

## INVESTIGACIÓN

# SELECCIÓN DE PORTFOLIOS DE ROTACIONES CULTURALES ECONÓMICAMENTE ÓPTIMOS PARA LA PRECORDILLERA ANDINA DE LA VIII REGIÓN<sup>1</sup>

## Selection of portfolios of economically optimal crop rotations for the Andean Foothills of the VIII<sup>th</sup> Region, Chile<sup>1</sup>

Jorge González U.<sup>2\*</sup>, Emilio Francisco G.<sup>3</sup> y William Foster B.<sup>3</sup>

### A B S T R A C T

Farmers select productive alternatives under risk in accordance with agronomic and economic considerations. This study was based on historical economic information generated in a long-term study (1980-1996) of the National Agricultural Research Institute, of rotations in dry land areas in the Andean foothills, VIII Region, Chile. Optimum economic portfolios were quantified, selected and analyzed according to their Net Real Margin (\$) and Standard Deviation, applying the concepts of the Portfolio Selection Theory or Expected-Variance Analysis (E-V Analysis), and relations with the decision processes of the farmers in a risk context. The study was carried out for farmers with different risk-aversions and farm sizes using a quadratic computer program. The net expected margin of the optimal portfolios varied between \$ 170,000 ha<sup>-1</sup> to \$ 211,000 ha<sup>-1</sup>, increasing when farm size and risk aversion are lower. The optimum economic portfolios basically included the rotations: wheat/oats, wheat/sowed pasture (3 years) and wheat/natural pasture/oats. When farm size and risk aversion increased, the rotation wheat/oat reduced its participation, and the cattle rotations increased strongly. Based on an E-V Analysis, it was feasible to select optimal economic portfolios that were relatively stable and coherent with proposals of development for the zone.

**Key words:** dry land, risk aversion, expected variance analysis.

### R E S U M E N

Los agricultores seleccionan alternativas productivas bajo riesgo, de acuerdo a consideraciones agronómicas y económicas. Este estudio se basó en información económica histórica generada en un estudio de largo plazo (1980-1996) del Instituto de Investigaciones Agropecuarias, de rotaciones de secano para la precordillera andina de la VIII Región. Se cuantificaron, seleccionaron y analizaron portfolios económicamente óptimos de dichas rotaciones, según su margen neto real y desviación estándar, aplicando los conceptos de la teoría de selección de portfolios o análisis esperanza-varianza (Análisis E-V) y relaciones con los procesos de decisión de los agricultores en un contexto de riesgo. El estudio se realizó para agricultores con distinta aversión al riesgo y superficie predial, utilizando programación cuadrática computacional. El margen neto esperado de los portfolios óptimos varió de \$ 170.000 ha<sup>-1</sup> a \$ 211.000 ha<sup>-1</sup>, incrementándose cuanto menor es el predio y la aversión al riesgo. Se determinó que los portfolios óptimos económicos incluyeron

<sup>1</sup>Recepción de originales: 09 de mayo de 2001 (reenviado).

<sup>2</sup>Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Quilamapu, Casilla 426, Chillán, Chile.  
E-mail: jgonzale@quilamapu.inia.cl \*Autor para correspondencia.

<sup>3</sup>Universidad Católica de Chile, Facultad Agronomía e Ingeniería Forestal, Casilla 306, Correo 22, Santiago, Chile.  
E-mail: webmaster@faif.puc.cl

básicamente las rotaciones trigo-avena, trigo-pradera sembrada (3 años) y trigo-pradera natural (2 años)-avena. Cuando la superficie predial y la aversión al riesgo aumentan, la rotación trigo-avena disminuye su participación, y las rotaciones ganaderas la incrementan fuertemente. Basándose en el Análisis E-V, fue factible seleccionar portfolios económicamente óptimos relativamente estables y coherentes con propuestas de desarrollo para la zona.

**Palabras clave:** secano, aversión al riesgo, análisis esperanza - varianza.

## INTRODUCCIÓN

Existe un problema de toma de decisión de alternativas agropecuarias bajo riesgo cuando sus consecuencias económicas son dispares. La elección de una o una combinación (portfolio) de alternativas considerando aspectos económicos da más elementos de juicio para decidir. Los agricultores toman sus decisiones en un escenario de riesgo, en que consideran aspectos agronómicos y económicos; luego, sus decisiones tienden a un equilibrio, un óptimo, entre ingreso monetario esperado, desafíos tecnológicos, variabilidad productiva, volatilidad de precios, variables climáticas y actitud frente al riesgo.

En general, los aspectos agronómicos han sido más analizados que los económicos y de riesgo. Por lo tanto, cuando se dispone de información adecuada, es valioso profundizar en el conocimiento y aplicación de estos dos últimos aspectos para contribuir a tomar decisiones más acertadas.

En este contexto, en el Centro Regional de Investigación Quilamapu del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), se estudiaron desde el año 1980 a 1996 varias rotaciones de secano para la precordillera andina de la Región del Bío Bío, sugeridas como alternativa tecnológica (Rodríguez *et al.*, 1992) para esta zona que, en los últimos años, por razones macroeconómicas, ha reducido la superficie y variedad de rubros sembrados, ha deteriorado el recurso suelo, y afectado el desarrollo socioeconómico de segmentos de la comunidad (Ruz *et al.*, 1995; INE, 1997a). Dicho experimento agronómico generó información productiva y técnica ideal para desarrollar el presente trabajo en el campo

económico y de análisis de riesgo para seleccionar alternativas agropecuarias.

