el Cuadro 6 se observa este efecto en trébol blanco crecien-

do en macetas en un Andisol. La fijación se determinó midiendo la actividad nitrogenásica (C₂H₄ generado), de acuerdo a Ruiz y Urzúa (1980), y se expresó en porcentajes relativos.

Otra característica de los suelos que puede influenciar la fijación de N₂ es la acidez. La acidez se cuantifica determinando el pH del suelo. Sin embargo, lo realmente importante es que a determinados pH ciertos elementos están más o menos activos. Así, a pH ácidos inferiores a 5, los que suelen encontrarse en la región, el Al y, en cierto modo, el Mn se encuentran en concentraciones en el suelo que pueden resultar tóxicas para las plantas. A estos pH la concentración de Ca se ve disminuida pudiendo llegar, en ocasiones, a deprimir parcialmente la nodulación.

El trébol blanco respondió al encalado en

CUADRO 4
EFECTO DE LA APLICACIÓN DE P SOBRE LA FIJACIÓN
DE N₂ Y P ABSORBIDO POR TRÉBOL CRECIENDO EN MACETAS
CON SUELOS TRUMAO

Dosis P	Parámetros			
	Materia Seca (g/planta)	N-acumulado (mg/planta)	Nódulos (N°/planta)	P-acumulado (mg/planta)
P ₀	0,49	14,30	7	1,00
P ₁	1,90	49,40	52	3,20
P ₂	2,11	58,00	57	3,75
P ₄	2,28	65,50	62	4,38

CUADRO 5
EFECTO DE LA APLICACIÓN DE Mo SOBRE PARÁMETROS
DE FIJACIÓN DE N₂ DEL TRÉBOL. SUELOS DE LA
X REGIÓN (% RELATIVOS)

Tratamientos	Materia Seca (g/planta)	N-acumulado (mg/planta)	Nódulos (N°/planta)
	% relativos		
Sin Mo, inoculado	100	100	100
Con Mo, inoculado	108	110	112
Con Mo, inoculado + N-mineral	115	117	82

CUADRO 6
EFECTO DE LA APLICACIÓN
DE N SOBRE LA ACTIVIDAD
DE LA NITROGENASA
ANDISOL

Tratamientos	Actividad nitrogenásica (C ₂ H ₄ , % relativos)
Testigo, sin inocular	100
Inoculado	134
Testigo + N-mineral	41

condiciones de invernadero. Se trabajó con un suelo Puyehue (ácido, pH 5,0) en macetas y se dieron tres cortes a la parte aérea. Las relaciones entre acidez del suelo y la fijación de N₂ aparecen en el Cuadro 7.

Un resumen de la influencia de las características de suelo citadas anteriormente sobre la fijación de N₂ del trébol blanco creciendo

en macetas con suelos representativos de la X Región, se cita en el Cuadro 8.

Técnicas de inoculación en macetas

Los estudios realizados en macetas con suelos de la región indican un efecto favorable de la pelletización sobre la fijación del trébol blanco (Cuadro 9). Puede apreciarse que con la inoculación no se alcanzó aun el techo de producción cuando el N no es limitante (tratamiento con N-mineral agregado). Esto puede atribuirse, en parte, a la calidad de las cepas empleadas. Se aprecia, una vez más, el conocido efecto depresivo del N sobre la nodulación y actividad nitrogenásica.

Ensayos en terreno para demostrar efectos de prácticas agronómicas

A modo de ejemplo, se aprecia en el Cuadro 10 la respuesta del trébol blanco de una pradera

CUADRO 7
RELACIONES ENTRE ACIDEZ DEL SUELO
Y PARÁMETROS DE FIJACIÓN DE N₂
EN TRÉBOL BLANCO. SUELO PUYEHUE

Relaciones	Coefficientes de Correlación (r)	n
pH y materia seca	0,996** ¹	16
pH y N-acumulado	0,964**	16
pH y Número de nódulos	0,974**	12
pH y materia seca	-0,985**	16
pH y N-acumulado	-0,977**	16
pH y Número de nódulos	-0,857**	12
pH y Al	-0,967**	16

¹Significativo (P ≤ 0,01), ajuste de potencia.

CUADRO 8
COEFICIENTES DE CORRELACIÓN ENTRE ALGUNAS
CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS Y PARÁMETROS DE FIJACIÓN
DE N₂ EN TRÉBOL BLANCO

Características de Suelo	Parámetros de Fijación de N ₂ (r)			
	Materia Seca	N-acumulado	Nódulos	Actividad N-asa
P-Olsen (ppm)	0,82** ¹	0,87**	0,71**	0,82**
pH	0,92**	0,95**	0,54	0,79**
Al intercambio (mcq/100 g)	-0,96**	-0,96**	-0,66**	N.D.
N-mineral (ppm)	—	—	-0,73**	-0,53

¹Significativo, P ≤ 0,01.

N.D. = no determinado.

CUADRO 9
EFECTO DE TÉCNICAS DE INOCULACIÓN SOBRE PARÁMETROS
DE FIJACIÓN DE N₂ EN TRÉBOL BLANCO. PROMEDIOS DE ALGUNOS
SUELOS DE LA REGIÓN

Tratamientos de Inoculación	Producción de Materia Seca (g/planta)	N-acumulado (mg/planta)	Nódulos (N°/planta)	Actividad N-asa (mgC ₂ H ₄ /pl/día)
			% relativo	
Testigo, no inoculado	100	100	100	100
Inoculación tradicional	102	104	100	156
Inoculación y pelletización	109	111	118	168
N-mineral agregado	117	121	81	68

mixta a la inoculación y fertilización en la zona de Osorno, a través de diferentes parámetros de fijación de N₂.

Puede observarse la baja respuesta a la inoculación y a la agregación de cal, pero se detecta clara respuesta al P y al Mo.

A su vez, el efecto de cortes del trébol y manejo del ganado sobre la producción de forraje y la acumulación de nitrógeno, se presentan en el Cuadro 11. Los resultados (Pichart *et al.*, 1986), indican un efecto de la frecuencia de corte sobre el porcentaje de trébol de la mezcla y, por tanto, del aporte de este elemento a la gramínea como consecuencia de la transferencia de N₂ fijado por la leguminosa. Se aprecia un aumento de la calidad proteica del forraje obtenido con cortes frecuentes. Sin em-

CUADRO 10
EFECTO DE APLICACIÓN DE Cal, P, Mo Y N SOBRE PARÁMETROS
DE FIJACIÓN DE N₂ EN 4 CORTES DEL TRÉBOL BLANCO
DE UNA PRADERA MIXTA, EN TERRENO. CHAHUILCO (OSORNO)

Tratamientos	Producción de Materia Seca (kg/há)	N-acumulado (kg/há)	Nódulación temprana (Nº/planta)
Testigo	226 b ¹	8 c	4,5 b
Inoculado	237 b	9 c	6,0 b
Inoculado + cal	230 b	9 c	7,5 b
Inoculado + cal + P	486 a	18 b	16,8 a
Inoculado + cal + P + Mo	616 a	25 a	16,3 a
Inoculado + cal + P + Mo + N	536 a	20 b	18,8 a

¹Duncan, P ≤ 0,05.

CUADRO 11
EFECTO DE CORTES Y MANEJO SOBRE LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE
Y PROTEÍNA (CHAHUILCO, OSORNO)

Tratamientos	Materia Seca		Contenido de N		N-acumulado total	
	Total	Trébol	Pradera total	N	Proteína	
	(kg/há)	(kg/há)	(%)	(% N)	(kg/há)	(kg/há)
Corte frecuente (11 cortes) y bajo (20 cm)	5,550	944	17	2,82	157	981
Manejo del Agricultor (Pastoreo y conservación)	6,100	305	5	1,73	105	656

bargo, es necesario llegar a un equilibrio entre cantidad y calidad, producto de un manejo adecuado.

CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos planteados y a la metodología empleada se puede concluir lo siguiente:

1. Se ha logrado respuesta a la inoculación con rizobios seleccionados por efectividad, competencia y persistencia en trébol blanco.
2. La magnitud de la respuesta aumenta al dar condiciones ambientales y nutricionales adecuadas para los microorganismos y las plantas.

Destacan los efectos del fósforo y, probablemente, del molibdeno. Una eventual disminución de los niveles de Al del suelo a través del encalado parece favorable en los suelos más ácidos.

3. Los beneficios de la fijación se pueden incrementar usando técnicas de inoculación mejoradas, recomendándose la peletización.
4. Los cortes frecuentes del forraje favorecen su calidad proteica.

RESUMEN

Una serie de estudios sobre fijación simbiótica de N₂ realizados en praderas de la X Re-

gión indican respuesta del trébol blanco a la inoculación con cepas seleccionadas de *Rhizobium*. La magnitud de esta respuesta aumenta cuando se dan las condiciones ambientales,

nutricionales y de manejo adecuadas para los microorganismos y las plantas leguminosas. Además, la simbiosis puede incrementarse empleando técnicas mejoradas de inoculación.

LITERATURA CITADA

- BROADBENT, F.E., NAKASHIMA, T. y A.G. CHANG. 1982. Estimation of N fixation by isotope dilution in field and greenhouse experiments. *Agroonomy Journal* 74: 625-628.
- HALL, C.N., LOWTHER, W.L. y J.M. LLOYD. 1979. Effect of inoculant formulation on survival of *Rhizobium trifolii* and the establishment of over-sown white clover (*T. repens*). *N.Z. Journal of Exp. Agric.* 7: 311-314.
- HÖGLUND, J.H., CRUSH, R.J., BROCK, J.L., BALL, R. y R.A. CARRAN. 1979. Nitrogen fixation in pasture. XII. General Discussion. *N.Z. Journal of Exp. Agric.* 7: 45-51.
- RICHARD, G., SÁNCHEZ, F. y J. RODRÍGUEZ. 1986. Investigación de nuevas prácticas de manejo de forrajes y suplementos forrajeros en la X Región. Gerencia de Desarrollo, CORFO AA 86/25.
- PINILLA, H. 1983. Efecto de la aplicación de CaCO₃ al suelo y de la peletización de semillas de trébol blanco sobre la fijación de N en suelos de la X Región. Tesis M.Sc. Depto. de Suelos, Pontificia Univ. Católica de Chile. Santiago. 89 p.
- RUIZ, M. y H. URZÚA. 1980. Evaluación de la actividad de la nitrogenasa por cromatografía de gases en praderas de la X Región. *Bol. Extr. Soc. Chil. Quím.* 25: 205-206.
- MAVEDRA, N. 1975. Manual de Análisis de Suelos. Public. Nº 16. Depto. de Suelos, Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago. 64 p.
- TORRES, M.E. y H. URZÚA. 1983. Fijación simbiótica de N en praderas de la Zona Sur de Chile. I. Selección en cepas de *R. trifolii* utilizando pruebas de efectividad en tubos. *Ciencia en Inv. Agr.* 10: 223-230.
- URZÚA, H. 1984. Fijación simbiótica de N en praderas de la Zona Sur de Chile. Memorias de la XI Reunión Latinoamericana de *Rhizobium* (1982). U. de San Marcos, Lima (Perú): 115-127.
- URZÚA, M. y TORRES, M.E. 1985. Fijación simbiótica de N en praderas de la Zona Sur de Chile. II. Respuesta del trébol blanco y rosado a la inoculación con cepas efectivas de *R. trifolii* en suelos derivados de cenizas volcánicas. *Ciencia e Inv. Agr.* 12: 15-21.
- URZÚA, H., BERNIER, R. y M. RUIZ. 1985. Tasas de fijación de N en praderas de la Zona Sur de Chile. *Ciencia e Inv. Agr.* 12: 143-145.
- URZÚA, H., MUÑOZ, P. y F. BORIE. 1986. Efecto de micorrizas V.A. sobre la fijación de N₂ en trébol blanco en suelos de la Zona Sur de Chile. *Anales XII Reunión Latinoamericana sobre Rhizobium* (1984). Inst. Agron. de Campinas, S. Paulo (Brasil): 413-420.
- URZÚA, H., PINILLA, H. y M. RUIZ. 1986. Factores de suelo limitantes de la fijación simbiótica de N₂ en praderas de la Zona Sur de Chile. *Ciencia e Inv. Agr.* 13: 257-262.

ENSAYO

LA PRODUCCIÓN ANIMAL EN EL SIGLO XXI¹

ANIMAL PRODUCTION IN THE XXI CENTURY

OSVALDO PALADINES
Departamento de Zootecnia
Facultad de Agronomía
Pontificia Universidad Católica de Chile
Casilla 6177, Santiago, Chile

SUMMARY

Establishing at the outset the impossibility of predicting the future behaviour of any agricultural produce, particularly those dependent of people's future income and international trade, an analysis is attempted of the panorama which animal production of the early XXI century may find. Macro productive and macro economical data and the parameters of population growth and demand for animal products is used for the analysis. Finally, some consideration is made of the possible effects which the new biological technologies and the expected concentration of Knowledge in a few hands, may have on the development of animal production.

1. INTRODUCCIÓN

Es más allá de improbable que cualquier predicción que se intente sobre lo que será el siglo XXI, se acerque a la realidad y por tanto podría parecer inútil el esfuerzo de plantear algún esquema hipotético de lo que podría ser la producción animal, de no ser por el hecho de que en producción animal específicamente, el horizonte de trabajo se extiende a varias décadas y por tanto, cualquier consideración de hoy tendrá efectos en la producción del siglo XXI.

Como marco de referencia sería bueno decir que las diferencias entre el año 2000 y hoy eran menores que entre los años 2000 y 2090,

porque en estos momentos el panorama técnico ha entrado en un ámbito de desarrollo biotecnológico que seguramente empezará a afectar significativamente los sistemas de producción animal dentro de los próximos 20 a 30 años.

Hemos aprendido en los países en desarrollo, que la industria animal es dependiente del desarrollo de la industria animal de los países desarrollados y que ésta es a su vez altamente dependiente de las políticas de estímulo a la producción que emplean los gobiernos de los países.

Efectos de esta cadena de influencias han sido experimentadas en el mercado de la leche y de la carne. Adicionalmente el desarrollo de la producción interna está sujeta a los efectos

¹ Trabajo presentado en el V Simposio Argentino de Producción Animal. Paraná. Entre Ríos, junio de 1987.
Publicación aprobada por el Comité Editor de la Facultad de Agronomía de la Universidad Católica con el N° 437/87. Fecha de recepción: 22 de julio de 1987.

de las políticas internas nacionales que en general y tradicionalmente han fluctuado entre objetivos que favorecen al consumidor, particularmente de las ciudades y de favorecer al productor como estímulo a la producción.

La dependencia de la producción animal de las políticas internacionales y nacionales, complica aún más la posibilidad de predecir el comportamiento del sector ganadero a futuro.

En este trabajo se analizarán los factores de producción y mercado, las posibilidades tecnológicas, la posibilidad de adopción y desarrollo, las alternativas a la ganadería tradicional y las implicaciones morales de los cambios por venir.

2. LA PRODUCCIÓN Y EL CONSUMO DE PRODUCTOS PECUARIOS

Los estudios que proyectan la producción y el consumo de productos pecuarios a futuro, basan sus estimaciones en el comportamiento de los haberes pecuarios en períodos de tiempo que:

a) sean estables y b) de suficiente duración, para que tengan alguna base de confianza. A pesar de que se cumpla con estos requisitos, es imposible decir si en efecto el comportamiento futuro será igual al presente o cambiará brusca y significativamente como respuesta a cualquier factor de perturbación mayor, como lo fuera en el pasado las guerras mundiales o los conflictos armados de Korea y Vietnam. Para este tipo de factores no hay marco de análisis racional y queda reservado para los análisis de "bola de cristal".

2.1. A. Desarrollo de la población humana

Parecen superadas las predicciones globales Malthusianas de catástrofe por exceso de "presión de la población sobre los recursos alimenticios disponibles", si se verifican las disminuciones sensibles en la tasa de aumento demográfico en grandes zonas del mundo. A pesar de ello, para comienzos del siglo XXI, la población del globo habrá aumentado en unos 1.200 millones de personas para totalizar 6.000 millones, de los cuales, un 58% pertenecerán a países cuyas tasas de aumento son todavía superiores al 2% (Cuadro 1). Y dentro de

éstos, las mayores tasas corresponden a países de África y Oriente Medio, con graves problemas de provisión de alimentos. América Latina, en general, aún mantiene un promedio elevado de aumento de población, que produce un aumento anual de 10 millones de habitantes. Dentro de América Latina se presentan diferencias importantes entre los países del Cono Sur y países del área Subtropical y Tropical. Más aún, dentro de los países, la tasa de aumento poblacional es mayor en los estratos de menores recursos. En resumen, la tendencia poblacional para el próximo siglo es un inevitable aumento de las poblaciones de menor capacidad de producción y de abastecimiento de alimentos que en algunos casos puede ser de naturaleza dramática, por la ya excesiva presión de extracción que se ejercen en el medio ecológico, como es el caso de Etiopía que de acuerdo a las estimaciones de Brown (1987a) pasará de 42 millones de habitantes en 1986 a 204 millones antes de alcanzar su población estable; o de India que de 785 millones subirá a 1.700 millones (Cuadro 2). En estas predicciones basadas en tasas actuales de crecimiento, se debe entender que el sistema ecológico y productivo fracasaría antes de llegar a esas presiones poblacionales, en tal forma que las sociedades ajustarán sus sistemas de vida antes de ese punto. Desde el punto de vista de América Latina las poblaciones ganarían estabilidad mucho antes de su colapso (Brown, 1987a). Una pregunta que cada vez se torna más difícil de enfrentar para los países de alta producción de alimentos es en qué medida debe hacerse y mantenerse un traspaso directo de alimentos hacia regiones deficitarias. Algunas experiencias se han ganado en la última década con las desafortunadas hambrunas del Nororiente Africano que han demostrado las dificultades materiales y estratégicas del traslado y distribución de alimentos de emergencia.

2.2. Distribución de tierra agrícola y producción de granos

2.2.1. Uso de la tierra

Es un hecho claro que la agricultura en el mundo está sufriendo una fuerte división en la producción per cápita. Mientras en algunos países sube, en otros baja. En la década pasada

CUADRO 1 CRECIMIENTO DE LA POBLACIÓN MUNDIAL POR ZONA GEOGRÁFICA. 1986

Population growth by geographical zone. 1986

Región	Población (millones)	Tasa de crecimiento poblacional (%)	Incremento anual (millones)
<i>Regiones con crecimiento lento</i>			
Europa Occidental	381	0,2	0,8
Norteamérica	267	0,7	1,9
E. Oriental y URSS	392	0,8	3,1
Australia y N. Zelanda	19	0,8	0,1
Asia del Este ¹	1,263	1,0	12,6
Total	2.322	0,8	18,6
<i>Regiones con crecimiento rápido</i>			
Sudeste de Asia ²	414	2,2	9,1
América Latina	419	2,3	9,6
Subcont. Índico	1.027	2,4	24,6
Medio Oriente	178	2,8	5,0
África	583	2,8	16,3
Total ³	2.621	2,5	65,5

¹Principalmente China y Japón.

