

Economía Agraria y Recursos Naturales. ISSN: 1578-0732. Vol. 6, 11. (2006). pp. 81-108

Planificación multicriterio de explotaciones agrarias en áreas tropicales protegidas. El caso de la zona protectora Guanare-Masparro (Venezuela)

José Flores* y José A. Gómez-Limón**

RESUMEN: La presente investigación tiene como objetivo principal el desarrollo de una propuesta metodológica de planificación multicriterio con el fin de optimizar el uso de la tierra con fines agrarios en áreas protegidas tropicales. Para ello se han empleado las técnicas del Proceso Analítico Jerárquico (AHP) y la programación compromiso (PC), considerado objetivos de carácter económico, ambiental y social. La aplicación empírica desarrollada se ha centrado en un área protegida de Venezuela con tradicional vocación agraria. Los resultados de la planificación evidencia la existencia de importantes conflictos entre los objetivos planteados, así como la necesidad de la intervención pública para lograr un desempeño del sector agrario en concordancia con las soluciones compromiso calculadas.

PALABRAS CLAVE: Planificación agraria, Áreas protegidas, Proceso Analítico Jerárquico (AHP), Programación compromiso, Venezuela.

Clasificación JEL: Q25, Q15, C61.

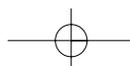
Multi-criteria planning of agricultural activities in rain-forest protected areas. The case of the Guanare-Masparro (Venezuela)

* Vice-rectorado de Producción Agrícola. Universidad Experimental de los Llanos Occidentales. Carrera 3 entre 16 y 17, Guanare. Estado de Portuguesa (Venezuela). *E-mail:* joseflores@cantv.net

** Departamento de Economía Agraria. E.T.S.II.AA. Palencia. Universidad de Valladolid. Avda. de Madrid, 57. 34071 Palencia. *E-mail:* limon@iaf.uva.es

Dirigir correspondencia a: José A. Gómez-Limón. *E-mail:* limon@iaf.uva.es

Recibido en marzo 2006. Aceptado en octubre 2006.



SUMMARY: This work has as main objective the development of a methodological approach for multi-criteria planning of agricultural land in rain-forest protected areas. For this purpose two main techniques have been used: the Analytic Hierarchy Process (AHP) and the Compromise Programming (CP), both employed in order to include into the analysis objectives from a triple point of view: economics, social and environmental. The methodological approach proposed has been implemented in a Venezuelan protected area, where agricultural activities have been historically the main source of income for its population. The results point out the existence of important conflicts between the objectives considered, showing the convenience of public intervention in order to promote a performance of agricultural sector according to the compromise solutions obtained.

KEYWORDS: Agricultural planning, Protected areas, Analytic Hierarchy Process, Compromise Programming, Venezuela.

JEL classification: Q25, Q15, C61.

1. Introducción y objetivos

El establecimiento de áreas protegidas (AP) en América Latina se fundamentó en doctrinas generadas en los países desarrollados, los cuales presentan características socioeconómicas muy diferentes. Como consecuencia del diferente contexto socio-económico y ecológico, estos instrumentos de protección ambiental han tenido unos efectos desiguales en el ámbito latinoamericano (Carey *et al.*, 2000; Parks *et al.*, 1998). Así, se evidencia cómo en este continente las AP están siendo sometidas, desde hace relativamente poco tiempo, a presiones ascendentes que generan la conversión de tierras boscosas tropicales a otros usos, que incluyen explotaciones agrarias y otras actividades económicas, generando un gran deterioro de la base de recursos naturales (Ponce, 1996; Infante, 1995; Carrillo y Sylva, 1994).

En estos ámbitos, el verdadero reto a que se enfrentan las AP donde se permiten legalmente las actividades agrarias, es el fomento de una agricultura sostenible, que considere su triple dimensión económica, social y ambiental. Este mismo reto es el que trata de abordar esta investigación. Con este propósito parece recomendable realizar un ejercicio de planificación que proporcione soluciones que puedan considerarse «sostenibles», en la medida que resulten óptimas en sentido de Pareto y equilibradas entre los diferentes criterios en conflicto. Así, cabe referirse a las AP como sistemas que contienen recursos escasos, susceptibles de usos alternativos que proveen múltiples bienes y servicios, y cuya planificación debe realizarse teniendo en cuenta simultáneamente diversos tipos de objetivos, generalmente en conflicto. En este sentido, se ha sugerido la aplicación de la Teoría de la Decisión Multicriterio como el marco teórico de análisis más adecuado (Tarp y Helles, 1995; Beinaty y Nijkamp, 1998). Efectivamente, las técnicas multicriterio han sido aplicadas exitosamente en multitud de aplicaciones empíricas en relación a la planificación del uso agrario del territorio, abarcando toda clase de entornos socio-económicos, ecológicos o normativos. Una revisión crítica de los trabajos más relevantes en esta línea puede encontrarse en Hayashi (2000).

En este contexto general la presente investigación pretende, en primer lugar, formular una metodología multicriterio concreta que permita la planificación de las actividades agrarias en AP. Esta propuesta metodológica se aplica además a un caso de estudio particular. Así, este trabajo se centra en las zonas de uso agropecuario de dos municipios pertenecientes a la zona protectora Guanare-Masparro (Venezuela), como caso típico donde se detecta la problemática socio-económica (pobreza, desempleo, exclusión social, migraciones, etc.) y agroambiental (erosión, pérdida de biodiversidad,...) características de las zonas tropicales latinoamericanas.

La modelización propuesta se orienta al logro de soluciones eficientes en procura del bienestar del conjunto de la sociedad, pero que muestren también un equilibrio entre los distintos criterios en conflicto (soluciones compromiso). De esta manera se pretende analizar las diferentes alternativas de uso óptimo del territorio desde la perspectiva pública. Con ello se confía en generar la información necesaria para que las instituciones encargadas de formular y ejecutar políticas de desarrollo agropecuario tomen las decisiones adecuadas (limitaciones legales, incentivos, etc.) al objeto de propiciar que los productores adopten sus decisiones privadas de forma compatible dichas soluciones óptimas.

2. El caso de estudio

La presente investigación se centra en los municipios Sucre y José Vicente de Unda (62.200 hectáreas en total), ubicados al noroeste del estado Portuguesa, en el occidente de Venezuela. Este territorio está habitado por 61.423 personas, localizados en su mayoría en su medio rural. Del total del territorio considerado, 43.931 ha (71% de la superficie) se consideran de uso agrario, poniendo de manifiesto la vocación agraria de la región.

La zona de estudio se encuentra incluida en la zona protectora Guanare-Masparro. Desde el punto de vista legal, las zonas protectoras comprenden áreas ubicadas en cuencas hidrográficas que ameritan un tratamiento especial debido a sus características, ubicación y condiciones, o que por encontrarse en zonas inmediatas a centros poblados, actúan como agentes reguladores del clima y de las aguas. La declaración de un territorio como zona protectora permite limitar legalmente el uso de la tierra en función de la conservación de bosques, suelo, agua y fauna, en procura del bienestar colectivo (MARNR, 1995).

En la zona protectora Guanare-Masparro se permiten diferentes tipos de actividades agrarias y forestales, conforme a su tradición agropecuaria. En cualquier caso cabe destacar que la economía actual de la zona depende principalmente de la producción cafetalera (Hidalgo, 1991; Fudeco, 1998). La escasa diversificación de la actividad agraria de los productores de esta región se debe, entre otras causas, al desconocimiento por parte de los productores de otras alternativas de producción agropecuarias o agroforestales técnica, económica y ambientalmente viables en la zona, y a la carencia de políticas de estímulo a la producción de otros cultivos. Las consecuencias negativas más relevantes de la predominancia del monocultivo del café para los productores son principalmente de tipo económico, tales como estacio-

nalidad de los ingresos y incremento del riesgo (existencia de periodos de mercados deprimidos, en los cuales se producen importantes pérdidas económicas). No obstante, también cabe reportar consecuencias no deseables desde una perspectiva social (alta estacionalidad del empleo, disminución de la calidad de vida, etc.) y ambiental (pérdida de la biodiversidad, aumento de la vulnerabilidad ecológica de los ecosistemas, etc.).

3. Propuesta metodológica de planificación agro-ambiental

En este apartado se presenta la propuesta metodológica denominada «*Planificación Agroambiental del Uso Sostenible de la Tierra*» (PLAUST), desarrollada para esta investigación al objeto de optimizar el uso de la tierra con fines agrarios dentro de las AP. A continuación se describen los puntos más relevantes de la misma, si bien las personas interesadas pueden ampliar la información al respecto en Flores (2006).

3.1. Definición del objetivo general

El objetivo de nivel más alto en la planificación planteada es el incremento del bienestar del conjunto de la sociedad (presente y futura). Este objetivo resulta ciertamente abstracto, por lo que se requiere su concreción tácita a través de objetivos operativos.

3.2. Selección de los objetivos operativos

Dado el objetivo general antes apuntado, en el proceso de planificación deben considerarse únicamente *objetivos públicos* (perseguibles por el conjunto de la colectividad), independientemente del conflicto que puedan plantear con los objetivos de carácter privado de los productores agrarios. De forma genérica, puede afirmarse que este tipo de objetivos ha de corresponderse con una visión multidimensional de la sostenibilidad, abarcando aspectos de carácter económico, social y ambiental.

Al objeto de seleccionar de forma concreta los objetivos operativos para la planificación planteada se ha seguido un procedimiento en dos etapas. En primer lugar se realizó una revisión de literatura, recopilando información tanto de los objetivos concretos utilizados en trabajos anteriores de planificación de las actividades agrarias (Hayashi, 2000), como de los estudios relacionados con la problemática y los principales condicionantes de la zona de estudio (Hidalgo, 1991; Hernández, 2000; Méndez, 2001). Con esta información, los autores hicieron una primera selección de posibles objetivos públicos a tener en cuenta en la zona de estudio, la cual, en una segunda etapa, fue debatida con un grupo de 16 personas representantes de los diferentes colectivos sociales involucrados en el proceso de planificación (personal técnico de las alcaldías, productores agrarios, extensionistas y representantes de grupos ambientalistas). Como resultado del correspondiente debate se pudieron consensuar los objetivos genéricos más relevantes para el caso de estudio. Asimismo, estas dis-

cusiones permitieron establecer los *proxies* operativos más adecuados en cada caso desde una perspectiva pragmática, teniendo en cuenta la disponibilidad real de información. Estos objetivos operativos, que serían los que finalmente deberían tenerse en cuenta en las fases de modelización, son los que a continuación se exponen.