Paralelamente, la literatura de estudios económicos de rotaciones es escasa, debido a la poca disponibilidad de datos experimentales que incluyan un número importante de temporadas. No obstante, existen publicaciones que en diferente grado se orientan en esta dirección, por ejemplo, Troncoso y Rojas (1979) clasificaron rotaciones para Valdivia, X Región, utilizando los parámetros ingreso, desviación estándar y coeficiente de variación, a partir de series históricas de rendimientos de los cultivos y juicios de expertos, y Smulders (1995) construyó un modelo matemático para determinar rotaciones sustentables económicamente para pequeños productores de la zona central de Chile, maximizando el ingreso.

Los objetivos del presente estudio fueron seleccionar y analizar portfolios económicamente óptimos de rotaciones culturales propuestas como alternativas tecnológicas para la precordillera andina de la VIII Región de Chile; aplicar en dicha selección los conceptos básicos de la teoría de selección de portfolios o Análisis Esperanza-Varianza (Análisis E-V) de Markowitz (1959), y evaluar la relación con los niveles de aversión al riesgo en la toma de decisión de agricultores de la zona.

El Análisis E-V es una metodología matemática que permite discriminar entre alternativas riesgosas, seleccionar los portfolios de alternativas óptimos económicos y construir una Frontera E-V a través de la cuál se sitúan estas combinaciones seleccionadas (Figura 1). Del mismo modo, con el Análisis E-V es factible seleccionar portfolios,

sujetos a la Frontera E-V, que maximicen la utilidad (satisfacción) esperada de un tomador de decisiones o decidor. Conceptualmente, el modelo de Análisis E-V es derivado de los axiomas de Bernoulli (Markowitz, 1959; Dillon, 1971; Francisco, 1989); éste a su vez es un enfoque basado en las percepciones del que toma decisiones respecto de eventos inciertos, en que es factible asignar a éste una función de utilidad que asocia un nivel de ésta con la ocurrencia de un evento incierto (riesgoso). La utilidad (Figura 2) no tiene escala absoluta y aumenta cuando se incrementa el nivel de la variable ingreso monetario (utilidad marginal), es decir  $\partial U/\partial I > 0$ , donde  $\partial U$  es el cambio o diferencial en la utilidad e  $\partial I$  el diferencial del ingreso. En el decidor averso al riesgo la utilidad marginal ( $\partial U/\partial I$ ), aunque positiva, es decreciente, es decir  $\partial(\partial U/\partial I)/\partial I = \partial^2 U/\partial I^2 < 0$ , donde  $\partial I^2$  es cambio marginal del ingreso y  $\partial^2 U$  es cambio en la utilidad marginal (Makeham *et al.*, 1968).

La presencia del riesgo puede especificarse mediante una distribución de probabilidad de una variable simple al azar. Típicamente, dicha variable corresponde al ingreso o margen monetario

esperado, generado por una alternativa o portfolio de alternativas seleccionados. El Análisis E-V se sustenta en dos supuestos: primero, que la probabilidad de ocurrencia de un resultado dado de la variable de interés (por ejemplo, cierto nivel de ingreso monetario) responde a una distribución normal y, segundo, que la función de utilidad del decidor, quien se asume como averso al riesgo, tiene forma cuadrática (Figura 2).

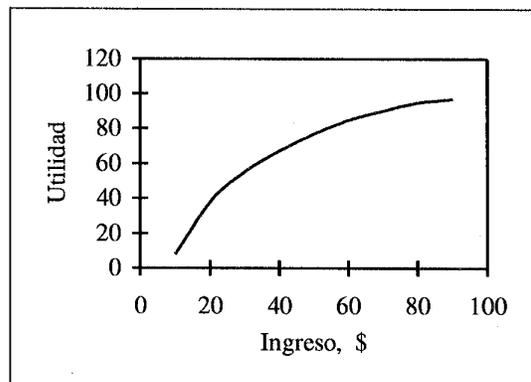


Figura 2. Función de utilidad con utilidad marginal decreciente del ingreso.  
Figure 2. Profit function with decreasing marginal income.

Adaptado de Pashigian, 1996.

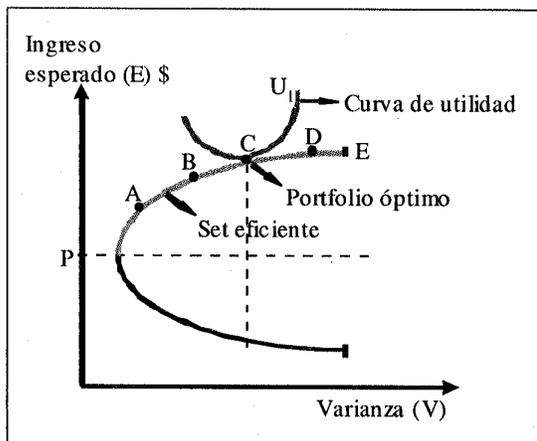


Figura 1. Representación gráfica de una Frontera E-V que contiene el portfolio óptimo para un individuo con utilidad  $U_1$ .

Figure 1. Graphic representation of an E-V Frontier that contains the optimal portfolio for an individual with profit  $U_1$ .

Adaptado de Ortíz, 1994.

Para construir una Frontera E-V se requiere coleccionar información sólo de los dos primeros momentos de la distribución de probabilidad de la variable de interés, la esperanza (promedio histórico) y la varianza.