²Principalmente Birmania, Indonesia, Filipinas, Tailandia y Vietnam.

³Las cifras pueden no sumar igual al total por las aproximaciones.

Fuente: Brown, 1987a.

la escasez de cereales produjo un estímulo en países desarrollados para aumentar la producción de granos durante la primera mitad de los ochenta. Este aumento de la producción ha ocurrido según Brown (1987b) a expensas de sobreutilización de tierras arables, incorporación de tierras inadecuadas para el cultivo y subsidios excesivos. Durante este siglo, las tres cuartas partes de los agricultores han respondido a la demanda, arando una cantidad récord de nueva tierra, de la cual una gran parte es erosionable.

Entre 1950 y 1976 el área mundial cultivada con cereales se expandió de 590 millones a 720 millones de hectáreas. Este aumento de 22%, sin embargo, es pequeño comparado con la demanda mundial de alimentos. Desde 1976 en adelante, el área mundial en cereales ha cam-

biado poco (en 1986 se cosecharon 715 millones de hectáreas).

Si comparamos la contribución que ha tenido el aumento de las áreas cosechadas y la productividad por hectárea en el incremento de la producción de los cultivos más importantes en los países en desarrollo, observamos que del período 1961-1970 a 1971-1980 la tasa de incremento anual del área cosechada ha disminuido de 1,1 a 0,6% anual y que además la tasa de crecimiento anual del rendimiento por hectárea disminuyó también de 2,5 a 2,3%. Los países pequeños con áreas marginales están cultivando menores cantidades de tierra. Igual ocurre en las áreas montañosas con suelos erosionados. En el tercer mundo la productividad de 300 millones de há, que soportan 1.000 millones de personas, no ha aumentado. Si se

CUADRO 2
TAMAÑO DE LA POBLACIÓN PROYECTADA HASTA ESTABILIZACIÓN.
PAÍSES ESCOGIDOS

*Projected size of population until estabilization.
Selected countries*

Países	Población en 1986 (millones)	Tasa de crecimiento anual (%)	Tamaño población estabilizada (millones)	Cambio desde 1986 (%)
<i>Crecimiento lento</i>				
China	1.050	1,0	1.571	+50
Unión Soviética	280	0,9	377	+35
Estados Unidos	241	0,7	289	+20
Japón	121	0,7	128	+6
Reino Unido	56	0,2	59	+5
Alemania Occidental	61	-0,2	52	-15
<i>Crecimiento rápido</i>				
Kenya	20	4,2	111	+455
Nigeria	105	3,0	532	+406
Etiopía	42	2,1	204	+386
Irán	47	2,9	166	+253
Pakistán	102	2,8	330	+223
Bangladesh	104	2,7	310	+198
Egipto	46	2,6	126	+174
México	82	2,6	199	+143
Turquía	48	2,5	109	+127
Indonesia	168	2,1	368	+119
India	785	2,3	1.700	+116
Brasil	143	2,3	298	+108

Fuente: Brown, 1987a.

mantienen las proyecciones de aumento en 1.000 millones de personas para el año 2000, la tierra cultivada con grano, que disminuyó de 0,24 há/persona entre 1950 a 0,15 en 1986, bajaría a 0,12 há/persona (Brown, 1987b).

En América Latina la tasa de crecimiento alta sostenida durante la década de los 60 (2,8% anual) en el área cultivada con cereales disminuyó en la década de los 70 a menos de la cuarta parte (0,6%) (Paulino, 1986). La disminución en el aumento de área se ha compensado con aumentos en el rendimiento por hectárea.

2.2.2. Producción de granos

En 1982, la producción mundial de los prin-

cipales cultivos alcanzó a 1.830 millones de TM. Los países desarrollados con 26% de la población mundial, produjeron 51% del total y los países en desarrollo, que tenían más de 300 millones de personas (3/4 de la población mundial) contribuyeron con algo menos de la mitad y la producción per cápita fue sólo de 1/3 de los países desarrollados. (780 vs. 260 kg/per cápita) (Cuadro 3).

La tasa de crecimiento en la producción mundial de granos per cápita entre los años 1950-1973 y 1973-1986 decreció de 1,2 a 0,4% anual cuando la población creció a tasas superiores a 1,5% anual (Cuadro 4), presentándose grandes diferencias entre los países desarrollados y los países en desarrollo, con super-

CUADRO 3
POBLACIÓN, PRODUCCIÓN DE CULTIVOS POR REGIÓN (1980)
Y TASA DE CRECIMIENTO ANUAL, 1961-1980

Population, crop production by region (1980) and anual growth rate. 1961-1980

Grupo país	Población humana			Produc. princ. cultivos		
	1980		1961-1980	1980		1961-1980
	(Millones)	(%)	Tasa crec./año (%)	(Millones TM)	(%)	Tasa crec./año (%)
Países en desarrollo ¹ excluyendo China)	3.273	100	2,4	841,9	100	3,1
Asia excluyendo China)	(2.270)	(69)	(2,5)	(343,1)	(65)	(2,6)
África excluyendo China)	2.325	71	2,3	593,8	70	3,4
América Latina)	(1.322)	(40)	(2,4)	(295,0)	(35)	(2,8)
África Norte/El Oriente)	253	8	2,7	68	8	2,5
África Subsahara)	338	10	2,8	72,4	9	1,7
América Latina)	357	11	2,6	107	13	2,8

¹Se estudiaron 105 países.

Fuente: Adaptado de Paulino, 1986.

CUADRO 4
CRECIMIENTO ANUAL DE LA PRODUCCIÓN MUNDIAL
DE GRANOS TOTAL Y PER CÁPITA
1950-1973 Y 1973-1986

*Anual growth rate of world grain production
Total and per capita
1950-1973 and 1973-1986*

Período	Rendimiento grano	Población (%)	Rendimiento grano per cápita
1950-1973	3,1	1,9	1,2
1973-1986	2,1	1,7	0,4

Fuente: Brown, 1987b.

netos en los primeros y déficit netos en la mayoría de los segundos sobre todo de África y Oriente Medio. África ha disminuido su producción per cápita a casi un séptimo desde

1960 (Brown, 1987). En América Latina la producción alcanzó un máximo en 1981, declinando desde entonces en un 8%.

En el Cuadro 5 se resumen las proyecciones

CUADRO 5
PRODUCCIÓN Y CONSUMO DE CULTIVOS EN 1980
Y PROYECCIONES AL 2000
*Production and consumption of crops in 1980 and projections
for the year 2000*

Grupo país	Producción		Proyección al 2000			
	1980	2000	Consumo/ per cápita de 1980		Crecimiento ingreso 1966-1980	
			Consumo	Excedente/ Déficit	Consumo	Excedente/ Déficit
	(Millones de TM)					
Países en desarrollo (excl. China)	842 (543)	1.471 (970)	1.315 (910)	156 (60)	1.540 (1.046)	-69 (-76)
Asia (excl. China)	594 (295)	1.035 (534)	847 (442)	187 (91)	983 (489)	51 (44)
África Norte/ Oriente Medio	68	119	145	-26	183	-64
África Subsahara	72	114	149	-35	160	-47
América Latina	108	204	174	30	214	-9

Fuente: Adaptado de Paulino, 1986.

de Paulino (1986) para el consumo de cultivos para el año 2000, a base del consumo per cápita del año de 1980 y asumiendo un mantenimiento del crecimiento económico conseguido entre 1960-1980. Las regiones de África Norte-Oriente Medio y África Subsahara serán deficitarias en 18 y 23%, respectivamente, de sus necesidades cuando se estima el consumo a base de 1980 y en 35 y 29% con aumentos sostenidos en el ingreso per cápita; en este último caso todos los países del mundo en desarrollo, excepto Asia, serán deficitarios, llegando en América Latina a 9%. Una proyección de esta naturaleza es alarmante y de grandes implicaciones para la producción animal, ya que es de esperar que ante restricciones en la disponibilidad de granos para consumo humano el empleo en la alimentación de animales deberá restringirse. Con el ingreso de 1980 mantenido hasta el año 2000, Paulino (1986) estima que en América Latina el uso de cultivos para alimentación animal será de 47% del

total con un aumento desde 40% en 1980 (Cuadro 6).

CUADRO 6
EMPLEO DE CULTIVOS
EN LA ALIMENTACIÓN ANIMAL
1980 Y 2000
*Use of crops as animal feed
1980 and 2000*

Grupo de países	1980	2000 ¹
	(%)	
Países en desarrollo (excluyendo China)	16	23
Asia (excluyendo China)	18	26
África Norte y Oriente Medio	12	17
África Subsahara	11	17
América Latina	26	39
	6	9
	40	47

¹La estimación asume un ingreso per cápita igual a 1980.

Fuente: Paulino (1986).

2.2.3. Efecto de la fertilización y el riego en la producción de granos

Los avances alcanzados en la producción de granos de las últimas 3 décadas y que en términos globales se asocian a la llamada "Revolución-Verde", relacionan a la aplicación de conjuntos tecnológicos completos que se han llevado exitosamente a manos de los productores. La nueva tecnología se basa en la utilización de semillas de variedades de mayor potencial productivo, acompañadas por la aplicación de fertilizantes, pesticidas y herbicidas y el uso eficiente del agua de riego. Cuantitativamente el desarrollo futuro puede limitarse por la demanda de fertilizante y agua de riego.

2.2.3.1. Contribución de los fertilizantes

La contribución de los fertilizantes químicos al aumento de la productividad de la tierra ha sido espectacular a partir de 1950. Su uso a nivel mundial ha aumentado de 14 millones a 131 millones de TM en 1986 (Cuadro 7), quintuplicando su uso per cápita. Este aumento ha sido responsable en gran medida del crecimiento en la producción mundial de granos

desde 624 millones a 1.660 millones de TM. Por supuesto, no se puede dejar de señalar también la contribución de las variedades de trigo y arroz de alto rendimiento y la alta respuesta a fertilizantes que fueron introducidos durante la revolución verde.

Desde 1950 a 1980 el aumento anual en el uso de fertilizantes fue la mejor medida productiva de la tendencia económica mundial, mostrando un aumento sucesivo año tras año (Cuadro 7). Desde 1980 la utilización per cápita se ha mantenido estable. La tasa de incremento anual en el uso ha disminuido de 6,6% en los 70 a menos de 3% en los 80. Esto es un reflejo de la disminución de los precios agrícolas y de recesión económica generalizada en el mundo que ha obligado a eliminar subsidios al uso de fertilizantes.

El marcado aumento en el consumo de fertilizante a nivel mundial ha llevado aparejado una declinación importante en el área cultivada per cápita (Figura 1) que parcialmente ha actuado como compensador de la pérdida de área cultivada per cápita en países en desarrollo, pero que corresponde también a disminución neta de área cultivada en países desarrollados.

CUADRO 7
USO DE FERTILIZANTES Y RESPUESTA
EN LA PRODUCCIÓN DE GRANOS EN EL MUNDO
1950-1986

Fertilizer use and world grain production, 1950-1986

Año	Producción de granos	Uso de fertilizante		Respuesta (kg grano/kg fert.)
		Total	Per cápita	
(Millones de TM)				
1950	624	14	5	46
1960	812	27	9	30
1970	1.197	63	17	19
1980	1.509	112	26	13
1981	1.505	116	26	13
1982	1.551	115	25	14
1983	1.474	115	24	13
1984	1.628	125	26	13
1985	1.674	130	26	13
1986	1.661	131	26	13

Fuente: Adaptado de Brown, 1987b.

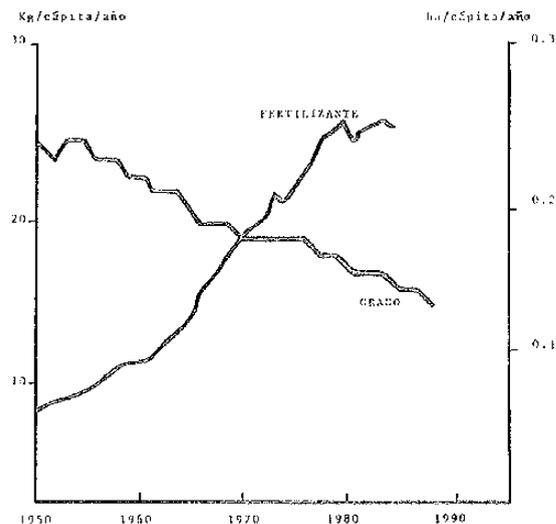


FIGURA 1
USO DE FERTILIZANTE Y ÁREA CULTIVADA
PER CÁPITA DE GRANO EN EL MUNDO,
A TRAVÉS DEL TIEMPO
BROWN, 1987b

*Per capita fertilizer use and area grain crop
World average*

Estas tendencias tienen importancia en el futuro uso del fertilizante porque, si el consumo per cápita de fertilizante se mantiene en el próximo siglo, se puede prever que el consumo de fertilizante aumentará en unos 31,2 millones de TM/año, o sea, un aumento del 24% al consumo actual. Sin embargo, de acuerdo a las estimaciones de Brown (1987b) el área de cultivo per cápita bajaría de 0,15 a 0,12 ha del año 1986 al 2000, esa pérdida en área deberá compensarse con el aumento en el uso de fertilizantes y riego, lo que significaría un aumento total del uso de fertilizante de un 30%, elevando el incremento esperado a 61% del consumo actual de fertilizante. Una cantidad adicional de fertilizante anual como ésta (80 millones de TM) creará una fuerte reacción en la disponibilidad y un incremento en el precio y, seguramente, conduciría a una disminución significativa en el uso para la fertilización de praderas. Adicionalmente, debe indicarse que hay grandes variaciones entre regiones en la eficiencia de uso del fertilizante. Así, con la información estimada por Wolf (1986) se puede calcular

que en Norteamérica se produjeron 18,7 TM de grano/TM de fertilizante, en tanto que en Europa Occidental fue de 10,8 y 5,5 en África. América Latina tuvo una eficiencia de 7,5. Asia es un caso interesante de incremento en la eficiencia llegando a 10,4.

2.2.3.2. Contribución del riego

Las tierras bajo riego se extendieron rápidamente en el mundo. En 1900 habían 40 millones de ha bajo riego, en 1950 alcanzó a 94 millones y hasta 1985 casi se triplicó. La tasa de aumento en las áreas de riego establecidas ha disminuido paulatinamente desde 1950-1960 hasta 1980-1985 (Cuadro 8). Asia nuevamente sobresale como el área con el mayor incremento en el área de riego que ha sido otra parte importante en el aumento de producción de granos. América del Sur por el contrario estableció un área pequeña de riego con incrementos pequeños después de 1960.

Las reservas de agua en el mundo se están reduciendo debido a otros usos no agrícolas, lo que sugiere que el crecimiento de tierras irrigadas será cada vez menor en el futuro y los incrementos debidos al riego serán por el uso más eficiente de agua existente antes de que por aumentos de agua irrigada.

También en este caso, las tierras de pastoreo bajo riego continuarán disminuyendo para ceder paso a los cultivos, aumentando la presión depresiva sobre las explotaciones de rumiantes y favoreciendo, relativamente, a las aves y cerdos.

2.3. Contribución de la producción animal al abastecimiento de alimentos

Barr en 1981, sugirió que la mayor diferencia en los niveles nutricionales entre países desarrollados y en vías de desarrollo era debida al consumo de productos pecuarios. Los productos pecuarios contribuyen con 1/6 de las calorías y 1/3 de las proteínas consumidas per cápita en el mundo (Sarma y Yeung, 1985). Sin embargo, el consumo diario per cápita de calorías y proteínas es 4 a 5 veces superior en los países desarrollados. Un factor que afecta significativamente la producción animal en los países en desarrollo es la relación entre la demanda por productos pecuarios y el nivel eco-

CUADRO 8
CRECIMIENTO DE TIERRAS IRRIGADAS POR CONTINENTE
1950-1985

Increase of irrigated land by continent. 1950-1985

Región	Área total irrigada 1985 (millones há)	Crecimiento del área irrigada			
		1950-1960	1960-1970	1970-1980	1980-1985
		(%)			
Asia	184	52	32	28	8
Norteamérica	34	42	71	14	-11
Europa	29	50	67	33	9
África	13	25	80	27	13
Sudamérica	9	67	20	28	17
Oceanía	2	0	100	0	0
Mundo	271	49	41	26	8

Fuente: Brown, 1987.

nómico del consumidor. La elasticidad de la demanda por los productos pecuarios es alta y superior que los cereales (Sarma y Yeung, 1985) en los países en vía de desarrollo, resultando más alta que en los países desarrollados.

Un estudio de Mellor (1981), indica hasta 1981 que los países en desarrollo tenían un crecimiento anual de 4% o más en el ingreso per cápita. El incremento en el ingreso y en la población producían aumentos de 4 a 6% en la demanda de alimentos, aumentando con ello la demanda especialmente de productos pecuarios.

Como consecuencia, la demanda por granos en el tercer mundo aumentó y lo hace rápidamente en la actualidad, lo que agrava aún más la situación alimenticia de éstos, puesto que cantidades crecientes de los granos producidos en los países en desarrollo son utilizados para alimentar los animales, siendo el maíz el más importante, con 76% de la producción destinada al consumo animal (Wedin *et al.*, 1985; Sarma y Yeung, 1985).

Es interesante destacar, en todo caso, que para muchos agricultores en el mundo, la alimentación no es la razón primordial para mantener animales. McDowell (1978) estimó que la mayoría de los rumiantes en las granjas pequeñas se mantienen para obtener productos o

servicios que pueden igualar o exceder aquel de la leche o carne. Dentro de los productos no consumibles que aporta la ganadería podemos enumerar la producción de cuero y fibra, energía agrícola y abono para mejorar el suelo y cultivarlo, obtención de huesos y cachos, y como bien de ahorro y de exportación, especialmente en América Latina.

Según Hrabovsky (1981), la importancia relativa de la ganadería radica en su contribución en alrededor de 20% al producto agrícola bruto fluctuando entre 10 y 50% del producto bruto agrícola en países desarrollados.

2.3.1. Producción de productos pecuarios

Considerando los períodos 1960-1970 y 1970-1980 la producción mundial de carne aumentó en 50% y 34%, respectivamente (Blaxter, 1983) (Sarma y Yeung, 1985). Este aumento se debió en gran parte a las carnes no bovinas. En el mismo período la población mundial aumentó en 23%. Según Blaxter esto sugiere un aporte adicional de 7 g de carne cada día (incluyendo huesos) en 1980 comparado con 1970. Este concepto asume un hombre promedio, sin considerar la variación entre países y grupos humanos dentro de países.