El objetivo económico seleccionado ha sido la maximización del crecimiento económico y de la riqueza de la zona de estudio. No obstante, el *proxy* operativo de tal objetivo genérico que se ha seleccionado para la presente investigación ha sido la *maximización del valor actual de los flujos caja* (VAN) de las fincas ubicadas en la zona de estudio. La formulación empleada para el cálculo de dicho objetivo es la siguiente:

$$VAN = \sum_{t=1}^N \left(\frac{FC_t}{(1+k)^t} - I_0 \right) \quad [1]$$

donde:

- FC_t : flujos de caja por ha en el año t de la propuesta agroproductiva (en unidades monetarias).
- k : tasa de descuento (en tanto por uno).
- I_0 : inversión inicial (en unidades monetarias).
- t : periodo de tiempo (año).
- N : periodo máximo de planificación (número de años).

El objetivo social que se consideró de mayor importancia en la zona analizada ha sido la equidad social, es decir, un reparto más igualitario de la riqueza. Como *proxy* de este objetivo se ha planteado la *maximización de la mano de obra* ocupada en labores agrarias¹. Este atributo de mano de obra se obtiene mediante la fórmula siguiente:

$$MO = \sum_{i=1}^I M\sigma_i X_i \quad [2]$$

donde:

- MO : número total de jornales requeridos en la finca.
- MO_i : número de jornales/ha de la alternativa agroproductiva i .
- X_i : número de hectáreas dedicadas a la alternativa de producción i .

El objetivo de tipo ambiental consensuado ha sido el mantenimiento de la base de recursos disponibles, como elemento básico del desarrollo sostenible. Sin embargo, a diferencia de los anteriores objetivos económicos y sociales, se consideró que este objetivo ambiental genérico no tiene un único *proxy* adecuado. Por ello ha sido necesario elegir algunos cuya optimización lleve apareada el mantenimiento de los recursos planteado. Así, entre la multitud de objetivos operativos factibles, se han pro-

¹ Cabe señalar que el uso de este *proxy* de la equidad social no es neutro, sino que puede introducir algún sesgo en favor de las alternativas de cultivo más intensivas en el uso de mano de obra, en comparación con aquellas más intensivas en capital o tecnología. En todo caso puede asumirse que este tipo de sesgos derivados de la selección de los objetivos operativos no son especialmente relevantes para este caso de estudio.

puesto finalmente el empleo de la *maximización del Índice Protección a la Biodiversidad (IPB)* y la *minimización de la erosión hídrica* como objetivos operativos en este trabajo.

Para el cálculo del *IPB* se ha seguido la formulación propuesta por Cuyno *et al.* (2000), ya definido para una zona tropical. Para ello se estima previamente el eco-rating de pesticidas (*ERP*), cuya fórmula es:

$$ERP_{ij} = I_{ij} \times i.a_{ij} \times C_{ij} \quad [3]$$

donde:

ERP_{ij} : Eco-rating del pesticida j en el cultivo i .

I_{ij} : puntuación del impacto sobre la biodiversidad del pesticida j en función de la toxicidad para el cultivo i .

$i.a_{ij}$: % de ingrediente activo (i.a) de la pesticida j para el cultivo i .

C_{ij} : cantidad promedio de unidades del pesticida j por ha (litros o kilogramos por hectárea), aplicada durante N años del periodo planificado para el cultivo i .

Luego, el *IPB* se estima mediante la fórmula siguiente:

$$IPB_i = 1/ERP_i \quad [4]$$

donde el IPB_i es el Índice de Protección a la Biodiversidad del cultivo i .²

Finalmente, para la minimización de la erosión hídrica se ha empleado la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) propuesta por Wischmeier y Smith (1978):

$$E = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad [5]$$

donde:

E : pérdida de suelo (ton/ha/año).

R : factor hídrico.

K : erosionabilidad de los suelos.

L : pendiente del terreno.

S : orografía del terreno.

C : tipo de cubierta protectora.

P : prácticas empleadas en la conservación de los suelos.

² La utilización de este *proxy* también podría ser criticable porque no tiene en cuenta la influencia de la variedad o la homogeneidad de los cultivos resultantes de la programación sobre la biodiversidad. No obstante, se ha considerado este objetivo operativo como el más adecuado cuando en el caso de estudio analizado, habida cuenta de la información disponible y la limitación de recursos disponibles para la investigación (Falconer, 2002). En cualquier caso, el lector interesado puede encontrar más información sobre las diferentes alternativas de medición de la biodiversidad en Brouwer y Crabtree (1997).

3.3. Caracterización agroambiental de la zona y de sus sistemas de producción

Para la caracterización de la zona de estudio se han elaborado mapas que permitan visualizar los usos actuales y potenciales de las explotaciones agrarias. Con ello se pretende determinar áreas homogéneas con una base de recursos naturales homogénea. La clasificación de las áreas con similar potencial productivo también permite identificar las alternativas agronómicamente más eficientes en cada una de ellas, que serán posteriormente las que se considerarán como variables de decisión para determinar en los óptimos perseguidos.

En la zona protectora en estudio se permite legalmente el uso agropecuario en todas aquellas áreas que son consideradas como propicias para tales actividades. Dichas áreas fueron clasificadas según la fragilidad de la tierra por Hidalgo (1991) en: (a) áreas extremadamente frágiles (13.026 ha, 14,9% de la superficie agraria total), consideradas como «muy malas» para la explotación agrícola, (b) áreas fuertemente frágiles (53.382 ha, 61,2%), calificadas agronómicamente como «malas», (c) áreas moderadamente frágiles (11.714 ha, 13,4%), agronómicamente «regulares» y, finalmente, (d) áreas estables (9.086 ha, 10,4%), «buenas» desde un punto de vista agronómico. Todas estas áreas abarcan subáreas o unidades agroecológicas menores que cuentan con un mayor grado de homogeneidad edafoclimática.

El último censo agropecuario realizado en la zona reportó un total de 5.925 fincas ubicadas, que se reparten entre las diferentes áreas agroecológicas del AP según se observa en el cuadro 1.

CUADRO 1
Superficie promedio y total de la población de fincas por zonas agroecológicas

Áreas agroecológicas	Superficie de fincas (ha)			N.º de fincas	%
	Media	Suma	%		
Buena	9,15	1.400,65	3,56	153	2,58
Regular	7,87	1.022,80	2,60	130	2,19
Mala	7,05	28.065,04	71,42	3.980	67,17
Muy mala	5,30	8.806,35	22,41	1.662	28,05
Total		39.294,84	100,00	5.925	100,00

Fuente: Ministerio de Agricultura y Cría (MAC), 1998. VI Censo Agrícola del Estado Portuguesa.

En cualquier caso, cabe reseñar que la aplicación empírica realizada se ha basado exclusivamente las explotaciones existentes en el área estable («buena»), como aquellas con mayor potencialidad para la producción agronómica. Así, la población objeto de estudio se centra en las correspondientes 153 fincas (1.400 ha, el 3,6% del territorio considerado), a manera de experiencia piloto que pueda posteriormente ampliarse al resto de áreas agroecológicas. Las características estructurales básicas de estas fincas se resumen en el cuadro 2.

CUADRO 2
Variables de las fincas del área agroecológica «buena»

Variable	N	Media	Des. típ.	Mínimo	Máximo
Superficie total de la finca (ha)	153	9,15	22,26	0,60	200,00
Superficie con montes (ha)	153	4,10	18,92	0,00	194,50
Superficie con pastos (ha)	153	0,52	3,35	0,00	37,70
Cultivos permanentes (ha)	153	3,89	5,72	0,00	50,00
Superficie en proceso de siembra (ha)	153	0,10	0,36	0,00	2,00
Tierras cultivadas (ha)	153	4,87	6,53	0,50	50,00
Número de bovinos	153	1,67	6,13	0,00	50,00
Número de aves	153	8,54	18,13	0,00	150,00
Número de porcinos	153	0,42	2,00	0,00	23,00
Mano de obra fija (jornales)	153	2,39	1,77	0,00	11,00
Mano de temporal (jornales)	153	4,51	8,91	0,00	100,00

Fuente: Ministerio de Agricultura y Cría (MAC), 1998. VI Censo Agrícola del Estado Portuguesa.

Considerando únicamente las explotaciones ya comentadas, se realizó una tipificación de las mismas³. Con tal propósito, en un primer lugar, se aplicó el análisis de componentes principales (ACP) a los datos estandarizados de las diversas variables estructurales referidas en el cuadro 2⁴, al objeto de reducir la dimensionalidad del problema y facilitar el análisis de la variabilidad interna de la población analizada. De manera más concreta, cabe indicar que esta técnica se empleó utilizando el método de rotación varimax al objeto de facilitar la interpretación de los factores resultantes, extrayendo únicamente aquellos componentes o factores con autovalores mayores a la unidad.

La adecuación de los datos utilizados a esta técnica estadística se comprobó a través de la medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin ($KMO = 0,584$) y de la prueba de esfericidad de Bartlett, cuya significación en el caso de estudio permite rechazar la hipótesis nula que implica la no correlación entre las variables consideradas ($\chi^2 = 1.627,1$; 45 g.d.l.; p -valor $< 0,0001$). Finalmente, siguiendo el procedimiento antes referido se pudieron extraer 4 factores, que en conjunto explican más del 75% de la varianza total de los datos⁵.

