

## OPTIMIZACIÓN FINANCIERA PARA ESTABLECER UN SISTEMA AGROFORESTAL: COSTO-BENEFICIO, PRECIOS ALEATORIOS, DISTINTOS ESCENARIOS Y EXTERNALIDADES

### FINANCIAL OPTIMIZATION TO SETTLE AN AGROFORESTRY SYSTEM: BENEFIT-COST, RANDOM PRICES, DIFFERENT SCENARIOS AND EXTERNALITIES

Francisco José Zamudio Sánchez<sup>1\*</sup>, José Luis Romo Lozano<sup>1</sup> y Guillermo Loera García<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Estadística, Matemática y Cómputo, División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 Carr. México Texcoco. C.P. 56230 Chapingo, Edo. de México. Tel. Fax: 01 (595) 954-7078. Correo electrónico: fjmams@yahoo.com <sup>2</sup>Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario No. 170. Calle Atlante s/n, Colonia Deportiva. C.P. 33180 Guachochi, Chihuahua, México.

\* Autor para correspondencia

#### RESUMEN

Se propone un sistema agroforestal en el noreste del estado de Morelos, México, como una alternativa para el uso sostenido de los recursos naturales. Los criterios de evaluación de la eficiencia del sistema fueron el aumento o constancia de la productividad de la tierra sin causar degradación, la optimización de la utilidad neta obtenida cuando hay restricciones de tierra-capital y una condición de riesgo medida por la relación beneficio-costo. Los costos de las externalidades se incorporaron como una alternativa para garantizar el restablecimiento de las condiciones originales del proceso de producción. Los precios de los productos se seleccionaron aleatoriamente de una distribución apropiada. La optimización del sistema se realizó en tres escenarios de rendimiento: desfavorable, promedio y favorable. Los resultados muestran que los cultivos extensivos de higo (*Ficus carica* L.) y chapulixtle (*Dodonaea viscosa* (L.) Jacq.) reducen los riesgos de la inversión con relación a los intensivos: calabacita (*Cucurbita pepo* (L.) Sesse y Moc), melón (*Cucumis melo* L.) y cebolla (*Allium cepa* L.). La tierra y el capital no fueron recursos comparables, cuando existe exceso o equilibrio de tierra frente a capital se obtienen soluciones racionales, no así cuando se tiene exceso de capital respecto al de tierra.

**Palabras clave:** Agroforestería, beneficio-costo, distribución Weibull, externalidades, precios aleatorios, utilidad neta.

#### SUMMARY

An agroforestry system in northeast Morelos state, in Mexico, proposed as an alternative for natural resources sustainable use of. The evaluation criteria in the system efficiency were the land productivity increase or permanence without degradation, net profit optimality of under constraints of land-capital, and a risk measure via a cost-benefit relationship. The costs of externalities were introduced to assess the restoration of the production process original conditions. The product prices were randomly chosen from a suitable distribution function. The system optimality was achieved under three yield scenarios: unfavorable, average and favorable. Results show that extensive cultivars, prickly pear (*Ficus carica* L.) and chapulixtle (*Dodonaea viscosa* (L.) Jacq.) are less risky than intensive ones, squash

(*Cucurbita pepo* (L.) Sesse y Moc), watermelon (*Cucumis melo* L.) and onion (*Allium cepa* L.). Land and capital are not comparable resources; when there is a land excess against capital constraints, rational solutions are reached, but in the opposite condition, solutions are unsatisfactory.

**Index words:** Agroforestry, cost-benefit, Weibull distribution, externalities, random prices, net utility.

#### INTRODUCCIÓN

En los últimos años el deterioro ambiental se ha acentuado como consecuencia de los patrones de aprovechamiento de los recursos naturales y de las actividades económicas a nivel local y global (Vitousek *et al.*, 1997). Frente a ello, se requieren estrategias de gestión y administración que permitan el uso sostenido de estos recursos (Lugo, 2001).

Son necesarios entonces, sistemas de producción que no dañen al medio y que al mismo tiempo satisfagan algún criterio de eficiencia. Los sistemas agroforestales son una excelente alternativa para el uso de los recursos naturales, pues su objetivo es mantener o aumentar la productividad y maximizar la utilidad, ajustándose a las restricciones de tierra, mano de obra, capital y organización (Zamudio-Sánchez y Serrano-Gálvez, 1994). Es necesario también considerar los costos de las externalidades negativas sobre los procesos de producción (Cacho, 1999; Yrjölä y Kola, 2001).