Entonces, el Análisis E-V presupone que el decidor escoge aquella alternativa o portfolio de alternativas con menor varianza para un ingreso dado, es decir, aquel portfolio que minimiza el riesgo y que, consecuentemente, maximiza su utilidad esperada. Luego, se postula la expresión matemática (1) para la utilidad del tomador de decisión en función de la esperanza ( $E_x$ ) del ingreso.

$$U(x) = E(x + bx^2) \tag{1}$$

Donde:  $U(x)$  es la utilidad del ingreso,  $x$  es la variable simple al azar ingreso monetario,  $E_x$  es

la esperanza del ingreso y  $b$  es un coeficiente que representa la aversión al riesgo del decidor. Aplicando la esperanza ( $E_x$ ) en la expresión (1), y desarrollando aritméticamente, se obtiene el modelo matemático (2), que depende de la esperanza ( $E_x$ ) y la varianza ( $V_x$ ) del ingreso, donde  $b$ , como se indicó, es un coeficiente (coeficiente de Pratt) que se postula expresa la aversión al riesgo del decidor.

$$U(x) = E(x) + b (V(x) + (E(x))^2) \quad (2)$$

De esta forma, se pueden seleccionar portfolios óptimos, mínima varianza ( $V_x$ ) para un ingreso esperado dado ( $E_x$ ), y construir una Frontera E-V que los contenga (Figura 1). Luego, es factible incluir en la Frontera E-V portfolios que maximicen la utilidad esperada del agricultor, sustituyendo valores de  $E_x$  en una función de utilidad del decidor, que representa su nivel de aversión al riesgo "b". La generación del set de portfolios óptimos o Frontera E-V es un problema de programación computacional cuadrática paramétrica solucionable a partir de (2). La función de utilidad de un agricultor decidor puede ajustarse, mediante procedimientos de entrevistas personales como el propuesto por Makeham *et al.* (1968), que permite generar un set de pares de datos que asocian valores de ingreso esperado ( $E_x$ ), con un nivel respectivo de utilidad (satisfacción) esperada.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Primer componente: margen bruto real por rotación

Constituido por la construcción del indicador margen bruto real promedio por rotación (MBRPR) y su variabilidad, medida a través de su desviación estándar (Edwards, 1992). Las rotaciones analizadas se describen en el Cuadro 1 y el margen indicado allí es resultado de un promedio histórico de 16 márgenes brutos reales anuales, obtenidos a partir de la información técnica y de rendimiento del experimento agronómico de rotaciones antes indicado. La metodología de cálculo se sintetiza en la expresión matemática (3).

$$MBRPR_{(k)} = (\sum MBRATR_{(i, k)}) / N \quad (3)$$

Donde: MBRATR = margen bruto real anual ponderado por rotación;  $k$  = rotación R1, R2, ..., R5;  $i$  = temporada 1, 2, ..., 16;  $N$  = 16 temporadas.

En (3), cada margen anual MBRATR es un promedio de los márgenes individuales anuales de los cultivos integrantes de cada rotación, y estos últimos resultaron de restar al ingreso (precio  $\times$  rendimiento experimental) su respectivo costo variable. El costo variable consideró fertilizantes, semillas, pesticidas, inoculantes, preparación

**Cuadro 1. Rotaciones de cultivo estudiadas y cifras económicas utilizadas. \$ diciembre 1999**  
**Table 1. Crop rotations studied and economic data utilized. \$ December 1999**

Rotación	Cultivos integrantes	Margen bruto, \$ ha <sup>-1</sup>	Desviación estándar
R1	Avena-trigo	239.974	69.222,25
R2	Trigo-pradera natural (3 años)	170.468	49.573,76
R3	Trigo-pradera natural (2 años)-avena	189.165	61.198,92
R4	Trigo-pradera sembrada <sup>1</sup> (3 años)	224.812	56.198,78
R5	Trigo-raps-avena-lenteja	156.429	64.582,88

<sup>1</sup>Trébol subterráneo.

1 U\$ = \$ 538.

de suelo, aplicación de pesticidas, cosecha y pastoreo nominal. Se obtuvieron precios nominales de series históricas como el Boletín Económico Mensual de la Sociedad Nacional de Agricultura (1981-1985) y del Boletín del Banco Central de Chile (1982-1998), y se expresaron en moneda de diciembre de 1999 (1 US\$ = \$ 538).

### **Segundo componente: Construcción de fronteras E-V y funciones de utilidad de los agricultores**

Este componente está basado en el Análisis Esperanza-Varianza y en la obtención de funciones de utilidad de agricultores de la zona, y sus correspondientes coeficientes de aversión al riesgo. En este estudio la construcción de las Fronteras E-V y la determinación de la estructura de los portfolios, se realizaron utilizando el software computacional de programación cuadrática GAMS (Murtagh *et al.*, 1988). El parámetro ingreso esperado,  $Ex$ , estuvo constituido por el margen neto real, obtenido desde el margen bruto real anual promedio de cada rotación (MBRPR) menos los costos fijos de producción.

Siguiendo el procedimiento de Makeham *et al.* (1968) se determinaron funciones de utilidad para 15 agricultores representativos de la zona, detectando así algunos niveles de aversión. Se estimó para cada agricultor un set de pares de datos de ingreso esperado ( $Ex$ ) versus un nivel de utilidad respectiva. A cada set de datos (agricultor) se ajustó, mediante procedimiento de mínimos cuadrados ordinarios, una función de utilidad, y se probó su consistencia comparando los valores del coeficiente “b”, obtenido desde una especificación funcional polinomial cuadrática ( $U = a + bx + cx^2$ ) y una especificación exponencial negativa ( $U = 1 - e^{-cx}$ ). Los valores de “b” usados, provinieron de la especificación exponencial negativa, dada su característica constante a través de toda la función de utilidad, condición que no cumple el coeficiente “b” (coeficiente de Pratt) de la especificación cuadrática (Francisco, 1989; Hardaker *et al.*, 1997). Se seleccionaron portfolios para cuatro niveles de

aversión al riesgo de los agricultores, utilizando los coeficientes “b” extremos encontrados y dos valores intermedios, representando agricultores con aversión al riesgo decreciente, que para efectos del presente estudio se denominaron, aversión “fuerte”, “moderada”, “normal” y “pequeña”.