En una segunda fase, los 4 componentes provenientes de ACP se emplearon como variables tipificadoras en un análisis cluster (AC). El proceso se inició aplicando un cluster tipo jerárquico (conglomeración por el método de Ward empleando la distan-

³ Para una explicación en detalle sobre la teoría y la praxis de las técnicas estadística utilizadas para dicha tipificación (análisis de componentes principales y análisis cluster), pueden consultarse, entre otros, a Hair *et al.* (2000) o Peña (2002).

⁴ La estandarización de estas variables se realizó mediante su transformación en puntuaciones de la curva normal Z [Z es $N(0,1)$]. Con ello se evita el problema de la diferente dimensionalidad de las variables utilizadas.

⁵ Para una información completa de los resultados del ACP realizado (matriz de componentes, interpretación de los factores extraídos, etc.), el lector interesado puede consultar el trabajo de Flores (2006).

cia euclídea al cuadrado), a fin de determinar el número de grupos apropiado para la tipología planteada. Con los resultados de este primer análisis cluster se pudieron representar los coeficientes de proximidad de la matriz de formación de grupos, permitiendo identificar el correspondiente punto de inflexión, que se ajustó en nuestro caso con la partición en 6 conglomerados. Posteriormente se procedió a emplear este número de grupos en un análisis cluster tipo k -medias, dando como resultado algunos grupos de tamaño mínimo (con uno o dos fincas), y otros con muchos individuos. Para superar la acentuada desproporción de los grupos se repitió el procedimiento con el análisis cluster tipo k -medias, disminuyendo el número de conglomerados hasta obtener grupos menos dispares⁶. Así finalmente se optó por considerar únicamente 3 tipos de explotaciones.

3.4. Selección de las alternativas de producción viables

Para el desarrollo de los modelos se han identificado las actividades productivas a evaluar, considerando los cultivos que están siendo explotados actualmente, así como aquellos que son potencialmente aptos en la zona de estudio. Las superficies dedicadas a cada una de estas actividades productivas tomadas individualmente conforman las *variables de decisión* a considerar en los modelos de planificación. En concreto, los cultivos a evaluar en este trabajo son: cambur, maíz, plátano, quinchoncho, tomate, café, guanábana y aguacate.

La utilización de tales variables de decisión en los modelos a desarrollar requiere el conocimiento de los procesos técnicos, económicos y ambientales involucrados en la producción y la comercialización de tales alternativas, incluyendo cualquier otro tipo de condicionantes que pueda incidir como restricción. En esta línea se ha estimado los coeficientes de las funciones objetivo (tablas A.1, A.2 y A.3 del Anexo) y de las restricciones técnicas y económicas del sistema de producción (tabla A.4 del Anexo).

3.5. Estimación de las preferencias sociales para la planificación

Como ya se ha apuntado, el objeto de la planificación propuesta es mejorar el nivel de bienestar de la sociedad local. Tal circunstancia exige necesariamente que el ejercicio de planificación sea el reflejo de una preferencia colectiva, que represente al sentir del conjunto de la sociedad analizada. Para la estimación de este tipo de preferencias colectivas existen numerosos métodos, más o menos válidos de acuerdo con el conjunto de supuestos razonables de elección social expuestos por Arrow (1951). Muchos de ellos se citan en Ramanathan y Ganesh (1994). De todos ellos, para esta investigación se ha optado por emplear una metodología basada en el Proceso Analítico Jerárquico (AHP), ideado inicialmente por Saaty (1980) como técnica de ponde-

⁶ Para una información completa sobre el proceso de realización del AC, el lector interesado puede consultar el trabajo de Flores (2006).

ración de los objetivos para decisores individuales, pero extendida posteriormente como herramienta válida para estimación de preferencias colectivas en los procesos de decisión en grupos (Easley *et al.*, 2000).

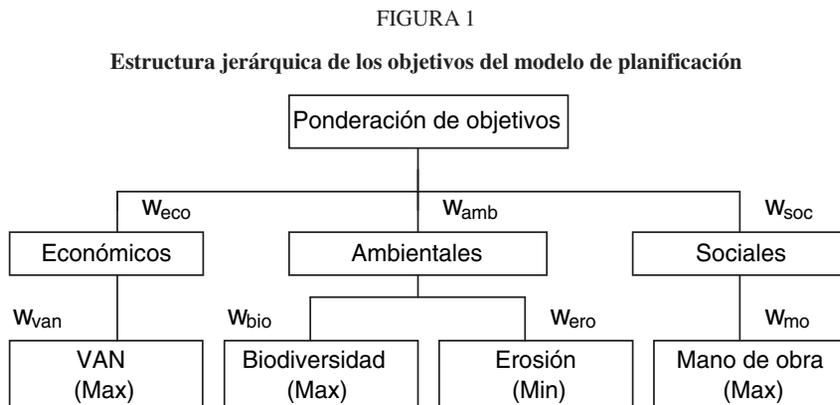
Dentro del marco del AHP, hay dos métodos para la agregación de las preferencias individuales y la consecuente obtención de preferencias colectivas: el método de la media geométrica, y el método de la media aritmética ponderada (Ramanathan y Ganesh, 1994). Para esta aplicación empírica se ha optado por la segunda opción, habida cuenta que es la que satisface en mayor medida los axiomas básicos de la Teoría de la elección social. Este método de la media aritmética ponderada consiste básicamente en considerar la opinión de diferentes individuos representativos de la colectividad (miembros de los distintos grupos de interés involucrados), para posteriormente obtener las preferencias colectivas ponderando sus diferentes preferencias individuales por el peso o la importancia asignado a cada uno de ellos.

Bajo este esquema general, en este apartado se expone de manera sintética la técnica del AHP y su empleo para obtención de preferencias individuales, para posteriormente explicar el mecanismo seguido para la estimación de las preferencias colectivas.

3.5.1. La técnica del AHP

Se han identificado asimismo los grupos de actores involucrados en el proceso de planificación (alcaldía, productores, extensionistas y ambientalistas), y se han seleccionado las personas representativas de los mismos (4 por cada grupo).

El AHP es una técnica multicriterio que se basa, como su propio nombre indica, en el planteamiento jerárquico de los objetivos considerados para la toma de decisiones. En nuestro caso, como se deduce de lo apuntado anteriormente, la aplicación del AHP responde a la estructura siguiente:



Planteado así el problema, la obtención de ponderaciones a través del AHP se realiza mediante la comparación por pares de los distintos criterios de un mismo nivel jerárquico. Estas comparaciones se realizan sobre la base de una escala numérica de 1 a 9, tal y como se muestra en el cuadro 3.

CUADRO 3
Escala verbal y numérica para comparación pareada del AHP

Valor numérico	Escala verbal
1	Ambos criterios tienen igual importancia.
3	El criterio preferido tiene una importancia ligeramente superior al otro.
5	El criterio preferido tiene una importancia moderadamente superior al otro.
7	El criterio preferido tiene una importancia muy superior al otro.
9	El criterio preferido tiene una importancia absoluta respecto al otro.
2, 4, 6, 8	Valores intermedios para juicios de valor contiguos.

Fuente: Saaty (1980).

Las comparaciones pareadas a realizar generan unas matrices de dimensión $n \times n$, donde cada uno de los elementos representa la medida subjetiva que proporciona el actor sobre la importancia relativa del criterio i frente a j . Los juicios relativos generados por las comparaciones pareadas de criterios (o alternativas) se pueden expresar en una matriz de la forma siguiente:

$$A = \begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{bmatrix} \quad [6]$$

A esta matriz cuadrada de comparaciones por pares de los n criterios o subcriterios de un mismo nivel jerárquico se le suele llamar matriz de Saaty, donde sus elementos representan ratios (o razones) de comparación en términos de la escala del método AHP ($A = a_{ij} = w_i/w_j$).

Esta matriz presenta dos propiedades fundamentales: (a) que su diagonal principal está formada por unos ($a_{ii} = 1$ para todo i), y (b) que se trata de una matriz en que se verifica la reciprocidad en las comparaciones por pares (si $a_{ij} = x$, entonces $a_{ji} = 1/x$).

En el caso de perfecta consistencia en los juicios emitidos por el actor involucrado en la toma de decisiones debería cumplirse que $a_{ik} \times a_{kj} = a_{ij}$ para todo i, j y k . Esto ocurre porque las comparaciones pareadas son ratios (o razones) entre las ponderaciones asignadas a los correspondientes criterios (o subcriterios) por un actor considerado perfectamente racional: $a_{ij} = w_i/w_j$ para todo i y j . Así, en el caso de que ocurra una perfecta consistencia en los juicios emitidos por el actor, las n ponderaciones (w_i) de cada criterio (o subcriterio) podrían ser determinadas con facilidad partiendo de los $n(n-1)/2$ valores de a_{ij} que éste ha declarado. Sin embargo, en el mundo real, sólo en muy pocos casos los actores involucrados en la toma de decisiones son perfectamente consistentes en sus juicios, debido a la subjetividad inherente

al ser humano. Por esta razón lo común es que las matrices de Saaty ($A = a_{ij}$) presenten cierto nivel de inconsistencia, en cuyo caso la estimación del vector de prioridades (w) más representativo de las ponderaciones reales del decisor se puede obtener por diferentes técnicas. Saaty (2003) propone el método del vector propio principal (eigenvector), mientras otros autores han propuesto técnicas alternativas como la programación por metas (Bryson, 1995) y regresiones (Laininen y Hämäläinen, 2003). Los resultados obtenidos por las diferentes técnicas de estimación pueden diferir, sin embargo, no se reporta la supremacía total de alguna de ellas sobre las demás (Fichtner, 1986). Por este motivo, en la presente investigación se emplea el método del vector propio principal (véase Saaty, 1980), como procedimiento más frecuentemente empleado en las aplicaciones empírica de esta técnica multicriterio.

3.5.2. Estimación de las preferencias colectivas

De cara a obtener las preferencias colectivas del conjunto de la sociedad analizada se optó por identificar, tal y como se ha comentado, a los grupos sociales involucrados en el proceso de planificación: la alcaldía, los productores, los extensionistas y los ambientalistas. A continuación se seleccionaron una serie de actores representativos de cada uno de estos colectivos. En el caso de los grupos de la alcaldía y los extensionistas, se seleccionaron a todos los técnicos implicados en la planificación de las actividades agrarias en la zona (4 actores en cada caso). Para los productores y ambientalistas, grupos mucho más numerosos, se optó por seleccionar aquellos que ocupaban algún puesto representativo en las diferentes asociaciones existentes. Finalmente, entre estos se eligieron igualmente a 4 actores para representar a cada uno de estos colectivos.