Steiner *et al.* (1995) consideran que los plaguicidas y fertilizantes generan tres tipos de externalidades: costos regulatorios (relacionados con las normas ambientales), costos a la salud humana y costos ambientales (reducción

de enemigos naturales, desarrollo de plagas secundarias, pérdida de cosechas, envenenamiento de abejas, muerte de animales silvestres y domesticados). Al comparar los costos estimaron que entre 30 % y 90 % del total fue para plaguicidas y entre 1 y 2 % para fertilizantes.

El análisis financiero tradicional de los sistemas agroforestales utiliza indicadores como la tasa interna de retorno, el valor actual neto, el valor anual equivalente, la relación beneficio-costo (RBC), entre otros, para medir su eficiencia (Flores y Sarandón, 2002). Sin embargo, este análisis no trasciende a la predicción y no utiliza los valores promedio y la distribución de probabilidades de los indicadores para optimizar el sistema de acuerdo con las restricciones y metas del productor.

Los objetivos de esta investigación fueron: 1) Mostrar, a través del análisis RBC, la importancia de las restricciones para optimizar la utilidad neta (UN), es decir, garantizar un equilibrio entre la ganancia y el riesgo, medido éste al considerar el valor y la variación de lo que se obtiene por unidad invertida; 2) Resaltar la importancia de la estimación de los costos y beneficios en un problema de optimización; y 3) Resaltar la importancia de incluir los costos por externalidades en el proceso de producción para compensar sus efectos negativos.

Al respecto, se postuló que la recuperación de los costos al considerar el efecto de externalidades negativas garantiza el restablecimiento de las condiciones iniciales del proceso de producción, y que la RBC es una medida del riesgo de la inversión, por lo que su inclusión como restricción en el modelo de optimización reducirá este riesgo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El área de estudio se localiza en el noreste de Morelos, entre los 18°53' LN y 98°44' LW, con altitud que varía de 1 580 a 2 220 m; comprende los municipios de Yecapixtla, Ocuituco, Temoac, Zacualpan y Tetela del Volcán. Los cultivos cílicos seleccionados fueron calabacita (*Cucurbita pepo* (L.) Sesse y Moc), melón (*Cucumis melo* L.) y cebolla (*Allium cepa* L.). Los cultivos perennes fueron higo (*Ficus carica* L.), aguacate (*Persea americana* Mill.) y chapulixtle (*Dodonaea viscosa* (L.) Jacq.). La región posee un clima semicálido subhúmedo y suelos primordialmente del tipo Feozem, (Loera, Com. Personal)<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Guillermo Loera García (1999) Tesis Maestría en Ciencias Forestales. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. 92 p.

### Estimación de los costos de producción de los cultivos

Se hizo mediante visitas a casas comerciales, entrevistas con agricultores de la región y con la bibliográfica recopilada por Loera (*Op. Cit.*). Las estadísticas de rendimiento, producción y precios se estimaron con los datos del Centro de Estadística Agropecuaria (CEA) de la Secretaría de Agricultura Ganadería y Desarrollo Rural del Estado de Morelos, de 1988 a 1997 (SAGAR, 1998). Para actualizar los precios se utilizó el valor promedio del Índice Nacional de Precios al Productor en el año 1997 (INEGI, 1998).

### Estimación de los costos por externalidades

Se basó en el trabajo de Steiner et al. (1995). Por uso de plaguicidas se agregó un 50 % a su valor, por fertilizantes 2 %, por erosión en el terreno (barbecho, rastreo y surcado) 10 %, por uso de agua de riego 6 % y por labores culturales (escarda y aporque) 1 %.

### Optimización del sistema de producción

Se hizo con y sin considerar los costos por externalidades, durante un periodo de 10 años, periodo en que maduran los árboles frutales.

**Determinación de escenarios favorable, desfavorable y promedio.** Primero se calculó el rendimiento promedio por cultivo, al cual se le restó el rendimiento de cada año y se sumaron las diferencias por año de todos los cultivos. El escenario favorable fue el año donde los cultivos en conjunto presentaron los rendimientos más altos, el escenario desfavorable el año donde los cultivos en conjunto presentaron los rendimientos más bajos y el escenario promedio se estimó a partir del rendimiento promedio de cada cultivo. En el caso del chapulixtle se utilizaron los datos sobre rendimiento consignados por Camacho et al. (1993).