### **Tercer componente: Aplicación según tamaño predial**

El tercer componente metodológico tuvo el propósito de establecer tendencias en los portfolios seleccionados, además del nivel de aversión del agricultor, según el tamaño del predio. El elemento diferenciador entre predios fue el costo fijo predial. Luego, se seleccionaron portfolios para predios representativos de la zona con distinta superficie predial. El costo fijo no fue incorporado directamente en la determinación del margen bruto real por hectárea de las rotaciones, descrito en el primer componente metodológico, sino como un parámetro de programación en conformidad a la hipótesis de Anderson *et al.* (1988), que indica que el costo fijo no afecta directamente la varianza del margen bruto de cada rotación.

Basándose en juicios de expertos e información del SII (1984) y del INE (1997b), se seleccionaron portfolios óptimos para 12 predios “tipo” según sus superficies. Los tamaños de predio incluidos consideran superficies de 27, 50, 65, 80, 100, 125, 150, 200, 225, 250, 280 y 300 ha. Se construyó una estructura de costo fijo predial para las empresas de tamaño extremo e intermedio, valorando contabilidad, contribuciones, administración, asistencia técnica, interés sobre el capital circulante, mantención y depreciación de activos, y gastos generales. Luego, por regresión lineal simple, se estimaron los valores de costo fijo predial para las demás empresas consideradas. Los 12 parámetros de costo fijo por hectárea calculados e incorporados a la programación cuadrática, fluctuaron entre \$ 31.798 ha<sup>-1</sup> y \$ 25.065 ha<sup>-1</sup>, para tamaños prediales entre 27 y 300 ha, respectivamente, en pesos (\$) de diciembre de 1999.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Funciones de utilidad y coeficientes de aversión de agricultores

En las funciones de utilidad de los agricultores entrevistados y sus correspondientes coeficientes de aversión al riesgo ( $b$ ), se encontró que el orden de magnitud en la especificación polinomial cuadrática obtenido fue similar al determinado con el ajuste exponencial, con una leve tendencia a mayor dispersión. Esta similitud es de especial importancia, permitiendo anticipar la consistencia de los resultados y recomendaciones de portfolios óptimos seleccionados. Los valores de " $b$ " obtenidos e incorporados a los cálculos fueron los siguientes: aversión fuerte = 0,000530; aversión moderada = 0,000150; aversión normal = 0,000250; y aversión pequeña = 0,0000419.

### Fronteras E-V de portfolios de rotaciones

En las Figuras 3 y 4 se grafican las Fronteras E-V de portfolios obtenidas para las empresas de superficies máximas y mínimas consideradas. Se obtuvieron fronteras con sets eficientes e ineficientes claramente definidos. En la empresa con 27 ha (Figura 3) el set factible se obtuvo a partir de un margen neto esperado de \$ 140.000 ha<sup>-1</sup>. Cualquier margen inferior corresponde a portfolios ineficientes, dado que existirá siempre un portfolio que, al mismo nivel de varianza, alcanza un margen esperado mayor. En la empresa con 300 ha (Figura 4) el punto crítico indicado ocurre con un margen esperado de \$ 160.000 ha<sup>-1</sup>.

En la frontera de la empresa con 27 ha, los óptimos de los agricultores "tipo" representados se ubicaron en el extremo superior derecho de la Frontera E-V

para aversión pequeña, moderada y normal, e inmediatamente a su izquierda cuando el tomador de decisión posee fuerte aversión al riesgo. En la frontera del predio de 300 ha (Figura 4), los puntos que maximizan la utilidad (óptimos), se ubicaron también sucesivamente más hacia la izquierda a medida que el agricultor posee mayor aversión al riesgo (portfolio con menor varianza), aunque el óptimo ubicado más a la derecha de la Frontera E-V (menor aversión) sólo lo hace en un sector intermedio (segundo punto desde la derecha) del trazo eficiente. Luego, cuanto mayor

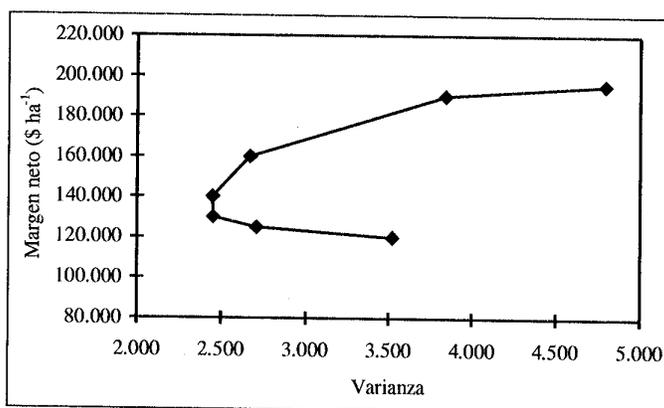


Figura 3. Frontera E-V de empresa de 27 ha obtenida en base a margen neto de las rotaciones estudiadas.

Figure 3. E-V Frontier of a 27 ha enterprise obtained based on the net margin of the rotations studied.

