

PLANEACION ECOLOGICA DEL USO DE LA TIERRA Y EVALUACION DE LA CAPACIDAD DE SUSTENTACION EN LA REGION XALAPA

Gerald G. Marten¹
Luis A. Sancholuz²

Resumen:

Se presenta un enfoque práctico para incluir factores del medio ambiente en la planeación del uso de la tierra. Se ejemplifica con la región Xalapa, un área de 4750 km² que incluye variadas condiciones ecológicas entre las zonas templada y tropical de México; las principales fuentes de información consultadas fueron: fotografías aéreas, una encuesta de productividad en parcelas de maíz y entrevistas con agricultores y agrónomos de la zona para conocer las técnicas de cultivo empleadas en ella.

Sobre la base de un sistema climático-geomorfológico de clasificación de la tierra, identificamos 33 tipos funcionales de tierra y describimos 56 sistemas de uso agrícola. Para cada combinación de tipo de tierra y sistema de uso estimamos ingresos, empleo, costos, producción alimentaria, insumos de químicos agrícolas y niveles de erosión. Esta información nos permitió plantear un juego de optimización con objetivos múltiples para ser usado en planeación.

Los usuarios del juego pueden fijar prioridades y, al variar niveles de infraestructura, pueden también examinar los intercambios entre los objetivos de la planeación y las diferentes alternativas de inversión, y políticas de manejo, lo que se reflejará en asignaciones óptimas de tipos de tierra a sistemas de uso. El juego se ilustra con un estudio de los costos ambientales que conllevará el producir más alimentos para la creciente población de la región Xalapa. Se hace también una comparación del uso actual de la tierra con el que la asignación óptima del juego sugiere bajo distintas prioridades.

Dentro de esta perspectiva se examinan: 1) la capacidad de sustentación de la región, prestando particular atención a las demandas de la creciente población urbana y rural y 2) el papel que jugaría la tecnología moderna, dirigida, en el aumento de la capacidad de sustentación sin dañar excesivamente el medio ambiente.

Palabras clave: inventarios regionales, sistemas de uso, productividad, erosión, contaminación, optimización, programación de metas, juego de planeación.

Summary:

A practical approach is presented for including environmental factors in land use planning. It is illustrated for the Jalapa region, an area of 4700 km² that embraces a diversity of ecological conditions from temperate to tropical. The basic sources of information were aerial photographs, a survey of maize fields, and interviews of farmers concerning their cultivation practices.

On the basis of a climatic and geomorphological system of land classification, 33 functional land types were identified, described, and inventoried; 58 land use systems were identified and described. The descriptions were structured for predicting the income, employment, costs, food production, agricultural chemical inputs, and erosion to be expected for each land use system on each land type. This information was used to set up a multiobjective optimization land use game for planners.

¹ Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos (INIREB). Actualmente en Environment and Policy Institute, East-West Center, 1777 East-West Rd, Honolulu, Hawaii 96848, U.S.A.

² Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos (INIREB). Actualmente en Institute of Animal Resource Ecology, University of British Columbia, Vancouver, B.C. Canada V6T 1W5

Users of the game can set priorities on their planning goals, specify the amounts of agricultural support infrastructure available, and see the effects these have on the optimal allocation of available land of each type among the different possible uses, as well as how well the objectives are satisfied with optimal allocation. By shifting objective priorities and varying infrastructure levels, the game user can examine the tradeoffs between planning goals and between possible avenues of investment or other management interventions.

This is illustrated by a study of the environmental costs of producing increasing amounts of food for a growing population in the Jalapa region. Observed land allocation in the Jalapa region are compared with optimal allocations under different priorities. The carrying capacity of the region is examined from this point of view, giving particular attention to the demands that increasingly urban habits of consumption place on the land and the role that properly directed modern technology can have in increasing carrying capacity, without serious environmental damage.

Key words: regional inventory, land use systems, productivity erosion, pollution, goal programming, optimization, planning game.

INTRODUCCION

Este enfoque a la planeación del uso de la tierra fue desarrollado entre 1977 y 1978 en el Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos (INIREB) en Xalapa, Veracruz, México. Forma parte del programa de investigación Planeación Ecológica del Uso de la Tierra.

De acuerdo con la Ley de Asentamientos Humanos, los Estados de la República han estado elaborando planes de desarrollo para lograr un crecimiento equilibrado que tome en cuenta las diversas necesidades, aptitudes, y condiciones de desarrollo de las distintas regiones de cada estado. Un concepto central de esta planeación han sido las "zonas de influencia" de los centros urbanos, así como la capacidad de tales zonas para abastecer de alimentos, productos forestales, agua, y otros bienes y servicios requeridos por las ciudades.

El objetivo de nuestro proyecto fue desarrollar las metodologías apropiadas para: a) incluir pautas ambientales junto a los criterios económicos y sociales que habitualmente dominan en la planeación regional, y b) realizar evaluaciones de la capacidad de sustentación regional basadas en lo anterior (a). En particular nos interesaba examinar los intercambios (*tradeoffs*) y costos ecológicos de una variedad de objetivos en el uso de la tierra. Ejemplo de tales objetivos podrían ser: a) fomento de cultivos de exportación, b) autosuficien-

cia en producción de alimentos, c) mejoramiento del nivel y distribución de ingresos en el agro, d) abastecimiento en cantidad y calidad de agua para usos urbanos y agrícolas, e) conservación del suelo, f) la posibilidad de prescindir de importaciones de insumos químicos agrícolas como fertilizantes y plaguicidas.

Con estos instrumentos metodológicos al alcance, los planificadores podrían formularse preguntas tales como: ¿Cuál es la capacidad de sustentación humana de la región? y ¿Cómo depende ésta de los diferentes usos que se le dan a la tierra, incluyendo el nivel de tecnología empleada?

Patrones de uso en la región Xalapa

La región Xalapa atraviesa el Estado de Veracruz a los 20° de Latitud Norte (Fig. 1). Tiene 120 km de largo, 60 km de ancho y de acuerdo al censo de 1970 comprende 600,000 habitantes. Esta región se eligió como área piloto con el objeto de contar con resultados representativos de un paisaje real que incluye más de 50 diferentes usos de la tierra, actuales o potenciales. La región se extiende desde las estribaciones occidentales del Cofre de Perote (más de 4,000 m.s.n.m.) hasta el Golfo de México, e incluye variadas condiciones ecológicas (Sancholuz, Marten y Zolá, 1981). Los patrones de uso están dominados por bosques de coníferas en las partes altas, agricultura de subsistencia en las alturas

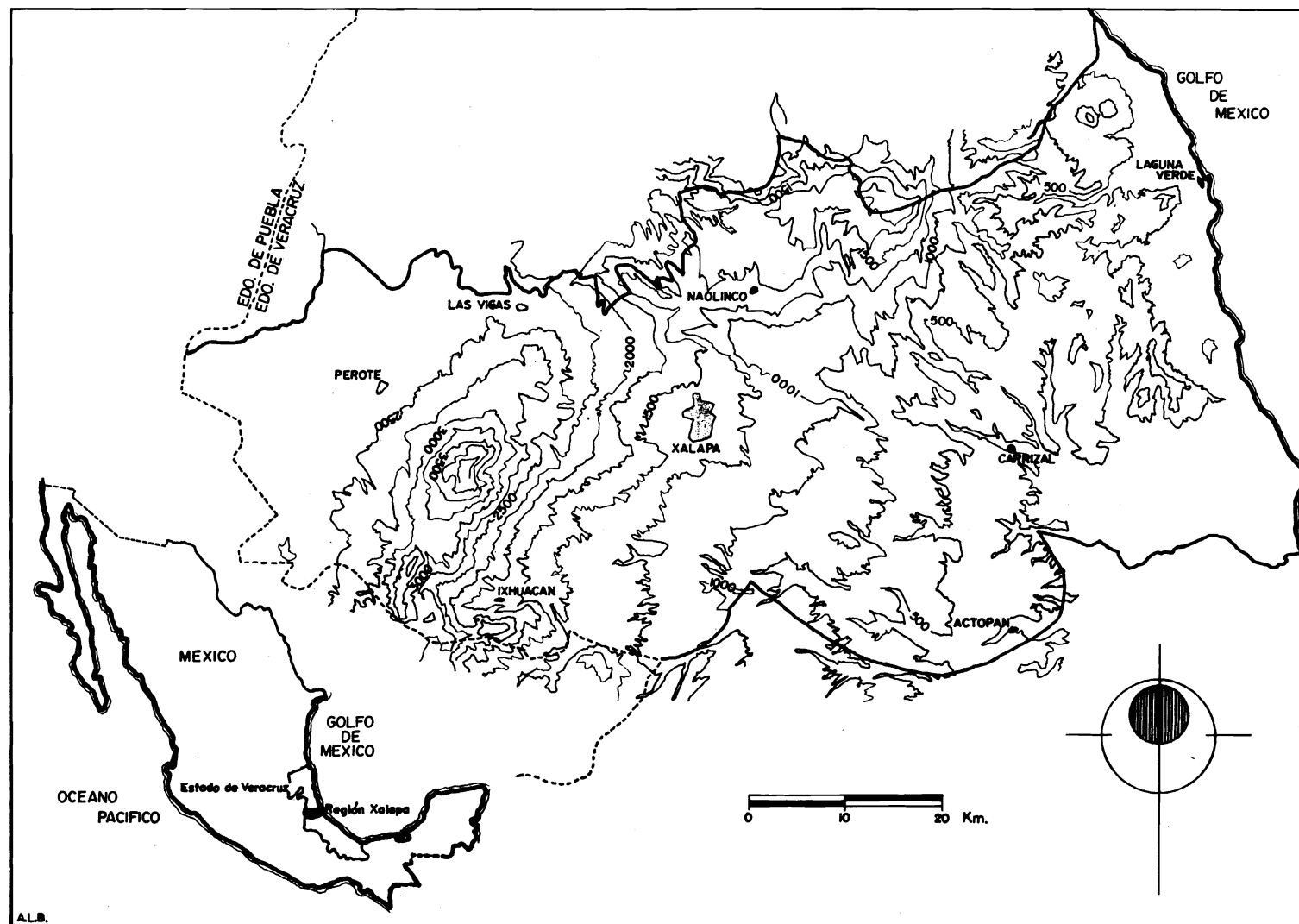


FIGURA 1. Localización de la región Xalapa.

intermedias templado-húmedas y cultivo de gran variedad de productos tropicales en las zonas más bajas que, si bien aún no son aprovechadas intensivamente, pueden serlo en un futuro próximo.

En muchos sentidos, la región Xalapa representa un microcosmos de toda la región del Golfo de México que tendrá un importantísimo papel en la descentralización de la economía mexicana. Estimulada por la creciente industria petrolera, la región del Golfo atraerá población y ello impondrá mayores demandas sobre los recursos de la tierra (SARH, 1979).