**Determinación de precios para cada cultivo.** La oscilación de los precios de cada cultivo, en general, es función de la oferta del producto, a mayor oferta menor precio (Fisher, 1981). Así, la producción de un año determinado ( $y_i$ ), relativa al total producido en los diez años del

horizonte, sea  $y = \sum_{i=1}^{10} y_i$ ; es decir,  $y_i / y$  indica la importancia que tiene el precio  $p_i$  en la serie  $p_1, p_2, \dots, p_{10}$ . Para generar cien precios a los cuales se ajuste una curva de distribución probabilística se repite

$(y_i / y)100$  el precio  $p_i$ ; se considera así la importancia de este precio.

Obtenida la frecuencia de precios por año, se ajustaron a la función de distribución acumulativa Weibull (Dodson, 1994):

$$W(x) = 1 - \exp \left[ - \left( \frac{x-a}{b} \right)^c \right]$$

donde: a = parámetro de localización; b = parámetro de escala; c = parámetro de forma; x: número aleatorio de W (a, b, c), el precio en este caso.

El valor de los parámetros b y c ( $a = 0$ ) se estimó mediante regresión no lineal con el método Marquardt en el programa SAS (SAS, 1993). Los 100 precios aleatorios usados se generaron de 100 números aleatorios de una distribución uniforme (y) con la transformación inversa de la distribución Weibull:

$$x = a + b[-\log(1-y)]^{1/c}$$

Finalmente el precio considerado para cada uno de los cultivos fue el promedio de los 100 precios generados al azar.

**Tasa de interés mínima atractiva y valor presente neto (VPN).** Para tomar en cuenta el costo de oportunidad del dinero en el horizonte de planeación (HP) se utilizó una tasa anual de 4 % sobre valores constantes (Novelo *et al.*, 1994). Así, los costos e ingresos se transformaron a VPN con la tasa de interés mínima atractiva de 4 % (Trueba, 1995).

**Relación beneficio-costo.** Se obtuvo al dividir el valor actualizado de la corriente de beneficios entre el valor actualizado de la corriente de costos a la tasa de interés señalada. Para calcular esta relación, en los cultivos perennes (aguacate, higo y chapulixtle) se sumó el valor terminal (VT) al flujo de beneficios. En los frutales el VT fue la UN que proporcionan los cultivos en los cinco años posteriores al término del HP, al considerar que al comprador le costaría 10/2 años establecer los cultivos. El VT del Chapulixtle se definió como la UN obtenida después de dos años de término del HP, tiempo estimado para establecer el cultivo.

**Diseño y optimización del sistema.** Se maximizó la UN (función objetivo) al considerar restricciones de tierra,

capital y RBC. La función a maximizar se expresa de la siguiente forma:

$$Z = \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^{10} U_{ij}$$

Donde: Z = función de utilidad neta presente;  $U_{ij}$  = utilidad neta presente del cultivo i en el año j,  $i = 1, \dots, 6$  y  $j = 1, \dots, 10$

Las restricciones para cada escenario se expresaron de tres maneras: restricción de tierra y capital (i); restricción de tierra y exceso de capital (ii); y exceso de tierra y capital (iii). La superficie mínima de tierra fue de 4 ha, tamaño común en la región. Para definir el capital mínimo se consideró el costo por hectárea en el primer año del cultivo con la mayor RBC y se multiplicó por 4 ha. El capital máximo fue el costo por hectárea en el primer año del cultivo con la menor RBC multiplicado por 4 ha. La superficie máxima de tierra se obtuvo del cociente: capital máximo/capital mínimo, multiplicado por la superficie mínima.

Debido a que los cultivos perennes (aguacate, higo y chapulixtle) sólo se pueden plantar una sola vez y en el primer año, se introdujo como restricción en el modelo que al ser seleccionados cumplieran con esta condición. Para reducir el riesgo de la inversión cuando hay exceso de capital, posteriormente se incluyó, como restricción, que la RBC para los cultivos utilizados fuera mayor a un determinado valor. La optimización se realizó con programación lineal (LP) en el programa de cálculo QSB (Chang y Sullivan, 1989).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Optimización del sistema

Los resultados muestran que en los tres escenarios, sin considerar y considerando costos por externalidades, los cultivos con la mayor RBC fueron el higo, el chapulixtle y la cebolla. La mayor UN se obtuvo con los cultivos de cebolla, higo y melón. La RBC y la UN disminuyeron al considerar las externalidades, pero la utilidad bruta permaneció constante (Cuadro 1). Estos resultados indican claramente que cuando en el análisis de la RBC no se incluye el costo de degradación del capital natural, se sobreestiman los beneficios de la actividad agroforestal (Chang, 2001; Flores y Sarandón, 2002). Un ejemplo extremo pero ilustrativo es el del Reino Unido, donde el ingreso neto en la agricultura se redujo en 89 % cuando se incorporó el costo de las externalidades producidas por la actividad agropecuaria (Pretty *et al.*, 2000).