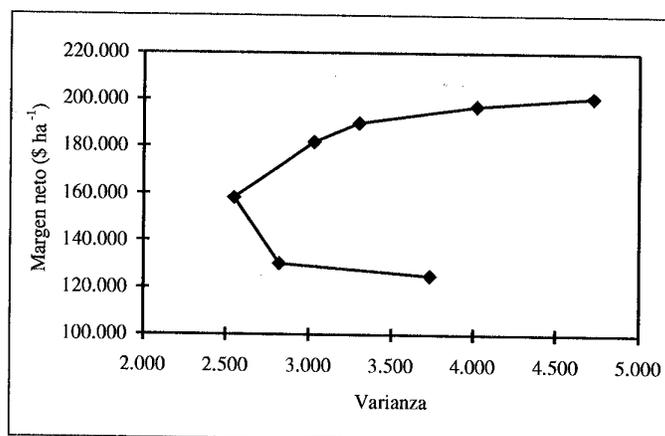


Figura 4. Frontera E-V de empresa de 300 ha obtenida en base a margen neto de las rotaciones estudiadas.

Figure 4. E-V Frontier of a 300 ha enterprise obtained based on the net margin of the rotations studied.

es la superficie de la empresa, parece factible seleccionar portfolios óptimos para agricultores aún con menor aversión que la estudiada. Podría estar reflejándose una característica de los pequeños agricultores, como es su reticencia a aceptar cambios y, por tanto, riesgo asociado, en relación a sectores más "típicamente" empresariales. Este comportamiento es plenamente coherente con el modelo básico de Markowitz (1959), y análisis posteriores de Lin *et al.* (1974), Perrakis y Zerbins (1978), y Hardaker *et al.* (1997).

### Margen neto real esperado

En el Cuadro 2 se presentan los valores del margen neto esperado de los portfolios óptimos seleccionados por hectárea, el que fluctuó entre \$ 170.000 ha<sup>-1</sup> y \$ 211.000 ha<sup>-1</sup>, en la empresa de mayor superficie (300 ha) con aversión fuerte y pequeña, respectivamente. A medida que la superficie predial aumentó, el margen por hectárea presentó una leve tendencia a disminuir (excepto en aversión pequeña) debido a que al disponer de mayor superficie predial, el modelo

E-V permite mayor diversificación, minimizando aún más la varianza. En contrapartida, al incorporar rotaciones de menor varianza individual, el margen esperado del portfolio tiende a reducirse, aunque no dramáticamente. Este comportamiento es similar al observado en un estudio de Brealey y Myers (1994), en que el ingreso esperado se mantuvo estable al seleccionar portfolios de cultivos de menor varianza y más alternativas de cultivos incluidas en cada uno.

El portfolio óptimo seleccionado presentó tendencia a mayor margen neto a medida que fue menor la aversión del tomador de decisión. Este comportamiento se presentó en todo el rango de superficies de las empresas, acentuándose las diferencias señaladas a medida que las empresas tienen mayor tamaño.

### Coefficientes de variación (CV)

El coeficiente de variación (CV), obtenido a partir de la desviación estándar/esperanza (Edwards, 1992), presentó similar magnitud en los cuatro niveles de aversión, entre 0,30 y 0,35,

**Cuadro 2. Margen neto real (\$ ha<sup>-1</sup>) de los portfolios óptimos seleccionados según tamaño predial y grado de aversión al riesgo. \$ diciembre 1999**

**Table 2. Net real margin (\$ ha<sup>-1</sup>) of the optimal portfolios selected according to farm size and grade of risk-aversion. \$ December 1999**

Empresa (Hectáreas)	Aversión al riesgo			
	Pequeña	Moderada	Normal	Fuerte
27	209.015	209.015	209.015	203.417
50	208.640	208.647	204.393	198.806
65	208.640	208.416	201.728	197.430
82	208.176	203.996	199.736	196.366
100	208.812	202.802	199.276	195.910
125	209.634	201.861	199.041	191.446
150	210.457	201.510	199.160	186.501
200	212.103	201.686	199.924	175.731
225	212.125	202.020	196.829	172.538
250	211.546	202.451	198.496	170.994
280	211.095	203.021	195.275	169.636
300	211.088	203.509	194.740	169.195

1 U\$ = \$ 538

con tendencia a disminuir con el incremento de la superficie predial (Cuadro 3). Esta similitud puede obedecer a que se seleccionaron portfolios de mínima varianza y a que sus márgenes por hectárea no presentaron grandes diferencias entre predios. Luego, y coincidiendo con Brealey y Myers (1994), a medida que se dispone de mayor superficie predial, es posible seleccionar portfolios óptimos de menor variabilidad y, por tanto, menor riesgo, que probablemente incorporen mayor diversificación de alternativas (rotaciones) en el óptimo. Entre coeficientes de aversión hubo cierta tendencia a mayor CV cuanto menos averso al riesgo es el agricultor, debido posiblemente a la inclusión de rotaciones en los portfolios con mayor varianza del margen neto, tales como trigo-avena (R1). Incrementándose la aversión debieran incorporarse rotaciones de menor varianza que R1 y buen margen neto, como por ejemplo las de aptitud ganadera.

#### Portfolios óptimos seleccionados: estructura

Los resultados y su discusión se presentan desde la perspectiva de los grados de aversión, comple-

mentando este análisis con la óptica de los distintos tamaños empresariales estudiados. En el Cuadro 4 se detalla la composición de los portfolios óptimos expresada en hectáreas de rotación incluidas, y en las Figuras 5, 6, 7 y 8 se grafica la composición relativa de los portfolios seleccionados.

Con aversión pequeña el portfolio incluyó sólo la rotación R1 en empresas de 27 a 200 ha. Con mayor superficie disponible la rotación trigo-pradera artificial (3 años) (R4) también participa en el óptimo. Entonces, en agricultores con pequeña aversión al riesgo, los planes económicamente óptimos de rotaciones debieran considerar esencialmente las rotaciones trigo-avena y trigo-pradera artificial. La primera con un mínimo de 70% del portfolio, y la segunda con un máximo de 30% en la empresa mayor. Por tanto, desde una perspectiva estrictamente económica la ganadería, en base a praderas, es una alternativa sub-óptima para agricultores con pequeña aversión al riesgo y superficie cultivable inferior a 200 ha (Figura 5).