La ciudad de Xalapa es la capital del Estado de Veracruz y ya revestía grandes proporciones cuando los españoles llegaron en el siglo XVI. En la actualidad la principal fuente de ingresos de sus habitantes es el Gobierno: los empleos administrativos y educacionales en todos los niveles. También es un centro comercial que atrae a la población rural circunvecina para la compra de utensilios personales y del hogar. Pero, como la agricultura de los alrededores está dominada por pequeños agricultores, sin mayores recursos técnicos, el papel de la ciudad como fuente financiera y de asistencia técnica es de poca importancia y exceptuando algunos ingenios azucareros y beneficios cafetaleros, la actividad fabril de Xalapa y de la región es también de escasa importancia. Su población urbana alcanza los 200 000 habitantes y crece a un ritmo tal que se duplica

cada 10 años, primordialmente por migración del campo a la ciudad. La población rural de los 4 756 km² de la región Xalapa, en cambio, se incrementa más lentamente.

Por encima de los 2 500 m. de altura (zona boreal), dominan los bosques de pino y oyamel que han sido explotados abiertamente hasta la década del 50 y en forma clandestina durante los últimos 20 años de veda forestal. Esta deforestación acentuada, combinada con el sobrepastoreo de cabras, ha ocasionado una severa erosión del suelo. En muchas partes el horizonte A (orgánico) ya no existe. Gran parte de la montaña se siembra en la actualidad con papa.

Entre los 2 250 y los 2 500 m. se encuentra, a occidente, la zona templada-fría-semiárida (Valle de Perote), representativa del Altiplano Mexicano. Con una breve temporada libre de heladas (marzo a septiembre) y escasas lluvias (Tabla 1), esta zona ofrece oportunidades limitadas para la agricultura. El Valle de Perote fue, hace 20 años, un centro productor de trigo; sin embargo, una roya de ese cereal acabó con las expectativas de producción sostenida. Los cultivos principales en la actualidad son el maíz y la cebada cervecera, con niveles de producción medios anuales de 1/2 a 1 tonelada por hectárea.

Hacia el este del Cofre de Perote y entre los 2 000 y 1 200 m de altitud, las tierras reciben abundantes lluvias, son fértiles, con suelos profundos derivados de cenizas

TABLA 1.
ALGUNAS CARACTERÍSTICAS DE LAS ZONAS CLIMATICAS DE LA REGION XALAPA

TIPOS CLIMATICOS ²	ALTITUD (M.S.N.M.)	PROMEDIO TEMPERATURA (°C)		MESES LIBRES DE HELADAS	PRECIPITA- CION ANUAL (mm)	EVAPO- RACION DE TANQUE ANUAL (mm)	LLUVIA MAXIMA EN 24 HS (mm)	FACTOR R ³
		E ¹	M ²					
Boreal húmedo	2750-4000	7	11	ninguno	1800	900	---	---
Templado frío semiárido	2250-2750	10	15	Abr-Sep	450	450	30	39
Templado frío subhúmedo	2000-3000	8	22	Abr-Sep	1000	1000	95	400
Templado cálido húmedo	1800-2250	14	19	Mar-Oct	1600	1100	80	330
Subtropical húmedo	900-1300	16		Mar-Dic	1700	1200	65	210
Subtropical subhúmedo	300-1100	18	24	Ene-Dic	1100	1350	75	287
Tropical subhúmedo	0-300	22	29	Ene-Dic	1100	1650	85	377

¹ Enero es el más frío del año.

² Mayo es el mes más caliente del año.

³ Erosividad de la lluvia (ton/ha/año) esperada sin cobertura vegetal.

⁴ (Holdrige, 1971).

volcánicas recientes. En ellas habita la mayoría de la población de la región debido, en gran medida, a la productividad de las mismas. La porción superior de esta zona es templada y contiene un mosaico de bosque caducifolio, pastizales dedicados a la producción lechera y milpas. Los frutales templados que se reconocen en esta zona se encuentran en forma de huertos familiares con escasos cuidados y bajos niveles de producción. El rendimiento de maíz es relativamente alto (2 ton/ha/año) pero no tan redituable como la actividad lechera. La demanda de productos lácteos continúa creciendo debido al constante crecimiento de la ciudad de Xalapa; la respuesta de los productores ha sido ampliar el tamaño de sus pasturas, lo que se ha hecho a expensas de parcelas de maíz que se cultivaban para el consumo humano y que ahora producen forraje para el ganado lechero.

Parte de esta zona está cubierta por malpaís, el cual tiene escasas posibilidades de uso agrícola, pero el problema capital son las pendientes pronunciadas (del 15 al 50%) de su relieve típicamente colinado. La erosión ocurre en las milpas y los pastizales sobrepastoreados, los que pueden perder hasta 1 cm de suelo por año. A pesar de la magnitud de la erosión, el deterioro de los suelos todavía no alcanza límites irremediables debido a lo profundo de la mayoría de los suelos, y/a que aún es posible el descanso de las tierras en las pendientes más abruptas. Esos límites, sin embargo, no están muy lejanos, y una intensificación del uso de estas tierras traería consigo la pérdida casi definitiva de cualquier oportunidad productiva.

La parte inferior de esta zona húmeda tiene clima subtropical. En ella alternan cafetales con plantaciones de caña de azúcar y alguno que otro naranjal. No hace mucho los naranjos constituían la principal fuente de ingresos; pero también aquí, una plaga (la mosca de la fruta) redujo sustancialmente la calidad y cantidad del producto, mermando paulatinamente la importancia de la citricultura en el área. Diez años atrás los cafetales se transformaron rápidamente en cañaverales, debido a los bajos precios del café en los

mercados internacionales y a las facilidades crediticias y de asistencia técnica ofrecidas para el cultivo de la caña. Más recientemente, el brusco ascenso del precio del café ha revertido el proceso anterior. La zona subtropical tiene paisajes colinados y planos, pero la erosión es menor debido —principalmente— a la cobertura que ofrecen los cafetales.

El minifundio es un problema serio en toda esta zona húmeda. El predio típico apenas supera una hectárea de superficie, y los campesinos prefieren buscar fuentes alternativas de empleo a trabajar su pequeña parcela en forma intensiva.

El descenso desde los 1 000 hasta los 300 m. de altura (zona subtropical-subhúmeda) se caracteriza por un patrón de lluvias escasas y variables, así como por suelos problemáticos (tepetates, suelos arcillosos o muy alcalinos). Esta área se dedica a la ganadería extensiva y a maíz de subsistencia. Aproximadamente un cuarto del área está cortado por barrancas profundas con muy limitadas posibilidades de uso. La papaya ha sido un cultivo comercial muy popular debido a su corto ciclo agrícola, su tolerancia a pH alcalinos, y su resistencia a la sequía; pero, la irrupción de una enfermedad viral en la zona amenaza con eliminar este cultivo en pocos años.

Finalmente, por debajo de los 300 m. de altura se encuentra la zona tropical costera que consiste de una serie de crestas basálticas muy quebradas, con suelos delgados pero productivos y amplios y ricos valles aluviales. Las precipitaciones son muy semejantes a la zona anterior, pero aquí existe una severa estación de secas que se prolonga por seis meses. Sin embargo los 4 meses de lluvia proveen abundante humedad y ello garantiza un período de crecimiento de 5 a 6 meses, que puede prolongarse hasta 12 meses con riego, posibilitando dos o tres cosechas anuales de maíz u hortalizas. En uno de los valles aluviales, el Actopan, se ha organizado un distrito de riego que cubre 7 000 hectáreas y en él se siembra maíz, arroz, caña de azúcar, hortalizas, frutales tropi-

cales, y algunas pasturas. Las porciones no irrigadas de esta zona, que son la mayoría, están ocupadas con pastizales que sostienen ganadería tropical y pequeñas extensiones de maíz y hortalizas de temporal.

Los niveles de ingresos rurales en la región son en general bajos. La mayoría de la población recibe ingresos anuales entre \$4,500.00 y \$11,000.00*. El jornal fluctúa entre \$60.00 y \$80.00. Sin embargo, los grandes productores frutícolas, ganaderos, y cafetaleros perciben ingresos sustanciosos.

El patrón general de producción y consumo de alimentos en la región es como sigue: maíz, frijoles, y algunas hortalizas se producen y consumen localmente, alcanzándose niveles de autosuficiencia en el campo para estos productos básicos; se producen excedentes regionales de azúcar, arroz y hortalizas en las zonas de riego costeras, y de cebada y papa en el área de Perote. Todos estos productos se comercializan en el mercado nacional. La ciudad de Xalapa compra del mercado nacional hortalizas, maíz y otros granos básicos.

Aunque gran parte de la producción de fruta templada se destina al consumo

local, una porción significativa de ella se orienta hacia el mercado nacional junto con la casi totalidad de la fruta tropical. La producción de carne y leche también satisface el consumo regional. La carne producida en toda la planicie costera del golfo se integra en un mercado nacional y Xalapa compra su carne de tal mercado. La leche producida en la zona templada se vende en la ciudad mientras que la producida en tierra caliente se industrializa; durante la época seca Xalapa importa un poco de leche del mercado nacional. En síntesis, la producción y el consumo de productos básicos de la región están equilibrados, si bien existen importaciones y exportaciones.

Un 30% de la superficie regional se adecúa solamente al uso forestal debido: a) pendientes pronunciadas, b) suelos delgados y c) suelos anegables (Tabla 2). Aunque la cantidad de tierra bajo explotación agrícola o ganadera corresponde en la actualidad a la disponible para tales usos, como éstos no siempre se ajustan a las aptitudes de la tierra, existen zonas severamente erosionadas. En las zonas montañosas, el problema sí es crítico, porque la alta densidad poblacional y la localización de los cultivos de escarda en pendientes pronunciadas constituye un problema de difícil solución.

TABLA 2.
USO ACTUAL DE LA TIERRA EN LA REGIÓN¹
(Kilómetros cuadrados)

CAPACIDAD DE LA TIERRA	AGRICULTURA	PASTIZAL	FRUTALES	BOSQUE ²	TOTAL
CUALQUIER USO	850	199	149	433	1,631
PASTIZAL, FRUTAL, BOSQUE	606	397	92	524	1,619
SOLAMENTE BOSQUE	76	322	72	919	1,388
TOTAL	1,532	919	312	1,876	4,638 ³

¹ Todas las cifras están basadas en la interpretación de fotos aéreas (Sancholuz, Marten y Zolá 1981).

² Un porcentaje desconocido del bosque es pastoreado por ganado, borregos o chivos.

³ La superficie regional es 4756Km²; la diferencia aquí observada (<2%) resulta de otros usos no considerados (vgr., urbano, erosionado).

* Todas las cantidades citadas en esta publicación son del año 1977.