Cuadro 1. RBC y utilidad neta de los cultivos durante el horizonte de planeación de 10 años, sin considerar (SE) y considerando (CE) externalidades

Cultivo	RBC								Utilidad neta (\$/ha)			
	Escenario											
	Desfavorable		Promedio		Favorable		Desfavorable		Promedio		Favorable	
	SE	CE	SE	CE	SE	CE	SE	CE	SE	CE	SE	CE
Aguacate	2.57	2.05	4.45	3.61	3.13	2.52	54 579	44 182	119 794	109 396	74 065	63 668
Higo	7.26	6.18	5.95	5.06	6.56	5.58	179 389	172 603	141 895	135 108	159 399	152 612
Chapulixtle	4.73	4.45	5.03	4.74	5.34	5.03	90 204	88 533	97 531	95 859	104 857	103 186
Calabacita	1.93	1.73	2.06	1.85	1.93	1.74	84 082	73 698	95 928	85 544	84 714	74 331
Melón	2.07	1.77	2.33	1.99	2.82	2.41	111 562	93 821	138 461	120 721	189 423	171 682
Cebolla	3.63	3.31	4.04	3.69	4.94	4.51	260 046	250 625	300 803	291 382	389 729	380 307

### Evaluación del sistema sin considerar externalidades

**Escenario desfavorable.** Cuando se consideró como capital \$14 202 y como superficie de tierra 4 ha, los cultivos seleccionados fueron el higo y la cebolla. El primero requiere mayor superficie de tierra que el segundo (Cuadro 2). La RBC de esta/opción fue de 6.95, lo cual indica que por cada peso invertido se recuperan \$5.95, más dicha inversión. Este valor es menor que en el higo (7.26) y mayor que en la cebolla (3.63) (Cuadro 1).

La solución de optimización cuando hay restricción por capital es la elección del cultivo con la mayor RBC, el higo. Esta relación es una medida inversa de riesgo: entre más alta es, mayor es la ganancia por unidad de capital invertido (se arriesga menos capital y se obtiene mayor utilidad). En el décimo año el cultivo de higo consume el total del capital disponible y, por tanto, la superficie de tierra está definida por ese año. De cualquier forma, la superficie de tierra fue constante durante los diez años por las restricciones del modelo. La segunda selección fue el cultivo que maximiza la UN con el capital restante sin tomar en cuenta la RBC, en este caso fue la cebolla.

Los resultados difieren cuando las condiciones del modelo son con capital constante y con superficie de tierra variable. Se eligió un sistema con un capital de \$ 43 004 y 4 ha de tierra y otro con el mismo capital pero con 12 ha de tierra.

La solución de optimización con exceso de capital (\$ 43 004) y restricción en la cantidad de tierra (4 ha) selecciona a los cultivos de higo y cebolla, donde el segundo requiere mayor superficie de tierra (Cuadro 3). La RBC fue de 3.77, mayor que en la cebolla (3.63) y menor que en el higo (7.26). Los resultados indican que cuando hay exceso de capital se selecciona al cultivo con mayor UN por ha (Cuadro 1) y no al de mayor RBC (no importa el riesgo, sino maximizar la utilidad con el dinero disponible). El cultivo de cebolla consume el capital disponible hasta un punto en el cual el tamaño de la superficie de tie-

rra es tal, que se hace más conveniente ocupar el capital sobrante en un cultivo con mayor RBC (el higo) para incrementar la UN. Esto indica que el exceso de capital conduce a soluciones óptimas absurdas: aunque se obtiene mayor utilidad, la RBC se reduce y el riesgo de la inversión aumenta. La RBC pasó de 6.95 (con restricción de capital) a 3.77 (con exceso de capital).

Cuando se agregó exceso de tierra (Cuadro 4), los cultivos seleccionados fueron nuevamente el higo y la cebolla; el primero con mayor superficie que el segundo. La RBC en esta solución fue de 6.97, valor menor que en el higo (7.26) y mayor que en la cebolla (3.63). La solución óptima del problema fue utilizar el capital en el cultivo con la mayor RBC (higo) y el capital sobrante en algún año para el cultivo que en combinación con el higo maximizará la UN.