En 1979 el mundo produjo 136 millones de

CUADRO 9
DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LA POBLACIÓN
MUNDIAL Y DE LA PRODUCCIÓN DE PRODUCTOS
PECUARIOS POR REGIÓN. 1979

*Regional distribution of world population and production
of animal products. 1979*

Región	Población	Productos pecuarios		
		Carne	Leche	Huevos
(%)				
Economías desarrolladas	26,4	64,7	73,3	66,7
América Latina	8,0	10,3	7,3	8,1
África Subsahara	7,5	2,2	1,3	1,9
Norte de África/ M. Oriente	5,8	2,2	3,5	3,0
Asia	29,0	4,4	9,3	5,9
China y otros	23,3	16,2	1,3	14,4

Fuente: Adaptado de Sarma y Yeung, 1985. FAO, Anuario de la Producción. Vol. 34, 1980.

TM de carne, 463 millones de TM de leche y 27 millones de huevos. Los países en desarrollo, con 2,78 veces más población humana que las economías desarrolladas sólo produjeron per cápita 1/5 de la carne, 1/10 de la leche y 1/7 de los huevos (Cuadro 9). Porcentualmente, América Latina contribuyó más a la producción de carne y huevos que a la población, pero menos en leche. Los países africanos y asiáticos produjeron significativamente menos que su población, indicando el bajo nivel de producción y demanda de productos pecuarios. En el caso de Asia, el bajo consumo se compensa con el consumo de productos del mar que pasa a ser el principal contribuyente a la proteína animal. En África el número de animales en pastoreo es alto, pero la eficiencia de producción es muy baja.

La eficiencia de producción es el indicativo global alcanzado por los países en la producción pecuaria e indica indirectamente el empleo de insumos (fertilizante y grano principalmente) para la producción animal. Los países en desarrollo tienen el 68% de los bovinos y búfalos, el 65% de las ovejas y cabras, el 57% de los cerdos y el 52% de las aves del mundo y sin embargo, solamente producen el 35% de la carne, el 27% de la leche y el 33% de los

huevos. En el Cuadro 10 se presenta el porcentaje de animales sacrificados por año, del total de la población animal, y se observa que en los países desarrollados se sacrifica el 33,6% de los vacunos, en tanto que en las economías en desarrollo se sacrifican solamente el 10,3%, con diferencias igualmente grandes en ovinos y cerdos. América Latina tiene una eficiencia superior al promedio de áreas en desarrollo en los vacunos, pero inferiores en ovinos y cerdos, sobre todo en cerdos, la eficiencia es muy baja por el bajo nivel tecnológico usado en la producción. En el porcentaje de vacas lecheras se presenta un cuadro similar.

A pesar de la baja eficiencia de producción, la producción de productos pecuarios ha crecido en toda el área subdesarrollada en promedio a un nivel superior a la población humana (Cuadro 11). El crecimiento en la producción de huevos es realmente significativa y refleja la facilidad de transferencia tecnológica. La disminución en el costo de los granos y la alta elasticidad ingreso de la demanda para huevos (1,0 según Sarma y Yeung, 1985). América Latina creció en la producción de todos los productos pecuarios, incluyendo leche por sobre el crecimiento de la población en forma cómoda a pesar de que sus sistemas de produc-

CUADRO 10
PORCENTAJE DE GANADO SACRIFICADO PARA CARNE
Y PORCENTAJE DE VACAS PARA LECHE.
PROMEDIO 1973-1977

*Percentage of cattle slaughtered for meat consumption
and percentage of dairy cows. Average 1973-1977*

Región	Vacunos	Ovinos	Cerdos ¹	Vacas lecheras
Mundo	18,9	34,9	95,5	17,0
Economías desarrolladas	33,6	40,6	126,1	25,9
Economías en desarrollo	10,3	24,1	71,0	11,9
Asia	3,3	33,9	73,7	9,8
África Norte- Medio Oriente	15,8	34,4	99,3	25,2
África Subsahara	10,1	26,9	74,9	11,4
América Latina	14,7	19,0	43,5	12,2

¹Porcentajes superiores a 100% indican más de una generación criada por año.

Fuente: Sarma y Yeung (1985).

CUADRO 11
TASAS DE CRECIMIENTO DE LA POBLACIÓN HUMANA
Y PRODUCCIÓN PECUARIA POR REGIÓN
1961-1965 A 1973-1977

*Regional rate of growth of human population and of animal production
1961-1965 to 1973-1977*

Región	Población humana	Crecimiento de la producción		
		Carne	Leche	Huevos
(%)				
Asia	2,5	2,8	2,2	5,4
África Norte/ Medio Oriente	2,6	3,5	2,2	6,0
África Subsahara	2,7	2,3	1,4	3,4
América Latina	2,7	3,0	3,4	5,5
Países en vías de desarrollo	2,6	2,9	2,5	5,3

Fuente: Sarma y Yeung, 1985.

ción han cambiado poco, en el promedio, con excepción de la industria avícola.

2.3.2. Consumo de productos pecuarios

El consumo anual de productos pecuarios en

el tercer mundo durante 1973-1977 fue de 22 millones de ton de carne, 95 millones de ton de leche y 4 millones de ton de huevos (descontando a China). De estos consumos, Latinoamérica, con 1/6 de la población, consumió la mitad de la carne, 1/3 de la leche y 2/5 de los

huevos. El consumo per cápita de carne fue 34 kg, es decir 3 veces el resto de los países y 8 veces que Asia; África Subsahara tuvo los índices más bajos.

Desde la década del '60 a los '70 el consumo mundial de carne aumentó a una tasa anual de 3,2%, la leche lo hizo en 2,6% y los huevos 5,5%. África del Norte y el Oriente Medio tuvieron el crecimiento más rápido en carne (4,1%) y América Latina en leche y huevos (3,4 y 5,6%).

En el Cuadro 12 se observa que existen grandes variaciones entre regiones en el consumo de productos pecuarios, pero que las dife-

rencias son mayores dentro de la región y entre niveles de ingreso.

Así, el consumo de carne en el menor nivel de ingreso varió de 2,8 kg/persona/año en Asia a 10,6 kg en América Latina, pero en Asia subió de 2,8 kg a 56,8 kg entre los grupos de menor y mayor ingreso y América Latina de 10,6 a 38,5 kg. Esta información es altamente relevante a un estudio de esta naturaleza porque indica que el consumo potencial de productos pecuarios podría multiplicarse varias veces en todas las regiones del mundo, si creciera en medida significativa la capacidad económica para adquirir los productos, en otras

palabras, el desarrollo de la industria pecuaria de todas las regiones en desarrollo está íntimamente ligada al desarrollo de la economía general de los países.

2.3.3. Estimaciones de producción y consumo para el año 2000

El grave riesgo de proyectar los niveles de consumo y producción de productos agrícolas, y en especial de productos pecuarios, radica en su dependencia del ingreso per cápita de la población y por tanto del general de los países, de la disponibilidad de áreas aptas para la ganadería, de la capacidad técnica de respuesta ante el aumento de demanda y de las políticas internas e internacionales que los gobiernos establezcan para moderar el gasto en alimentos. Con tantas variables impredecibles, la actitud sensata es no ofrecer predicciones y debemos agradecer a aquéllos con el coraje suficiente para hacerlo.

Las proyecciones a futuro que se discuten en este trabajo son las preparadas por Sarma y Yeung (1985) del Instituto Nacional de Políticas Alimentarias y se basan en las tendencias de las tasas de crecimiento del ingreso para 1966-1977. Según Mellor (1985), este fue un período de gran crecimiento del ingreso para el tercer mundo, lo cual no fue sostenido en años posteriores.

Para paliar este inconveniente, Sarma y Yeung (1985) asumen además una reducción de 25% en el ingreso como proyección alternativa. El crecimiento económico promedio esperado para los países en vías de desarrollo es de 4,03 y 4,3% anual en los períodos 1977-1990 y 1977-2000; los valores respectivos para América Latina son de 4,05 y 4,24%. El crecimiento en las otras regiones en desarrollo esperado es relativamente similar a América Latina, excepto el de Asia que se ubica en el rango de 3,3 a 3,8%. Con un crecimiento de ingreso similar al obtenido en 1977 (3,7% en promedio de los países en desarrollo) se esperaría obtener excedentes al año 2000 de 21% de carne, 2% de leche y 41% de huevos (Cuadro 13), pero si la tasa de ingreso per cápita se restableciera a los niveles de 1966-1977 (4,3%) se producirían déficits de 29% de carne y 27% de leche por la incapacidad de estos sectores de la pro-

ducción de ajustarse técnicamente a las necesidades de aumento de producción. En el corto plazo, hasta el año 2000, esta situación puede ser cierta, pero los cambios tecnológicos esperados a más largo plazo pueden cambiar el balance negativo entre consumo y producción. Los excedentes esperados en la producción de huevos corresponden a la cada vez mayor inversión de cereales en la alimentación de aves que ya se discutió en el capítulo anterior. También, por esta razón, es de esperarse, y es muy significativo para los países de América Latina y del Cono Sur, que el déficit de carne se acrecentará en el sector de carnes rojas y especialmente de vacuno. En el caso de América Latina, tomada en conjunto, será capaz de producir suficiente carne y huevos aun si su crecimiento de ingreso es igual al de 1966-1977, pero sufrirá un déficit en leche, aun a crecimiento de ingreso igual a cero. Nuevamente, los países de África y Oriente Medio serán los más deficitarios en carne y leche, a cualquier nivel de ingreso.

Con las tasas de crecimiento experimentadas entre 1961 y 1977 se esperan tasas de crecimiento en la producción de productos pecuarios hasta el año 2000 de 3,4% anual para carne, 2,9% para leche y 55% para huevos, lo que permitirá producciones globales para países en desarrollo de 50,9 millones de TM de carne, 177,6 de leche y 14,7 de huevos. Estas cifras de producción estimadas emplearon los autores para calcular los excedentes del déficit del Cuadro 13.

2.3.4. Precio internacional de insumos y productos y su impacto en los países en desarrollo

El precio internacional, tanto de la carne como de los granos es un marco de referencia para las políticas agrícolas que puedan tomar tanto los países exportadores como importadores de productos pecuarios. De acuerdo a Mitchell (1987), del Banco Mundial, desde 1974 ha habido una reducción de 52% en los precios agrícolas en términos reales. Algunos productos, como los cereales han experimentado una reducción más brusca (Cuadro 14). Las proyecciones realizadas por el Banco Mundial (Mitchell, 1987) indican un aumento en los

CUADRO 12
CONSUMO PROMEDIO PER CÁPITA DE PRODUCTOS PECUARIOS
ENTRE 1973-1977 POR REGIÓN Y POR INGRESO PER CÁPITA
EN 1977

*Average regional per capita consumption of animal products
between 1973 and 1977*

Producto ¹	Asia	Norte África/ M. Oriente	África Subsahara	América Latina	Países en desarrollo
(kg/año)					
<i>Carne</i>					
1	2,8	8,9	10,2	10,6	4,0
2	6,9	12,4	7,5	19,2	8,1
3	10,2	14,6	14,1	22,8	15,9
4	56,8	18,3	27,4	38,5	35,0
Promedio	4,3	14,4	9,3	33,8	10,9
<i>Leche</i>					
1	42,4	44,5	25,5	19,0	40,1
2	6,7	59,3	18,8	41,5	19,0
3	14,6	84,8	26,2	91,8	53,8
4	59,6	70,5	55,1	110,7	101,5
Promedio	34,4	71,1	22,6	103,1	47,8
<i>Huevos</i>					
1	0,5	0,8	1,2	1,8	0,6
2	2,1	1,7	1,4	4,1	1,9
3	5,4	3,3	1,3	5,2	4,2
4	12,5	3,4	3,2	5,8	5,5
Promedio	1,1	2,7	1,3	5,6	2,0

¹ 1: Grupo de ingreso < US\$ 250.

2: Grupo de ingreso US\$ 250-499.

3: Grupo de ingreso US\$ 500-1249.

4: Grupo de ingreso US\$ 1249 o más.

Fuente: Adaptado de Sarma y Yeung, 1985.

CUADRO 13
PROYECCIÓN DE CONSUMO Y DÉFICIT NETO
DE PRODUCTOS PECUARIOS BAJO DIFERENTES
ALTERNATIVAS DE CRECIMIENTO DE INGRESO
PER CÁPITA PARA TODAS LAS REGIONES
ANALIZADAS DE PAÍSES EN DESARROLLO.
1990 y 2000

*Estimates of consumption and net deficit of animal products under
different per capita income growth rates, for 1990 and 2000*

Estimación ¹	Consumo proyectado		Excedente neto o déficit	
	1990	2000	1990	2000
	(Millones de TM)			
Carné				
I	32,1	40,1	3,7	10,8
II	43,8	71,8	-8,0	-20,9
III	39,7	61,2	-3,9	-10,2
Leche				
I	137,4	173,6	-6,3	4,0
II	166,1	242,0	-35,0	-64,4
III	158,3	220,5	-27,2	-43,0
Huevos				
I	6,48	8,63	1,97	6,09
II	8,75	14,69	-0,30	0,03
III	8,06	12,64	0,39	2,08

¹I = Tendencia de niveles per cápita de 1977 (3,7%).

II = Tendencia de la Tasa de crecimiento del ingreso per cápita de 1966-1977.

III = Tasa de crecimiento del ingreso per cápita bajo (-25% que II).

Fuente: Adaptado de Sarma y Yeung, 1985.

precios reales a partir de 1987 ó 1988 que continuarían hasta los 90, aunque no alcanzarían, aquellos de 1985 (Cuadro 14). Según Mitchell (1987) no se prevé un alza brusca de los precios a corto plazo debido a la combinación entre los excedentes y un crecimiento económico moderado que se proyecta. Por ejemplo, para los granos se prevé un alza debido a los grandes stocks existentes actualmente. Los productores se desincentivan por el bajo precio y los stocks tenderían a disminuir. La tendencia alcista sería más marcada en trigo y arroz comparado con el maíz, puesto que el stock de este último es muy superior.

Es importante observar que, en precios rea-

les, en el mercado internacional, los insumos utilizados para la producción animal, directa o indirectamente han bajado paulatinamente hasta el año 1986, para iniciar un aumento proyectado hasta el año 2000. El incremento en precio de los fertilizantes está asociado con el aumento de la demanda sin que se creen nuevas fuentes de producción que para 1988 estarán todos en máximo uso. El aumento en insumos producirá aumentos en el costo de los productos pecuarios, ampliándose así la brecha en su consumo entre países y grupos de mayor y menor ingreso. Es predecible también que el aumento en el precio de los granos reduzca la producción de ganado vacuno alimentado con

CUADRO 14
PRECIOS INTERNACIONALES DE PRODUCTOS Y PROYECCIONES
A CORTO Y LARGO PLAZO (DÓLAR 1985 = 100)
*International price of agricultural products and short
term projections (1985 US Dollar = 100)*

Producto	Unidades	Actual		Proyecciones					
		1970	1980	1983	1986	Corto plazo 1988 1989	Largo plazo 1990 2000		
		(US\$)							
<i>Carne</i>									
Vacuno	c/kg	359	264	242	176	181	191	205	276
<i>Trigo</i>									
Maíz	\$/TM	173	183	168	135	119	127	137	140
Sorgo	\$/TM	161	120	135	74	67	79	93	98
<i>Fertilizantes</i>									
Úrea	\$/TM	143	124	128	69	62	74	89	93
Sft ¹	\$/TM	133	213	134	90	117	143	178	179
	\$/TM	117	173	134	102	109	115	124	154

¹Super Fosfato Triple.

Fuente: Banco Mundial, 1987.

granos y eventualmente de aves y cerdos, lo cual agrandará la presión de precio sobre las carnes, hacia el próximo siglo.

13.5. Políticas internas e internacionales y su impacto en el comercio pecuario

Los productos agrícolas y particularmente los productos pecuarios han sido siempre participantes de la política interna y externa. En lo interno, los países han empleado herramientas de control de precios y subsidios directos e indirectos para controlar los precios de los productos pecuarios y para estimular la producción. Estos mecanismos son empleados políticamente porque el precio de los alimentos tiene serias implicaciones políticas. Con frecuencia los mecanismos de regulación son inadecuados técnica y económicamente a pesar de su validez política. Es imposible predecir a corto o largo plazo el efecto de estas medidas por que ellas mismas son impredecibles. La historia de los países de América Latina está llena de

ejemplos de expansión y contracción de la producción pecuaria debidas a la implementación de medidas políticas de subsidio o control de precios.

En lo internacional, los países industrializados han enfrentado pérdidas aceleradas en la población rural y amenaza de serias disminuciones en la producción agrícola que han obligado al establecimiento de subsidios a la producción junto a barreras arancelarias a la importación. El resultado inmediato interno es un aumento significativo del precio de los alimentos, pero como el gasto en alimentación es bajo en relación al ingreso total familiar (20-25%), los cambios en los precios de productos agropecuarios no tienen la importancia que podría parecer. En lo externo, estas políticas distorsionan el precio internacional que disminuye y crea presión sobre la producción de los países en desarrollo. La historia reciente nos enseña que la Comunidad Económica Europea (CEE) se ha transformado en los últimos 10 años, de importadora de productos agrícolas, particularmente carne, en exportadora, gracias al estí-

CUADRO 15

COSTOS Y BENEFICIOS DOMÉSTICOS DE LA PROTECCIÓN AGRÍCOLA
A LOS CONSUMIDORES Y PRODUCTORES EN LA COMUNIDAD ECONÓMICA EUROPEA,
JAPÓN Y ESTADOS UNIDOS

*Domestic costs and benefits of agricultural protection policies
in the european community, Japan and the U.S.A*

País y año	(Miles de millones de US\$ anuales)				
	Costo a consumi- dores	+ Costo a contri- buyentes	- Beneficio a productores	= Costo domest. total	Razón de transferencia ¹
CEE (1980) ²	34,6	11,5	30,7	15,4	1,50
Japón (1976)	7,1	0,4	2,6	4,1	2,58
EE.UU. (1958)	5,7	10,3	11,6	4,4	1,38

¹Razón de transferencia = (pérdidas de consumidores + pérdidas de contribuyentes) / unidad ganancia productores.

²Excluye Grecia, Portugal y España.