Establecidos así los actores más relevantes del proceso de planificación, en primer lugar se obtuvieron sus preferencias individuales en relación a los diferentes objetivos a través del AHP antes descrito. En una segunda etapa se agregaron por grupos los pesos otorgados por cada individuo a dichos objetivos, utilizando para ello la media aritmética (Gass y Rapcsák, 1998 y Forman y Peniwati, 1998). Los valores promedios así obtenidos pueden considerarse representativos del sentir general de cada colectivo analizado⁷. En tercer lugar, se procedió a estimar el peso que debería asignarse a cada grupo para el cálculo de la síntesis final de preferencias. Para ello se utilizó el método desarrollado por Ramanathan y Ganesh (1994), consistente en la aplicación de la misma técnica del AHP para la ponderación de la importancia que cada actor representativo otorga a cada uno de los grupos de interés implicados en el proceso, y su posterior agregación por el método de la media aritmética. Finalmente, en una cuarta fase, se calculó un único vector de preferencias en relación a los objeti-

⁷ La obtención de valores promedio representativos de los diferentes grupos a partir de únicamente 4 individuos puede criticarse de un punto de vista estadístico. No obstante, la cuidada selección de los representantes (realmente representativos del sentir del colectivo al que pertenecen), así como el pequeño tamaño poblacional de la mayoría de los grupos (todos a excepción de los productores), permite afirmar que los valores agregados resultantes pueden considerarse una aproximación adecuada a los «verdaderos» pesos promedio de los distintos colectivos analizados.

vos. Para ello se obtuvieron las correspondientes medias de los pesos otorgados a los diferentes objetivos por cada grupo ponderados por la importancia asignada a cada uno de dichos grupos. El resultado de este vector final de preferencias puede considerarse un reflejo adecuado de la opinión del conjunto de la sociedad local analizada y, por tanto, es el que debe emplearse en la modelización posterior.

3.6. Generación de estrategias eficientes de producción agraria

El procedimiento seguido en esta investigación para la obtención de estrategias eficientes de producción es la modelización a través de la programación compromiso (PC). La PC se fundamenta en el axioma de Zeleny (Zeleny, 1974, 1976), el cual establece que dadas dos soluciones posibles en el espacio de los objetivos f^1 y f^2 , la solución preferida será aquella que se encuentre más próxima al punto ideal. El grado de proximidad de la solución al punto ideal para cada atributo de los vectores del conjunto eficiente puede establecerse por la fórmula siguiente:

$$d_j = \frac{|f_j^* - f_j(x)|}{|f_j^* - f_{*j}|} \quad [7]$$

donde:

- j : número de atributos de cada vector.
- f_j^* : valor ideal del atributo j -ésimo.
- f_{*j} : valor antiideal del atributo j -ésimo.
- $f_j(x)$: valor del atributo para cada vector del conjunto eficiente.
- $|f_j^* - f_{*j}|$: factor de normalización para homogeneizar las variables⁸.

El grado de proximidad normalizado está acotado entre 0 y 1, y por ello, cuando un objetivo alcanza su valor ideal su grado de proximidad es cero, y cuando alcanza su valor antiideal su grado de proximidad es uno. Una vez normalizados los atributos, se procede a incorporar las preferencias de los actores involucrados en los procesos de toma de decisiones. Estas preferencias (w_j) reflejan la importancia relativa que estos actores asocian a la discrepancia existente entre la realización de cada objetivo y su valor ideal. Así, la fórmula para incorporar las preferencias es la siguiente:

$$d_j = w_j \frac{|f_j^* - f_j(x)|}{|f_j^* - f_{*j}|} \quad [7]$$

Para la optimización de las distancias de los diferentes atributos a sus valores ideales se emplea la fórmula general siguiente:

⁸ Conviene aclarar que esta forma de normalizar los valores de los objetivos asume implícitamente un comportamiento lineal de los mismos. Si bien este supuesto puede ser discutible, existen estudios que verifican que la aproximación lineal es una simplificación razonable para este tipo de problemas (Edwards, 1977; Dawes, 1979; Hardaker *et al.*, 1997; Amador *et al.*, 1998).

$$\text{Min } L_p = \left[\sum w_j^p \left| \frac{f_j^* - f_j(x)}{f_j^* - f_{*j}} \right|^p \right]^{1/p} \quad [9]$$

sujeto a:

$$X \in F$$

Con esta fórmula se genera la familia L_p de funciones de distancia, que varían desde la métrica L_1 , también llamada distancia Manhattan, hasta la métrica L_∞ , denominada distancia Tchebycheff. Para problemas con dos objetivos, las soluciones de las demás métricas están contenidas en el subconjunto acotados por L_1 y L_∞ (Yu, 1973). Para el caso de más de dos objetivos pueden existir métricas diferentes de $p = 1$ y $p = \infty$, que no están contenidas en el intervalo delimitado por L_1 y L_∞ (Freimer y Yu, 1976). Sin embargo, la literatura reporta esta situación como poco probable en la práctica.

El lector interesado en profundizar en la teoría y la práctica de la técnica PC, tal y como se ha empleado en este trabajo, puede consultar, entre otros, los trabajos de Alonso e Iruretagoyena (1989), Romero (1993) o Barba-Romero y Pomerol (1997).

La modelización basada en la PC desarrollada en la presente investigación se ha realizado por separado para cada uno de los 3 tipos de fincas resultantes de la tipificación de explotaciones en cada una de las 5 unidades agroecológicas pertenecientes al área agroecológica considerada como agrónomicamente «buena». Se maximizaron los objetivos valor actual neto (VAN), mano de obra (MO) y biodiversidad (IPB), y se minimizó el objetivo erosión (E), sujetos a restricciones de recursos, económicas, de mercado y de autoconsumo. Planteados así los modelos (15 modelos en total; 3 fincas tipo \times 5 unidades agroecológicas), se determinaron las métricas L_1 , L_∞ y cuatro métricas intermedias de la solución compromiso (L_2 , L_3 , L_4 y L_5), a fin de generar soluciones alternativas que busquen conciliar objetivos en conflicto en una AP.

Para más información sobre el desarrollo completo de los modelos en que se apoya esta investigación puede consultarse a Flores (2006).

4. Resultados

4.1. Tipología de explotaciones

Mediante las técnicas de análisis multivariante antes descritas se caracterizaron 3 tipos de fincas representativas de aquéllas situadas en el área considerada como agrónomicamente «buena». Las características promedio de cada explotación tipo pueden apreciarse en el cuadro 4.

CUADRO 4
Valores promedios de las variables estructurales para los 3 tipos de explotaciones del área agroecológica «buena»

Variables	Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3	
	\bar{x}	\bar{x}/ha	\bar{x}	\bar{x}/ha	\bar{x}	\bar{x}/ha
Superficie total de la finca (ha)	6,2	1,0	11,4	1,0	11,0	1,0
Superficie con montes (ha)	2,0	0,3	4,6	0,4	1,4	0,1
Superficie con pastos (ha)	3,7	0,6	4,4	0,4	2,3	0,2
Cultivos permanentes (ha)	3,6	0,6	4,3	0,4	1,6	0,1
Superficie en proceso de siembra (ha)	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Tierras cultivadas (ha)	4,0	0,6	6,6	0,6	9,2	0,8
Número de bovinos	0,1	0,0	0,0	0,0	14,4	1,3
Número de aves	6,3	1,0	28,3	2,5	17,2	1,6
Número de porcinos	0,1	0,0	2,8	0,2	0,5	0,0
Mano de obra fija (jornales)	2,4	0,4	2,5	0,2	2,3	0,2
Mano de temporal (jornales)	3,8	0,6	18,4	1,6	1,5	0,1
Número de fincas		130		8		11

El grupo 1 (*Tipo I*) está formado por numerosas fincas pequeñas, que representan el 87,2% del total de fincas, y cuya característica más relevante es su intensa orientación al monocultivo de café. Dado este plan de cultivos predominante, estas explotaciones demandan el nivel más alto de mano de obra, principalmente fija. Este grupo se puede denominar como el de las fincas *predominantemente cafetaleras*.

El grupo 2 (*Tipo II*), aunque es el menos numeroso (5,4% de la población analizada), está conformado por las fincas más grandes, mostrando una moderada tendencia al monocultivo de café, que se combina con otros cultivos anuales. Se puede afirmar que presenta un sistema de producción mixto, siendo el mayor criador de especies pecuarias menores como aves y cerdos. Tiene el mayor nivel de demanda de mano de obra temporal. Este grupo se puede denominar como el de las fincas de *producción agropecuaria o mixta*.

El grupo 3 (*Tipo III*) está integrado por fincas ligeramente más pequeñas que las del *Tipo II*, y muestra una menor tendencia a la explotación de café. Se puede afirmar que presentan un sistema de producción mixto con una fuerte orientación pecuaria, ya que es el mayor criador de bovinos. Por este motivo, más de la mitad de la superficie de las fincas está destinada a pastos. También se crían de forma complementaria algunas especies menores. Este sistema de producción presenta el menor nivel de demanda de mano de obra. Este tercer grupo se puede denominar como el de las fincas de *producción predominantemente pecuaria*.

4.2. Estimación de las preferencias de los actores involucrados en la planificación

Aplicando la técnica del AHP a los 16 individuos considerados representativos de los cuatro grupos implicados en la planificación, se han podido obtener las corres-

pondientes ponderaciones individuales de los objetivos considerados (véase columnas 2 a 5 del cuadro 5), así como la importancia atorgada por estos mismos individuos a cada uno los cuatro grupos de interés (véase columnas 6 a 9 del cuadro 5).