Como se muestra en los Cuadros 3 y 4, conforme se incrementa la tierra (con exceso de capital) aumenta también la cantidad de tierra para el cultivo con la mayor RBC y disminuye la del cultivo con la mayor UN por hectárea. Estos resultados indican que el exceso de tierra conduce a soluciones óptimas congruentes: a medida que se incrementa la RBC (de 3.77 a 6.97) el riesgo de la inversión disminuye.

**Escenarios promedio y favorable.** Los resultados de la RBC para los escenarios promedio y favorable son semejantes a los obtenidos en el escenario desfavorable. En el Cuadro 5 se muestran estos valores y también se comparan con los obtenidos en los tres escenarios, considerando costos por externalidades. En el escenario favorable se presentaron valores RBC más homogéneos entre las tres opciones de tierra-capital.

En el análisis de la RBC tradicional se desconoce el valor de la tierra como capital natural capaz de producir un flujo de bienes; se supone que los recursos naturales no deben ser amortizados y sólo se consideran los recursos monetarios (Castells y Munda, 1999). Sin embargo, los resultados de la presente investigación muestran que las

Cuadro 2. Solución de optimización en el escenario desfavorable con restricciones de capital (\$14 202) y tierra (4 ha), sin considerar costos por externalidades<sup>+</sup>.

Año	Solución			Costo total (\$)	Utilidad bruta (\$)	Utilidad neta (\$)	Capital disponible (\$)
	Higo	Cebolla	Total				
1	3.7402	0.0787	3.8189	14 202	3 349	-10 853	14 202
2	3.7402	0.2598	4.0000	11 141	10 629	-512	13 656
3	3.7402	0.2425	3.9827	13 130	9 540	-3 590	13 130
4	3.7402	0.1319	3.8721	12 625	16 243	3 617	12 625
5	3.7402	0.0997	3.8399	12 140	30 677	18 538	12 140
6	3.7402	0.0675	3.8077	11 673	43 978	32 305	11 673
7	3.7402	0.0245	3.7647	11 224	60 849	49 625	11 224
8	3.7402	0.0322	3.7724	10 792	82 806	72 014	10 792
9	3.7402	0.0107	3.7509	10 377	88 202	77 825	10 377
10	3.7402	0.0000	3.7402	9 978	468 545	458 567	9 978
<b>Totales</b>				<b>117 281</b>	<b>814 817</b>	<b>697 536</b>	<b>119 798</b>

<sup>+</sup>Relación beneficio costo = 6.95

Cuadro 3. Solución de optimización para capital máximo de \$ 43 004 y 4.0 ha de tierra, costos y beneficios totales y capital disponible por año, en el escenario desfavorable de rendimientos, sin considerar costos por externalidades<sup>+</sup>.

Año	Solución			Costo total (\$)	Utilidad bruta (\$)	Utilidad neta (\$)	Capital disponible (\$)
	Higo	Cebolla	Total				
1	0.475	3.5250	4.0000	43 004	149 986	106 983	43 004
2	0.475	3.5250	4.0000	40 771	144 218	103 447	41 350
3	0.475	3.5250	4.0000	39 534	138 671	99 137	39 759
4	0.475	3.5250	4.0000	38 160	134 767	96 607	38 230
5	0.475	3.5250	4.0000	36 733	131 644	94 912	36 760
6	0.475	3.5236	3.9986	35 346	128 514	93 168	35 346
7	0.475	3.5182	3.9932	33 987	125 931	91 944	33 987
8	0.475	3.5191	3.9941	32 679	124 171	91 491	32 679
9	0.475	3.5164	3.9914	31 422	120 485	89 063	31 422
10	0.475	3.5151	3.9901	30 214	164 587	134 372	30 214
<b>Totales</b>				<b>361 849</b>	<b>1 362 974</b>	<b>1 001 124</b>	<b>362 752</b>

<sup>+</sup>Relación beneficio costo = 3.77

decisiones que parecen económicamente racionales pueden ser ecológicamente insustentables como lo señalan Rees y Wakernagel (1999). En todos los escenarios, cuando hay exceso de capital y restricción de tierra, la diferencia de la relación beneficio-costo SE y CE es mínima, como si el efecto de las externalidades disminuyera por el aumento de capital cuando lo real es que aumenta por el uso intensivo del suelo (Cuadro 5). Bajo este concepto el aumento de la productividad a costa de los activos naturales se contabiliza como un aumento de los ingresos, pero en realidad constituye una pérdida de capital (Yurjevik, 1993).