METODOS

El juego del uso de la tierra

Este juego se desarrolló para examinar las implicaciones de una variedad de objetivos de planeación del uso racional de la tierra en la región Xalapa. El propósito es mostrar en qué medida la asignación óptima de 56 sistemas de uso a 33 tipos de tierra depende de las prioridades que se establecen para objetivos conflictivos como, por ejemplo, cuotas de producción de diferentes variedades alimenticias, distintos niveles de ingresos agrícolas y de conservación del suelo. Con ello se espera entender mejor los pros y contras de cada objetivo y, especialmente, apreciar el costo ambiental que resultará de las crecientes demandas de producción agrícola. También, dentro de este marco de referencia, es posible preguntarse de qué manera los recursos públicos (servicios de asistencia técnica, obras de irrigación, etc.) podrían orientarse a mitigar los efectos detrimentales de una mayor producción.

Lo llamamos "juego" porque ofrece a los interesados la oportunidad de explorar diversas combinaciones de objetivos, prioridades, e insumos disponibles para la producción, basando cada nueva fase de su exploración en los resultados de la fase anterior. El juego utiliza métodos de optimización porque son éstos los que permiten al usuario concentrarse únicamente sobre los patrones del uso de la tierra que se adecúan mejor al conjunto de objetivos, prioridades, e insumos para la producción a pesar de la infinidad de patrones de uso de la tierra que son potencialmente posibles en la región.

Un *sistema de uso de la tierra* se define con respecto a: (1) el cultivo (o grupo de cultivos) involucrado, y (2) la tecnología empleada. Un *grupo de cultivos* comprende especies de similar comportamiento ecológico. Por ejemplo, manzanas, peras y ciruelas pueden designarse sencillamente como "frutales templados". En la práctica, el agricultor decide cuál de estos cultivos se adapta mejor a las características biofísicas de su predio. Sin embargo, esta decisión ocurre a una escala espacial

demasiado fina para ser incluida en la perspectiva regional de nuestro juego del uso de la tierra. Un grupo de cultivos, además, puede incluir intercalaciones espaciales (*vgl.* maíz-frijol) o intercalaciones estacionales (*vgl.* rotaciones de maíz en el verano con hortalizas en el invierno, en la zona tropical).

La *tecnología de producción* fue evaluada con respecto a dos criterios. El primero se refiere al nivel de tecnología y contiene dos variantes principales: tecnología actual (con los insumos y prácticas del cultivo utilizados en la actualidad en la región) y tecnología moderna (con los insumos y prácticas de cultivo recomendados por los campos experimentales de la región). Marten y Sancholuz (1981a) han documentado la ocurrencia de estos tipos discretos de tecnología de manejo con cafetales, y lo mismo se puede aplicar a muchos otros cultivos.

El segundo criterio fue la presencia o ausencia de riego. De la combinación de estos dos criterios resultan 4 categorías tecnológicas de uso de la tierra aplicables a cada grupo de cultivos:

- (1) tecnología actual de temporal
- (2) tecnología actual con riego
- (3) tecnología moderna de temporal
- (4) tecnología moderna con riego

La segunda combinación, tecnología actual con riego, no es común en la región Xalapa.

Los *tipos de tierra* se definieron con respecto al clima, suelo, y forma de relieve característicos de cada sitio. Por lo tanto, cada uno de estos tipos representa una combinación única de los tres factores mencionados. Sancholuz, Marten y Zolá (1981) discuten los métodos empleados para clasificar e inventariar los tipos de tierra de la región Xalapa.

El juego del uso de la tierra, está planteado como un problema de optimización de objetivos múltiples y específicamente se resuelve a través de programación de metas (goal programming) (Lee, 1972). La

Tabla 3 muestra los objetivos ya empleados para la región Xalapa. Otros objetivos posibles, en el mismo contexto, serían por ejemplo la promoción de mayores exportaciones agropecuarias, la minimización de riesgos agrícolas, la utilización eficiente de los recursos humanos, y la distribución más equitativa de inversiones públicas e ingresos rurales a través de la región. Estas metas adicionales pueden ser exploradas en desarrollos ulteriores del juego.

Las variables de decisión (x_{ij}) del problema de optimización así planteado son los kilómetros cuadrados del tipo de tierra j asignados al sistema de uso i . Esto implica la existencia de $33 \times 56 = 1848$ variables de decisión. Los valores negativos de estas variables no cuentan, pero gran parte de las x_{ij} toman valores iguales a cero, ya que no son combinaciones factibles en la práctica debido a limitaciones climáticas y/o edáficas (por ejemplo, no se pueden cultivar mangos en la zona templada sin contar con invernaderos). Además, existen combinaciones que, si bien factibles, desencadenan tal erosión que acabaría en unos pocos años con la capa orgánica del suelo (niveles mayores a 60 ton/ha/año). Con estas salvedades, de las 1,848 combinaciones originales eliminamos 1398 por razones climáticas y/o edáficas, otras 87 combinaciones más se excluyeron por su extremo impacto erosivo. Así el problema queda reducido al análisis en profundidad de 363 combinaciones de sistemas de usos y tipos de tierra.

La solución óptima regional no es simplemente el resultado del mejor uso de cada tipo de tierra por separado. La solución óptima, resulta de las aptitudes combinadas de todos los tipos de tierra en la región teniendo en cuenta las metas y necesidades regionales. Por lo tanto, esta solución dependen de los usos posibles de otros tipos de tierra, de cómo los otros tipos pueden ayudar a alcanzar los objetivos, y de cómo otros tipos compiten en el uso de insumos productivos cuya oferta es limitada. Por ejemplo, la producción intensiva de leche puede ser el mejor uso de los fondos templado-húmedos. Sin embargo, la solución óptima podría asignar a este tipo de tierra el uso agrícola para maíz, y colocar a

la ganadería lechera en las pendientes adyacentes no obstante el rendimiento ganadero inferior en laderas que en fondos. El ejemplo anterior podría ser un óptimo regional si los fondos templados se necesitaran para satisfacer la demanda regional de producción maicera dentro de límites tolerables de erosión.

Al considerar uno de los objetivos (g_k) de la Tabla 3, los resultados alcanzados (y_k) con las asignaciones de tipos de tierra a sistemas de uso se expresan como:

$$y_k = \sum_i \sum_j c_{ijk} x_{ij} \quad (1)$$

donde, c_{ijk} es la contribución (por km^2) al objetivo k de la asignación del tipo de tierra j al sistema de uso i . Este objetivo sólo se logrará luego de satisfacer ciertas restricciones (Tabla 3):

(1) las x_{ij} no pueden ser negativas

$$x_{ij} \geq 0, \quad (2)$$

(2) Los insumos para la producción no pueden superar el abastecimiento disponible.

$$\sum_i c_{ijk} x_{ij} \leq b_k \quad (3)$$

TABLA 3.
OBJETIVOS DE PLANEACION PARA EL JUEGO
DEL USO DE LA TIERRA EN LA REGION XALAPA

OBJETIVOS:

Satisfacer el consumo regional de alimentos:

Granos
Leguminosas
Tubérculos
Frutas
Hortalizas
Carne
Leche

Minimizar la erosión
Maximizar los ingresos de los productores
Minimizar insumos químicos agrícolas

RESTRICCIONES:

Mano de obra
Servicios de extensión
Riego.

- (3) el área de cada tipo de tierra asignada a diferentes sistemas de uso no pueden exceder el área total del tipo de tierra

$$\sum_i x_{ij} \leq a_j \quad (4)$$

donde, $a_j = \text{km}^2$ del tipo de tierra j .

El propósito de la optimización es satisfacer los objetivos conflictivos (g_k) en la medida de lo posible. Esto implica encontrar aquellos valores de las x_{ij} que minimicen las desviaciones entre los objetivos (G_k), y los valores (y_k) posibles; más precisamente el mínimo de la suma de los valores absolutos de las desviaciones:

$$\text{Min.} \left[\sum_k w_k \left| y_k - g_k \right| \right] \quad (5)$$

donde, w_k = peso o importancia relativa del k ésimo objetivo

Si tenemos presente las 363 x_{ij} , o sea las variables de decisión que caracterizan a nuestro problema, es fácil darse cuenta que tenemos entre manos un problema ambicioso. Existen $2^{363} = 10^{109}$ combinaciones posibles de x_{ij} con valores de cero o positivos (equivalentes a las *bases* de un problema típico de programación lineal). El algoritmo de programación de metas sólo puede encontrar la mejor combinación si comienza con una estimación tentativa y progresa iterativamente con sucesivas combinaciones hasta que no localiza una mejor. Debido a que este procedimiento es selectivo, en lo que hace a la prueba de nuevas combinaciones, normalmente la mejor combinación se encuentra luego de 100 a 200 iteraciones. Si la optimización ensayada pretende encontrar una solución parecida a la obtenida en una optimización previa, el número de iteraciones se puede reducir considerablemente al tomar a la solución previa como una estimación inicial de la solución del nuevo problema.

Las contribuciones (C_{ijk}) de cada combinación de tipo de tierra y sistema de uso a cada objetivo, los insumos requeridos por cada sistema de uso, y la superficie (a_j) disponible de cada tipo de tierra quedan todos incorporados al juego del uso de la

tierra. El usuario puede alterar cualquiera de estos valores si duda de su veracidad, o si dispone de mejor información. Por lo común, estos valores se mantienen constantes una vez aceptados. Para cada nueva optimización ensayada; sin embargo, se deberán especificar nuevos niveles y prioridades para los objetivos (g_k); estas combinaciones diferentes de objetivos y restricciones conforman un escenario. Formulando diferentes escenarios, observando la asignación óptima de la tierra (x_{ij}), y comparando los resultados (y_k) obtenidos para los objetivos de cada escenario, el usuario puede: a) explorar los intercambios entre sus objetivos de planeación, y b) apreciar cómo afectan al medio-ambiente las diferentes prioridades de planeación y el consumo de distintos cantidades de insumos para la producción.

El listado de la computación tiene el siguiente formato:

- (1) objetivos para producción de alimentos, erosión, ingresos, etc.; junto con las prioridades que se les han asignado a tales objetivos. (g_k).
- (2) niveles de las restricciones para los insumos de la producción (servicios de asistencia agrícola, irrigación, mano de obra) (b_k).
- (3) el número total de kilómetros cuadrados de cada tipo de tierra (a_j).
- (4) el número de kilómetros cuadrados de cada tipo de tierra asignado a cada sistema de uso de la tierra en la solución óptima (x_{ij}).
- (5) un informe de los logros para cada objetivo, por orden de prioridad.
- (6) los resultados (y_k) con respecto a cada uno de los objetivos y restricciones en términos de, por ejemplo, la cantidad de alimento producido, erosión e ingresos generados, servicios de asistencia agrícola empleados, superficie bajo riego, mano de obra empleada, etc.

Los tres primeros ítems de la lista resumen los objetivos, prioridades y restricciones que definen un escenario en particular (éstos son los puntos de partida para una corrida de la computadora); los tres últimos ítems señalan los resultados de la optimización (éstas son las salidas de la computadora).