CUADRO 5
Pesos preferenciales de los actores involucrados en la toma de decisiones respecto a los objetivos y a los grupos

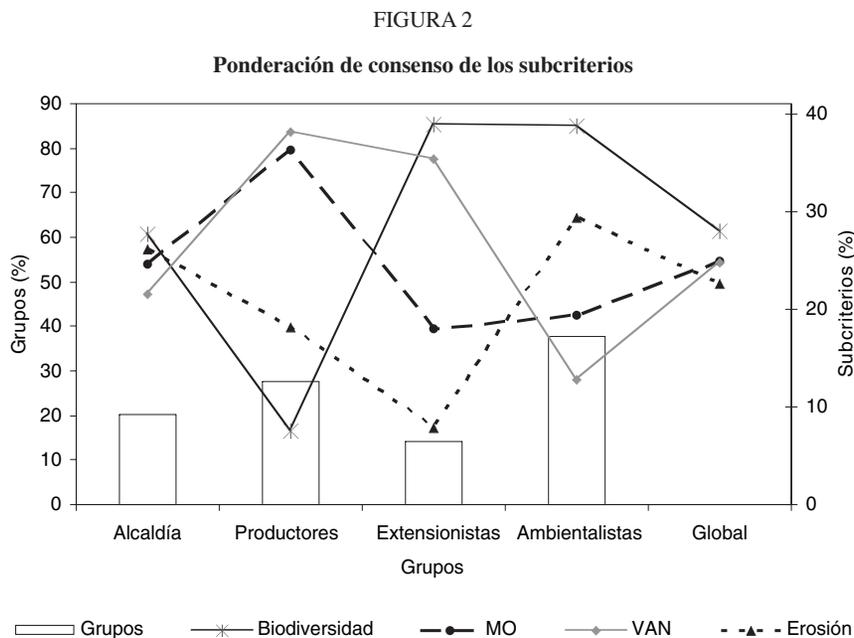
Actor	Objetivos				Grupos			
	VAN	Biodiversidad	Erosión	MO	Alcaldía	Productores	Extensionistas	Ambientalistas
Alcaldía n.º 1	0,286	0,381	0,190	0,143	0,198	0,122	0,079	0,601
Alcaldía n.º 2	0,333	0,222	0,111	0,333	0,280	0,116	0,140	0,465
Alcaldía n.º 3	0,163	0,405	0,135	0,297	0,189	0,119	0,066	0,626
Alcaldía n.º 4	0,079	0,101	0,608	0,212	0,591	0,100	0,045	0,264
Productor n.º 1	0,272	0,010	0,057	0,661	0,045	0,702	0,077	0,177
Productor n.º 2	0,072	0,104	0,522	0,301	0,231	0,641	0,093	0,035
Productor n.º 3	0,517	0,021	0,104	0,359	0,153	0,461	0,262	0,124
Productor n.º 4	0,661	0,167	0,042	0,131	0,085	0,618	0,080	0,218
Extensionista n.º 1	0,193	0,584	0,117	0,106	0,153	0,241	0,234	0,372
Extensionista n.º 2	0,550	0,210	0,030	0,210	0,204	0,093	0,375	0,328
Extensionista n.º 3	0,184	0,501	0,083	0,232	0,058	0,175	0,270	0,497
Extensionista n.º 4	0,484	0,262	0,087	0,168	0,481	0,091	0,251	0,177
Ambientalista n.º 1	0,167	0,444	0,222	0,167	0,095	0,297	0,062	0,546
Ambientalista n.º 2	0,196	0,493	0,164	0,147	0,058	0,271	0,105	0,566
Ambientalista n.º 3	0,079	0,473	0,236	0,212	0,088	0,250	0,055	0,606
Ambientalista n.º 4	0,069	0,137	0,550	0,244	0,316	0,143	0,081	0,459

Nota: La razón de inconsistencia fue menor de 20% en todos los casos.

Así, se ha podido obtener igualmente los valores medios de los pesos para cada grupo en relación a los objetivos analizados, tal y como se aprecia en la figura 2. Se observa que cada uno de estos grupos, como es lógico, otorgan a los diferentes objetivos ponderaciones dispares. Tal circunstancia pone de relieve la conflictividad del vector de objetivos entre los diferentes grupos implicados.

Asimismo se han obtenido las ponderaciones agregadas de la importancia de los diferentes colectivos implicados en la planificación siguiendo el procedimiento antes descrito. Los resultados evidencian cómo los grupos involucrados en el proceso de toma de decisiones difieren significativamente en importancia (ver figura 2). Así, el grupo considerado más importante en la toma de decisiones es el ambientalista (37,9%), seguido de los productores (27,7%), la alcaldía (20,2%) y los extensionistas (14,2%).

Teniendo en cuenta los resultados anteriores, se han estimado finalmente las ponderaciones de consenso (ver última columna de la figura 2, «Global»). Los valores



resultantes para estas ponderaciones tendieron al equilibrio, oscilando entre 22,5% que recibió la erosión como criterio menos preferido, y 27,9% que se le asignó a la biodiversidad. En segundo lugar quedó la mano de obra (24,9%), y en tercer lugar el VAN (24,8%).

4.3. Optimización de los diferentes criterios de planificación: las matrices de pagos

Para cada finca tipo considerada (15 en total: 3 explotaciones tipo por 5 unidades agroecológicas menores), se obtuvo la correspondiente matriz de pagos. A partir de dichas matrices individuales se determinó posteriormente la matriz de pagos agregada (ver cuadro 6), calculada teniendo en cuenta la importancia relativa de cada finca tipo (participación de cada una de esas fincas en el total de hectáreas de la muestra).

CUADRO 6
Matriz de pagos agregada para los objetivos optimizados

Objetivos	VAN (MMBs)	MO (Jornales)	Biodiversidad (IPB × 1.000)	Erosión (1.000 t)
VAN	138,1	446,3	83,2	12,8
Mano de obra	44,8	614,0	61,1	16,5
Biodiversidad	95,0	328,9	136,6	13,9
Erosión	127,8	410,8	52,3	10,4

Nota: MMBs significa millones de bolívares.

De la observación de esta matriz de pagos agregada se destaca que no hay objetivos redundantes (objetivos que se optimicen conjuntamente). Al evaluar el nivel de conflictividad entre los objetivos, se evidencia que la optimización del objetivo del VAN está en fuerte conflicto con la mano de obra, mientras que en relación a la biodiversidad dicho conflicto cabe calificarse como moderado. Por su parte, el objetivo de mano de obra genera un elevado nivel de conflicto con el de biodiversidad, y en menor grado con el de erosión. De forma similar, la optimización de la biodiversidad refleja un elevado nivel de conflictividad con el objetivo de erosión.

En el cuadro 7 se presenta la distribución porcentual de los cultivos generada por la optimización individual de los diferentes objetivos.

CUADRO 7
Distribución de cultivos asociada a la matriz de pagos agregada (en % de superficie)

Objetivo optimizado	Cambur	Maíz	Plátano	Quinchoncho	Tomate	Café	Guanábana	Aguacate
VAN	46,08	6,92	0,69	4,15	6,92	0,00	0,00	35,24
Mano de obra	0,69	44,71	0,69	12,69	6,92	21,22	0,00	13,07
Biodiversidad	88,10	6,92	0,69	4,15	0,14	0,00	0,00	0,00
Erosión	21,17	6,92	0,69	13,83	0,14	0,00	13,83	43,42

4.4. Evaluación del conjunto de objetivos a través de la PC

Haciendo uso de la PC, y empleando para ello el vector de pesos agregada de los objetivos, se han obtenido las soluciones óptimas para cada finca tipo representativas correspondientes a las métricas L_1 , L_2 , L_3 , L_4 , L_5 y L_∞ . Los correspondientes resultados pueden observarse en el cuadro 8.

Lógicamente, los resultados varían significativamente por finca tipo. En todo caso se va a considerar el caso de la finca tipo I de la unidad agroecológica A23 como ejemplo ilustrativo. Para este caso concreto merece la pena comparar las soluciones extremas del conjunto compromiso (soluciones L_1 y L_∞). Así, se puede observar como la solución para la métrica L_1 permite lograr el 99,0% del ideal del VAN, el 65,5% de la mano de obra óptima, el 62,5% de la biodiversidad máxima alcanzable y se excede en un 9,2% el ideal de la erosión. Esta solución resulta bastante favorable para los intereses de los productores, en la medida que el objetivo con mayor porcentaje de logro coincide con su primera prioridad particular (maximización del VAN). En cualquier caso cabe reseñar que esta métrica, a pesar de pertenecer al conjunto compromiso, resulta bastante desequilibrada en el nivel de logro de los objetivos. Por su parte, la solución correspondiente a la métrica L_∞ proporciona una solución más equilibrada desde la perspectiva de la política pública, ya que ningún grupo satisface plenamente sus expectativas a costa de otros. Sin embargo, el promedio de las desviaciones con respecto a los ideales de esta métrica es de un 31,0%, valor sensiblemente superior al de L_1 , que con un 20,6% resulta más eficiente (menores desviaciones en los niveles de logro de los ideales en todos los objetivos).