Aunque en este trabajo se “internalizaron” las externalidades, es muy probable que algunos costos relacionados con el capital natural se hayan enmascarado, especialmente la degradación a mediano o a largo plazo de la tierra. De

cualquier manera, en un análisis RBC es muy complejo valorar todos los efectos; la simplificación en el número de variables provee de bases para análisis cuantitativos y discusiones posteriores (Yrjölä y Kola, 2001). Flores y Sarandón (2002) opinan que para avanzar hacia el logro de sistemas agroforestales sustentables es necesario incluir los costos de degradación del capital natural en el análisis económico.

Relación beneficio-costo como medida de riesgo. En el escenario desfavorable de rendimiento (Cuadro 3), la optimización del sistema tuvo una RBC de 3.77. Cuando se incluyó la restricción de una RBC mayor o igual a 5.00, como medida de riesgo, con las otras restricciones constantes, los resultados fueron diferentes (Cuadro 6).

Cuadro 4. Solución de optimización para capital máximo (\$ 43 004) y 12.0 ha de tierra, costos y beneficios totales y capital disponible por año, en el escenario desfavorable de rendimientos, sin considerar costos por externalidades<sup>+</sup>.

Año	Solución			Costo total (\$)	Utilidad bruta (\$)	Utilidad neta (\$)	Capital disponible (\$)
	Higo	Cebolla	Total				
1	11.3254	0.2383	11.5637	43 004	10 140	-32 864	43 004
2	11.3254	0.6746	12.0000	32 472	27 600	-4 872	41 350
3	11.3254	0.6746	12.0000	39 111	26 538	-12 573	39 759
4	11.3254	0.3995	11.7249	38 230	49 187	10 957	38 230
5	11.3254	0.3020	11.6274	36 760	92 896	56 136	36 760
6	11.3254	0.2044	11.5298	35 346	133 166	97 820	35 346
7	11.3254	0.0743	11.3997	33 986	184 255	150 269	33 987
8	11.3254	0.0976	11.4230	32 680	250 741	218 061	32 679
9	11.3254	0.0325	11.3579	31 422	267 081	235 658	31 422
10	11.3254	0.0000	11.3254	30 214	1 418 763	1 388 549	30 214
Totales				353 225	2 460 367	2 107 142	362 752

<sup>+</sup> Relación beneficio costo = 6.97

Cuadro 5. Resultados de la solución de optimización para los distintos escenarios sin considerar (SE) y considerando (CE) costos por externalidades.

Escenario	Restricciones	Solución	RBC		Diferencia
			SE	CE	
Desfavorable	Capital mínimo: \$ 14 202 Tierra: 4.0 ha	higo <sup>+</sup> cebolla	6.95	5.87	1.08
	Capital máximo: \$ 43 004 Tierra: 4.0 ha	cebolla <sup>+</sup> higo	3.77	3.57	0.20
	Capital máximo: \$ 43 004 Tierra: 12.0 ha	higo <sup>+</sup> cebolla	6.97	5.87	1.10
Promedio	Capital mínimo: \$ 14 202 Tierra: 4.0 ha	higo <sup>+</sup> cebolla	5.79	4.92	0.87
	Capital máximo: \$ 43 004 Tierra: 4.0 ha	cebolla <sup>+</sup> higo	4.11	3.80	0.31
	Capital máximo: \$ 43 004 Tierra: 12.0 ha	higo <sup>+</sup> cebolla	5.80	4.92	0.88
Favorable	Capital mínimo: \$ 14 202 Tierra: 4.0 ha	higo <sup>+</sup> cebolla	6.42	5.47	0.95
	Capital máximo: \$ 43 004 Tierra: 4.0 ha	cebolla <sup>+</sup> higo	5.00	4.60	0.40
	Capital máximo: \$ 43 004 Tierra: 12.0 ha	higo <sup>+</sup> cebolla	6.41	5.47	0.94

<sup>+</sup> Cultivo que se elige como primera opción.