El juego del uso de la tierra se construyó alrededor de los conceptos de tipo de tierra y de sistemas de uso de la tierra. Para ello, nuestra descripción de la región Xalapa se estructuró de similar manera. Las secciones que siguen describen los procedimientos que se utilizaron para estimar los coeficientes que se incluyen en el juego. Para ello fue necesario:

- (1) identificar e inventariar las extensiones de los tipos de tierra funcionalmente distintos de la región Xalapa (Sancholuz, Marten y Zolá, 1981) (Tabla 4);
- (2) identificar los distintos sistemas de uso de la tierra y catalogar sus requerimientos de insumos;
- (3) catalogar los comportamientos esperados de cada tipo de tierra y sistema de uso en cuanto a:
 - a) erosión
 - b) producción
 - c) la posibilidad de sostener un sistema de uso en un tipo de tierra.

Descripción de los sistemas de uso de la tierra

En el transcurso de la investigación, se encontró que la mejor forma de obtener la información que necesitábamos de cada sistema de uso de la tierra (es decir, requerimientos de insumos y generación de ingresos) eran las entrevistas. Con esa finalidad recurrimos a veinte extensionistas agrícolas y agrónomos que trabajaban en la región o en estaciones experimentales próximas a ella. De cada entrevista obtuvimos la opinión del especialista en cuanto al comportamiento actual del sistema de uso de su conocimiento, en los diferentes tipos

de tierra que ya habíamos identificado. Durante una encuesta de producción de maíz (Marten y Sancholuz, 1981 b), también se entrevistaron productores, en número de 20 a 50 por sistema terrestre, (Sancholuz, Marten y Zolá, 1981), para conocer sus apreciaciones del comportamiento de distintos sistemas de uso en los tipos de tierra vecinos a sus parcelas. Los resultados finales de estas entrevistas se presentan en la Tabla 5. En ella se indican los requerimientos de cada sistema en cuanto a insumos químicos, mano de obra y mecanización, así como los respectivos costos de producción e ingresos típicos.

La aplicación de productos químicos, tales como fertilizantes y plaguicidas, tiene importancia en la planeación por dos razones: primera, porque su lavado y escorrentamiento de terrenos agrícolas puede provocar problemas de eutroficación y/o toxicidad en cursos de agua próximos; y segunda, porque el uso de estos insumos involucra erogación de divisas, ya que es necesario importar del extranjero una gran parte del nitrógeno y la mayoría del potasio, del fósforo y de los plaguicidas que se utilizan en el país.

El juego del uso de la tierra puede operar con dos definiciones diferentes del ingreso agrícola:

- (1) La suma de las ganancias netas de todos los sistemas de uso de la tierra en la región. Esta se obtiene sustrayendo a la ganancia bruta (valor del producto por cantidad producida) los costos de producción, mano de obra incluida.
- (2) la suma de las ganancias netas y costos de mano de obra de todos los sistemas de uso de la tierra en la región. Esta definición equivale a las ganancias brutas, menos todos los costos de producción, mano de obra excluida; en otras palabras ésta incluye los ingresos totales, sean ganancias o salarios.

Los resultados que se presentarán más adelante, están basados en la segunda definición de ingresos agrícolas.

TABLA 4.
TIPOS DE TIERRA EN LA REGION XALAPA

Zonas Climáticas	Tipos de tierra	Tipos de suelo	Superficie (Km²)	Productividad Temporal	Riego	Pendiente%	Textura	Materia orgánica %	Erodibilidad	Profundidad de suelo (m)
Boreal húmedo	1. Cofre de Perote	Litosol	210	--	--	750	---	--	--	--
Templado frío	2. Faldas Ayahualulco	Regosol	123	.45	1.08	17	Arenoso-migajoso	1	11	1.2
	3. Plano conejo		30	.30	.72	1	Migajón-arenoso	2	1	1.1
	4. Ladera Las Vigas-Ixhuacan		188	.41	.62	40	Migajón-arenoso	3	900	1.3
Semi-árido	5. Abanico Perote		131	.43	1.03	10	Migajón-arenoso	2	7	1.4
	6. Valle de Perote	Aluvial	151	.57	1.37	4	Arenoso-migajoso	3	2	1.9
	7. Carcavas y derrames		96	.25	.60	17	Migajón-arenoso	2	22	0.7
	8. Malpaís Perote	Litosol	119	.30	.72	10	Arenoso-migajoso	2	2	0.7
Templado frío sub-húmedo	9. Loma Las Vigas		150	.50	.75	11	Migajón	6	75	1.3
	10. Plano Las Vigas	Regosol	104	.50	.75	10	Migajón-arenoso	4	75	1.9
	11. Pendientes fuertes		338	.59	.71	50	Migajón	8	590	1.5
Templado cálido húmedo	12. Escarpas de cerros	Latosol	26	.82	1.07	50	Migajón	5	590	1.5
	13. Fondos templados		458	.81	1.05	6	Migajón	8	21	1.5
	14. Ladera templada		100	.73	.95	31	Migajón	8	264	1.5
	15. Cresta templada	Andosol	72	.73	.95	12	Migajón	11	56	1.2
	16. Plano inclinado		77	.82	.98	15	Migajón	10	83	1.1
	17. Malpaís-templado	Litosol	36	.54	.70	15	Migajón-arenoso	9	83	0.3
Subtropical húmedo	18. Malpaís cálido	Litosol	79	.90	1.26	15	Migajón-arenoso	4	68	0.3
	19. Barranca semicálida húmeda		100	.39	.55	37	Migajón-arenoso	5	220	1.0
	20. Ladera semicálida		126	.70	.98	30	Migajón-arenoso	8	134	1.2
	21. Plano semicálido húmedo	Latosol	168	.70	.98	2	Migajón-arenoso	4	4	1.0
Subtropical sub-húmedo	22. Fondo tepetate	Tepetate	32	.82	1.48	3	Arcilloso-migajoso	2	9	0.5
	23. Cresta tepetate		154	.56	1.01	7	Migajón-arenoso	2	31	0.5
	24. Cañada tepetate		26	.40	.72	26	Migajón-arenoso	2	136	0.3
Tropical sub-húmedo	25. Barrancas	Planosol	412	.88	2.46	37	Arcilloso-migajoso	4	271	0.3
	26. Cresta ondulada	Litosol	285	1.00	2.80	6	Migajón-arenoso	4	16	0.4
	27. Aluviones y terrazas	Aluvial	431	1.00	2.80	2	Migajón	3	7	1.3
	28. Cresta rendzinas	Rendzina	154	.64	1.66	5	Migajón	5	11	0.3
	29. Plano rendzinas		99	.64	1.66	2	Arcilloso	3	4	0.7
	30. Cerros costeros	Planosol	276	.59	1.65	41	Arcilloso-migajoso	6	380	0.4
	31. Laderas costeras	Litosol	283	1.00	2.00	12	Migajón	5	70	0.7
	32. Médanos costeros	Arenosol	70	.83	2.32	10	Arenosa	2	20	1.2
	33. Lagunas	Gleysol	53	.43	1.20	5	Orgánica	6	20	2.0

TABLA 5
CARACTERISTICAS DE ALGUNOS CULTIVOS Y PRODUCTOS ANIMALES EN LA
REGION XALAPA

(Todas las cifras son por hectáreas y para un ciclo de cultivo; los precios y costos corresponden a 1977

		INSUMOS-PRODUCTOS							
SISTEMAS DE USO*		Mano de obra (jornales)	Insumos químicos (pesos)	Mecanización (pesos)	Costo total ¹ (pesos)	Rendimiento (toneladas)	Valor (pesos/ton.)	Ingreso neto (pesos)	Erosividad
Trigo	(TM)	3	875	1245	2925	2.5	2000	2075	0.15
Cebada	(TA)	14	0	0	1550	0.7	3500	900	0.20
Cebada	(TM)	3	875	1245	2785	2.5	3500	5965	0.15
Maíz	(TA) ²	32	400	0	3300	2.0	3100	2900	0.38
Maíz	(TM) ²	42	750	0	4400	4.0	3100	8000	0.35
Arroz	(RA)	28	1480	1000	6070	4.0	3200	6730	0.35
Arroz	(RM)	95	3745	1500	11400	7.0	3200	10500	0.35
Papa	(TM)	48	2700	0	18630	15.0	2000	11370	0.30
Frijol	(TA)	27	430	1100	3775	1.0	5500	1745	0.45
Frijol	(TM)	39	1145	1300	5820	1.8	5500	4080	0.45
Haba	(TA)	10	0	0	1570	0.7	6000	2630	0.45
Haba	(TM)	6	250	800	2050	1.8	6000	8750	0.45
Soya	(TM)	39	315	1300	4760	2.0	3800	3040	0.50
Cacahuete	(TM)	36	710	1100	6010	4.5	3500	9740	0.40
Ajonjolí	(TM)	31	660	1000	3985	1.2	6000	3215	0.40
Caña	(TA) ³	76	1730	300	7730	80.0	207	8830	0.18
Caña	(RM) ⁴	100	1900	300	9900	120.0	207	14940	0.18
Café	(TA)	179	300	0	13725	3.2	8830	14600	0.05
Café	(TM)	285	600	0	21975	8.3	8330	51000	0.05
Naranja	(TA) ³	3	0	0	210	5.0	620	3000	0.02
Naranja	(TM) ⁴	54	4500	360	8910	26.0	620	7210	0.10
Manzana									
Ciruela	(TA)	6	0	0	420	2.5	2750	6900	0.02
Manzana									
Ciruela	(TM)	71	4180	0	9505	10.0	2700	18000	0.05
Papaya	(TA)	32	600	0	4000	15.0	1200	14000	...
Papaya	(TM)	42	1300	1200	7450	20.0	1200	16550	0.15
Papaya	(RA)	67	2800	1200	10725	27.0	1200	21675	0.15
Papaya	(RM)	92	5400	1200	15200	40.0	1200	32800	0.15
Mango	(TA)	23	0	0	3900	5.0	3070	11450	0.05
Mango	(TM)	90	6900	0	19600	13.0	3070	22200	0.10
Mango	(RM)	114	6900	0	22450	16.0	3070	26670	0.10
Ciruela/ Nanche	(TM)	22	650	900	3650	4.5	2800	8950	0.10
Zapote/ Tamarindo	(TM)	54	3890	1600	9540	10.0	2700	17460	0.10
Piña	(RM)	168	3300	800	20900	60.0	930	34900	0.15
Platano	(TA) ³	20	0	0	1400	12.0	800	7600	0.05
Platano	(RM) ⁴	103	2600	800	12100	40.0	800	19900	0.05
Yuca	(TA)	40	600	0	4400	6.0	1370	3820	0.40
Yuca	(TM)	75	2400	1200	9425	29.0	1370	17975	0.40
Pepino							3000/		
Melón	(RA)	56	3600	1800	9700	12(19) ⁵	1500	16000	0.55
Pepino							2000/		
Melón	(RM)	80	9000	3300	18000	24(35) ⁵	1800	32000	0.55
Tomate	(TA)	66	3100	1000	9200	6.5	3000	10300	0.55
Tomate	(RA)	191	3100	1000	18100	25.0	3000	56900	0.55
Tomate	(RM)	400	7800	1400	29080	30.0	3000	60900	0.55

Tabla 5 (Continuación)

SISTEMAS DE USO*		INSUMOS-PRODUCTOS							
		Mano de obra jornales	Insumos químicos (pesos)	Mecanización (pesos)	Costo total ¹ (pesos)	Rendimiento (toneladas)	Valor pesos/ton.	Ingreso neto (pesos)	Erosividad
Camote	(TA)	53	1200	0	6175	8.0	2700	15425	0.40
Camote	(TM)	76	2400	1500	10750	25.0	2700	56750	0.40
Camote	(RM)	86	2400	1500	10750	25.0	2700	56750	0.40
Chile	(TA)	53	1200	0	7200	5.5	2500	12000	0.55
Chile	(TM)	76	2400	1900	10200	10.0	3500	24800	0.55
Leche ⁷	(TA)	10	0	0	750	1.83 ⁶	4800	8000	0.02
Leche ⁷	(TM)	40	2000	0	8000	11.0 ⁶	4800	44800	0.01
Piñoncillo	(TM)	50	0	0	3750	17.5	460	4300	0.05
Colza, (aceite)	(TM)	36	750	1200	4700	1.8	6500	7000	0.40
Ramón, (forraje)	(TM)	3	0	0	225	50.0	250	12200	0.01
Carne	(TA) ⁴	10	0	0	675	.054	15000	2195 ⁸	0.02
Carne	(TM) ⁴	30	1000	0	3025	.162	15000	5597 ⁸	0.01
Carne	(RM) ⁴	66	1000	0	5700	.648	15000	22680 ⁸	0.01

(TA) Agricultura de temporal con tecnología actual.