Fuente: Panorama Económico de la Agricultura, 1986.

mulo de fuertes subsidios. Estos subsidios crean un traspaso de dinero de los consumidores y del fisco a los productores, pero con una pérdida neta para los países (Cuadro 15) y una presión alta sobre el costo de los consumidores. Las predicciones sobre la producción mundial de productos pecuarios está ligada estrechamente a las políticas de precios de los países industrializados. Si estos países eliminarán las medidas de protección, se produciría un inmediato aumento de precio en el mercado internacional, que en la carne bovina y ovina podría fluctuar entre 6 y 16% y de 2-4% en el pollo y cerdo, en los productos lácteos el aumento sería ya entre 12 y 27% (Panorama Económico de la Agricultura, 1986). El efecto de estos cambios sobre la producción y consumo de productos pecuarios de los países en desarrollo es diferente si se trata de países exportadores, autosuficientes o importadores. En general, el precio debería aumentar en carne de vacuno y ovino y de productos lácteos, en tanto que tendería a bajar en ave y cerdo. En todos los países se produciría una presión de producción pecuaria que tendería a aumentar la producción y los volúmenes exportados, lo cual reduciría el consumo en los estratos de menores ingresos.

3. EL CAMBIO TECNOLÓGICO EN LA PRODUCCIÓN ANIMAL PARA EL SIGLO XXI

Mirando hacia atrás en el desarrollo técnico de la producción animal, en su corta historia de no más de 80 años, debemos admitir y admirar los grandes avances logrados en todas las ramas y líneas de la producción. No es el objetivo de este artículo discutir lo que se ha conseguido en el corto plazo, pero sí enfatizar el hecho de que el avance es resultado del empleo, por parte de los investigadores, de los conocimientos de las ciencias básicas que se habían acumulado a través del tiempo y particularmente del siglo XIX. Este trabajo preparatorio permitió que una rama de la ciencia, la Nutrición Animal (que se desarrolló estrechamente ligada a la Nutrición Humana), lograra desentrañar los secretos de la alimentación y resolver prácticamente todos sus problemas básicos en el corto período de 30 años a tal nivel, que permitiera el desarrollo de explotaciones intensivas de producción con el control completo de las variables nutricionales. En este ámbito, se debe recalcar el hecho de que fueron los investigadores de Universidades e Institutos de Investigación de todo el mundo, quienes resolvieron

los dilemas y plantearon las soluciones. La industria ocupó estos conocimientos y adaptándolos a sus capacidades, los convirtió en realidades productivas. Dentro de los últimos 25 años, apareció en el mundo de la generación de conocimientos un nuevo participante asociado a las grandes empresas productoras de productos químico-agrícolas y de manufactura de alimentos. La entrada de estos grupos en la elaboración de conocimientos ha tenido dos consecuencias: a) un rápido desarrollo de tecnologías comerciales específicas; y b) el establecimiento de un nuevo concepto en la ciencia agrícola, el de derecho reservado y de patentación. Este último ha ganado tal trascendencia que en la actualidad todos los organismos de investigación fiscales y privados consideran una necesidad el mantenimiento del secreto científico. Ligada a estos acontecimientos, encontramos que la inversión pública en investigación agrícola y científica, en general disminuye, en tanto que la inversión privada aumenta, cambiando paulatinamente el centro del conocimiento de los Centros de Investigación a los Laboratorios Comerciales. La tendencia, a nuestro entender, continuará creciendo a través del próximo siglo, porque la concentración de poder económico será la única capaz de generar nuevos conocimientos y éstos a su vez de generar nuevo poder económico. En otras palabras, la generación y uso de la ciencia será en el futuro sustentada por las grandes empresas comerciales y con ello el poder económico. El conocimiento científico como un patrimonio de la humanidad y sus medios tradicionales de difusión desaparecerán, para ser substituidos por el conocimiento transable económicamente y por tanto secreto. Muy significativa, en este sentido, es la reciente decisión de la Suprema Corte de Justicia de los Estados Unidos de Norteamérica que considera como sujeto de patente a todo *nuevo organismo vivo* que sea creado por el hombre, como fue el caso de la "quimera" llamada "geep" por ser la mezcla *in vitro* de cabra y oveja.

Para los países en desarrollo, con una menor capacidad industrial y ya dependientes en gran medida de la tecnología y de la ciencia foránea, estas tendencias deberían ser altamente preocupantes y deberían llevar al análisis de lo que puede significar la total dependencia de las

empresas comerciales extranjeras.

En este capítulo se revisarán brevemente las áreas del conocimiento que a futuro podrían tener trascendencia en el desarrollo de la producción animal.

3.1. Componentes tecnológicos de mayor trascendencia en la producción animal

Del análisis del desarrollo económico de la producción animal se puede concluir que los siguientes han sido los componentes tecnológicos de mayor trascendencia en el avance de la producción animal: 1) empleo de fertilizantes y 2) uso de granos en la alimentación animal. Apoyando la aplicación de estas dos tecnologías de base se han utilizado nuevas variedades de plantas (granos y forrajes), animales con un potencial genético superior, sistemas de alimentación que optimizan el uso de los recursos nutricionales, control de enfermedades y parásitos en los animales y el empleo de estimulantes de crecimiento. Se puede, sin embargo, afirmar que sin el empleo de las dos técnicas nombradas, ninguno de los otros componentes hubiera podido producir un cambio significativo en los volúmenes y en la eficiencia global de producción. Adicionalmente, el incremento en la alimentación con granos, ha sido posible gracias al aumento en la producción, que a su vez se ha debido en gran medida al uso de fertilizantes, es decir, de una u otra manera se llega a que el incremento en el uso de fertilizantes ha sido el principio y la base de los incrementos en producción y es por esta misma razón que el manejo de la fertilización ha recibido una cantidad importante de atención de la investigación física y económica. En América Latina puede decirse que el costo de los fertilizantes ha impedido mayor avance en la producción de rumiantes. En los no rumiantes el caso tiene características diferentes: a) por un lado el bajo precio internacional de los granos ha servido de control para los precios internos que, al disminuir, han dirigido una fracción mayor de la producción y de las importaciones al sector ganadero; y b) el rápido y fácil traslado de la tecnología de producción de aves, principalmente, y de cerdos, que ha hecho más eficiente el uso de los recursos alimenticios disponibles, pero por otro lado, ha incrementa-

do el uso de granos para este propósito. Todo esto ha significado aumentos en el consumo de granos para la producción animal y por lo tanto una mayor fracción del fertilizante empleado.

Los avances conseguidos con la tecnología de la "revolución verde" tuvo como base el desarrollo de nuevas variedades, de mayor producción. Estas consecuciones se hicieron con la aplicación de los principios fisiológicos clásicos (mayor capacidad de utilización de la luz solar) y de la genética cuantitativa clásica. Los niveles actualmente alcanzados hacen pensar que se está llegando al límite de la varianza genética y las expectativas son solamente de mantener estos niveles con nuevas variedades con resistencia a plagas y enfermedades específicas y con adaptación específica a condiciones del ambiente.

El límite impuesto por el manejo de la genética cuantitativa, parece tener un desafío en la nueva metodología de la biotecnología y en este caso particularmente en la ingeniería genética.

3.2. La biotecnología y su posible contribución al mejoramiento de la producción animal

La biotecnología comprende muchos aspectos del manejo y manipulación del sistema biológico. El objetivo común es el uso integrado de la bioquímica, microbiología e ingeniería química para mejorar los sistemas biológicos. Este mejoramiento se logra empleando la capacidad productiva de microorganismos, cultivo de tejidos o componentes de éstos para su aplicación biotecnológica (Domsch *et al.*, 1982).

En agricultura, algunas tecnologías están actualmente siendo exploradas y otras ya han producido resultados significativos. El progreso en el cultivo de tejidos e ingeniería genética de plantas ha permitido: a) una rápida propagación y a gran escala de plantas genéticamente uniformes provenientes de material elite, b) selección de variedades nuevas y mejoradas usando la tecnología de variación somaclonal, c) desarrollo de nuevos híbridos entre diferentes cultivares y especies por medio de fusión de protoplastos y d) uso de DNA recombinante para introducir nuevo material genético en células vegetales (Ammirato *et al.*, 1984).

En la producción animal, la aplicación de la biotecnología, más específicamente del DNA recombinante y transferencia de genes ofrecen en el presente, pero especialmente en el futuro, posibilidades muy grandes para el estudio y posterior manipulación de la fisiología animal, del ecosistema ruminal y de la producción y desarrollo embrionario. Los dos primeros casos involucran el mejoramiento de la eficiencia de producción de leche y carne, así como del mejoramiento en la utilización de proteínas y fibra de los alimentos. En el tercer caso de manipulación embrionaria, permitirá producir gemelos monocigotos, realizar sexage de embriones y producir quimeras y clones. A través de la manipulación del genoma de los animales domésticos, sería posible modificar su fisiología, mejorar características productivas y crear resistencia a enfermedades.

En la Figura 2, se presenta un resumen de las vías de acción de la biotecnología sobre los organismos vivos, vegetales y animales.

En ella se observa la multiplicidad de acciones y es fácil imaginar los niveles elevados de complicación biológica a los cuales puede llevar su manipulación. Pragmáticamente considerado, el uso de la manipulación genética parece tener las mayores repercusiones a largo plazo, en tanto que los cultivos de tejidos y la regeneración de organismos tendrían efectos a corto y mediano plazo. En realidad, la técnica de cultivo de tejidos y de clonación está siendo utilizada ya profusa y exitosamente para reducir el intervalo generacional y multiplicar el número de individuos involucrados en las etapas de multiplicación (Lachkovics, 1987) y es particularmente exitoso en cultivos que no se reproducen comercialmente por semilla. El empleo de los métodos biotecnológicos en agricultura se inició primero en el campo de los cultivos y en estos momentos hay ya avances importantes en la transferencia de genes con el objeto de producir eventualmente variedades resistentes a plagas y enfermedades y plantas con mayor eficiencia en el empleo de la energía solar. Este último es sin duda el máximo objetivo porque, como se ve en la Figura 3, la mayor ineficiencia en la utilización de la energía está precisamente en la bajísima capacidad de los tejidos vegetales para utilizar la energía del sol. Los sistemas de producción con animales

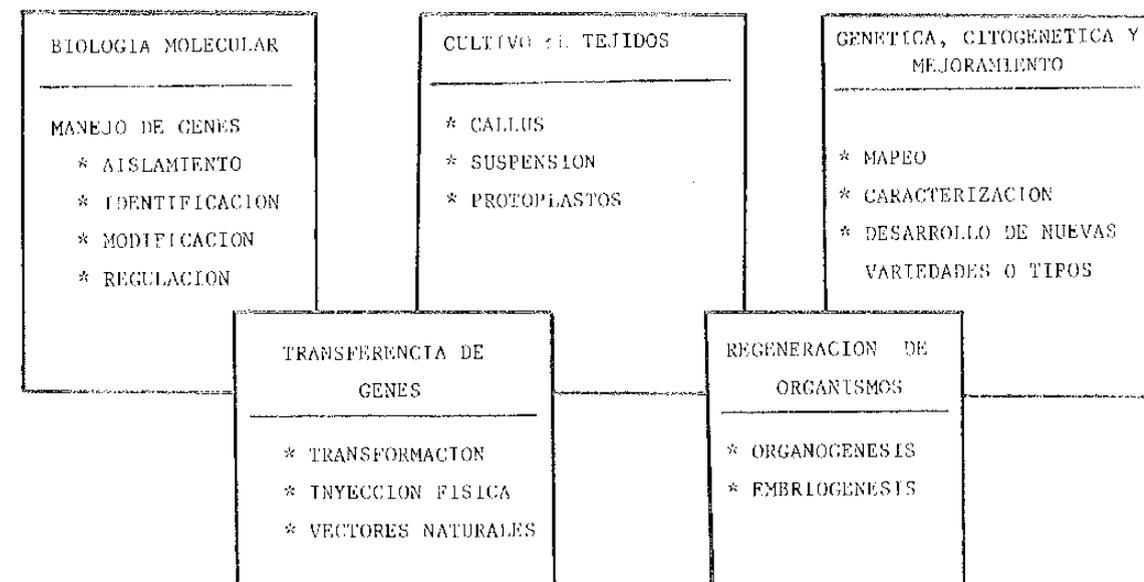


FIGURA 2
PRINCIPALES ÁREAS DE LA BIOTECNOLOGÍA

Main areas of biotechnological development

rumiantes y en especial bajo pastoreo, son seguramente los menos eficientes energéticamente. De la energía solar disponible para fotosíntesis, solamente el 1,4-1,6% es absorbido por las plantas, quedando un 98,0% remanente de ineficiencia que, por largo, es el mayor residuo energético. En la Figura 3 se observa los pasos sucesivos en la utilización de energía bajo pastoreo (uno de los casos presentado por Akiyama *et al.*, 1983). El animal cosecha un 60% de la energía del forraje, digiere un 69% de la energía consumida y deposita un 4% de la energía digerida, con una eficiencia global de sol a carne de $9,6 \times 10^{-5}$. La inmensa ineficiencia deja espacio muy amplio para mejoramiento en todas las etapas del proceso de producción. En la interfase pradera-animal disponemos de metodología que permite aumentar la eficiencia de cosecha del forraje hasta 80-85% en pastoreo, pero no tenemos la capacidad de intervenir en la eficiencia de digestión, más allá del manipuleo de la edad de la planta y algunas formas de presentación del alimento. En este campo, la ingeniería genética podría desarrollar microorganismos compatibles con la fermentación ruminal, capaces de digerir la

fibra y en especial la lignina con mayor efectividad. La manipulación de genes nuevamente podría crear individuos en los cuales la relación global mantenimiento: producción favorezca los procesos productivos.

Para el caso de animales no rumiantes, en los cuales la utilización de la energía del alimento es mayor, cabe aun mejoramientos en el sistema digestivo y en la relación mantenimiento: producción, pero en todo caso el gran avance estará ligado a los progresos fitotécnicos para obtener granos con un balance ideal: energía, proteína, aminoácidos, grasas, vitaminas, minerales; de forma que en un solo ingrediente alimenticio se entregue la dieta balanceada.

Todas las ideas expuestas, que pueden parecer sueños de ciencia-ficción, son en efecto objetivos concretos de los investigadores que miran al siglo XXI y serán, sin duda, proyectos de trabajo de los que tengan el privilegio de pertenecer a él.

Las realizaciones son muchas y las expectativas mayores y, si bien los problemas científicos y técnicos que enfrentarán los colegas los próximos siglos son muchos y grandes, no será

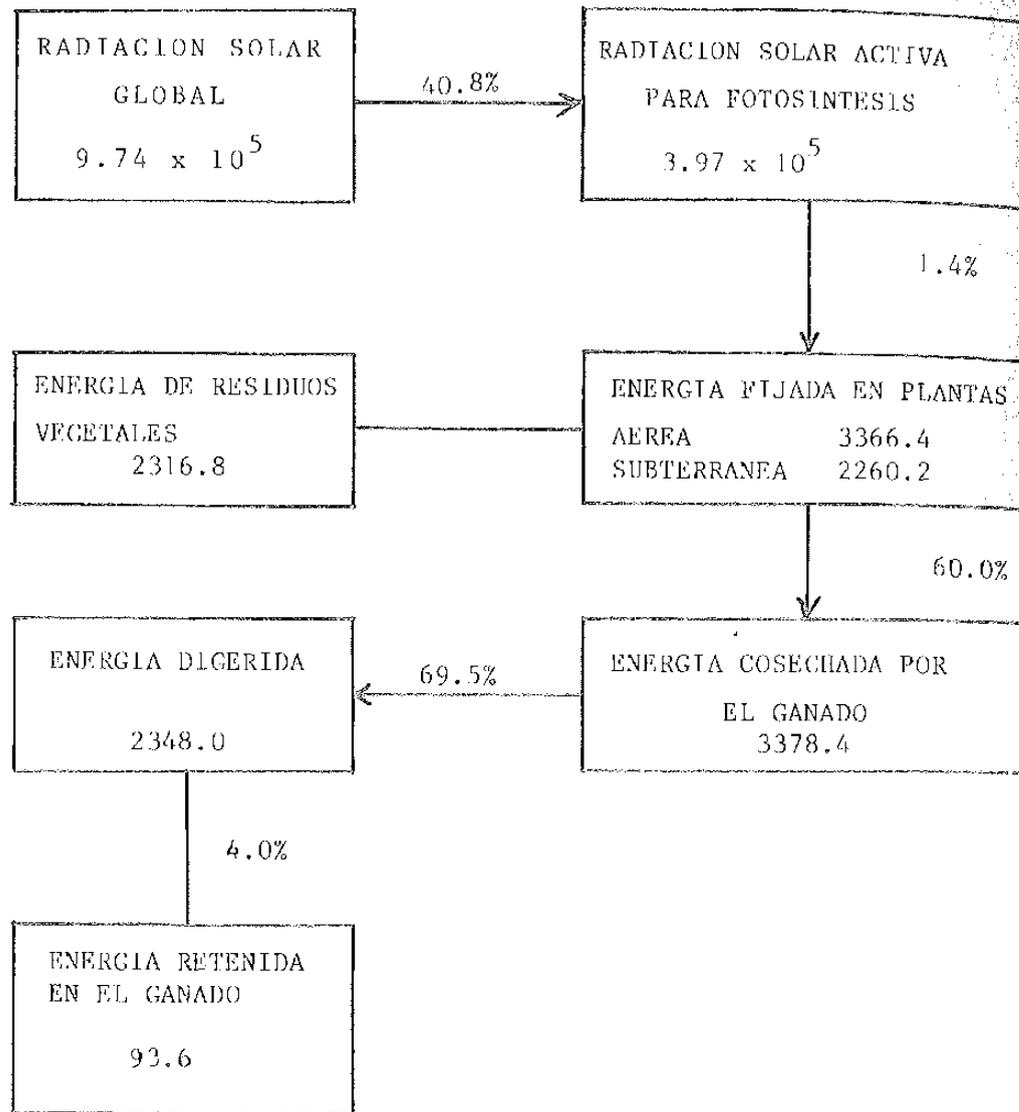


FIGURA 3
EFICIENCIA DE UTILIZACIÓN DE LA ENERGÍA EN UN SISTEMA DE PASTOREO
ROTATIVO DE NOVILLOS EN EL JAPÓN. EXPRESADO EN $\text{KCAL/M}^2/\text{AÑO}$.
ADAPTADO DE AKIYAMA ET AL., 1983

*Efficiency of energy utilization under a system of rotational grazing
with steers in Japan (kcal/m²/year)
Adapted from Akiyama et al., 1983*

ni la ciencia, ni la técnica el principal obstáculo, sino más bien los problemas de desigualdad creciente de la capacidad económica mencionados en capítulos anteriores, y los problemas morales que se mencionarán al cerrar este trabajo.

Pero, ¿cuál podrá ser la situación de la producción animal en América Latina, frente a este conjunto de variables económicas y técnicas? La complejidad del problema sólo permite algunas puntualizaciones.