Cuadro 6. Solución de optimización cuando se incluye como restricción la RBC, para capital máximo de \$ 43 004 y 4.0 ha de tierra, costos y beneficios totales y capital disponible por año en el escenario desfavorable de rendimientos, sin considerar externalidades<sup>+</sup>

Año	Solución			Costo total (\$)	Utilidad bruta (\$)	Utilidad neta (\$)	Capital disponible (\$)
	Higo	Cebolla	Total				
1	2.7060	1.2940	4.00	24 775	55 059	30 284	43 004
2	2.7060	1.2940	4.00	20 526	52 941	32 415	41 350
3	2.7060	1.2940	4.00	21 621	50 905	29 284	39 759
4	2.7060	1.2940	4.00	21 623	57 089	35 465	38 230
5	2.7060	1.2940	4.00	21 025	66 636	45 611	36 760
6	2.7060	1.2940	4.00	20 441	75 364	54 923	35 346
7	2.7060	1.2940	4.00	19 943	86 941	66 998	33 987
8	2.7060	1.2940	4.00	19 126	100 996	81 870	32 679
9	2.7060	1.2940	4.00	18 524	103 804	85 280	31 422
10	2.7060	1.2940	4.00	17 875	377 671	359 796	30 214
Totales				205 479	1 027 406	821 927	362 752

<sup>+</sup> Rendimiento beneficio costo = 5.00

Al comparar los datos de los Cuadros 3 y 6 se observa que con esta restricción se elige menor cantidad de superficie para el cultivo de cebolla y mayor para el higo durante los 10 años. Estos resultados muestran que al incluir la RBC como restricción, es posible reducir el riesgo de la inversión tanto como se requiera, a costa de disminuir la UN total al considerar que el riesgo es menor en los cultivos con mayor RBC que en los de menor relación.

El planteamiento económico convencional parte del supuesto implícito de que la naturaleza es infinita y se auto-reproduce. Sin embargo, cuando se toman en cuenta las externalidades provocadas por las distintas actividades productivas, se pone de manifiesto los costos que oculta el análisis convencional y por lo tanto la sobreestimación de la rentabilidad (Mundlak *et al.*, 1997). La producción agroforestal depende del medio físico y de las condiciones naturales, los precios tienen poco impacto inmediato y directo, más allá de las entradas y la elección de la tecnología, pero la tierra, que varía poco sobre el tiempo es un importante determinante de la producción (Murgai, 1999).

De acuerdo con Cacho (1999) la comprensión y estimación de la sustentabilidad y externalidades están en su infancia y hay mucho trabajo por hacer. Al no existir mercados para los servicios ambientales, los responsables de su producción no reciben compensación por los costos del suministro, y los responsables del empeoramiento o la eliminación no pagan los costos ambientales y sociales que suponen sus acciones. Los precios del mercado no reflejan los costos y beneficios "reales" por el uso de los recursos y contienen una información engañosa sobre la escasez de estos (Richards, 1999).

## CONCLUSIONES

El análisis realizado muestra que cuando hay restricción de capital se elige como primera opción al cultivo con la mayor relación beneficio costo (RBC) y cuando hay exceso de capital al de mayor utilidad neta (UN). Cuando la restricción es por tierra, la primera opción es el cultivo con la mayor UN y cuando hay exceso de tierra el cultivo con la mayor RBC. Con exceso de tierra o restricción de capital el modelo de optimización conduce a soluciones congruentes que reducen el riesgo de la inversión, al seleccionar como primera opción al cultivo con la mayor RBC. Con exceso de capital o restricción de tierra aumenta el riesgo de la inversión al elegir como primera opción al cultivo con la mayor UN, sin tomar en cuenta la RBC. La tierra y el capital no son recursos comparables; el exceso de capital conduce a soluciones óptimas absurdas y el exceso de tierra a soluciones congruentes. Los cultivos extensivos de higo y chapulixtle proporcionan una mayor RBC que

los cultivos intensivos de calabacita, melón y cebolla, por lo que ofrecen menor riesgo de inversión.

Los resultados de los escenarios de rendimiento desfavorable, promedio y favorable no mostraron diferencias evidentes, por lo que se sugiere utilizar valores promedio. Es posible reducir el riesgo de inversión cuando hay escasez de tierra y exceso de capital, al incluir como restricción en el modelo de optimización a la RBC y tomar como referencia la relación individual de los cultivos considerados. La estimación del efecto de las externalidades en los procesos de producción es una tarea compleja pues no todos pueden ser cuantificados; sin embargo, su estimación e inclusión podría ser parte de la solución para subsanar el impacto causado al medio, aun cuando se reduzca la UN y la RBC.