CUADRO 8

Valores alcanzados por las funciones objetivos para varias métricas en los 3 tipos de finca evaluados en las 5 unidades agroecológicas analizadas

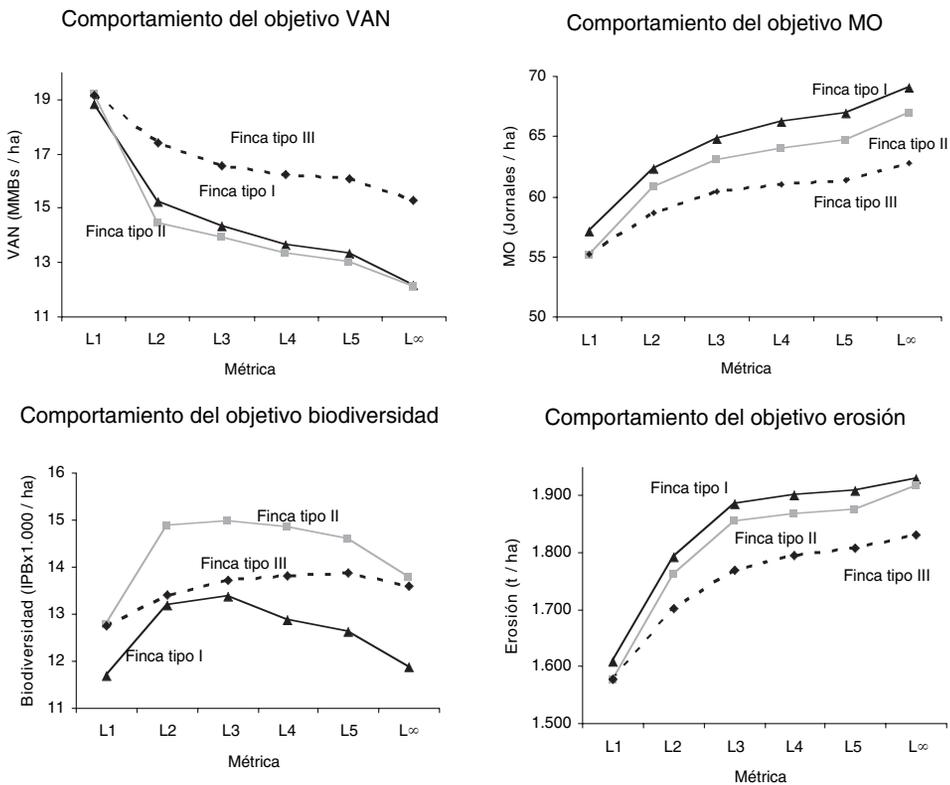
Tipo de finca	Métrica y % de logro	Objetivos							
		VAN (MMBs)	MO (Jornales)	Biodiversidad (IPB × 1.000)	Erosión (1.000 t)				
					Unidades agroecológicas				
				A23	A24	A25	A26	A27	
I	L ₁	116,7	353,8	72,5	10,0	11,3	20,7	3,7	2,8
	%	99,0	65,5	62,5	109,2	109,2	109,2	109,2	109,2
	L ₂	94,3	386,5	81,8	11,1	12,6	23,1	4,1	3,1
	%	80,0	71,5	70,5	121,7	121,7	121,7	121,7	121,7
	L ₃	88,9	402,0	82,9	11,7	13,2	24,3	4,3	3,3
	%	75,4	74,4	71,4	128,1	128,1	128,1	128,1	128,1
	L ₄	84,7	410,6	79,8	11,8	13,3	24,5	4,3	3,3
	%	71,8	76,0	68,8	129,1	129,1	129,1	129,1	129,1
	L ₅	82,6	415,0	78,3	11,8	13,4	24,6	4,4	3,3
	%	70,0	76,8	67,5	129,6	129,6	129,6	129,6	129,6
L _∞	75,5	428,3	73,7	12,0	13,5	24,9	4,4	3,3	
%	64,1	79,2	63,5	131,0	131,0	131,0	131,0	131,0	
II	L ₁	218,8	628,5	145,8	18,0	20,3	37,4	6,6	5,0
	%	99,5	65,2	66,3	104,9	104,9	104,9	104,9	104,9
	L ₂	164,4	692,4	169,6	20,1	22,7	41,8	7,4	5,6
	%	74,7	71,8	77,1	117,2	117,2	117,2	117,2	117,2
	L ₃	158,3	719,1	170,7	21,2	23,9	44,0	7,8	5,9
	%	72,0	74,6	77,6	123,5	123,5	123,5	123,5	123,5
	L ₄	152,1	728,8	169,2	21,3	24,1	44,3	7,8	5,9
	%	69,1	75,6	76,9	124,3	124,3	124,3	124,3	124,3
	L ₅	148,1	736,9	166,2	21,4	24,2	44,5	7,9	6,0
	%	67,3	76,5	75,6	124,8	124,8	124,8	124,8	124,8
L _∞	138,3	762,7	157,0	21,9	24,7	45,5	8,0	6,1	
%	62,9	79,1	71,4	127,6	127,6	127,6	127,6	127,6	
III	L ₁	211,0	607,3	140,1	17,3	19,6	36,1	6,4	4,8
	%	99,4	71,9	66,1	105,1	105,1	105,1	105,1	105,1
	L ₂	191,3	644,4	147,6	18,7	21,1	39,0	6,9	5,2
	%	90,2	76,3	69,6	113,4	113,4	113,4	113,4	113,4
	L ₃	182,4	664,1	150,8	19,5	22,0	40,5	7,2	5,4
	%	86,0	78,7	71,1	117,9	117,9	117,9	117,9	117,9
	L ₄	178,9	671,4	152,1	19,7	22,3	41,1	7,3	5,5
	%	84,3	79,5	71,7	119,5	119,5	119,5	119,5	119,5
	L ₅	177,0	675,2	152,8	19,9	22,5	41,4	7,3	5,5
	%	83,4	80,0	72,1	120,4	120,4	120,4	120,4	120,4
L _∞	168,1	691,2	149,5	20,1	22,8	41,9	7,4	5,6	
%	79,2	81,9	70,5	122,0	122,0	122,0	122,0	122,0	

Si bien los resultados anteriores se corresponden únicamente a una finca tipo (tipo I de la unidad A23), en el resto de casos particulares el análisis de las soluciones extremas del conjunto compromiso puede explicarse en los mismos términos que los apuntados anteriormente.

Para analizar los valores de las soluciones del conjunto compromiso, parece oportuno igualmente comparar los niveles de logros de los objetivos por hectárea obtenidos en las diferentes soluciones compromiso, tal y como se observa en la figura 3.

FIGURA 3

Comportamiento de los objetivos para varias métricas en los 3 tipos de finca



Observando el nivel de logro de los diferentes casos analizados para el objetivo del VAN, se observa que los 3 tipos de fincas presentan la misma tendencia decreciente cuando las estrategias de producción se desplazan de la métrica L_1 a L_∞ . La finca tipo III presenta los niveles de logro más altos en todas las métricas. Por otra parte, la tendencia de los niveles de logro por hectárea de la mano de obra en los tres tipos de fincas crece al desplazar las estrategias de producción de la métrica L_1 a L_∞ . La finca tipo III presenta niveles de logro más altos que las demás en todas las métricas.

Al analizar la evolución de los niveles de logro de protección a la biodiversidad en los tres tipos de finca, se observa que la finca tipo II supera a las demás en eficiencia, pero se asemeja a la finca tipo I al presentar la misma tendencia creciente en el nivel de logro de este objetivo, cuando las estrategias de producción se mueven desde la métrica L_1 a L_3 , para luego decrecer hasta L_∞ . La finca tipo III muestra una tendencia creciente en eficiencia, salvo en el punto L_∞ , donde declina ligeramente. Por último cabe reseñar que el comportamiento de los niveles de logro del objetivo erosión en los tres tipos de fincas presenta la una tendencia decreciente en el nivel de logro de este objetivo, cuando las estrategias de producción se desplazan de la métrica L_1 hasta la métrica L_∞ . La finca tipo III es la más eficiente, seguida de la finca tipo II.

En relación al conjunto compromiso obtenido, parece también relevante comentar los planes óptimos de cultivos resultantes, tal y como aparecen en el cuadro 9.

En los tres tipos de fincas, la métrica L_1 asigna niveles subsistencia a las producciones de plátano, maíz, quinchoncho y tomate, pero ninguno de los cultivos con tope de producción alcanza la restricción impuesta por el mercado. Esta métrica promueve el cultivo de cambur como el más importante, especialmente en las fincas tipo II y III, destinando más de la mitad de sus superficies a su explotación. Las soluciones para esta misma métrica hacen del aguacate el segundo lugar en importancia, con una significativa participación en el plan de cultivos en todos los tipos de finca, particularmente en la finca tipo I. Finalmente, cabe señalar que las soluciones L_1 en los diferentes tipos de finca generan la distribución de cultivos menos diversificada de todos los planes de producción, excluyendo por completo los cultivos de café y guanábana.

Por su parte, la métrica L_∞ solamente mantiene en niveles de producción de subsistencia al cultivo del plátano (también el maíz en la finca tipo I). Con esta métrica, únicamente el tomate alcanza el máximo nivel de producción que le permite el mercado, en los casos de las fincas tipo II y III. Al igual que en la métrica anterior, también el cambur constituye el cultivo con mayor participación en el plan de siembras, particularmente en las fincas tipo II y III, donde se explotaría en más de la mitad de la finca. También, la métrica L_∞ asigna el segundo lugar en el plan de cultivos al aguacate, pero solamente en la finca tipo III, ya que en demás tipos de finca este lugar le corresponde al cultivo de café, que es incorporado al plan de siembras en todos los tipos de finca. Por ello, el plan de cultivos con la métrica L_∞ incorpora más cultivos (sólo excluye la guanábana) y, también, es más equilibrado que el generado por la métrica anterior (presenta una menor desviación típica).

Al desplazarse desde la métrica L_1 hasta la métrica L_∞ destaca el hecho que la guanábana no entra en ninguno de esos planes de producción. Igualmente, se observa que el cultivo de café aumenta su participación en los planes de cultivo de todos los tipos de finca, pero sin alcanzar la superficie destinada actualmente a la producción de este cultivo en esos tipos de finca. Por otra parte, las cosechas de plátano y maíz son destinados al autoconsumo en cualquiera de las soluciones y tipos de finca, con una excepción para el caso del último cultivo en la métrica L_∞ de las fincas tipo II y III. La explotación del cambur se destina al comercio en todas métricas, siendo el principal cultivo en los 3 tipos de finca evaluados.