**Cuadro 3. Coeficiente de variación (CV) de los portfolios óptimos seleccionados según tamaño predial y grado de aversión al riesgo**

**Table 3. Coefficient of variation (CV) of the optimal portfolios selected according to farm size and grade of risk-aversion**

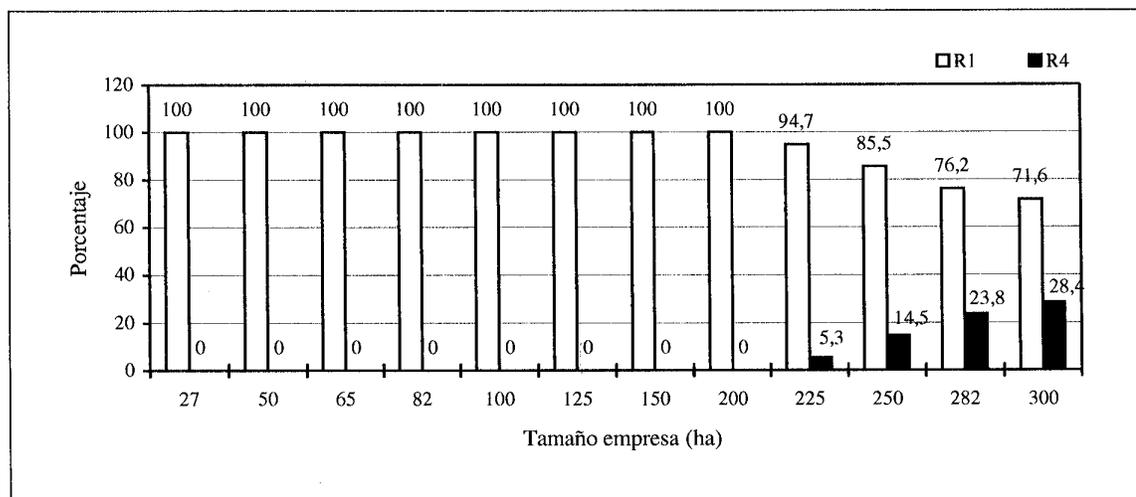
Empresa (Hectáreas)	Aversión al riesgo			
	Pequeña	Moderada	Normal	Fuerte
27	0,35	0,35	0,35	0,32
50	0,35	0,35	0,33	0,31
65	0,35	0,35	0,32	0,31
82	0,35	0,33	0,31	0,31
100	0,35	0,32	0,31	0,31
125	0,35	0,31	0,31	0,31
150	0,35	0,31	0,30	0,31
200	0,34	0,30	0,30	0,31
225	0,34	0,30	0,30	0,31
250	0,33	0,30	0,30	0,31
280	0,32	0,30	0,30	0,31
300	0,32	0,30	0,30	0,30

**Cuadro 4. Portfolios óptimos económicos seleccionados según tamaños predial y grado de aversión al riesgo (ha)**

**Table 4. Economically optimal portfolios selected according to farm size and grade of risk-aversion (ha)**

Empresa (Hectáreas)	Aversión al riesgo										
	Pequeña		Moderada		Normal			Fuerte			
	R1	R4	R1	R4	R1	R3	R4	R1	R2	R3	R4
27	27,0	0,0	27,0	0,0	27,0	0,0	0,0	17,0	10,0	0,0	0,0
50	50,0	0,0	50,0	0,0	36,0	0,0	14,0	17,6	0,0	0,0	32,4
65	65,0	0,0	65,0	0,0	36,5	0,0	28,5	17,9	0,0	0,0	47,1
82	82,0	0,0	59,9	22,8	36,7	0,0	46,1	18,3	0,0	0,0	64,5
100	100,0	0,0	60,4	39,6	37,1	0,0	62,9	17,9	0,0	1,3	80,9
125	125,0	0,0	60,9	64,1	37,7	0,0	83,7	9,8	0,0	14,8	100,5
150	150,0	0,0	61,5	88,5	38,2	0,0	111,8	2,1	10,1	22,5	115,3
200	200,0	0,0	62,6	137,4	39,3	0,0	160,7	0,0	72,7	8,2	119,1
225	213,1	11,9	63,2	161,8	33,7	9,7	181,6	0,0	104,1	0,5	120,4
250	213,7	36,3	63,7	186,3	25,5	23,8	201,3	0,0	126,9	0,0	123,1
282	214,0	67,0	64,4	217,3	15,2	40,3	226,2	0,0	155,1	0,0	126,6
300	214,8	85,2	64,8	235,2	9,3	50,2	240,5	0,0	171,4	0,0	128,7