(TM) Tecnología moderna.

(RA) Irrigación con tecnología actual.

(RM) Irrigación con tecnología moderna.

¹ El costo total se calcula suponiendo 70 pesos mexicanos por jornal y otros costos de servicios no incluidos aquí.² La producción aquí indicada es para suelo bueno, en la zona templada, subtropical o tropical. Los rendimientos en la zona semiárida fría (altiplano-Perote) son la mitad de los aquí indicados.³ Zona subtropical.⁴ Zona tropical costera.⁵ La primera cifra es para pepinos y la segunda para melón⁶ Miles de litros.⁷ Producción de leche en la zona templada.⁸ Incluye el valor de la leche no reportado en la columna de Rendimiento.

Cada sistema de uso de la tierra tuvo que ser definido, además, en cuanto a sus requerimientos de servicios agrícolas. La cantidad de servicios agrícolas disponibles en la región se expresó como un equivalente en cada escenario; esta equivalencia fue el área máxima (en km²) con sistemas de uso modernos que podría ser atendida por tales servicios agrícolas. La equivalencia es necesaria puesto que la efectividad de los servicios agrícolas depende, en parte del tamaño de las explotaciones (el mismo servicio de extensión cubriría un área mayor si los predios fueran más grandes).

Casi todas las explotaciones de la zona templada, incluyendo las dedicadas a producir leche, se encuentran dentro del rango de 1 a 10 hectáreas de superficie. Dentro de este mismo rango también se encuentran

la mayoría de los cultivos anuales de la zona tropical. En contraste, la ganadería tropical se presenta en superficies mucho mayores que las mencionadas (cientos de hectáreas). De allí que una unidad de asistencia técnica pueda, por ejemplo, atender 5 veces más área dedicada a ganadería tropical que a ganadería templada.

La cantidad de riego también se expresó en hectáreas. Esto supone que es la extensión del sistema de irrigación la que limita la implementación de sistemas de uso de la tierra bajo riego ya que el abastecimiento de agua puede también convertirse en factor limitante del riego, sobre todo cuando los niveles de irrigación sean altos. Si éste fuera el caso, las futuras versiones del juego del uso de la tierra de la región Xalapa deberán contemplar limitaciones específicas al abastecimiento de agua. La

asignación óptima del riego dependerá entonces de los caudales de los ríos, de los niveles de las capas freáticas, así como del consumo de agua de riego por los distintos sistemas de uso.

Los sistemas de uso de la tierra que no son sostenibles en un tipo de tierra deberían descartarse en el transcurso de una planeación sensata. Nuestras soluciones óptimas, por lo tanto, toman en cuenta sólo a aquellas combinaciones de sistemas de uso y tipos de tierra que son ecológicamente viables. Nuestros análisis incluyeron esta viabilidad como una variable muda: "sí" o "no". El resultado fue una tabla de doble entrada (Tabla 6) donde una dimensión corresponde a los tipos de tierra y la otra a los sistemas de uso. Los valores de uso ("sí") señalan cuales de los 56 sistemas de uso son viables en cada uno de los 33 tipos de tierra; los que reciben valores 0 ("no") se excluyen por inviables. En estas asignaciones de viabilidad "sí" o "no" no se consideraron ni la productividad, ni la erosividad de la combinación, ya que ambos atributos se trataron por separado. Por ejemplo, cuando un sistema de uso toma valor de "sí" en un tipo de tierra ello significa que tal uso puede sostenerse en tal tipo de tierra aun cuando la productividad sea relativamente baja a la erosión relativamente alta. Si en cambio la combinación de un sistema de uso con un tipo de tierra no fuera viable, debido a problemas de fertilidad, salinidad u otros que surgirían en pocos años, tal combinación toma valor de "no"

Para dirimir la viabilidad de los varios sistemas de uso en los distintos tipos de tierra fue necesario apoyar con observaciones de campo y de fotografías aéreas la ocurrencia de tales combinaciones de uso y tipo de tierra. Otro elemento de juicio importante fue la serie de entrevistas anteriormente descritas; mediante ellas fue posible extraer de los productores, y de los expertos, opiniones sobre viabilidad de sistemas de uso no practicados en la actualidad. Muchas veces, los productores y extensionistas pudieron citar casos de éxito o fracaso de actividades agrícolas en tipos de tierra de su conocimiento.

El clima es la razón principal para que un sistema de uso no sea viable en un tipo de tierra. Por ejemplo las temperaturas, las heladas o los patrones de lluvia no se ajustan, en muchos casos, a los rangos de tolerancia de las especies características de un sistema de uso. Sin embargo, también existen razones edáficas que determinan la no viabilidad de un sistema de uso en un tipo de tierra en particular. Ejemplos de estas últimas son: suelos muy delgados para cultivos arbóreos, muy arenosos para arroz o, muy ácidos para papaya. Por último, hubo casos en donde ni los suelos ni el clima impedían el desarrollo de un sistema de uso, pero el conocimiento empírico de la gente nos indicaba simplemente que, por ejemplo, el producto cosechado en un determinado tipo de tierra tenía mal sabor (*ugr.* la papaya en aluviones costeros).

Estimación de la erosión

Uno de los objetivos de este proyecto era estudiar, la posibilidad de obtener niveles mínimos de erosión en la región; por ello fue imprescindible estimar la erosión de cada sistema de uso de la tierra en cada tipo de tierra. La evaluación que se realizó de la erosión es también útil para entender el manejo del agua en la región; esto es así, pues, a menor erosión menor escurrimiento superficial y por ende los flujos de agua a lo largo del año son mejores en calidad y más uniformes. Se utilizó la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (Wischmeier y Smith, 1965) para predecir la erosión en toneladas de suelo perdido por hectárea y por año.

Consideramos que la erosión que ocurriría en un tipo de tierra dado, con un uso asociado particular, es el producto de la erodibilidad (e_i) del tipo de tierra y la erosividad (E_i) del sistema de uso.

$$\text{Erosión} = E_i e_j \quad (6)$$

E_i = la erosión que ocurre bajo el uso i en comparación con la erosión que ocurriría de estar el suelo desnudo.
 e_j = la erosión que ocurriría en el tipo de tierra j si el uso estuviera desnudo.

TABLA 6.
USOS ECOLOGICAMENTE SOSTENIBLES EN LA REGION XALAPA. LAS HILERAS SON SISTEMAS DE USO Y LAS COLUMNAS SON TIPOS DE TIERRA (EN EL MISMO ORDEN QUE EN LA TABLA 4).

		TIPOS DE TIERRA																																	
		H.B.**	T.F.S.**						T.F.S.H.**		T.C.H.**						S.H.**				S.S.H.**				T.S.H.**										
SISTEMAS DE USO*		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	
01 MAIZ-FRIJOL ¹¹	TA	1	1	0	1	1	1	—	1	1	0	0	1	0	0	1	—	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
02 MAIZ-FRIJOL ¹	TM	1	1	0	1	1	1	—	1	1	0	0	1	0	0	1	—	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
03 MAIZ-FRIJOL ¹	RM	1	1	0	1	1	1	—	1	1	0	0	1	0	0	1	—	1	0	0	1	1	1	0											
04 PAPAS-MAIZ ¹	TA	1	1	0	1	1	1	—	1	1	0	0	1	0	0	1	—																		
05 PAPAS	TM	1	1	0	1	1	1	—	1	1	0	0	1	0	0	1	—																		
06 GRANOS TEMP ²	TA	1	1	0	1	1	1	—																											
07 GRANOS TEMP ²	TM	1	1	0	1	1	1	—																											
08 MAIZ-HABA ¹	TA	1	1	0	1	1	1	—																											
09 LEGUMINOSA TEM ³	TA	1	1	0	1	1	1	—																											
10 HORTALIZA TEM ⁴	RM	1	1	0	1	1	1	—	1	1	0	0	1	0	0	1	—																		
11 FRUTAL TEMP ⁵	TA								1	1	1	1	1	1	1	1	—																		
12 FRUTAL TEMP ⁵	TM								1	1	1	1	1	1	1	1	—																		
13 CAFE	TA																	—	1	1	1														
14 CAFE	TM																	—	1	1	1	1	1	1											
15 CITRICO ⁶	TA																	—	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	—	—	
16 CITRICO ⁶	TM																	—	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	—	—	—	
17 CAÑA DE AZUCAR	TA																	—	0	0	1	1	1	0	0	1	1	—	—	0	1	1	—	—	
18 CAÑA DE AZUCAR	TM																	—	0	0	1	1	1	0	0	1	1	—	—	0	1	1	—	—	
19 CAÑA DE AZUCAR	RM																	—	0	0	1	1	1	0	0	1	1	—	—	0	1	1	—	—	
20 PLATANO	TA																	—	1	1	1	1	1	1											
21 PLATANO	TM																	—	1	1	1	1	1	1											
22 PLATANO	TA																	—	1	1	1	1	1	1											
23 HORT-CAMOTE	RM																	—	1	1	1	1	1	1	1	1	1	—	—	0	0	—	—	—	
24 HORT-CAMOTE ⁷	TM																																		
25 HORT-CAMOTE ⁷	RM																																		
26 HORTALIZA-MAIZ ⁷	TA																																		
27 HORTALIZA-MAIZ ⁷	TM																																		
28 HORTALIZA-MAIZ ⁷	RM																																		
29 YUCA	TA																																		
30 YUCA	TM																																		
31 ARROZ-HORTALIZA	TM																																		
32 ARROZ-HORTALIZA	RM																																		
33 SOYA	TM																																		
34 MANGO	TA																																		
35 MANGO	TM																																		
36 MANGO	RM																																		
37 PAPAYA	TA																																		
38 PAPAYA	TM																																		
39 PAPAYA	RM																																		

[illegible]

* Esta lista esta compuesta de acuerdo a los cultivos que aparecen en la Tabla 9.