1. Si bien, podrá tenderse a unir al área de

América Latina en un solo núcleo de producción y consumo, parece poco viable dadas las notorias diferencias económicas y culturales entre países.

2. Por esta razón, cada país o grupo de países tendrá que vivir una diferente realidad.

3. En todos los países, la demanda de productos pecuarios aumentará como resultado de incrementos poblacionales y posiblemente por aumentos en el ingreso.

4. El consumo de carnes de pollo y cerdo se incrementará, por su ventaja de precio relativa al vacuno y ovino, absorbiendo una cada vez mayor proporción de los granos. En el mediano y largo plazo, los progresos que se logren en la producción de granos redundará directamente sobre la producción y consumo de pollo y cerdo.

5. Las diferencias en la capacidad adquisitiva de productos pecuarios entre grupos humanos dentro del país, se agrandarán, aumentando significativamente los grupos incapaces de consumir carnes o leche.

6. En el corto plazo y hasta cuando las nuevas tecnologías permitan aumentar la eficiencia de los procesos productivos, se deberá buscar metodologías de producción de bajo costo, que desenfaticen el uso de insumos y que impulsen la utilización más eficiente del recurso forrajero existente.

7. La base forrajera nativa, adaptada a las condiciones del ambiente sin insumos, deberían usarse como la fuente genética para los trabajos de transferencia de genes.

4. LA MORAL, LA CIENCIA Y EL DESARROLLO DE LA SOCIEDAD, SU EFECTO EN AMÉRICA LATINA EN EL SIGLO XXI

Como nunca antes, en el próximo siglo el hombre se verá enfrentado a dilemas morales que deberá resolver a base de la concepción del hombre y de la sociedad.

Los avances metafísicos en la comprensión de la vida, su fuente y su destino, no han seguido el mismo ritmo que los avances de la ciencia. El hombre del siglo I DC sabía tanto sobre la fuente primaria de la vida (el soplo de vida y alma) y sobre el destino del ser cuando termina la vida (el más allá) como sabe el

hombre actual; y el soporte de su existencia continúa inalterado desde entonces y, en realidad, desde siempre, basado en la aceptación por fe de designios superiores e inexcrutables. La maravillosa ordenación de la naturaleza, su balance y su estabilidad constituyen, en efecto, el elemento físico central de apoyo a las concepciones metafísicas de la existencia de un ordenamiento superior al cual el hombre debe responder. En este contexto, el hombre armado de su capacidad de pensar, de recordar y de planear a futuro, avanzó materialmente hasta niveles no compatibles con las concepciones teológicas que surgieron de la fe y que, en gran medida, respondían a las necesidades y estructuras predominantes entonces.

La consecuencia de esto para el hombre del siglo XX ha sido el paulatino reemplazo de los valores religiosos, morales y culturales que rigieron su vida por valores intrínsecos del hombre.

El basamento ideológico necesario para el sostenimiento de las formas de vivir del hombre que lo impulsan al cultivo de los elementos básicos de la moral, han entrado en conflicto con la capacidad de acumulación material y de gozo físico asociados con el desarrollo tecnológico, a un nivel tal que las sociedades actuales han perdido claridad de objetivos y conceptos de la vida.

En el siglo XXI, el conflicto moral se profundizará, ya que el hombre cada vez más irá penetrando en los niveles de organización estructural y de ordenamiento de la materia que, como nunca antes, lo acercarán a afectar la creación de las formas de la materia y de la vida. Esa penetración requerirá de la reafirmación de los principios que gobiernan la vida del hombre, y de la sociedad. La fabricación de nuevas formas de vida y la utilización de esas formas para beneficio del hombre, ya no afectarán solamente su situación material, sino que además tocarán los elementos básicos de sus creencias morales y religiosas. ¿Serán esas creencias basadas como son en la fe, que no es compartida por todos los hombres actuales, capaces de regular la utilización del nuevo conocimiento de manera tal que el hombre logre el anhelado balance entre lo espiritual y lo material o habrá llegado al punto de requerir cambios que pongan límites más claros entre lo

que el hombre "puede hacer" y en lo que "debe hacer"?

Para el siglo XXI, el hombre tendrá que resolver problemas metafísicos que por mucho sobrepasarán su problemática material.

Los problemas metafísicos con los cuales se verá enfrentado, afectarán principalmente al hombre de las sociedades materialmente más avanzadas, porque serán ellos quienes deberán tomar las decisiones de desarrollo y uso de la tecnología; en tanto que los problemas materiales se agravarán para el hombre de las sociedades de menos desarrollo, porque cada vez serán menos productivos y por tanto serán materialmente más dependientes. Esta divergencia de objetivos ahondará más las ya grandes diferencias entre países desarrollados y no desarrollados. La formalización de dos mundos dentro del globo, afectará profundamente todo el quehacer del hombre y entablará una dramática diferenciación en la producción y destino de los bienes materiales. América Latina es, en este escenario, el tercer personaje, con caracteres de blanco y negro. Por un lado, dentro de cada país hay dos sociedades, una de vocación y actuación desarrollada y otra de aspiraciones desarrolladas pero incapaz de cumplirlas. La disparidad en la distribución interna de los bienes de consumo será, como en el caso de las naciones, cada vez más grande. El papel de América Latina en el contexto mundial no estará claro por esta duplicidad de objetivos.

Como medida global, sin embargo, la ya profunda dependencia del mundo desarrollado se ahondará, particularmente en lo que se refiere a la relación con la nueva fuerza universal que regirá la tecnología y el avance material, aglomerada en forma de grandes complejos multinacionales privados. El escape para las sociedades dependientes es difícil, porque implicaría realizar en forma súbita, el avance que

debió ser progresivo y armónico a través de los tiempos.

En un escenario negativo, el hombre, una vez más, deberá recurrir a la fuerza interna de la razón involuntaria, la moral natural, que lo lleva a postergar sus intereses personales por la conservación de la forma de vida que le ha sido encomendada.

Sin duda, el siglo XXI serán cien años de profundas discrepancias y maravillosas realizaciones de sueños, que hoy, para nosotros, son todavía ciencia-ficción.

5. RESUMEN

Partiendo de la premisa que es imposible predecir el comportamiento futuro de cualquier rubro de la producción agrícola, sobre todos aquellos altamente dependientes de la capacidad adquisitiva de la población y de los mercados internacionales, como es la producción animal, se intenta un análisis del panorama con el cual podría encontrarse la producción animal, principalmente a comienzos del siglo XXI. Para el análisis se emplea la información macroproductiva y macroeconómica y los parámetros de crecimiento de la población y de demanda por productos pecuarios. Finalmente, se hacen algunas consideraciones sobre los efectos que las nuevas tecnologías biológicas y la previsible concentración en su posesión podrían tener sobre el desarrollo de la producción animal en América Latina.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece la colaboración de los profesores del Departamento de Zootecnia, de los estudiantes de postgrado Sres.: Miguel Callacá, Rubén Pulido, Darío Salas, Olmedo Duque y Daniel Sanpedro, y de la Sra. Marilyn Gasman, en la preparación de este trabajo.

LITERATURA CITADA

AKIYAMA, T., TAKAHASHI S., SHIYOMI, M. and OKUBO, T. 1983. Energy flow and conversion efficiency in grazing grassland. Proceedings of the XIV International Grassland Congress, pp. 481-483.

AMMIRATO, P.V., *et al.* 1984. Biotechnology and agricultural improvement. Trends in Biotechnology May/June, 1984. Volume 2, Nº 3.

BARR, N.T. 1981. The world food situation and global grain prospects. Science 214: 1078.

BLAXTER, K., 1983. Animal Agriculture in Global Context. J. An. Sci. Vol. 56, Nº 4: 972-978.

BROWN, L.R., 1987a. Analysing the Demographic Trap. In: State of the World. A Worldwatch Institute. Report on Progress. Toward a Sustainable Society. W.W. Norton & Company. N.Y. p. 122.

BROWN, L.R., 1987b. Sustaining World Agriculture. In: State of the World. A Worldwatch Institute. Report on Progress. Toward a Sustainable Society. W.W. Norton & Company. N.Y. pp. 122-138.

CHILTON, M.D., *et al.* 1983. A vector for introducing new genes into plants. Sci. Amer. 248 (6):50.

DOMSCH, K.H., *et al.* 1982. Biotechnological approaches for the development of microbiological foodstuffs and fodder from unconventional raw materials. Animal Research and development. Volume 16. 1982.

HAMILTON, K.B., *et al.* 1985. Manufacture of L-aminoacids with bioreactors. Trends in Biotechnology. Vol. 3, Nº 3.

HRABOVSKY, P. 1981. Livestock Development: Toward 2000. With special reference to developing countries. World Animal Review 40:2-16.

LACHKOVICS, E., 1987. Paper presented at the 1987. Dag Hammarskjöld Seminar on "The socioeconomic Impact of new biotechnology on basic health and agriculture in the third world", Bogeve and Geneva, 7-14, March 1987.

Mc. DOWELL, R.E., 1978. Are we prepared to help

small farmers in developing countries? J. An. Sci. 47:1184.

MELLOR, J.W., 1981. Food policy and research agenda: Six areas of concern. In: Int. Food Policy Res. Institutur. Annu. Rep. pp. 7-12. IFPRI, Washington D.C.

MITCHELL, D.O., 1987. Prospects for Agricultural Trade and Prices. World Bank. Cartagena, Colombia, March 27.

PANORAMA ECONÓMICO DE LA AGRICULTURA, 1986. Políticas Agrícolas en países industrializados. Depto. Economía Agraria. P. Universidad Católica de Chile. Publicación Nº 47:1-7.

PAULINO, L.A., 1986. Food in the third world: Past Trends and projections to 2000. International Food Policy Research Institute. Research Reports 52.

SARMA, J.S. and YEUNG, P. 1985. Livestock products in the third world: past trends and projections to 1990 and 2000: In: Int. Food Policy Res. Institute Research Rep. 49.

TOSAKA, O. *et al.* 1983. The production of L-Lysine by fermentation. Trends in Biotechnology. Vol. 1, Nº 3.

WEDIN, W.F., HODGSON, H.J. and JACOBSON, N.L. 1975. Utilizing plant and animal resources in producing human food. J. An. Sci. Vol. 41, Nº 2:667-686.

WOLF, C.R. 1986. Beyond the Green Revolution: New Approaches for third World Agriculture. Worldwatch paper 73.

ACTUALIZACIÓN SOBRE EL EFECTO DE LA HORMONA DEL CRECIMIENTO EN LA PRODUCCIÓN DE LECHE

(AN UP DATING ON GROWTH HORMONE AND MILK PRODUCTION IN DAIRY COWS)

RUBÉN PULIDO¹ Y FERNANDO GARCÍA

Departamento de Zootecnia

Facultad de Agronomía

Pontificia Universidad Católica de Chile

SUMMARY

According to the results of the various research projects discussed in the present review, it is possible to obtain between 10 to 40% increase in milk production in lactating cows treated with growth hormone. Different productive behavior are mainly due to type and amount of hormone applied, cows productive potential, stage of lactation when initiating the treatment and environmental effects.

Actual information discussed allows to conclude that somatotropin effects include several physiological processes affecting body tissue metabolism; the final results being availability of a major proportion of nutrients directed toward the mammary gland and a greater ability of mammary tissue for milk synthesis.

1. INTRODUCCIÓN

Las hormonas que aparentemente están relacionadas con la producción de leche son la insulina, prolactina, tiroxina y la Hormona del Crecimiento (Collier *et al.*, 1984). Las dos primeras tienen relación con la nutrición celular y con la síntesis de precursores lácteos dentro de los alvéolos de la glándula mamaria y las dos últimas tienen una relación aparente con el nivel productivo.

Ensayos con tiroproteínas o proteínas yodadas se realizaron con poco éxito durante la década de 1930 y posterior (Asimov y Krouze, 1937). Ensayos más recientes con Hormona del Crecimiento (Machlin, 1973) han demos-

trado la posibilidad de estimular la producción de leche. Sin embargo, el mecanismo exacto por el cual aumenta la producción de leche, no está completamente entendido (Machlin, 1973; Bauman *et al.*, 1985a).

El no contar con una fuente de Somatotropina Bovina altamente purificada ha retrasado el progreso en la exploración de los mecanismos fisiológicos en el animal y su potencial aplicación comercial. Por otra parte, las impurezas de los preparados de glándula pituitaria usados en varias experiencias anteriores han probado efectos contradictorios.

Un derivado sintético de la hormona del crecimiento ha sido producido gracias a las

¹Médico Veterinario, Programa de Postgrado en Zootecnia.

técnicas de DNA recombinante y su eficacia para aumentar la producción fue demostrada por Bauman *et al.* (1982).

En los estudios donde se ha utilizado Somatotropina Bovina natural y un derivado sintético, las respuestas en producción de leche han variado similarmente con ambos productos, entre un 10 y 40% (Bauman *et al.*, 1985b).

Por lo tanto, el presente trabajo tiene por objeto señalar los antecedentes que se conocen sobre el uso de la Hormona del Crecimiento y los posibles mecanismos fisiológicos por los cuales se aumentaría la producción de leche.

2. POSIBLES MECANISMOS DE ACCIÓN DE LA HORMONA DEL CRECIMIENTO

El mecanismo exacto por el cual la produc-

ción de leche aumenta cuando se administra exógenamente Hormona del Crecimiento bovina no está completamente entendido (Bauman *et al.*, 1985a, b; Peel *et al.*, 1985; Pocius y Herbein, 1986).

2.1. Conversión alimenticia

Un mejoramiento de la eficiencia bruta en la conversión del alimento a producción de leche se ha demostrado en varios estudios (Machlin, 1973; Bines *et al.*, 1980; Peel *et al.*, 1981).

En el Cuadro 1 se describe lo encontrado por Peel *et al.* (1981) quienes trataron vacas en el día 74 postparto con inyecciones s.c. de 30 ml de agua destilada como control o con 30 ml de Hormona del Crecimiento durante 11 días. Midiendo el consumo y excreción de energía bruta y la leche producida durante 30 días. Los

resultados del ensayo indican que no hubo efecto de la Hormona del Crecimiento en consumo ni en excreción fecal, ni micción. Las vacas tratadas con Hormona del Crecimiento presentaron balances más negativos que las controles, por lo que aparentemente existiría un efecto en la eficiencia de transformación de la energía.

Este mejoramiento en la eficiente bruta, no parece ser debido a cambios en la energía digestible ni metabolizable para producción de leche (Tyrrell *et al.*, 1982).

Por otra parte, en estudios de corta duración (Peel *et al.*, 1981) se ha encontrado que tanto los requerimientos de mantención como los coeficientes de digestibilidad de la materia seca, energía y proteína no son afectados por la

aplicación de la hormona. En el Cuadro 2 se describe lo encontrado por Peel *et al.* (1985).

Lo anterior indicaría que la Hormona del Crecimiento no tiene efectos mayores en los procesos dentro del aparato gastrointestinal. La excepción es el estudio de Moseley *et al.* (1982), donde se encontró que la digestibilidad aparente de la materia seca, así como de la proteína, aumentaron.

El mecanismo por el cual la somatotropina pudo producir este efecto, es desconocido (Peel *et al.*, 1985).

2.2. Cambios en el metabolismo

Ha sido postulado (Peel *et al.*, 1985) que un posible mecanismo de acción de la Hormona

CUADRO 1
UTILIZACIÓN Y CONSUMO DE ENERGÍA, ANTES Y DURANTE LA INYECCIÓN DE HORMONA DEL CRECIMIENTO
Effect of growth hormone treatment upon energy consumption and utilization

Variable energética	Control		H. crecimiento	
	Pre-inyecc.	Post-inyecc.	Pre-inyecc.	Post-inyecc.
Consumo Bruto Gross Consumption	95,9 ± 4,2	88,3 ± 2,5	91,0 ± 4,9	80,7 ± 3,1
Excreción Fecal Fecal Excretion	37,1	33,6	33,9	29,3
Energía Digestible Digestible Energy	58,8 ± 2,7	54,7 ± 1,6	57,1 ± 3,3	61,4 ± 1,0
Excreción Urinaria Urinary Excretion	3,4	3,3	3,3	3,0
Leche Secretada Milk Production	23,3	22,6	23,8	29,6a
Requerimiento (ED) (NRC) D.E. Requirement (NRC)	69,4	68,3	68,1	73,3a
(ED) Actual - (ED) Req. D.E. Consumed - D.E. Required	-10,6 ± 2	-13,6 ± 2,2	-11,0 ± 1,7	-23,9 ± 2,8a

Fuente = Peel *et al.* (1981)
Vacas control = 616 + 30 kg.
Vacas HC = 600 + 34 kg.
a: (P < 0,01)

CUADRO 2
DIGESTIBILIDAD APARENTE Y CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS DE VAQUILLAS
Apparent digestibility and physiological characteristics of heifers

Variable	Control	Hormona del crecimiento
Variable	Control	Growth hormone
Nº de Vaquillas Number of Heifers	4	4
Peso Corporal, kg Live Weight	366,7	370,4
Frecuencia Cardíaca/min. Heart Rate (Beats/min.)	88,8	90,4
Temperatura corporal, °C Rectal Temperature	38,6	38,7
Consumo de Oxígeno m mol/min Oxygen Consumption	64,3	67,1
Consumo MS/kg/días Dry Matter Consumption	40,42	40,23
Digestibilidad aparente % M S Dry Matter	74,9	74,8
Energía Energy	74,0	73,6
Nitrógeno Nitrogen	75,1	75,7

(P > 0,10) Para todos los valores.

Fuente = Eisman *et al.*, 1986.

(a) Estos valores caen dentro del rango normal y no dan evidencia de un efecto de HC en la tasa metabólica.

del Crecimiento incluiría dos grandes efectos: primero, la hormona alteraría el metabolismo de los tejidos corporales, dejando disponibles más nutrientes para ser dirigidos a la glándula mamaria y, segundo, aumentaría la capacidad del tejido mamario para sintetizar mayor cantidad de leche (Bauman *et al.*, 1985b).

En un orden extenso, los procesos fisiológicos que serían alterados por la somatotropina incluyen el metabolismo de carbohidratos, lípidos, proteínas y de minerales (McDowell *et al.*, 1983; Bauman y McCutcheon, 1986).

2.2.1. Metabolismo de carbohidratos

De acuerdo a Peel *et al.* (1982; 1985), la Hormona del Crecimiento incrementaría la síntesis de lactosa por la glándula mamaria. Por lo tanto, existiría un posible efecto de la hormona en el metabolismo de la glucosa (Burvenich, 1983). Debido al papel de la lactosa como regulador osmótico dentro de la glándula mamaria, al aumentar la cantidad del azúcar se aumentaría la cantidad de leche producida.