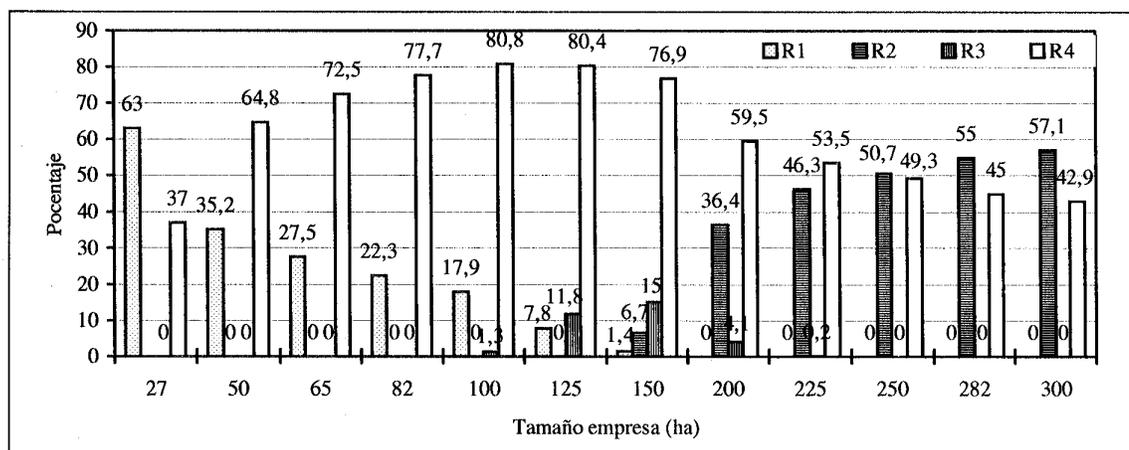
R1: trigo-avena; R2: trigo-pradera natural (3 años); R3: trigo-pradera natural (2 años)-avena; R4: trigo-pradera artificial (3 años).



**Figura 5. Rotaciones incluidas en los portfolios óptimos seleccionados para los diferentes tamaños empresariales con pequeña aversión al riesgo (%).**

**Figure 5. Rotations included in the optimal portfolios selected for enterprises of different sizes with small risk aversion (%).**

R1: trigo-avena; R4: trigo-pradera artificial (3 años).



**Figura 8. Rotaciones incluidas en los portfolios óptimos seleccionados para los diferentes tamaños empresariales con aversión al riesgo fuerte (%).**

**Figure 8. Rotations included in the optimal portfolios selected for enterprises of different sizes with strong risk aversion (%).**

R1: trigo-avena; R2: trigo-pradera natural (3 años); R3: trigo-pradera natural (2 años)-avena; R4: trigo-pradera artificial (3 años).

Con aversión moderada, R1 es la única rotación incluida en el portfolio óptimo hasta las 65 ha de superficie predial. Posteriormente la R4 incrementa su participación a medida que aumenta la superficie productiva, hasta contribuir con 80% del portfolio seleccionado en la empresa de 300 ha. Es importante la inclusión de R4 en el óptimo, pues es una alternativa ganadera propuesta por profesionales e instituciones de la zona, con el objetivo de alcanzar sustentabilidad edafológica y económica en los sistemas de los agricultores (Figura 6).

Con aversión normal el portfolio incluyó la R4 desde el predio con 50 ha de superficie (28%), e incrementó su participación hasta 240 ha (80%) en la empresa con 300 ha. La R1 siempre formó parte del portfolio, pero fue disminuyendo su inclusión a medida que la superficie predial fue mayor, sólo hasta 9 ha (3%) en la empresa mayor. La rotación R3 (trigo-pradera natural (2 años)-avena), se incorpora al óptimo sobre 200 ha, llegando a participar con 50 ha (17%) del portfolio en la empresa de mayor superficie (300 ha). Luego, en las empresas de menor superficie, es posible afirmar que en agricultores con aver-

sión normal al riesgo, sus portfolios de rotaciones recomendables deberían incluir prioritariamente la R1. Del mismo modo, al observar la Figura 7, es posible señalar que en superficies prediales superiores, la ganadería con pradera artificial, debería ser el eje de la planificación productiva.

Con aversión fuerte se obtuvieron portfolios que incluyeron mayor número de rotaciones, lo que coincide con lo reportado por Brealey y Myers (1994). La R1 participó en forma decreciente (de 63 hasta 1,4%) hasta empresas con 150 ha de superficie. Desde las 50 ha prediales R4 fue incrementando su participación hasta alcanzar 130 ha (43%) en la empresa de 300 ha. Destaca la incorporación de R2 (trigo/pradera natural (3 años)) a partir de la empresa de 150 ha. Esta rotación fue mayoritaria con 170 ha (57%) en la empresa de 300 ha. La R3 tuvo una presencia muy minoritaria en los portfolios óptimos. En consecuencia, puede afirmarse que deben predominar combinaciones de rotaciones de aptitud ganadera en la planificación óptima económica de agricultores con fuerte aversión al riesgo, cualquiera sea su tamaño predial, y sobre 150 ha definitivamente no deberían incluirse rotaciones

no ganaderas. Sobre 200 ha la importancia de praderas naturales y artificiales fue similar (Figura 8).

### CONCLUSIONES

El margen neto esperado de los portfolios óptimos varió de \$ 170.000 ha<sup>-1</sup> a \$ 211.000 ha<sup>-1</sup>, con tendencia a incrementarse cuanto menor es el tamaño del predio y el nivel de aversión al riesgo del agricultor.

A medida que la aversión al riesgo aumentó, los portfolios seleccionados fueron más complejos, incorporando un mayor número de rotaciones en el óptimo. La misma tendencia se observó al ir incrementando el tamaño predial.

No existe una rotación que domine a las otras en todo el rango de empresas y niveles de aversión

estudiados; sin embargo, las rotaciones más frecuentemente incluidas en los portfolios fueron trigo-avena; trigo-pradera natural (2 años)-avena y trigo-pradera sembrada (3 años).

Las rotaciones ganaderas incrementan su participación en el óptimo a medida que el tamaño empresarial y la aversión al riesgo de los agricultores aumentan. La rotación trigo-avena tiene el comportamiento contrario.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su gratitud al Ingeniero Agrónomo Sr. Jorge Chavarría R. del Centro Regional de Investigación Quilamapu del Instituto de Investigaciones Agropecuarias, por su colaboración para contactar y realizar entrevistas con agricultores de la precordillera andina de Ñuble.