¹ intercalado; ² trigo o cebada; ³ haba o arveja; ⁴ lechuga, col, espinaca, o acelga; ⁵ durazno, manzana, pera o ciruela; ⁶ naranja o limón; ⁷ rotación con el segundo cultivo en el verano y hortalizas (tomates, pepinos o melón) en invierno; ⁸ dos cultivos de maíz por año más frijol sólo en invierno. *H.B.=húmedo boreal, T.F.S.=templado-frío-semiárido, T.F.S.H.=templado-frío-subhúmedo, T.C.H.=templado-cálido-húmedo, S.H.=subtropical húmedo, S.S.H.=subtropical-subhúmedo, T.S.H.=tropical-subhúmedo.

La erosión (E) de un sistema de uso de la tierra es, a su vez, el producto de un factor del cultivo (C) y de un factor de prácticas de conservación de suelo (P), siguiendo la nomenclatura de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo. Para comparar los distintos sistemas de uso independientemente de las prácticas de conservación de suelo que podrían ser empleadas. Basamos nuestros valores de erosividad exclusivamente en el factor de cultivo de cada sistema de uso (C), y supusimos que los factores P tenían valores unitarios. El factor "C" para una variedad de cultivos ha sido estudiado (Wischmeier y Smith, 1965). En la Tabla 7 se muestra cómo se calcula este factor en el caso de bosques y pastiza-

les. El valor real de "C" puede variar considerablemente de acuerdo con las prácticas específicas prodigadas en cada sistema de uso. La Tabla 5 ilustra valores típicos de erosividad para los sistemas de uso de la tierra en la región Xalapa.

La fórmula para estimar la erodibilidad de un tipo de tierra es (los valores estimados por nosotros se presentan en la Tabla 4):

$$e_j = RKLS \quad (7)$$

"R" es el factor de la lluvia, o sea la fuerza erosiva de la lluvia. "R" se calcula habitualmente a partir de registros pluviométricos, sumando la energía cinética de

TABLA 7.
FACTORES DE COBERTURA RESULTANTES DEL TIPO DE USO DE LA TIERRA. EL FACTOR DE COBERTURA ES LA EROSION QUE SE PUEDE ESPERAR COMPARANDOLA CON EL SUELO SIN COBERTURA (C = 1) LA EROSION (EN TONELADAS POR HECTAREA) QUE REALMENTE OCURRIRIA, ES EL FACTOR DE COBERTURA (C) MULTIPLICADO POR LA ERODIBILIDAD (E). WISCHMEIER Y SMITH, 1965)

Valores de C para pastizales permanentes, tierras en uso y tierras ociosas^a.

Vegetación	Dosel vegetal			Residuos o vegetación en la superficie de la tierra.					
	Altura efectiva	% de cobertura	Tipo d	% de cobertura en la superficie					
				0	20	40	60	80	95-100
Ninguno			G	.45	.20	.10	.042	.012	.003
			W	.45	.24	.15	.091	.043	.011
Hierbas altas o matorrales bajos.	0.5 m	25	G	.36	.17	.09	.038	.013	.003
			W	.36	.20	.13	.083	.041	.011
		50	G	.26	.13	.07	.035	.012	.003
			W	.26	.16	.11	.076	.039	.011
		75	G	.17	.10	.06	.032	.011	.003
			W	.17	.12	.09	.068	.038	.011
Matorrales o arbustos	2 m	25	G	.40	.18	.09	.040	.013	.003
			W	.40	.22	.14	.087	.042	.011
		50	G	.34	.16	.085	.038	.012	.003
			W	.34	.19	.13	.082	.041	.011
		75	G	.28	.14	.08	.036	.012	.003
			W	.28	.17	.12	.078	.040	.011
Arboles	4 m	25	G	.42	.19	.10	.041	.013	.003
			W	.42	.23	.14	.089	.042	.011
		50	G	.39	.18	.09	.040	.013	.003
			W	.39	.21	.14	.087	.042	.011
		75	G	.36	.17	.09	.039	.013	.011
			W	.36	.20	.13	.084	.041	.011

^a Todos los valores muestreados suponen (1) una distribución al azar de cubierta retenedora de humedad o vegetación y (2) una altura significativa de la cubierta retenedora de humedad (*mulch*)

^b Distancia media de caída de las gotas de lluvia, desde el dosel hasta la superficie del suelo (m).

^c Porcentaje del área-superficial-total que, en proyección vertical, sería tapado por el dosel.

^d G—cobertura en superficie es pasto; W—cobertura en la superficie son malezas o residuos no descompuestos.

todas las gotas de lluvia caídas en un año y con la ayuda de las tablas publicadas por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos de Norteamérica que relacionan la intensidad de una tormenta (pulgadas por hora) con la energía cinética correspondiente. En vez de seguir este laborioso procedimiento, utilizamos una aproximación publicada por Wischmeier (1974) que permite estimar "R" tomando en cuenta la lluvia máxima de 6 horas durante dos años (Figura 2). La lluvia máxima es un mejor predictor de la erosión que la lluvia total anual, ya que casi toda la erosión de un año tiende a ocurrir durante las tormentas más importantes. Como las estaciones meteorológicas de la región Xalapa no cuentan con estadísticas de lluvia máxima en 6 horas, utilizamos en su lugar la precipitación máxima en 24 horas. Cualquier error debido a esta sustitución debe ser insignificante ya que las tormentas más fuertes normalmente no duran más de algunas horas en la región y, por lo tanto, el factor "R" para 6 o 24 horas debe ser aproximadamente el mismo.

El papel del suelo en la erosión queda representado por el factor "K" (Wischmeier y Mannering, 1969). Sus valores dependen de la textura y el contenido de la materia orgánica del suelo, como se puede ver en la Figura 3. La erodibilidad aumenta

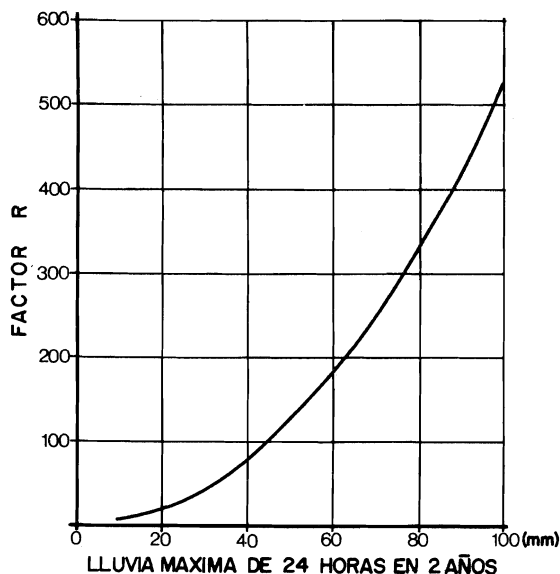


FIGURA 2. Relación entre la erosividad de la lluvia (R) y la lluvia máxima en 24 horas (modificado de Wischmeier, 1974).

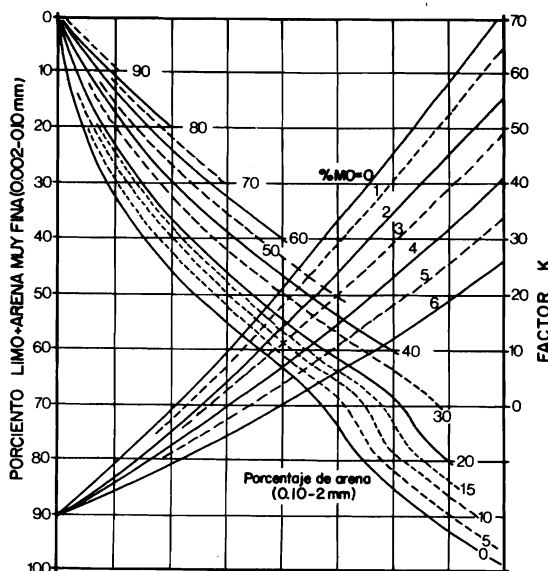


FIGURA 3. Nomograma para calcular la erodibilidad del suelo (K) (de Wischmeier, Johnson y Cross, 1971).

cuanto mayor es el contenido de limo. La proporción de arena también aumenta la erodibilidad, pero en menor grado. La erodibilidad es menor a mayor contenido de materia orgánica debido a que los migajones estructurados de la superficie del suelo resisten más el impacto de la lluvia, impidiendo la desagregación de sus elementos.

"L" es el factor de la longitud de la pendiente. Esta es la distancia del punto de origen del escurrimiento superficial hasta el punto en que comienza a depositarse el sedimento arrastrado, o bien el punto en donde el escurrimiento entra en un canal de drenaje. La erosión aumenta con la longitud de la pendiente puesto que la capacidad del agua para transportar suelo aumenta cuando, fluyendo pendiente abajo, se acumula el escurrimiento.

"S" es el factor de la inclinación de la pendiente. La Figura 4 muestra a) producto "LS" como función de la longitud e inclinación de la pendiente. Los valores LS reportados en la figura son válidos, en sentido estricto, solamente para pendientes uniformes; una pendiente cóncava tendrá menor erosión y recíprocamente una pendiente convexa sufrirá mayor erosión. Wischmeier (1974) sugiere que, en parcelas con pendientes compuestas, la pendiente sea dividida en dos partes para obtener un pro-