Sin embargo, tratamientos con Hormona del

Crecimiento aparentemente no afectan la concentración plasmática de glucosa, según lo afirmado por Schulz (1971) y Peel *et al.* (1981) y confirmado recientemente por Pocius y Herbein (1986), tal como se demuestra en el Cuadro 3.

Por lo tanto, es posible, según lo indicado por Bauman y Currie (1980), que la Hormona del Crecimiento pueda aumentar el volumen sanguíneo que pasa por el tejido mamario, la utilización de la glucosa en la glándula mamaria o ambos, con una consiguiente disminución en la utilización de este metabolito en los otros tejidos corporales.

En este sentido, Wheatly *et al.* (1966) y McNamara *et al.* (1983), demostraron que la somatotropina aumenta el flujo sanguíneo hacia la glándula mamaria de ovejas y vacas. Por otro lado, dado que las concentraciones de glucosa en el plasma no necesariamente reflejan los cambios en su distribución y utilización (Pocius y Herbein, 1986) y que la glucosa es almacenada relativamente en pequeñas cantidades, el aumento en los requerimientos en vacas control (Cuadro 3) puede ser satisfecho,

en parte, por un incremento en el consumo, y principalmente a través de la gluconeogénesis (Collier *et al.*, 1984). Por otra parte, como el tratamiento con Hormona del Crecimiento aparentemente no aumenta el consumo a comienzos de la lactancia (Peel *et al.*, 1985), la disponibilidad de precursores de la glándula no aumentaría. Por lo tanto, el aumento en la glucosa disponible debería ser producto de una mayor utilización no específica de todos sus precursores tanto dietéticos como endógenos (glicerol y aminoácidos glucogénicos). Pocius y Herbein (1986) han indicado que la capacidad metabólica hepática de transformación del propionato a glucosa, aumenta por efecto de la administración de somatotropina a vacas lecheras. Este fenómeno sería similar a lo que ocurre en vacas a inicio de su lactancia (Aiello *et al.*, 1984).

2.2.2. Metabolismo de ácidos grasos

Se ha sugerido (Bauman y Currie, 1980; Bines y Hart, 1982), que la Hormona del Crecimiento actúa dirigiendo los nutrientes hacia la glándula mamaria para la síntesis de leche. La demanda por energía para la síntesis láctea requiere de una máxima movilización de los ácidos grasos de las reservas corporales (Collier *et al.*, 1984). Las cadenas de ácidos grasos movilizados desde los adipocitos proveen la mayor parte de la energía necesaria para la síntesis de leche y para los procesos oxidativos en el tejido mamario.

Por ello, se sugiere que una acción primaria de la Hormona del Crecimiento en el tejido adiposo de vacas lecheras sería la de alterar las tasas de síntesis y de movilización de lípidos (McCutcheon y Bauman, 1986a,b). Aplicaciones de la Hormona a vaquillas en crecimiento, alimentadas por sobre sus requerimientos, no producen cambios en la concentración de ácidos grasos plasmáticos, pero provocan un aumento en la ganancia diaria de peso y una disminución en el contenido graso de la canal. Por otra parte, en situaciones de balance energético negativo, aplicaciones de la Hormona del Crecimiento a vacas en lactancia, aumentan significativamente los niveles de ácidos grasos libres plasmáticos a expensas de una alta movilización de lípidos. Dicha movili-

ción estaría muy correlacionada con el grado de negatividad del balance energético (Peel *et al.*, 1982; Eppard *et al.*, 1985; Tyrrell *et al.*, 1982). Por consiguiente, tratamientos con Hormona del Crecimiento causarían una disminución de la lipogénesis cuando los animales están en un balance energético positivo y un aumento de la lipólisis durante un estado negativo de balance energético. Bines y Hart (1982), asumen por intuición, que la inyección de Hormona del Crecimiento podría causar una aguda movilización de reservas grasas, llevando a un estado crónico de Hígado Graso, producción excesiva de cuerpos cetónicos y aumentar la susceptibilidad a la Cetosis. En el trabajo de Eppard *et al.* (1987), que abarcó un período de 188 días de tratamiento, tanto los parámetros reproductivos (largo de gestación, índice coital, días abiertos, peso al nacimiento), como el estado sanitario (Cetosis, Fiebre de Leche y Sanidad Mamaria), no presentaron modificaciones con respecto a los animales controles.

Pocius y Herbein (1986), señalan que si bien la Hormona del Crecimiento causa un incremento en la concentración plasmática de ácidos grasos, no altera las concentraciones de cuerpos cetónicos en el plasma (Cuadro 3) tal como ocurre en vacas no tratadas, según lo indicado por Schulz (1971), quien mostró una correlación directa entre la concentración de ácidos grasos libres y cuerpos cetónicos en plasma en diferentes estados de la lactancia.

El hecho de que la somatotropina aumente la concentración de ácidos grasos libres sin alterar los cuerpos cetónicos sugiere que la lipólisis aumentaría sin un correspondiente incremento de la oxidación de ácidos grasos libres en el hígado (Pocius y Herbein, 1986). Por lo tanto, los datos presentados son consistentes con el hecho de que la Hormona del Crecimiento actúa dirigiendo los ácidos grasos libres, para que éstos queden disponibles para la síntesis de leche (Bitman *et al.*, 1982; Pocius y Herbein, 1986).

2.2.3. Metabolismo proteico

Estudios sobre balance de nitrógeno han demostrado la importancia de las reservas de aminoácidos para la síntesis de proteínas de la

CUADRO 3
CONCENTRACIÓN DE HORMONAS, ÁCIDOS GRASOS, GLUCOSA Y CUERPOS
CETÓNICOS EN SANGRE DE VACAS, ANTES Y DURANTE
LOS TRATAMIENTOS CON HORMONA DEL CRECIMIENTO

*Hormone, free fatty acids, glucose and ketone bodies in blood of cows
treated with growth hormone*

Variable	Tratamiento	Pretratamiento	Tratamiento	
			día 1	día 10
Variable	Treatment	Pre-treatment	Day 1	Day 10
Hormona Crecim.	Control	5,6	7,7	5,3
Growth hormone (mg/ml)	HC	6,9a	14,4b	24,8c
Ácidos grasos libres	Control	79,0	96,0	85,0
Free fatty Acids (μ eq./l)	HC	85a	118,0ab	145,0b
Glucosa	Control	59,0	60,0	61,0
Glucose (mg/dl)	HC	59,0	58,0	60,0
B-Hidroxi butirato	Control	43,0	43,0	44,0
B-Hidroxy Butyrate (μ mol/dl)	HC	47,0	37,0	43,0
Acetoacetato	Control	3,0	2,7	2,8
Acetoacetate (μ mol/dl)	HC	3,3	2,2	2,6

a, b, c (P < 0,05)

Fuente = Pocius y Herbein (1986).

leche y gluconeogénesis hepática a comienzos de la lactancia (Botts *et al.*, 1979). Los aminoácidos constituyen factores limitantes a comienzos de la lactancia y durante la fase de máxima producción (Collier y Col., 1984), dado que según Botts *et al.* (1979), del 14 al 20% del total de las proteínas del cuerpo de la vaca estaría comprometido para el aporte endógeno de aminoácidos.

Los resultados del trabajo de Eisemann *et al.* (1982), Cuadro 4, demuestran una mayor retención de nitrógeno en respuesta a Hormona del Crecimiento, pero no alcanzan a entregar información sobre el mecanismo de acción en los procesos de síntesis o degradación involucradas para producir este resultado.

Los mismos autores agregan que la falta de efecto en la excreción de hidroxiprolina y metilhistidina (indicadores de degradación proteica), puede significar que no existe alteración en la tasa de degradación del colágeno ni en la de las proteínas miofibrilares. Estos datos estarían de acuerdo con Martin (1976), quien señala que la Hormona del Crecimiento estimularía la síntesis proteica sin afectar su degradación.

Por otra parte, Pocius y Herbein (1986), señalan que somatotropina produce una dismi-

CUADRO 4
EFECTO DE LA HORMONA DEL CRECIMIENTO EN EL BALANCE DE NITRÓGENO EN VAQUILLAS ALIMENTADAS A UN CONSUMO DE MANTENCIÓN
Effect of growth hormone on nitrogen balance in dairy heifers fed at maintenance

Variable Variable	Nitrógeno (g/día) Nitrogen (g/d)		
	Control Control	H.C. G. Hormone	P. P.
Consumo Consumed	112	112	N.S.
Absorbido Absorbed	84	85	N.S.
Urinario Urinary	81	72	0,02
Retenido Retained	2	12	0,02

Fuente = Eisemann *et al.* (1986).

nución del contenido proteico del tejido hepático (Cuadro 5).

CUADRO 5
COMPOSICIÓN DEL TEJIDO HEPÁTICO 8 DÍAS ANTES Y 11 DÍAS DESPUÉS DEL TRATAMIENTO CON HORMONA DEL CRECIMIENTO Y UN PLACEBO
Hepatic tissue composition before and after treatment with growth hormone

Variable Variable	Proteína (mg/g) Protein			
	Control Control		H.C. Growth hormone	
	Día 8 Day 8	Día 11 Day 11	Día 8 Day 8	Día 11 Day 11
Peso Húmedo Fresh Weight	138,0	141,0	141,0a	130,0b
Grasa, % M.S. Fat, % Dry Matter	5,8	5,8	5,6	5,9
Materia Seca, % Dry matter	20,5	20,0	22,6	23,8

Fuente = Pocius y Herbein (1986).

En este sentido, Drubeuil y Morriset (1985) observaron que en ratas la somatotropina aumenta el peso total del hígado (tendencia que se observa en las vacas tratadas con Hormona), disminuyendo el contenido proteico por célula. Si este efecto fuese similar en ruminantes, entonces es posible que en vivo, la capacidad metabólica del hígado, pudiese ser alterada (Pocius y Herbein, 1986). No se descarta el efecto de una baja cantidad de proteína en la dieta ni una hiperplasia hepática.

En los mecanismos conocidos, por los cuales la Hormona del Crecimiento aumentaría la disponibilidad de aminoácidos circulantes se incluirían: estimulación de la síntesis proteica, disminución de la degradación proteica y a la vez una menor utilización de aminoácidos y proteínas para la obtención de energía (Guyton, 1977; Ganong, 1980; Jois *et al.*, 1986). Debido a que sólo en los animales que están creciendo a través de un efecto hormonal normal se produciría un aumento en la síntesis y depósito proteico, la mayor disponibilidad de aminoácidos libres en vacas tratadas con Hormona del Crecimiento, se produciría por un relativo menor depósito de proteína y a una menor utilización de aminoácidos y proteínas para la obtención de energía corporal.

2.3. Efectos directos e indirectos sobre la glándula mamaria

Peel *et al.* (1985), sugirieron la probabilidad de que la Hormona del Crecimiento afecte el metabolismo del tejido mamario vía estimulación de la síntesis de somatomedinas u otros factores proteicos producidos por el hígado. Al mismo tiempo, Wilson y Foster (1985) señalaron que las somatomedinas pueden ser formadas en muchos tejidos en respuesta a somatotropina, y que pueden actuar localmente a través de mecanismos endocrinos, paracrinos o autocrinos, requiriendo o no ser transportados por la sangre. Estos autores propusieron un esquema descriptivo de los mecanismos de acción de la Hormona del Crecimiento, el que se detalla en la Figura 1. En él queda claro que el efecto extracelular de las somatomedinas será el estímulo de la síntesis proteica y de la proliferación celular. La síntesis proteica pareciera ser el motivo central del aumento en la producción láctea que se obtiene con los tratamientos con Hormona del Crecimiento.

Estudios recientes han informado que las somatomedinas circulantes se elevan en respuesta a un tratamiento con Hormona del Crecimiento en vacas lecheras (Davis *et al.*, 1984;

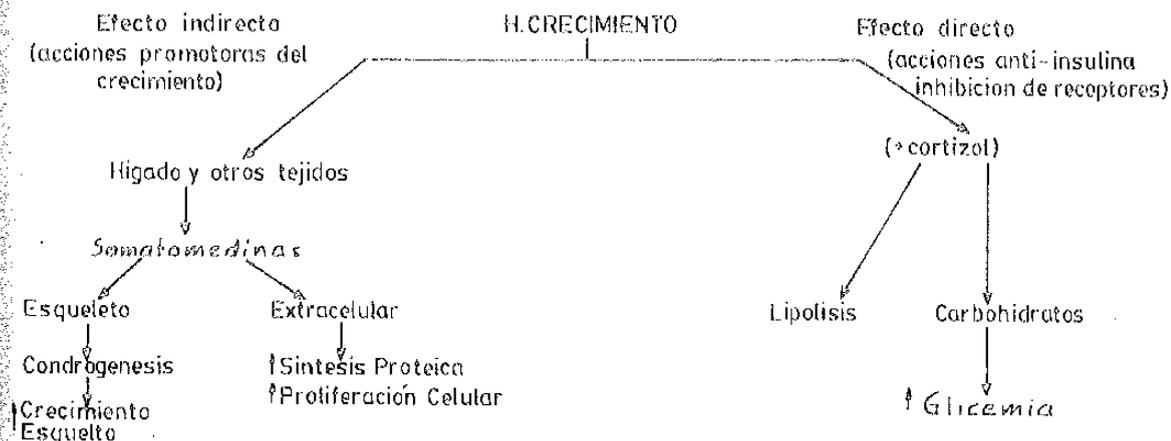


FIGURA 1
MECANISMOS DE ACCIÓN DE LA HORMONA DE CRECIMIENTO
(Adaptado de Wilson y Foster, 1985)

Mechanisms of action of growth hormone

Peel *et al.*, 1985) e, incluso, en vaquillas vírgenes (Sejrsen *et al.*, 1986).

La dinámica, así como la importancia de su aumento en la respuesta a producción de leche, aún no es conocida. Sin embargo, aparentemente existirían en la glándula mamaria sitios de unión de enlaces específicos para somatomedina (Sejrsen *et al.*, 1986) y es posible que exista una diferencia entre las especies de mamíferos, tanto en la acción de la somatotropina sobre la somatomedina, como en la acción de esta última sobre la glándula. El efecto de tratamiento con Hormona del Crecimiento, aparentemente no resulta en un aumento inmediato en la síntesis y liberación de la somatomedina, y ello también puede depender de la especie de mamíferos que se está tratando con Hormona del Crecimiento. En este sentido, Peel *et al.* (1985), encontraron que un aumento en el nivel de somatomedina en el suero de vacas ocurría después de la octava semana de tratamiento con Hormona del Crecimiento (Cuadro 6).

Por otra parte, la respuesta sobre la producción láctea, todavía podría ser pasiva y consecuente con el aumento en la disponibilidad de nutrientes dirigidos hacia la glándula y provocados por tratamientos con Hormona del Crecimiento. Sin embargo, no se ha observado cambios en la curva de lactancia, ni en la cantidad de los componentes lácteos cuando a vacas en

CUADRO 6
CONCENTRACIÓN DE SOMATOMEDINAS
EN SUERO BOVINO DURANTE
LA SEMANA 8 Y LA SEMANA 20 A 22
DE ADMINISTRACIÓN DE HORMONA
DEL CRECIMIENTO

*Somatomedin concentration in bovine serum
after treatment with growth hormone*

Semanas Weeks	Somatomedinas en suero (µ/ml) Serum somatomedin	
	Control	H.C. Growth hormone
8	0,093	0,117
20 a 22	0,043	0,135*

*(P < 0,05)

Fuente = Peel *et al.* (1985)

lactancia se les sigue colocando en un balance positivo al seguir suministrando nutrientes extras (Clark, 1975; Kronfeld *et al.*, 1980). En consecuencia, no se puede descartar el efecto directo o indirecto de la Hormona del Crecimiento sobre el tejido glandular mamario a pesar de lo informado por diversos autores (Hart, 1983; McDowell y Hart, 1984; Gertler *et al.*, 1983 y 1984), quienes no lograron una clara demostración en este sentido, cuando trabajaron con animales en lactancia o con cultivos de tejidos glandular mamario. En este aspecto, el trabajo reciente de Sejrsen *et al.* (1986), realizado con vaquillas púberes, estaría sugiriendo un cambio importante en los tejidos de la glándula por acción de somatotropina. El aumento del parénquima mamario después de inyecciones diarias de Hormonas del Crecimiento sería una buena demostración del efecto de la Hormona del Crecimiento sobre los tejidos de la glándula.

2.4. Efecto sobre la composición de la leche

Aparentemente, cuando la disponibilidad de nutrientes es adecuada para la cantidad total de leche en producción por efecto de la Hormona del Crecimiento, la composición no se altera.

Los mayores cambios se han observado en condiciones de balance energético negativo.

Es así como trabajos *in vitro* (Gertler *et al.*, 1983) demostraron que la adición de Hormona del Crecimiento a un cultivo de tejido mamario no afectó la producción de caseína, grasa o alfa lactoalbúmina.

Vacas en un balance marcadamente negativo, han respondido a Hormona del Crecimiento, aumentando el % de grasa sin alterar el % de proteína, aun en estados finales de la lactancia (Peel *et al.*, 1982b; Peel *et al.*, 1983). La alteración en la composición grasa de la leche reflejaría el efecto lipolítico de la Hormona del Crecimiento, aumentando la liberación de ácidos grasos circulantes, para que éstos queden disponibles para ser utilizados por la glándula mamaria (Kronfeld *et al.*, 1980; Tyrrel *et al.*, 1982; Bitman *et al.*, 1986). La falta de alteración en el porcentaje de proteína según Eppard *et al.* (1985), sugiere que la síntesis proteica en la glándula mamaria podría estar limitada por

la disponibilidad de aminoácidos circulantes. En contraposición, cuando el consumo de nutrientes es suficiente para tener un balance cercano a cero o positivo, el % de grasa al igual que el de proteína no son alterados por Hormona del Crecimiento (Fronk *et al.*, 1983; Eppard *et al.*, 1985).

El Cuadro 7, obtenido del trabajo de Richard *et al.* (1985), describe la relación entre balance energético y composición láctea. En este caso, el consumo de nutrientes durante ambos períodos analizados afectó marcadamente el balance energético, observándose el cambio en el contenido grasa.

Estos mismos autores señalan que la habilidad de las vacas para aumentar la producción de leche en respuesta a la administración de somatotropina, no sería limitada por el estatus energético, ya que éstas pueden incrementar la movilización de las reservas energéticas.

2.5. Efecto sobre consumo de alimento

El aumento en el consumo voluntario des-

pues de varias semanas de tratamiento con Hormona del Crecimiento observado por Peel *et al.* (1985), nos lleva a otra posibilidad de efecto de la Hormona del Crecimiento (Cuadro 8).