La producción de tomate es destinada al autoconsumo únicamente en las métricas L_1 y L_2 en el caso de la finca tipo I, y solamente en la primera métrica en los demás ti-

CUADRO 9

Planes óptimos de cultivos para varias métricas de la solución compromiso en los 3 tipos de finca

Finca tipo	Métrica	Cultivos (ha)								σ
		Cambur	Maíz	Plátano	Quinchoncho	Tomate	Café	Guanábana	Aguacate	
I	L ₁	2,84	0,50	0,05	0,30	0,01	0,00	0,00	2,50	
	%	45,87	8,06	0,81	4,84	0,16	0,00	0,00	40,26	19,1
	L ₂	3,49	0,50	0,05	0,30	0,01	0,55	0,00	1,30	
	%	56,35	8,06	0,81	4,84	0,16	8,82	0,00	20,96	19,0
	L ₃	3,42	0,50	0,05	0,32	0,31	0,61	0,00	0,99	
	%	55,22	8,06	0,81	5,12	5,02	9,88	0,00	15,89	18,0
	L ₄	3,25	0,50	0,05	0,48	0,31	0,69	0,00	0,92	
	%	52,38	8,06	0,81	7,76	5,04	11,08	0,00	14,86	16,9
	L ₅	3,16	0,50	0,05	0,56	0,31	0,73	0,00	0,89	
	%	50,95	8,06	0,81	9,10	5,06	11,70	0,00	14,32	16,3
II	L ₂	2,89	0,50	0,05	0,82	0,31	0,85	0,00	0,78	
	%	46,59	8,06	0,81	13,30	4,96	13,73	0,00	12,55	14,8
	L ₁	6,29	0,50	0,05	0,30	0,01	0,00	0,00	4,25	
	%	55,14	4,39	0,44	2,63	0,09	0,00	0,00	37,32	21,4
	L ₂	7,60	0,50	0,05	0,30	0,23	1,18	0,00	1,53	
	%	66,70	4,39	0,44	2,63	2,02	10,38	0,00	13,45	22,4
	L ₃	7,67	0,50	0,05	0,30	0,50	1,33	0,00	1,05	
	%	67,27	4,39	0,44	2,63	4,39	11,64	0,00	9,25	22,5
	L ₄	7,58	0,50	0,05	0,45	0,50	1,45	0,00	0,88	
	%	66,45	4,39	0,44	3,91	4,39	12,70	0,00	7,72	22,2
III	L ₅	7,40	0,50	0,05	0,60	0,50	1,52	0,00	0,82	
	%	64,95	4,39	0,44	5,29	4,39	13,32	0,00	7,22	21,6
	L _∞	6,55	0,96	0,05	0,79	0,50	1,64	0,00	0,91	
	%	57,43	8,43	0,44	6,97	4,39	14,38	0,00	7,97	18,7
	L ₁	6,02	0,50	0,05	0,30	0,01	0,00	0,00	4,12	
	%	54,73	4,55	0,45	2,73	0,09	0,00	0,00	37,45	21,3
	L ₂	6,44	0,50	0,05	0,30	0,26	0,44	0,00	3,01	
	%	58,54	4,55	0,45	2,73	2,40	3,97	0,00	27,36	20,6
	L ₃	6,61	0,50	0,05	0,30	0,42	0,64	0,00	2,48	
	%	60,13	4,55	0,45	2,73	3,79	5,77	0,00	22,58	20,5
III	L ₄	6,69	0,50	0,05	0,30	0,47	0,71	0,00	2,28	
	%	60,79	4,55	0,45	2,73	4,28	6,50	0,00	20,70	20,6
	L _∞	6,73	0,50	0,05	0,30	0,50	0,76	0,00	2,17	
	%	61,16	4,55	0,45	2,73	4,52	6,88	0,00	19,71	20,6
	L ₂	6,45	0,62	0,05	0,47	0,50	0,91	0,00	1,99	
	%	58,64	5,62	0,45	4,31	4,55	8,29	0,00	18,13	19,5

pos de finca. Este cultivo no alcanza el límite de superficie impuesto por el mercado en la finca tipo I, pero sí lo logra en las métricas L_3 a L_∞ para el caso de la finca tipo II y en las métricas L_5 y L_∞ en la finca tipo III.

Al incrementar la métrica disminuye el porcentaje de participación del cultivo de aguacate en los planes agronómicos de los tres tipos de finca, aunque permanece como el segundo cultivo más importante en las fincas tipo I y III, con la excepción de la métrica L_∞ en el primer tipo de finca. En la finca tipo II este cultivo deja de ser el segundo en importancia a partir de la métrica L_3 , pero la caída de su participación es compensada, en parte, por el incremento de la participación del café, lo que mantiene a los cultivos leñosos con una importante cuota en todas las métricas y tipos de finca.

Considerando el plan de cultivos promedio de todas las soluciones compromiso obtenidas a través de la PC (ver cuadro 10), se observa cómo las estrategias de producción implican una reducción muy significativa de la superficie actualmente sembrada de café para la finca tipo I, que del 56,5% se reduciría al 9,2%, y en menor grado en la finca tipo II que bajaría del 37,7% al 10,4%. En la finca tipo III disminuiría de 10,9% al 5,2%, que representaría la menor reducción de la plantación de café de los tres tipos de finca.

CUADRO 10

Promedio de los porcentajes de participación de los cultivos en los planes de producción de las 6 métricas estimadas para cada tipo de finca

Finca tipo	Cambur	Maíz	Plátano	Quinchoncho	Tomate	Café	Guanábana	Aguacate
I	51,2	8,1	0,8	7,5	3,4	9,2	0,0	19,8
II	63,0	5,1	0,4	4,0	3,3	10,4	0,0	13,8
III	59,0	4,7	0,5	3,0	3,3	5,2	0,0	24,3

5. Conclusiones

La planificación de actividades agrarias en el seno de las AP debe considerar en todo caso condicionantes locales de tipo económico, social y ambiental. En este sentido, la presente investigación ha desarrollado una propuesta metodológica multicriterio que permite obtener soluciones eficientes teniendo en cuenta tales condicionantes, al objeto de apoyar los procesos de toma de decisiones relativas al diseño de las políticas públicas en relación al sector agrario.

La aplicación empírica de esta metodología se ha realizado una zona protectora concreta (Guanare-Masparro) destinada a la conservación de bosques, suelo, agua y fauna. En dicha zona, donde se permite legalmente el desarrollo de actividades agrarias, el principal problema que se plantea es compatibilizar tales actividades con los distintos objetivos públicos en conflicto. Efectivamente, el interés de las autoridades, como representantes de la sentir del conjunto de la sociedad, es que el sector agrario contribuya a generar riqueza y empleo, a la par que promueva la sostenibilidad ambiental de la zona.

El resultado final de la investigación realizada ha sido una serie de soluciones compromiso donde se alcanzan en la medida de lo posible el conjunto de los objetivos públicos planteados, minorándose el conflicto existente entre los mismos. Estas soluciones deben interpretarse como ideales de desempeño del sector agrario de la zona desde una perspectiva pública. Alcanzar tales ideales debería considerarse como el objetivo a perseguir por la política agraria a nivel local, ya que las decisiones privadas regidas únicamente por las leyes del mercado en ningún caso se aproximaría a este tipo de soluciones compromiso (óptimos sociales), tal y como se ha evidenciado en el presente trabajo. En este contexto, futuros trabajos debería abordar el tema del diseño de los instrumentos más adecuados para conseguir tales soluciones compromiso. Si bien este tema se aleja de los objetivos concretos del presente trabajo, en esta línea pueden adelantarse una serie de directrices generales:

- Al igual que se ha propuesto en el presente trabajo en relación a la determinación de los objetivos públicos y su ponderación, el diseño de instrumentos de política concretos deberían someterse a debate y la participación de los grupos implicados en la planificación, al objeto de minimizar en lo posible futuros conflictos durante la aplicación de los mismos (p.e. incumpliendo de las normas), que podrían restar efectividad a las políticas orientadas a mejorar el bienestar colectivo.
- Entre los posibles instrumentos a estudiar para la intervención pública en el sector al objeto de fomentar la adopción de los óptimos sociales obtenidos, se pueden proponer *a priori* los siguientes: *a)* medidas reguladoras de carácter obligatorio que, en la medida de lo posible, eviten que los productores realicen actividades agrarias no sostenibles (limitación de los cultivos herbáceos a zonas con bajas pendientes, limitación de la dosis máximas de fertilizantes y fitosanitarios, etc.), *b)* incentivos económicos que promocionen determinados tipos de producción agraria (subvenciones directas a cultivos y prácticas compatibles ambientalmente) o penalicen el uso excesivo de los insumos, y *c)* programas de formación de los productores, donde se fomente el uso sostenible del territorio, capacitándolos para la introducción de nuevos cultivos y técnicas agrarias ecompatibles.
- Cualquier instrumento de política agraria a implantar debería tener en cuenta la diversidad de explotaciones existentes. Así, se podrían definir instrumentos generales con especificaciones en su aplicación en función de las características particulares de las explotaciones y sus titulares, o bien definir instrumentos concretos para tipos particulares de explotaciones.

Por último, cabe señalar que el diseño de los instrumentos concretos de la política agraria supone una ardua tarea en el contexto latinoamericano, en la medida que se trata de una zona donde las administraciones públicas tienen un poder limitado, habida cuenta de sus limitaciones presupuestarias (escasez que se traduce en la imposibilidad práctica de financiar incentivos económicos a la producción o de ejercer un adecuado control de las medidas reguladoras) y las elevadas presiones políticas a las que se ven sometidos, dada la fragilidad de las estructuras sociales existentes. Ambas circunstancias explican el escaso éxito de la intervención pública en este sentido en el pasado, y es muy probable que en el futuro continúen siendo el cuello de botella para el desarrollo de este tipo de políticas.