### LITERATURA CITADA

- Anderson, J.R., J.L. Dillon, and B. Hardaker. 1988. Selection of a cropping system. Applications in agriculture. II. Agricultural Decision Analysis. Chapter 8. p. 169-181. University of New England, Biddeford, Maine, USA.
- Banco Central de Chile. 1982, 1998. Boletín Mensual N° 647 enero 1982, N° 683 enero 1985, N° 719 enero 1988, N° 755 enero 1991, N° 791 enero 1994, N° 815 enero 1996, N° 839 enero 1998. Banco Central de Chile, Santiago, Chile.
- Brealey, R., y S.C. Myers. 1994. Introducción al riesgo, rentabilidad y coste de oportunidad del capital. p. 153-169. Fundamentos de Financiación Empresarial. 4ª ed. McGraw-Hill, Madrid, España.
- Dillon, J.L. 1971. An expository review of bernoullian decision theory. Rev. Mark. Agric. Econ. 39 s.p.
- Edwards, G. 1992. Matemáticas y estadística en economía. Trabajo docente N° 52. 288 p. Pontificia Universidad Católica de Chile, Instituto de Economía, Santiago, Chile.
- Francisco, G.E. 1989. Economía de la producción y toma de decisiones bajo riesgo. Serie Docente N° 22. 356 p. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía, Departamento de Economía Agraria, Santiago, Chile.
- Hardaker, J.B., B.M. Huirne, and J.R. Anderson. 1997. Decision analysis with preferences unknown. p. 138-145. Coping with risk in agriculture. C.A.B., Wallingford, USA.
- INE. 1997a. Compendio Estadístico. 261 p. Instituto Nacional de Estadísticas (INE), Santiago, Chile.
- INE. 1997b. VI Censo Nacional Agropecuario. Resultados Preliminares. 443 p. Instituto Nacional de Estadísticas (INE), Santiago, Chile.
- Lin, W., G.W. Dean, and C.V. Moore. 1974. An empirical test of utility vs. profit maximization in agricultural production. Am. J. Agric. Econ. 56:497-508.

- Makeham, J.P., A.N. Halter, and L.J. Dillon. 1968. Criterion on maximizing expected utility best-bet farm decisions. Professional Farm Management Guidebook N° 6. University of New England, Department of Farm Management, Biddeford, Maine, USA.
- Markowitz, H. 1959. Portfolio selection-efficient diversifications of investments. Wiley, New York, USA.
- Murtagh, B.A., P.E. Gill, W. Murray, M.A. Saunders, and M.H. Wright. 1988. General Algebraic Modeling System GAMS MINOS 5.2. 183 p. University of New South Wales and Systems Optimization Laboratory, Stanford University, Los Angeles, California, USA.
- Ortiz C., A. 1994. Análisis del riesgo en la selección de planes de cultivo eficientes en la VII Región. 73 p. Tesis Ingeniero Agrónomo. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad Agronomía, Santiago, Chile.
- Pashigian, P. 1996. La incertidumbre y la toma de decisiones del consumidor. Ampliación de la teoría del comportamiento del consumidor. Teoría de precios y aplicaciones. 769 p. McGraw-Hill, Ciudad de México, México.
- Perrakis, S., and J. Zerbins. 1978. Identifying the SSD portion of the E-V frontier: a note. Journal of Financial and Quadratic Analysis 13:167-71.
- Rodríguez, N., F. Soto, y C. Belmar. 1992. Factores que inciden en la producción de trigo en la región Centro Sur. II. Rotaciones para los suelos de la Precordillera Andina. Agricultura Técnica (Chile) 52:11-17.
- Ruz, E., N. Rodríguez, y R. Velasco. 1995. Análisis de la política de precios agrícolas y su impacto en los cambios en el uso del suelo. Efecto en parámetros de sustentabilidad en la precordillera andina de la provincia de Ñuble. 67 p. Convenio Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA)-Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Quilamapu, Chillán, Chile.
- SII. 1984. Avalúos fiscales de suelo agrícola. Ley 18.327. Servicio de Impuestos Internos (SII) de Chile. Subdirección de Estudios, Departamento de Informática, Chillán, Chile.
- Smulders R., J.P. 1995. Modelo matemático para la búsqueda de rotaciones óptimas de cultivos en sistemas de producción de pequeños productores de la zona central de Chile. 280 p. Tesis Magister Scientiae. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía, Santiago, Chile.
- Sociedad Nacional de Agricultura. 1982. Boletín Económico Mensual. 1981 N°s 84 a 95; 1983 N°s 96 a 107; 1984 N°s 108 a 119; 1985 N°s 120 a 125. Sociedad Nacional de Agricultura, Santiago, Chile.
- Sociedad Nacional de Agricultura. 1985. Boletín Económico y de Mercado. 1985 N°s 126 a 132; 1986 N°s 133 a 144; 1987 N°s 145 a 156; 1988 N°s 157 a 168; 1989 N°s 169 a 180; 1990 N°s 181 a 192; 1991 N°s 193 a 204; 1992 N°s 205 a 216; 1993 N°s 217 a 228; 1994 N°s 229 a 240; 1995 N°s 241 a 252; 1996 N°s 253 a 264. Sociedad Nacional de Agricultura, Santiago, Chile.
- Troncoso, C.J., y B. Rojas. 1979. Variabilidad de precios, rendimientos e ingresos de los principales cultivos y rotaciones del sur de Chile. Universidad Austral, Facultad de Agronomía. Revista Agro-Sur 7:75-83.