## BIBLIOGRAFÍA

- Cacho J O (1999)** Dynamic models, externalities and sustainability in agriculture. In: Working Paper Series in Agricultural and Resource Economics. University of New England. Armidale, Australia. 10 p.
- Camacho M F, K V González, O A Mancera (1993)** Guía Tecnológica para el Cultivo del Chapulixtle *Dodonaea viscosa* (L.) Jacq. Arbolito Útil para la Producción de Tutores Hortícolas, Control de Erosión y Setos Urbanos. Guía Tecnológica No. 1. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. México, D. F. 35 p.
- Castells N, G Munda (1999)** International environmental issues: Towards new integrated assessment approach. In: Valuation and Environment Theory, Method and Practice. M O'Connor y C Sphash (eds.). Edward Elgar, U.K. pp:309-327.
- Chang M Y (2001)** La economía ambiental. In: ¿Sustentabilidad? Desacuerdo sobre el Desarrollo Sustentable. N Pierri y G Foladori (eds.). Editorial Baltgráfica. Montevideo. pp:165-178.
- Chang Y L, R S Sullivan (1989)** QSB+ (Quantitative Systems for Business Plus). Versión 1.0: Software and Manual. Prentice Hall. New Jersey. 471 p.
- Dodson B (1994)** Weibull Analysis: with software. ASQC Quality Press. Milwaukee, Wisconsin. 256 p.
- Fisher A C (1981)** Resource and Environmental Economics. Cambridge University Press. Cambridge. UK. 304 p.
- Flores C C, S J Sarandón (2002)** ¿Racionalidad económica versus sustentabilidad ecológica? El ejemplo del costo oculto de la pérdida de fertilidad del suelo durante el proceso de agriculturización en la Región Pampeana Argentina. Revista de la Facultad de Agro-nomía, La Plata 105:52-67.
- INEGI (1999)** Anuario Estadístico del Estado de Morelos. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. México, D.F. 444 p.
- Lugo A E (2001)** El manejo de la biodiversidad en el siglo XXI. Inter-ciencia 26:484-490.
- Mundlak Y, D F Larson, R Butzer (1997)** The Determinants of Agricultural Production: a Cross-Country Analysis. World Bank Working Paper Series. The World Bank. Washington D.C. 40 p.
- Murgai R (1999)** The Green Revolution and the Productivity Paradox: Evidence from the Indian Punjab. Development Research Group. The World Bank. Washington, D.C. 25 p.
- Novelo G, M E G Soto, L G Osuna (1994)** Criterios Técnicos en la Evaluación de Proyectos. Boletín Informativo FIRA. México, D.F. 263: 1-44.

- Pretty J N, C Brett, D Gee, R E Hine, C F Mason, J I L Morison, H Raven, M D Rayment, G van der Bijl (2000)** An assessment of the total extern cost of UK agriculture. *Agricultural Systems* 65:113-136.
- Rees W E, M Wackernagel (1999)** Monetary analysis: turning a blind eye on sustainability. *Ecological Economics* 29:47-52.
- Richards M (1999)** Internalización de las Externalidades de la Silvicultura Tropical: Estudio de los Mecanismos Innovadores de Financiación e Incentivación. Informe no. 1 de la Unión Europea sobre Silvicultura Tropical. Overseas Development Institute. Comisión Europea. 41 p.
- SAGAR (1998)** Anuario Estadístico de la Producción Agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. Tomo I. México, D.F. 721 p.
- SAS (1993)** SAS Institute Inc., *SAS/STAT User's Guide, Version 6, Fourth Edition, Volume 2*, Cary, NC: SAS Institute Inc., 1989. 846 pp.
- Steiner A R, L McLaughlin, P Faeth, R R Janke (1995)** Incorporating externality costs into productivity measures: A case study using US agriculture. *In: Agricultural Sustainability. Economic, Environmental and Statistical Considerations*. John Wiley & Sons. New York. pp: 209-230.
- Trueba I (1995)** Formulación y Evaluación de Proyectos Empresariales. Mundi Prensa. Madrid-Barcelona-México. 248 p.
- Vitousek P M, H A Mooney, J Lubchenco, J M Melillo (1997)** Human domination of earth's ecosystems. *Science* 277:494-499.
- Yrjölä T, J Kola (2001)** Cost-benefit analysis of multifunctional agriculture in Finland. *Agricultural and Food Sci. Finland* 4:259-307.
- Yurjevik A (1993)** Marco conceptual para definir un desarrollo de base humano y ecológico. Agroecología y Desarrollo (CLADES, Santiago de Chile) 5-6:2-15.
- Zamudio-Sánchez, F J, E Serrano-Gálvez (1994)** Financial evaluation of traditional agroforestry systems in the Central Region of Mexico. *In: Opportunities for Agroforestry in the Temperate Zone Worldwide*: R C Schultz, J P Colletti (eds). Proc. Third North American Agroforestry Conference. Aug. 15-18, 1993. Iowa State University. Ames, IA. pp: 403-407.