Bibliografía

- Alonso, R. e Iruretagoyena, M.T. (1989). «Los métodos multicriterio en la programación de actividades agrarias». *Comunicaciones INIA: serie economía*, 29:17-49.
- Amadr, F., Sumpsi, J.M. y Romero, C. (1998). «A non-interactive methodology to assess farmers' utility functions: an application to large farms in Andalusia, Spain». *European Review of Agricultural Economics*, 25:92-109.
- Arrow, K.J. (1951). *Social choice and individual values*. Wiley. New York.
- Barba-Romero, S. y Pomerol, J. (1997). *Decisiones multicriterio. Fundamentos técnicos y utilización práctica*. Colección Economía. Universidad de Alcalá. Alcalá de Henares.
- Beinat, E. y Nijkamp, P. (1998). *Multicriteria analysis for land-use management*. Kluwer Academic Publisher. Dorechter.
- Brouwer, F. y Crabtree, B. (1997). *Environmental indicators and agricultural policy*. CAB Internacional. Wallingford.
- Bryson, N. (1995). «A goal programming method for generating priority vectors». *Journal of the Operational Research Society* 46: 641-648.
- Carey, C., Dudley, Y. N. y Stolton, S. (2000). *Squandering Paradise? The importance and vulnerability of the world's protected areas*. WWF-World Wide Fund For Nature. Zurich.
- Carrillo, G. y Silva, C. (1994). *Áreas silvestres protegidas y comunidades locales de América Latina*. FAO/PNUMA, Santiago de Chile.
- Cuyvo, L., Norton, G. y Rola, A. (2000). *Economic analysis of environmental benefits of integrated pest management: A Philippine case study*. <http://www.ag.vt.edu/ipmcrsp/papers/ph2000wr.pdf>. [Consultado el 18 de enero de 2004].
- Dawes, R.M. (1979). «The robust beauty of improper linear models in decision making». *American Psychology*, 34:571-582.
- Easley, R.F.; Valacich, J.S. y Venkataramanan, M.A. (2000). «Capturing group preferences in a multicriteria decision». *European Journal of Operational Research*, 125:73-83.
- Edwards, W. (1977). «Use of multiattribute utility measurement for social decision making», en D.E. Bell, R.L. Keeney y H. Raiffa (eds.): *Decisions*. John Wiley & Sons. Chichester.
- Falconer, K. (2002). «Pesticide environmental indicators and environmental policy». *Journal of Environmental Management* 65: 285-300.
- Fichtner, J. (1986). «On deriving priority vectors from matrices of pairwise comparisons». *Socio-Economic Planning Science*, 20:341-345.
- Flores, J.O. (2006). *Planificación multicriterio de explotaciones agroganaderas en zonas protegidas tropicales. Propuesta de aplicación a la zona protectora Guanare-Masparro, Venezuela*. Tesis doctoral. Universidad de Valladolid.
- Forman, E. y Peniwati, K. (1998). «Aggregating individual judgments and priorities with the Analytic Hierarchy Process». *European Journal of Operational Research*, 108:165-169.
- Freimer, M. y Yu, P. (1976). «Some new results on compromise solutions for group decision problems». *Management Science*, 22:688-693.
- FUDECO (1998). *Análisis estratégico de la caficultura en el estado Portuguesa*. FUDECO. Guanare (Venezuela).
- Gass, S.I. y Rapsack, T. (1998). «A note on synthesizing group decisions». *Decision Support Systems* 22: 59-63.
- Hair, F.J., Anderson, R.E., Tatham, R.L. y Black, W.C. (2000). *Análisis Multivariante*. Prentice Hall. Madrid.
- Hardhaker, J.B., Huirne, R.B.M. y Anderson, J.R. (1997). *Coping with risk in agriculture*. CAB Internacional. Wallingford.

- Hayashi, K. (2000). «Multicriteria analysis for agricultural resource management: A critical survey and future perspectives». *European Journal of Operation Research* 122: 486-500.
- Hernández, E. (2000). *Diversificación de la economía cafetalera*. Ministerio de Ciencia y Tecnología-FONAIAP. Táchira (Venezuela).
- Hidalgo, O. (1991). *Estudio de las variables físico naturales, sociales y económicas relevantes al ordenamiento del territorio de la cuenca alta y media del río Guanare*. Tesis MSc. Postgrado en Recursos Naturales Renovables, Universidad Ezequiel Zamora. Guanare (Venezuela).
- Infante, A. (1995). «Las instituciones forestales venezolanas ante la deforestación». *Seforven* 12: 30-35.
- Laininen, P. y Hämäläinen, R. (2003). «Analyzing AHP-matrices by regression». *European Journal of Operational Research* 148: 514-524.
- MARNR, Ministerio de los Recursos Naturales Renovables (1995). *Balance Ambiental de Venezuela 1994-95*. Ministerio de los Recursos Naturales Renovables, Caracas.
- Méndez, G. (2001). *Propuesta de Ordenamiento Ambiental del Municipio Sucre, estado Portuguesa*. Tesis MSc. Postgrado en Recursos Naturales Renovables, Universidad Ezequiel Zamora. Guanare (Venezuela).
- Parks, J., Barbier, E. y Burguess, J. (1998). «The economics of forest land use in temperate and tropical areas». *Environmental and Resource Economics*, 11(3-4):473-487.
- Peña, D. (2002). *Análisis de datos multivariantes*. McGraw-Hill. Madrid.
- Ponce, C. (1996). *Políticas, estrategias y acciones para la conservación de la biodiversidad biológica en los sistemas andinos de áreas protegidas*. FAO/PNUMA. Santiago de Chile.
- Ramanathan, R. y Ganesh, L. (1994). «Group preference aggregation methods employed in AHP: An evaluation and an intrinsic process for deriving members' weightages». *European Journal of Operational Research*, 79:249-265.
- Romero, C. (1993). *Teoría de la decisión multicriterio: Conceptos, técnicas y aplicaciones*. Alianza Universidad. Madrid.
- Saaty, T. (1980). *The analytic hierarchy process*. McGraw-Hill. Nueva York.
- Saaty, T. (2003). «Decision-making with the AHP: Why is the principal eigenvector necessary?» *European Journal of Operational Research*, 145:85-91.
- Tarp, P. y Helles, F. (1995). «Decision-Making in Forest Management Planning Multi-Criteria - An Overview». *Journal of Forest Economics* 1(3): 273-306.
- Wischmeier, W. y Smith, D. (1978). «Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning». *Agriculture Handbook*, 537:1-59.
- Yu, P. (1973). «A class of solution for group decision problems». *Management Science*, 19:936-946.
- Zeleny, M. (1974). «A concept of compromise solution and the method for displaced ideal programming». *Computers and Operation Research* 1: 479-496.
- Zeleny, M. (1976). *The theory of the displaced ideal*. Springer-Verlag. Berlín.

ANEXOS

ANEXO A.1

VAN y mano de obra de los cultivos

Cultivo	VAN (1.000 × Bs/ha)	MO (n.º jornales)
Cambur	14.638,1	43,4
Maíz	145,2	61,0
Plátano	21.615,4	52,0
Quinchoncho	1.001,4	60,0
Tomate	25.992,6	138,0
Café	476,1	143,9
Guanábana	10.659,7	26,1
Aguacate	29.401,0	71,3

Nota: se empleó una tasa de descuento de 6% y un periodo de 15 años.

ANEXO A.2

Índice de Protección a la Biodiversidad (IPB) de los cultivos

Cultivo	Pesticida	Impacto	% i.a.	Dosis l/ha	Años uso pesticida	Ecorating	Total Ecorating	IPB × 1.000
Quin- choncho	Prowl	1	33,0	3	15	99,0	421,8	2,370
	Gramoxone	4	17,4	3	15	208,8		
	Sistemín	3	38,0	1	15	114,0		
Tomate	Inisan	5	55,0	0,2	15	55,0	534,2	1,871
	Dithane M45	1	80,0	1	15	80,0		
	Gramoxone	4	17,4	2	15	139,2		
	Manzate	1	80,0	2	15	160,0		
	Cobrex	1	50,0	2	15	100,0		
Maíz	Pirinex	4	45,8	0,3	15	55,0	67,0	14,934
	Decis	4	10,0	0,3	15	12,0		
Café	Round up	1	41,0	2,00	2	10,9	293,4	3,407
	Furadan	4	10,0	3,00	15	120,0		
	Lebaycid	3	50,0	0,75	15	112,5		
	Cobrex	1	50,0	1,00	15	50,0		
Guaná- bana	Malathion 50E	3	50,0	1,5	15	225,0	345,0	2,898
	Dithane M45	1	80,0	1,5	15	120,0		
Aguacate	Roundup	1	41,0	2,00	3	16,4	391,4	2,554
	Benlate OD	1	50,0	3	15	150,0		
	Malathion 50E	3	50,0	1,5	15	225,0		
Plátano y cambur							50,0	20,000

Nota: Dado que el plátano y el cambur no requieren del uso de pesticidas, el valor del ecorating ha sido asignado arbitrariamente de manera que sus IPB sean los mayores.

ANEXO A.3

Pérdidas estimadas de suelos (t/ha/año) por cultivo y unidades agroecológicas

Cultivo	Unidades de suelo				
	A23	A24	A25	A26	A27
Cambur	1.865,8	2.108,5	3.883,5	686,2	520,1
Maíz	3.097,2	3.500,1	6.446,7	1.139,1	863,4
Plátano	1.865,8	2.108,5	3.883,5	686,2	520,1
Quinchoncho	2.462,8	2.783,2	5.126,3	905,8	686,5
Tomate	4.664,4	5.271,2	9.708,8	1.715,5	1.300,3
Frutales	895,6	1.012,1	1.864,1	329,4	249,7

ANEXO A.4

Restricciones de mercado y autoconsumo, y coeficientes de ingreso mínimo y financiamiento para los 3 tipos de fincas evaluados

Propuestas agroproductivas	Restricción mercado* (ha)	Restricción autoconsumo* (ha)	Coefficientes para estimar ing. min. (1.000 × Bs)	Coefficientes para financiamiento (1.000 × Bs)
Quinchoncho	1,0	0,30	181,7	527,5
Tomate	0,5	0,01	2.910,8	1.669,8
Maíz		0,50	90,2	636,9
Plátano		0,05	2.453,6	1.679,3
Cambur		0,05	1.689,8	1.105,5
Café	3,5; 4,3; 1,2**		537,0	3.151,5
Guanábana	1,0		1.395,1	1.233,1
Aguacate			4.055,5	2.040,5

* Las restricciones de mercado son del tipo «≤» y las de autoconsumo del tipo «≥».

** Son las restricciones para las fincas tipo I, II y III; respectivamente y corresponden a las superficies promedio sembradas actualmente con café en cada tipo de finca