Esta observación es apoyada por el simple hecho señalado por Bauman y Curric (1980), de que un animal come para mantener la homeostasis energética. En las primeras semanas de la lactancia, los tejidos corporales son movilizados para subsidiar la demanda aumentada de la glándula mamaria y el incremento sustancial de la energía liberada por la leche. Posteriormente, las vacas serían capaces de aumentar el consumo de alimento para satisfacer sus requerimientos.

Entonces, el consumo voluntario aumenta tendiendo a las demandas adicionales del animal, por lo que la pérdida de peso es, primero estabilizada y, luego, revertida (Peel *et al.*, 1985). Los cambios en el peso vivo durante el período de tratamiento (Gráfico 2), son consistentes con el balance energético de las vacas

CUADRO 7
EFECTO DEL TRATAMIENTO CON H.C. EN LA PRODUCCIÓN
Y COMPONENTES DE LA LECHE, DURANTE LOS DÍAS
20 A 29 Y 60 A 69 POSTPARTO

*Effect of growth hormone on milk yield and composition at
2 instances after parturition*

Variable Variable	20-29 Días 20-29 Days		60-68 Días 60-68 Days	
	Control	H.C. GH	Control	H.C. GH
Prod. de leche, kg/día Milk Yield, kg/d	36,2	38,4	34,6	38,7
Grasa % Fat %	3,94	4,74	3,62	3,90*
Grasa, kg/día Fat kg/d	1,46	1,83	1,21	1,51
Proteína, % Protein %	2,91	3,11*	2,96	3,04*
Proteína, kg/día Protein, kg/d	1,07	1,20	1,03	1,17*
Balance Energético M cal/día Energy Balance Mcal/d	-5,7	-10,7	0,4	-4,6

NS = *

Fuente = Richard *et al.* (1985).

CUADRO 8
CONSUMO DE MATERIA SECA, PRODUCCIÓN
DE LECHE CORREGIDA Y EFICIENCIA
DE CONVERSIÓN DEL ALIMENTO EN VACAS
A PASTOREO

Effect of growth hormone on fat corrected milk and
feed efficiency in grazing cows

Variable Variable	Control Control	H.C. Growth hormone	P < 0,05
Semana 4 Week 4			
Prod. leche, kg/día Milk yield	20,5	27,4	*
Semana 8 Week 8			
Prod. leche, kg/día Milk Yield	19,9	25,1	*
Consumo MS, kg/día Dry Matter Consumption	15,5	16,7	
Eficiencia de conversión, kg leche/kg MS Dry Matter Efficiency	1,28	1,38	*
Semana 22 Week 22			
Prod. leche kg/día Milk Yield	16,7	18,3	*
Eficiencia de conversión, kg leche/kg Ms Dry Matter Efficiency	1,09	1,04	*

Fuente = Peel *et al.* (1985).

(Gráfico 3). Los pesos vivos al final del tratamiento, no mostraron diferencias significativas entre los grupos (Bauman *et al.*, 1985b). Así, en un tratamiento crónico, los cambios en el consumo de alimento son otro componente de la respuesta hormorética a somatotropina exógena. Sin embargo, la regulación crónica del consumo de alimento, está más asociada, probablemente, con la tasa de metabolismo celular, que con la Hormona del Crecimiento *per se* (Bauman *et al.*, 1985).

3. ANTECEDENTES GENERALES, ÉPOCA DE TRATAMIENTO, DOSIS USADA, VÍA DE ADMINISTRACIÓN

Se ha señalado que la Hormona del Creci-

miento bovina aumenta sustancialmente la producción de la leche cuando es administrada a vacas lecheras (Peel *et al.*, 1981; Bauman *et al.*, 1982; Collier *et al.*, 1984; Bauman *et al.*, 1985a; Enrich *et al.*, 1986). Estos incrementos en producción, Cuadro 9, se han observado en diferentes períodos de administración, en diferentes estados de lactancia, con vacas de distinta capacidad productiva y con diferentes sistemas de alimentación (Machlin, 1973; Peel *et al.*, 1983; Collier *et al.*, 1984; Peel *et al.*, 1985).

Estos incrementos en producción no son agudos, sino que progresan más en los primeros días de la administración y persisten con el tiempo tanto como la hormona sea aplicada (Bauman *et al.*, 1985b).

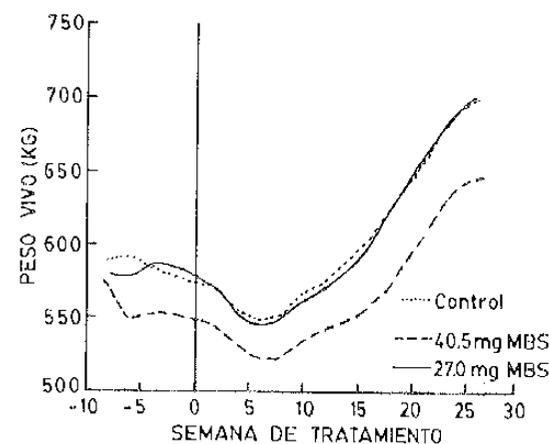


FIGURA 2
EFECTO DE LA SOMATOTROPINA
EN EL PESO VIVO

Fuente: Bauman *et al.* (1985b)

Effect of somatotropin on cow weight.

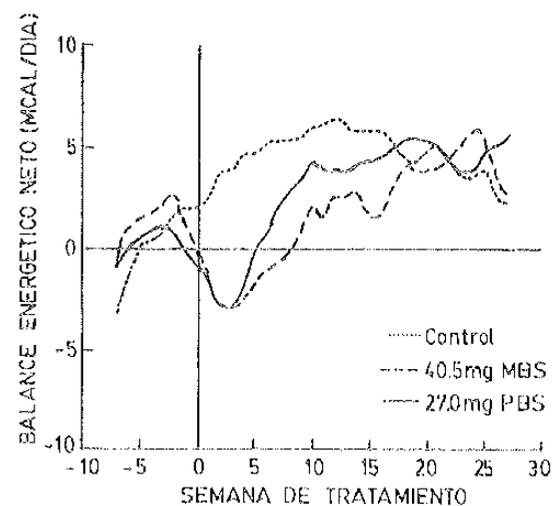


FIGURA 3
EFECTO DE HC EN EL BALANCE
ENERGÉTICO NETO (Mcal/día)
(MBS) SOMATOTROPINA BOVINA SINTÉTICA
(PBS) SOMATOTROPINA BOVINA NATURAL

Fuente: Bauman *et al.* (1985b)

Effect of GH on net energy balance.

Se observan, generalmente, porcentajes de aumentos en períodos experimentales cortos cuando las vacas están con la máxima productividad diaria, con producciones mayores de 25

kg de leche por día y con un balance cercano a cero o negativo (Enrich *et al.*, 1986).

En períodos previos al máximo de producción de leche, el resultado de la administración de HC ha sido variable. El fracaso de algunos estudios en observar un efecto positivo del tratamiento con HC a comienzos de la lactancia (Bines y Hart, 1982), a diferencia de otros (Richard *et al.*, 1985), podrían deberse a cambios ambientales o a la dificultad de detectar las diferencias significativas en esta etapa de tan rápido cambio en producción (Richard *et al.*, 1985). Cuando las vacas son inyectadas más allá del día 60 posparto, todas las respuestas son consistentes (Bauman y McCutcheon, 1986; Collier *et al.*, 1984).

Han sido examinadas las diferencias en la concentración de hormonas entre vacas de alta y baja producción. La concentración de hormonas representa el balance entre las tasas de liberación y de degradación, pudiendo variar marcadamente en vacas de leche, necesiéndose muestreos frecuentes para tener adecuadamente un patrón diario (Trenkel 1980; Vasilatos y Wagnsness, 1981).

Las observaciones indican que la concentración endógena de HC son altas a comienzos de la lactancia (Hart *et al.*, 1980), y en vacas genéticamente superiores (Hart *et al.* 1980; Gorewit y Agyemang, 1983). Ello estaría de acuerdo con el concepto de que altas concentraciones de HC están asociadas con una máxima demanda de nutrientes para la glándula mamaria (Peel *et al.*, 1985).

Fronk *et al.* (1983), demostraron que la respuesta en producción de leche a una dosis diaria de 51,5 U.I. HC (dosis que da cerca de la máxima respuesta en producción, Figura 4), fue independiente del método de aplicación (inyección subcutánea una vez al día e inyecciones intravenosas cada cuatro horas).

Cada uno de estos métodos produce diferentes patrones de elevación de la concentración de la hormona en plasma, pero todos elevan la concentración más allá de lo normalmente observado en vacas controles (20 mg/ml) durante los "peak" endógenos de HC (McCutcheon y Bauman, 1986a).

De sus resultados, Figura 5, McCutcheon y Bauman (1986a), concluyeron que, aun a dosis subóptimas, el promedio de elevación diario,

CUADRO 9
EFFECTO DE LA INYECCIÓN DE HORMONA DEL CRECIMIENTO EN VARIOS ESTADOS DE LA LACTANCIA EN LA PRODUCCIÓN DE LECHE

Effect of growth hormone on milk yield of cows treated at different stages of lactation

Referencia	Raza	Estado de lactancia	Prod. leche control kg	Incremento prod. leche kg	H.C. Dosis mg	Durac. tratam.
Reference	Breed	Stage of lactation	Milk yield of Control cows	Increase in yield	GH dosis	Duration treatment
Bines <i>et al.</i> (1980)	Fresian	7 mcs	18,0	3,0	40	4 sem.
Machlin (1973)	Holstein	NR	13,3	3,3	33	10 sem.
Peel <i>et al.</i> (1981)	Holstein	Peak	34,7	3,3	40	11 días
Peel <i>et al.</i> (1983)	Holstein	Temprano	28	4,3	44	10 días
Peel <i>et al.</i> (1983)	Holstein	Tardía	12	3,9	44	10 días
Bauman <i>et al.</i> (1985b)	Holstein	Peak y post.	27,9	11,5	45	188 días

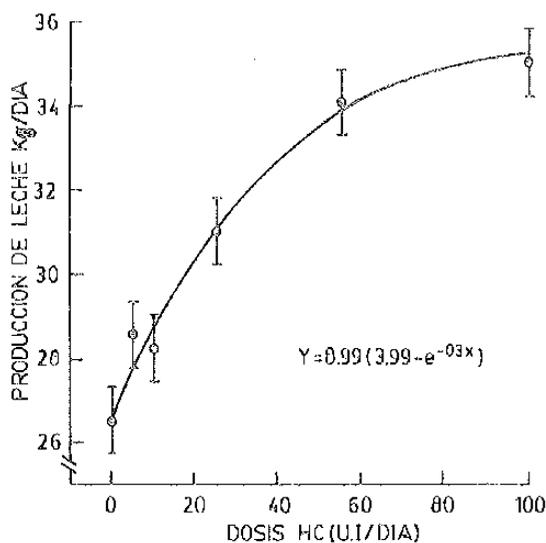


FIGURA 4
EFFECTO DE DIFERENTES DOSIS DE HC EN LA PRODUCCIÓN DE LECHE
 Fuente: Eppard *et al.* (1985)

Effect of dosages of G.H. on milk production.

más que el patrón de elevación, es el principal determinante de la respuesta en producción de leche, a la aplicación exógena de Hormona del Crecimiento. Además, agregan que a un intervalo entre inyección mayor de 24 horas, disminuye la respuesta en producción.

Concluyendo, se podría indicar que las diferentes respuestas en producción de leche se deberían a diferencias en las vacas, a los estados fisiológicos de la lactancia, al medio ambiente, a la dosis de hormona usada y a la pureza de la hormona.

4. CONCLUSIONES

1. Mecanismos de acción

— Hay un aumento de la gluconeogénesis y de la síntesis proteica. Ambas como consecuencia de un mayor aprovechamiento del propionato.

— Existe una gran lipólisis, la cual no está

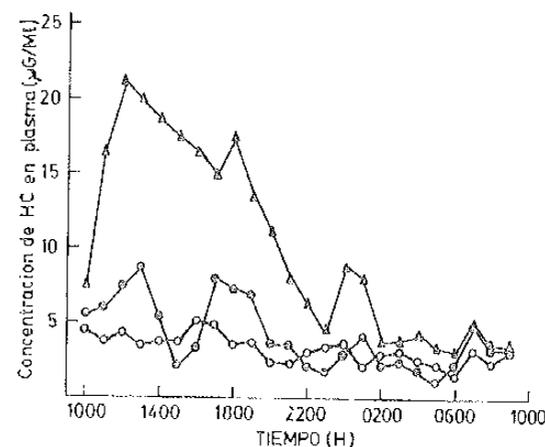
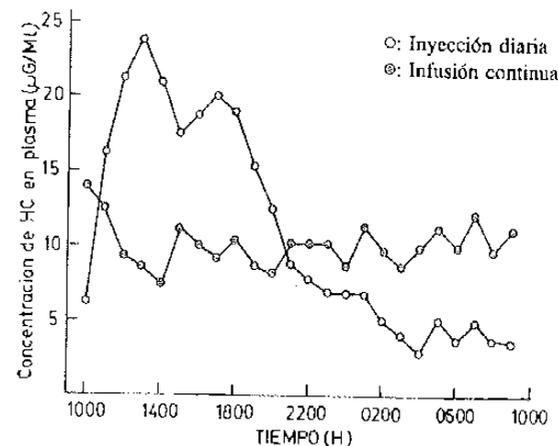


FIGURA 5
PERFILES PLASMÁTICOS DE HORMONA DEL CRECIMIENTO EN EL DÍA 11 DEL TRATAMIENTO

Plasma G.H. profiles

Fuente: McCutcheon y Bauman (1986b)
 CONTROL, INYECCIÓN DE PLACEBO
 INYECCIÓN SUBCUTÁNEA DE 25 UI bHC CADA 2 DÍAS, COMENZANDO EN DÍA 1.
 INYECCIÓN SUBCUTÁNEA DE 25 UI bHC DIARIAMENTE
 INFUSIÓN SUBCUTÁNEA CONTINUA DE 25 UI bHC DIARIAMENTE.
 LAS INYECCIONES FUERON APLICADAS A LAS 10:00 HORAS DIARIAMENTE.

○: Control
 △: Inyección cada 2 días (el día 11)
 □: Inyección cada 2 días (el día 12)

asociada a un aumento de la oxidación de ácidos grasos a nivel sanguíneo.

2. Potencialidad del tratamiento

— En promedio, vacas tratadas han logrado producir entre un 10 a 40% más que vacas controles.

3. Estado de la lactancia

— Las mejores respuestas en aumento de la producción en vacas, se obtienen posteriormente al día del "peak" de producción de leche.

4. Dosis

— La dosis que produce la máxima respuesta productiva se ubica sobre las 50 U.I./día.
 — Con las dosis señaladas, el método de aplicación es independiente (subcutáneo, intravenoso, intramuscular).
 — Se ha obtenido una respuesta similar con un derivado sintético, metionil somatotropina bovina, en dosis de 40,5 mg/día.

5. Balance nutritivo

— A comienzos de la lactancia lo disminuye, no afectándolo a finales del período productivo.

RESUMEN

De acuerdo a los resultados de las diversas investigaciones discutidas en la presente publicación, es posible obtener entre 10 a 40% de aumento en la producción láctea al inyectar Hormona del Crecimiento a vacas en lactancia. Las diferentes respuestas productivas son debidas fundamentalmente a dosis, tipo de hormona usada, características productivas o potencialidad de la vaca, estado de lactancia al momento de iniciar el tratamiento y a factores ambientales.

De los antecedentes presentados se concluye que la somatotropina involucra el control de muchos procesos fisiológicos alterando el metabolismo de los tejidos corporales, en forma tal que una mayor cantidad de nutrientes queda disponible para ser dirigido a la glándula mamaria. Por otra parte, aparentemente se consigue un mayor desarrollo de la capacidad del tejido mamario para sintetizar leche.