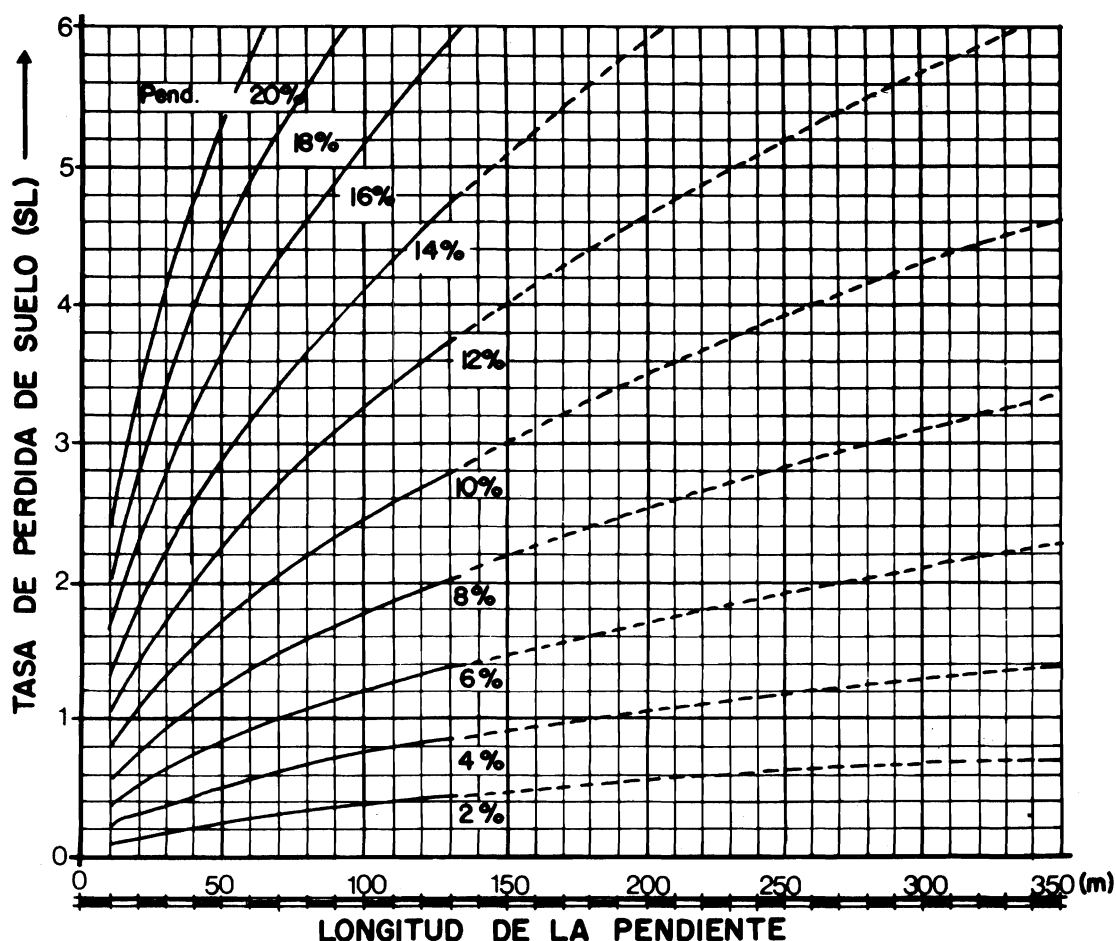


FIGURA 4. Relación entre el factor topográfico (LS) el porcentaje de inclinación y la longitud de la pendiente (de Wischmeier y Smith, 1965).

medio ponderado en el cual la pendiente promediada de la parte alta reciba dos veces la importancia de la pendiente promediada de la parte baja de la parcela. En la misma publicación se presenta una tabla de pesos para ser usados si se desea dividir la pendiente.

Las pendientes "ponderadas" de cada tipo de tierra de la región Xalapa se estimaron por medio de transectos que atravesaron los distintos paisajes. Las pendientes se midieron con clinómetros, a intervalos de 25 metros, y hasta que se tuvieron cien mediciones por cada forma de relieve. También se midió la profundidad del horizonte A de los suelos (por barrenación en 10 puntos seleccionados al azar en cada tipo de tierra) con el fin de estimar la erosión que podría soportar cada tipo de tierra.

Producción

Para predecir la producción de alimentos resultante de una asignación de tierra (y_k para cada meta de producción alimentaria), es necesario primero estimar la producción del cultivo en cada combinación de tipo de tierra y sistema de uso de la tierra. El conocer la producción en estas condiciones es también necesario para predecir el ingreso que se generaría en cada asignación de tierra.

De una forma similar a la estimación de la erosión, la producción se definió como el producto de la producción potencial de un sistema de uso de la tierra y la fracción de esa producción que se puede esperar de un tipo de tierra en particular:

$$\text{Producción} = P_i P_j \quad (8)$$

donde:

P_i = producción esperada del sistema de uso i en el tipo de tierra más productivo.

P_j = productividad del tipo de tierra j relativa al tipo de tierra más productivo.

La ecuación de producción (8) supone que las productividades relativas de dos tipos de tierra son las mismas para todos los sistemas de uso de la tierra. Se ignoran, por lo tanto, las tendencias de ciertos usos a ser más productivos en un tipo particular de tierra, y menos productivos en otros. En la medida en que esta simple ecuación sea valedera, ella constituye una aproximación muy útil, ya que sería muy difícil identificar explícitamente la producción de cada sistema de uso de la tierra en cada tipo de tierra durante estudios de planeación regional. No obstante, la ecuación (8) aquí desarrollada requiere ulterior verificación.

La información sobre la productividad de los sistemas de uso de la tierra (P_i) se obtuvo de las mismas entrevistas en las que se requirió información sobre usos sostenibles. Las productividades de los distintos sistemas de uso se muestran en la Tabla 5.

En planeación es importante conocer la productividad biológica de cada tipo de tierra (P_j), porque de ello se desprende la asignación de los tipos de tierra más productivos a los sistemas de uso más intensivos y económicamente remunerativos. Con este conocimiento, también es posible explorar los caminos que conducen a una mejoría general de la productividad regional.

La productividad biológica de cada tipo de tierra (P_j) se evaluó empíricamente por medio de una encuesta de campo diseñada para estimar la productividad neta, en biomasa, del maíz durante la estación de crecimiento. Los pormenores del método empleado y los resultados obtenidos se discuten en otra parte (Marten y Sancholuz, 1981b); a continuación describimos cómo

se emplearon sus resultados en el juego del uso de la tierra.

Nos interesaba la productividad inherente de cada tipo de tierra, no así las diferencias debidas a los niveles de tecnología empleados en cada parcela. Para aclarar este punto, la totalidad de la muestra (306 parcelas) se sometió a un análisis de regresión múltiple en el cual: la biomasa de maíz por hectárea se tomó como variable dependiente, y las prácticas de cultivo como variables independientes. Las prácticas de cultivo pueden ser sistemáticamente diferentes en distintos tipos de tierra, y con ello introducir un sesgo en los resultados. Por ejemplo, se aplica relativamente más fertilizante a los suelos más deficientes en nutrientes, lo que enmascara la productividad inherente de ese tipo de tierra. Las prácticas de cultivo registradas en el análisis de regresión fueron: frecuencia de deshierbe, presencia de cultivos intercalados (*vgl.* frijol, calabaza, etc.), aplicaciones de fertilizantes (*vgl.* N, P, K), de pesticidas y el tiempo que la parcela había estado produciendo maíz sin descanso.

Durante las pruebas de regresión, cada tipo de tierra se incluyó como una variable independiente y muda (con valores de 0 o 1, dependiendo de que la parcela estuviera o no en ese tipo de tierra). De esta forma, los coeficientes de regresión parcial para cada tipo de tierra representan la productividad relativa de biomasa de ese tipo de tierra con independencia de los efectos de manejo señalados. Aunque la densidad de siembra es una práctica de cultivo que se correlaciona positivamente con la producción por hectárea, no se incluyó como variable independiente porque la consideramos parte integral de la respuesta de producción.

Las estimaciones de productividad obtenidas de cada tipo de tierra sólo son aplicables al año de la encuesta (1977). Como básicamente nos interesaba la productividad a largo plazo, realizamos un ajuste con la relación entre la evapotranspiración promedio de 15 años y la evapotranspiración experimentada por cada tipo de tierra en 1977. Definimos evapotranspiración realizable, para cada mes, como el menor de los valores de precipitación o de evapo-

ración de tanque en ese mes. Se optó por este ajuste al comprobar que la producción vegetal guarda una estrecha relación con la evapotranspiración realizable. Para ello se habían analizado los datos mensuales de 28 estaciones meteorológicas de la región. La productividad a largo plazo (P_j) de cada tipo de tierra se obtuvo siguiendo la fórmula:

$$P_j = P_j (77) \frac{ETR_j}{ETR_j (77)} \quad (9)$$

donde:

$P_j (77)$ = Productividad del tipo de tierra j para el año 1977.

$ETR_j (77)$ = Evapotranspiración realizable de 1977

ETR_j = Evapotranspiración realizable de largo plazo (promedio de 15 años).

El empleo de la evapotranspiración para predecir productividad es otra aproximación que requiere ulterior verificación. Su empleo es potencialmente muy valioso ya que el método reduce significativamente los costos de las encuestas de campo al emplear datos meteorológicos de fácil obtención. Si bien no estaba en nuestros propósitos, sería posible, además, utilizar a la evapotranspiración para predecir los riesgos agrícolas (por ejemplo la peor producción esperable en 5 años).

De la encuesta del maíz extrajimos una conclusión principal (Arrieta, 1979): la productividad en la región Xalapa varía primordialmente con las variaciones climáticas. La productividad más alta (planicie costera tropical) es 3 veces mayor que la productividad más baja (altiplano semiárido) (Tabla 4). Dentro de una misma zona climática, sin embargo, los cambios en productividad obedecen a factores edáficos; la dispersión de los puntos alrededor de la tendencia general del clima se explica, en gran parte, por las diferencias en profundidad y contenido de materia orgánica de los suelos (Portilla, 1980).

El índice de productividad presentado en la Tabla 4, es válido, en principio, para

cultivos anuales. Es razonable suponer que este índice refleja la totalidad del potencial productivo de la estación de crecimiento. Es también probable que los cultivos perennes alcancen producción adicional fuera del período de crecimiento del maíz. Como la duración de los barbechos de maíz (crecimiento nulo) es variable de una zona a otra, la productividad relativa de cada tipo de tierra bajo cultivos perennes no es necesariamente la misma que con cultivos anuales. Por lo tanto la productividad de cultivos perennes (PCP) se estimó de la siguiente manera:

$$PCP_j = P_j \frac{ETR_j}{ETRC_j} \quad (10)$$

donde:

P_j = Productividad de Temporal en el tipo de tierra j

ETR = Evapotranspiración realizable en todo el año.

$ETRC$ = Evapotranspiración realizable en el período de crecimiento.

Hasta este momento no hemos considerado los efectos del riego. Sin embargo estos efectos son cruciales para la producción, tal como lo atestigua la alta productividad relativa de los sistemas de riego en las zonas semiárida-templada y tropical subhúmeda. La productividad esperable con riego (PR) se calculó como sigue:

$$PR_j = P_j \frac{ETP_j}{ETR_j} \quad (11)$$

donde:

P_j = Productividad de temporal.

ETP_j = Evapotranspiración potencial (suma mensual de la evapotranspiración de tanque)

ETR_j = Evapotranspiración realizable

De esta forma, asumimos que la producción bajo riego es proporcional a la evapotranspiración real, la que a su vez es idéntica a la evapotranspiración potencial cuando el cultivo dispone de excedentes de agua debido al riego.

Proyecciones de población y de necesidades alimentarias

Si pensamos en la creación de zonas de abastecimiento para las ciudades, la autosuficiencia regional de alimentos puede considerarse un objetivo hipotético de tal plan. Este objetivo pudo ser explorado con el juego del uso de la tierra, aunque estábamos conscientes de que, en la práctica, la autosuficiencia no puede ser una meta real para todas las regiones del país. El juego funciona con metas de producción para las agrupaciones de alimentos señalados en la Tabla 3. La meta de un año dado corresponde, simplemente, al consumo de alimentos que esperamos en ese año. La autosuficiencia total incluiría niveles de producción por lo menos iguales a los de consumo.