LITERATURA CITADA

- AIELLO, R.J., T.M. KENNA, and J.H. HERBEIN. 1984. Hepatic gluconeogenesis and ketogenic interrelationships in the lactating cows. *J. Dairy Sci.* 67: 1707.
- ASINOV, G.J. and N.K. KROUSE. 1937. The lactogenic preparations from the anterior pituitary and the increase of milk yield in cows. *J. Dairy Sci.* 20: 289.
- BAUMAN, D.E., and W.B. CURRIE. 1980. Partitioning of nutrients during pregnancy and lactation: A review of mechanisms involving homeostasis and homeorhesis. *J. Dairy Sci.* 63: 1514-1529.
- BAUMAN, D.E., M.J. DE GEETER, C.J. PEEL, G.M. LANZA, R.C. GOREWIT and R.W. HAMMOND. 1982. Effect of recombinantly derived Bovine Growth Hormone (bGH) on lactational performance of high yielding dairy cows. *J. Dairy Sci.* 65 (Suppl. 1): 121.
- BAUMAN, D.E. and S.N. McCUTCHEON. 1985. The effects of Growth Hormone and Prolactin on metabolism. In "symp. Ruminant Physiol. Control of Digestion and Metabolism in Ruminant".
- BAUMAN D.E., S.N. McCUTCHEON, W.D. STEINHOOR, P.J. EPPARD and S.J. SECHEN. 1985a. Sources of variations and prospects for improvement of productive efficiency in the dairy cows: A Review. *J. Anim. Sci.* 60: 583-592.
- BAUMAN, D.E., P.J. EPPARD, M.J. DE GEETER and G.M. LANZA. 1985b. Responses of high-producing dairy cows to longterm treatment with Pituitary Somatotropin and Recombinant Somatotropin. *J. Dairy Sci.* 68: 1352-1362.
- BINES, J.A., I.C. HART, and S.U. MORANT. 1980. Endocrine control of energy metabolism in the cows: The effect on milk yield and levels of some blood constituents of injecting Growth Hormone and Growth Hormone fragments. *Br. J. Nutr.* 43: 179-188.
- BINES, J.A., and I.C. HART. 1982. Metabolism limits to milk production, specially roles of Growth Hormone and Insulin. *J. Dairy Sci.* 65: 1375-1388.
- BITMAN, J., D.L. WOOD, H.F. TYRRELL, D.E. BAUMAN, C.J. PEEL, A.C. BROWN and P.J. REYNOLDS. 1984. Blood and milk lipid responses induced by Growth Hormone administration on milk production in Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 67: 2873-2880.
- BOTTS, R.L., R.W. HEMKEN, and L.S. BULL. 1979. Protein reserves in the lacting dairy cows. *J. Dairy Sci.* 62: 433.
- BUREWIL, P., and J. MORISSET. 1985. Somatotropin: Effects on corporal and gastrointestinal growth. *Fed. Proc.* 44: 442 (abstr).
- BURVENICH, C. 1983. Rol of Somatotropin (Growth Hormone) during lactation in ruminants. Review. *Ulaas Diergeneeskunding tijdschrift.* 52(6)399-413.
- CLARK, J.H. 1975. Lactational responses to post Ruminal administration of Protein and Amino Acids. *J. Dairy Sci.* 58:1178.
- COLLIER, R.Y., J.P. McNAMARA, C.R. WALLACE, and M.H. DEHOFT. 1984. A Review of endocrine regulation of metabolism during lactancy. *J. Anim. Sci.* 59:498-510.
- DAVIS, S.R., P.D. GLOCKMAN and I.C. HART. 1984. Effects of Growth Hormone and Thyroxine treatment of lactating cows on milk production and plasma concentrations of IGF-I and IGF-II. *Proc. Endocrinol. Soc. Austr.* 27 Suppl. 1:16. (abstr).
- EISEMANN, J.H., H.F. TYRRELL, A.C. HAMMOND, P.J. REYNOLDS, D.E. BAUMAN, G.C. HAALAND, J.P. McMURTRY, and G.A. VARGA. 1986. Effects of Bovine Growth Hormone administration on metabolism of growing Hereford heifers. Dietary Digestibility, Energy and Nitrogen Balance. *J. Nutr.* 116: 157-153.
- ENRICHI, W.J., L.T. CHAPLIN, W.M. MOSELEY, S.A. SINN, and H.A. TECKER. 1986. Growth Hormone-Releasing factor stimulated milk production and sustains Growth Hormone release in Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 69: 344-351.
- EPPARD, P.J., D.E. BAUMAN, and S.N. McCUTCHEON. 1985. Effects of dose of Bovine Growth hormone on lactational performance of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 68: 1109-1115.
- EPPARD, P.J., D.E. BAUMAN, C.R. CURTIS, H.N. ERB, G.M. LANZA, and M.J. DE GEETER. 1987. Effect of 188-day treatment with somatotropin on health and reproductive performance of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 70: 582-591.
- FRONK, T.J., C.J. PEEL, D.E. BAUMAN, and R.C. GOREWIT. 1983. Comparison of different patterns of Exogenous Growth Hormone Administration on milk production in Holstein cows. *J. Anim. Sci.* 57: 699-705.
- GERTLER, A., N. COHEN, and A. MADZ. 1983. Human Growth Hormone but not Ovine or Bovine Growth Hormone exhibits galactopoietic Prolactin-like activity in organ cultures from Bovine lactating mammary gland. *Mol. Cell. Endocr.* 33: 169-182.
- GERTLER, A., A. SHKENAZ, Z. MADAR. 1984. Binding sites of Human Growth Hormone and Ovine and Bovine Prolactins in the mammary gland and the liver of lactating dairy cows. *Mol. Cell. Endocr.* 34: 51-57.
- GOREWIT, R.C. and K. AGYEMANG. 1983. Serum Growth Hormone Concentrations in High and low producing Holstein Cows over lactation. *J. Dairy Sci.* 66 (Suppl. 1): 342.
- GUYTON, A.C. 1977. Tratado de fisiología médica. Quinta Edición. Ed. Interamericana. México.
- HART, I.C., J.A. BINES, and S.U. MORANT. 1980. The secretion and metabolism clearance rates of Growth Hormone, Insulin, and Prolactin in High cow yielding cattle at four stages of lactation. *Life Sci.* 27: 1839-1847.
- SEJRSEN K., J. FOLDAGER, M.T. SORENSEN, R.M. AKERS, D.E. BAUMAN. 1986. Effect of exogenous Bovine Somatotropin on pubertal Mammary development in heifers. *J. Dairy Sci.* 69: 1528-1535.
- JOIS, M., R. SMITHARD, G.H. McDOWELL, E.F. ANNISON, and J.M. GOODEN. 1985. Effects of Growth Hormone on amino acid exchanges in muscle tissue of growing calves. *Proc. Nutr. Soc. Austr.* 10: 92-95.
- MACHLIN, L.J. 1973. Effects of Growth Hormone on milk production and feed utilization in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 56: 575-580.
- MARTIN, C.R. 1976. Stotropin. Text Book of Endocrine Physiology. Oxford Univ. Press. NY.
- McCUTCHEON, S.N. and D.E. BAUMAN. 1986a. Effects of dose and patterns of administration Bovine Growth Hormone on lactational Performance in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 69: 38-43.
- McCUTCHEON, S.N. and D.E. BAUMAN. 1986b. Effect of chronic Growth Hormone treatment on responses to Epinephrine and Thyrotropin-Releasing Hormone in lactating cows. *J. Dairy Sci.* 69: 44-51.
- McDOWELL, G.H., I.C. HART, J.A. BINES and D.B. LINDSAY. 1983. Effect of exogenous Growth Hormone in lactating cows. *Proc. Nutr. Soc. Austr.* 8: 165 (abstr).
- McDOWELL, G.H., I.C. HART. 1984. Responses to infusion of Growth Hormone in to mammary arteries of lactating sheep. *Can. J. Anim. Sci.* 64 (Suppl. 1): 306.
- McNAMARA, J.P., S.R. DAVIS, and R.J. COLLIER. 1983. Effects of Growth Hormone and Thyroxine in plasma Lipids, mammary Lipids uptake and milk fat in Jersey cows. *J. Dairy Sci.* (Suppl 1): 323.
- MOSELEY, W.M., L.F. KRABILL, and F.R. OLSEN. 1982. Effect of Bovine Growth Hormone administered in various patterns on nitrogen Metabolism in the Holstein steers. *J. Anim. Sci.* 55: 1062.
- PEEL, C.J., D.E. BAUMAN, R.C. GOREWIT, and C.J. SNIFFEN. 1981. Effect of exogenous Growth Hormone on lactational performance in high yielding Dairy cows. *J. Nutr.* 111: 1662-1070.
- PEEL C.J., T.J. FRONK, D.E. BAUMAN, and R.C. GOREWIT. 1982a. Lactational response to exogenous Growth Hormone and a nasal infusion of a Glucose-Sodium Caseinato mixture. *J. Nutr.* 112: 1770-1778.
- PEEL, C.J., W.D. STEINHOOR, D.E. BAUMAN, H.F. TYRRELL, A.C. BROWN, P.J. REYNOLDS, and G.L. HAALAND. 1982b. Administration of Bovine Growth Hormone to high yielding Holstein cows. II. Influence on irreversible loss and oxidation rate of free Fatty Acids and Glucose. *J. Dairy Sci.* 65 (Suppl. 1): 120.
- PEEL, C.J., T.J. FRONK, D.E. BAUMAN, and R.C. GOREWIT. 1983. Effect of exogenous Growth Hormone in early and late lactation on lactational performance of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 66: 776-782.
- PEEL, C.J., L.D. SANDLES, K.J. OVELCH, A.L. HERINGTON. 1985. Effects of long-term administration of the Bovine Growth Hormone on the lactational performance of identical twin dairy cows. *Anim. Prod.* 41: 135-142.
- POCIUS, P.A. and J.H. HERBEIN. 1986. Effects on in vivo administration of Growth hormone in milk production and in vivo hepatic metabolism in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 69: 713-720.
- RICHARD, A.L., S.N. McCUTCHEON, and D.E. BAUMAN. 1985. Responses of dairy cows to exogenous Bovine Growth Hormone administered during early lactation. *J. Dairy Sci.* 68: 2395-2402.
- SCHULZ, L.H. 1971. Management and nutritional aspects of ketosis. *J. Dairy Sci.* 54: 967.
- TRENKEL, A. 1978. Relation of hormonal variations to nutritional studies in metabolism of ruminant. *J. Dairy Sci.* 61: 281.
- TYRREL, H.F., A.C. BROWN, P.J. REYNOLDS, G.L. HAALAND, C.J. PEEL, D.E. BAUMAN, and W.D. STEINHOOR. 1982. Administration of Bovine Growth hormone to high yielding Holstein cows. I. Influence on in vivo energy metabolism. *J. Dairy Sci.* 65 (Suppl. 1) 120.
- VASILATOS, R. and WANGANESS. 1981. Diurnal variation in plasma Insulin and Growth hormone associated with two stage of lactation in high producing dairy cows. *J. Endocrinology.* 108: 300.
- WILSON, J.D. and D.W. FOSTER. 1985. Text Book of Endocrinology. Ed. Saunders Company. Seventh Edition, Philadelphia.
- WHEATLY, I.S., A.L. WALLACE and J.M. BASSETT. 1966. Effects of Bovine Growth Hormone in sheep. *J. Endocrinology.* 35: 341.

FE DE ERRATAS

La presente constituye una Fe de Erratas para el Ensayo titulado "Tabla de composición de forrajes de la zona central de Chile", de los autores Gastón Pichard y Ennio Innocenti, publicada en el Volumen 14, N° 2, de mayo-agosto 1987.

<p>TABLA 1 ALFALFA PLANTA ENTERA Flor</p>	<p>Columna E.M. Mod. dice 1,79 debe decir 1,79*</p>
<p>TABLA 2 TRÉBOL ROSADO ESTADO Flor</p>	<p>Columna E.M. Mod. dice 1,91 debe decir 1,91*</p>
<p>TABLA 3 BALLICA ANUAL 1^{er} Crecimiento Espiga Rebote Espiga</p>	<p>Columna E.M. Mod. dice 1,73 debe decir 1,73* dice 1,94 debe decir 1,94*</p>
<p>TABLA 4 AVENA 1^{er} Crecimiento Espiga 1^{er} Crecimiento Gr. Lech. Past. 1^{er} Crecimiento Gr. Past. Duro. Rebote Espiga Rebote Gr. Lech. Past.</p>	<p>Columna E.M. Mod. dice 1,84 debe decir 1,84* dice 1,49 debe decir 1,49* dice 1,43 debe decir 1,43* dice 1,64 debe decir 1,64* dice 1,51 debe decir 1,51*</p>
<p>TABLA 5 ASOCIACIÓN AVENA LEGUMINOSA ASOCIACIÓN Avena - Vicia Espiga Avena - Vicia Gr. Lech. Past. Avena - Arveja Espiga Avena - Arveja Gr. Lech. Past. COMPONENTES Avena Espiga Avena Gr. Lech. Past. Vicia Flor-G. Blando Arveja Flor.-G. Blando</p>	<p>Columna E.M. Mod. dice 1,84 debe decir 1,84* dice 1,65 debe decir 1,65* dice 1,82 debe decir 1,82* dice 1,66 debe decir 1,66* dice 1,88 debe decir 1,88* dice 1,51 debe decir 1,51* dice 1,70 debe decir 1,70* dice 1,71 debe decir 1,71*</p>
<p>TABLA 6 CEREALES FORRAJEROS ESPECIE Avena Espiga Avena Gr. Lech. Past. Trigo Espiga Trigo Gr. Lech. Past. Triticale Espiga Triticale Gr. Lech. Past. Cebada Espiga Cebada Gr. Lech. Past.</p>	<p>Columna E.M. Mod. dice 1,66 debe decir 1,66* dice 1,45 debe decir 1,45* dice 1,77 debe decir 1,77* dice 1,75 debe decir 1,75* dice 1,81 debe decir 1,81* dice 1,93 debe decir 1,93* dice 1,73 debe decir 1,73* dice 1,66 debe decir 1,66*</p>
<p>TABLA 7 SORGO FORRAJERO 1^{er} Crecimiento Bota 1^{er} Crecimiento Panoja 1^{er} Crecimiento Gr. Lech. Past.</p>	<p>Columna E.M. Mod. dice 1,81 debe decir 1,81* dice 1,74 debe decir 1,74* dice 1,79 debe decir 1,79*</p>

NORMAS PARA LA PUBLICACIÓN DE ARTÍCULOS

La Revista aparecerá en tres números anuales, que formarán un volumen. Cada número tendrá las siguientes secciones:

1. **Investigaciones.** Serán trabajos originales e inéditos sobre tema específico, en el cual se prueben hipótesis planteadas, siguiendo el método científico.
2. **Notas de Investigación:** Aquellos artículos basados en aspectos de trabajos experimentales o investigaciones de cualquier tipo, que presenten un aspecto metodológico novedoso, o un resultado que el autor decida publicar antes que finalice totalmente la investigación, por considerarlo importante o relevante.
3. **Ensayos y Revisiones Bibliográficas.** Aquellos artículos basados en una recopilación de artículos científicos o de investigación existentes, en que el autor ha aportado su opinión personal del tema tratado y ha establecido conclusiones respecto del estado actual del conocimiento del tema existente en el mundo a la fecha de escribir el artículo.

La revista estará abierta a recibir colaboraciones de autores de otras universidades o institutos de investigación. Los trabajos enviados deberán ceñirse a las normas de publicaciones de la Revista y estarán sujetos a revisión por el Comité Editor o la persona que éste designe, antes de ser publicados.

Cada artículo debe constar de las siguientes partes: a) Título; b) Autor; c) Institución o unidad académica en que se realizó el trabajo; d) Summary; e) Introducción; f) Materiales y Métodos; g) Presentación de resultados y discusión; h) Conclusiones; i) Resumen y j) Literatura citada.

Los trabajos deben ser mecanografiados a doble espacio, numerándose todas las páginas, incluso las de cuadros y figuras, debiéndose entregar un original y dos copias. Los cuadros deben ser lo más simple posibles, sólo con los datos esenciales. Cada Cuadro debe ser entregado en hoja aparte, con los pesos y medidas expresados en sistema métrico decimal y las temperaturas en grados Celsius. La leyenda debe ser mecanografiada en hoja aparte. Las fotografías deben ir con su título respectivo. El aumento correspondiente a las microfotografías debe indicarse en la leyenda. Figuras, cuadros, gráficos, etc., deben ser dibujados en cartulina con tinta china negra (no se aceptará escritura a máquina sobre este material).

NORMAS A APLICARSE EN CADA SECCIÓN DEL MANUSCRITO

Se seguirán las normas establecidas por el Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA (IICA).

Título: En mayúscula y con su traducción en inglés.

Autor: Nombre de pila y primer apellido. No se usarán títulos ni grados académicos. La información adicional puede hacerse en notas al pie de la página. Primera letra del nombre y del apellido en mayúsculas. Los nombres de los autores separados por coma.

Introducción: No debe exceder de 200 palabras. En ella se indicará el interrogante o problemática y las razones por las cuales se plantea.

Notas al pie de página: Deben enumerarse en forma continua a través de todo el artículo. Las correspondiente a los cuadros serán identificadas con letras en forma individual para cada uno. Significación de estadísticas se indica usualmente con asteriscos.

Título de Texto: Habrá tres tipos de títulos de texto. Sólo la primera letra de cada sustantivo será en mayúscula.

1. Título principal: aparecerá al centro de la página.
2. Primer subtítulo: aparece al margen izquierdo de la página en letra bastardilla (se señala subrayando en el manuscrito), al principio del párrafo en líneas aparte.
3. Segundo subtítulo: aparece en el margen izquierdo en letra bastardilla al principio del párrafo y separado por punto del resto del párrafo. Usar el tipo 3 preferencialmente.

Citas en Literatura: Como normas generales se usarán las indicadas por el Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (IICA) de la OEA (Redacción de Referencias Bibliográficas). Se harán en el texto de dos formas, dependiendo de la estructura de la frase.

1) Brown (1948) demostró en la cabra montés, y Archibald McClintock (1949 a, b) y Best *et al.* (1951) en bovinos, que...

2) Se ha demostrado en la cabra montés (Brown, 1948), como también en bovinos (Archibald McClintock, 1949 a, b; Best *et al.* (1951), que...

Literatura citada: La literatura no publicada no se incluye en la lista de la literatura citada. Se coloca en el texto como comunicación personal o datos no publicados. En la lista de literatura citada se tomarán en cuenta las siguientes normas:

Se posponen las iniciales de los nombres de los autores sólo para citar al primero de cada referencia. La lista de citas se hará por orden alfabético. Se usa el orden cronológico cuando existen varias publicaciones de los mismos autores, siempre que el nombre de los autores esté dado en el mismo orden. Sólo la primera palabra y los nombres propios comienzan con letras mayúsculas. En caso de libros, comienzan con mayúsculas todos los sustantivos o adjetivos sustantivados. También se anota la edición, la editorial y la ciudad de publicación. La abreviación de una revista citada no es seguida de coma.

Material gráfico: Debe emplearse siempre que lo explicado no pueda expresarse fácilmente en el texto. El gráfico *debe reemplazar al texto y no duplicarlo*. Cuando se utilizan gráficos, cuadros, etc., deben ser claros, simples, concisos. Se debe seleccionar el mínimo de datos necesarios para mostrar los puntos que se desea enfatizar y así pueda ser analizado con facilidad. Los títulos principales irán en mayúsculas, no seguidos de punto y con su traducción al inglés. Esto deberá subrayarse. Cada columna tendrá su encabezamiento, e irá también traducido al inglés. Sólo la primera letra de estos títulos irá con mayúscula. Los asteriscos se usan solamente para indicar significación y deben ir acompañados de notas al pie de la página. Para marcar otras notas al pie del cuadro deben usarse letras minúsculas elevadas. Evítase el uso de líneas verticales y de signos especiales. Las desviaciones estándares de promedio (errores estándares) se pueden agregar a los valores con un signo más o menos, pero para ello es conveniente usar una columna o líneas separadas. Las desviaciones estándares (de observaciones) no deben agregarse a los valores, pero deben aparecer en una columna o línea separada. Las técnicas estadísticas para hacer prueba de significación entre varios valores se indican en Snedecor (1965), p. 251 y sig., y Steel y Torrie (1960), p. 106 y sig.

Figuras: Mapas y figuras íntegramente dibujados con tinta china. Los originales no deberán ser más grandes que 21.5 x 27.5 cm, debiendo enviarse dos ejemplares de cada uno. Las fotografías deben tener buenos contrastes. Los mosaicos fotográficos deben presentarse montados sobre una hoja de papel, totalmente terminados, con leyendas y numeración. Deben entregarse en hojas separadas marcadas con: Figura y su respectiva traducción al inglés, subrayada.

Material de estadísticas: Las tablas deben ser usadas cuando los lectores necesitan números exactos o cuando el material no puede ser graficado. Los datos deben ser resumidos y analizados con métodos estadísticos que usen eficientemente la información de que se dispone.

Otros: Usar sólo sistema métrico decimal. No usar mayúsculas en las palabras, cuadro o figura dentro del texto. Use números arábigos. Las abreviaciones siempre en singular. Agradecimientos deben aparecer en la primera página como nota al pie del autor. Por cada número se consideran 10 separatas (apartados) en forma gratuita. Cada separata adicional deberá pagarse de acuerdo a los costos del momento.



COMITÉ EDITORIAL
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CASILLA 6177
SANTIAGO-CHILE



EDICIONES
UNIVERSIDAD
CATOLICA DE
CHILE