La estimación del consumo de alimentos de la población de la región Xalapa se realizó en dos etapas:

- (1) estimación del consumo per cápita de diferentes tipos de alimentos de la población rural y urbana.
- (2) proyección de población rural y urbana en la región.

El consumo per cápita se calculó con base en la encuesta de ingresos y gastos familiares conducida por el Instituto de Economía de la Universidad Veracruzana (I.E.U.V., 1975), que publica una tabla de gastos en diferentes tipos de alimentos, discriminados por población rural y urbana, basada en una muestra de 850 casas de la región Xalapa. Se consultaron también los datos originales de la encuesta para estimar el precio promedio de cada tipo de alimento. Dividiendo el gasto por el precio de cada alimento obtuvimos una tabla de *consumo per cápita*, en kilogramos, de cada tipo de alimento (Tabla 8).

El rasgo más sobresaliente de la Tabla 8 es la gran cantidad de proteínas animales en la dieta urbana. Como los productos animales necesitan más tierra que los

TABLA 8.
CONSUMO DE LOS PRINCIPALES ALIMENTOS
(POR PERSONA POR AÑO)* Y CANTIDAD DE
TIERRA NECESARIA PARA PROVEER ESA
CANTIDAD DE ALIMENTO

ALIMENTOS	URBANO		RURAL	
	Alimento (kilos)	Tierra (Ha)	Alimentos (kilos)	Tierra (Ha)
MAIZ**	65	.032	153	.076
FRIJOL**	39		27	
ARROZ	15	.004	10	.003
TRIGO	27	.027	14	.014
TUBERCULOS	34	.005	13	.002
FRUTAS	45	.008	22	.004
HORTALIZAS	89	.015	40	.007
CARNE	37	.410	11	.123
LECHE	222	.121	63	.034
AZUCAR	34	.001	26	.001
TOTAL		.622		.264

* Basado en datos de I.E.U.V. (1975)

** Maíz y frijol se siembran intercalados.

vegetales para rendir la misma cantidad de calorías y proteínas (Tabla 9), el habitante urbano tipo, utiliza, para alimentarse, el doble de la tierra utilizada por un campesino.

TABLA 9.
NIVELES TIPICOS DE LA PRODUCCION ANUAL
DE CALORIAS Y PROTEINAS CON LOS
SISTEMAS DE USO EXISTENTES EN LA ZONA
TEMPLADA HUMEDA (TECNOLOGIA ACTUAL,
DE TEMPORAL).

	Calorias (10 ⁶ /ha)	Proteinas (kg/ha)
MAIZ-FRIJOL	6.2	180
HORTALIZAS	2.7	170
FRUTALES	2.4	36
LECHE	1.1	64
CARNE	0.3	18

La proyección de la población en la región Xalapa se basó en una extrapolación exponencial del crecimiento, tanto de la población rural como urbana, entre los años 1960 y 1970. Para ello se consultaron los datos de los censos poblacionales de 1960 y 1970, y la tasa de crecimiento instantáneo de la población se calculó de la siguiente forma:

$$r = \frac{\ln (\text{población de 1970/1960})}{10 \text{ años}} \quad (12)$$

Las estimaciones que siguen deben considerarse como las poblaciones máximas esperables, ya que siempre existe la posibilidad de una disminución de la tasa de fertilidad en el futuro. La Tabla 10 indica que "r" en la población urbana es 4.5% mientras que "r" en la población rural es 1.6% por año. De esto se desprende que, si bien en 1978 la mitad de la población era urbana, hacia el año 2 000 las ciudades concentrarán hasta dos tercios de la población total de la región.

TABLA 10.
POBLACION DE LA REGION XALAPA (ACTUAL
Y PROYECTADA, VER TEXTO)

	1978	2000
Rural	313,000	444,000
Urbana	290,000	746,000
TOTAL	603,000	1.190,000

El alimento necesario para lograr la autosuficiencia alimentaria, en un año dado, se obtuvo proyectando el consumo. Estas cifras, a su vez fueron utilizadas para determinar las metas (g_k) de producción de alimentos (Tabla 3) para "escenarios" del año considerado. Las proyecciones se obtuvieron multiplicando la población proyectada para ese año y el consumo per cápita promedio, de cada tipo de alimento. Similares cálculos se hicieron tanto para la población rural como para la urbana. Al final, ambas proyecciones se sumaron en una sola cifra que representa el consumo de toda la población de la región.

RESULTADOS Y DISCUSION

El juego del uso de la tierra de Xalapa está a disposición* de quienes se interesen

* Programa Planeación Ecológica del Uso de la Tierra, INIREB, Xalapa.

en explorar 1) las implicaciones de diferentes objetivos en la planeación del uso de la tierra, 2) las prioridades de esos objetivos, y 3) las consecuencias de diferentes restricciones en los insumos de la producción. Nosotros utilizamos este esquema para dilucidar los intercambios (*trade-offs*) entre objetivos ambientales y otros objetivos comunes a la planeación.

Uso óptimo e implicaciones

En esta sección discutimos lo que resulta de preguntarnos:

¿Cuáles son los costos ambientales de aumentar, en forma creciente la producción de alimentos o los ingresos agrícolas?

¿Cómo afecta el incremento de los servicios de asistencia técnica agrícola los intercambios entre los distintos objetivos del uso de la tierra?

¿Cuáles sistemas de uso de la tierra deberían fomentarse si se contara con mayores servicios de asistencia técnica?

Para responder a tales preguntas, establecimos las siguientes escalas de prioridades para los objetivos presentados en la Tabla 3.

Caso A

- Prioridad 1. Satisfacer las necesidades regionales de alimento
- Prioridad 2. Minimizar la erosión
- Prioridad 3. Maximizar los ingresos agrícolas
- Prioridad 4. Minimizar el uso de insumos químicos agrícolas.

Caso B

- Prioridad 1. Satisfacer las necesidades regionales de alimento.
- Prioridad 2. Maximizar los ingresos agrícolas
- Prioridad 3. Minimizar la erosión
- Prioridad 4. Minimizar el uso de insumos químicos agrícolas.

Un estudio comprensivo de planeación ecológica basado en objetivos múltiples debería, además, considerar: productos forestales, materiales de construcción y minerales, fibras, potencial recreativo, manejo del agua, y conservación de especies o ecosistemas en peligro de extinción. Si bien podríamos haber incluido estos recursos y servicios de la tierra en nuestro juego, la falta de información y el consecuente esfuerzo requerido para cuantificar tales aspectos nos inclinaron a concentrarnos en la lista de objetivos previamente mencionada. Por ejemplo, no incluimos metas de producción forestal ya que no se conocía el nivel de consumo de productos forestales en la región Xalapa; tampoco pudimos caracterizar a los diversos sistemas de uso forestal (explotaciones extensivas, plantaciones, reservas) y, por ende, no pudimos investigar, con la profundidad que merece, el papel que estos sistemas juegan en el uso de la tierra.

En cambio, si exploramos un amplio rango de servicios de apoyo a la agricultura (riego y asistencia técnica), desde la ausencia absoluta hasta la existencia ilimitada, y también consideramos la meta de autosuficiencia alimentaria a corto y largo plazo, tomando como puntos de referencia los niveles actuales de consumo de alimento y los proyectados para el año 2000. Este último objetivo se consideró satisfecho cuando la producción, en la asignación óptima, era igual a la cantidad especificada; asumimos, por lo tanto, que cualquier excedente al consumo regional de un año dado podía exportarse de la región.

Las combinaciones de objetivos, prioridades, y restricciones a los insumos (los escenarios posibles) son demasiadas para ser cubiertas en esta ocasión. Por ello hemos elegido una pequeña muestra de escenarios (Tablas 11 y 12), todos ellos encaminados a satisfacer, en primer lugar, las necesidades alimentarias regionales del año 1978.

Caso A

En el caso en que la maximización de los ingresos agrícolas de la región tiene prioridad sobre la reducción de la erosión (las

dos primeras columnas de las Tablas 11 y 12), la solución óptima asigna la totalidad de las tierras aptas para usos más intensivos que el forestal (4190 km) a usos agropecuarios. Cuando la asistencia técnica y el riesgo disponibles se encuentran en los niveles actuales, o sea 100 km en ambos casos, la producción de maíz, frijol, y papa se concentra en los suelos planos de la zona templada y en los suelos más pobres pero igualmente planos, de la zona subtropical (ver 1a. columna de la Tabla 11). La producción de estos cultivos apenas satisface las necesidades regionales, con excepción de la papa que alcanza niveles 30 veces superiores a los requeridos regionalmente.

Los insumos tecnológicos modernos se asignan a la producción de hortalizas y ganado en la zona tropical, producción ésta que satisface la demanda regional. La mayor parte de la tierra con altas pendientes de la zona templada se dedica a la ganadería lechera, lo que a su vez genera un excedente regional de leche. La tierra más inclinada pero utilizable de la zona templada y toda la tierra utilizable de otras zonas que no es ocupada para satisfacer necesidades regionales de alimentos, se dedica a plantaciones frutícolas (incluyendo el café); así la producción frutícola excede 110 veces la cuota regional de consumo y, por lo tanto, puede considerarse disponible para la exportación. Sin embargo, debemos recordar que todos estos resultados son independientes de cualquier consideración sobre riesgos agrícolas, no contemplados entre los objetivos del juego. En la actualidad la región Xalapa tiene muchas menos plantaciones de frutales, con la excepción del café, que las sugeridas por la asignación óptima (Sancholuz, Marten y Zolá, 1981); ello quizás obedezca al riesgo, nada despreciable, de plagas y enfermedades en la región.

Si los ingresos agrícolas retienen alta prioridad, pero al mismo tiempo se cuenta con ilimitado riego y asistencia técnica, (ver la columna 2, en Tabla 11), entonces la mayor parte del maíz se cultiva en la zona tropical, obteniéndose niveles de producción que superan tres veces las necesidades regionales del grano. El resto de los usos se mantienen con los patrones y exce-

TABLA 11.
EJEMPLOS DE ASIGNACIONES OPTIMAS DE LA TIERRA¹

ZONAS CLIMATICAS TIPOS DE TIERRA	PRIORIDAD PRINCIPAL.* MAXIMIZAR INGRESOS		PRIORIDAD PRINCIPAL.** MINIMIZAR EROSION	
	Caso A:		Caso B:	
	NIVEL DE TECNOLOGIA EN 1978	NIVEL DE TECNOLOGIA ILIMITADA	NIVEL DE TECNOLOGIA EN 1978	NIVEL DE TECNOLOGIA ILIMITADA
TEMPLADO FRIO SEMIARIDO				
2 Falda Ayahualulco	Maíz-papa	Hortalizas Templadas	-----	-----
3 Plano Conejo	Maíz-papa	Hortalizas Templadas	Trigo Maíz-papa	Maíz-frijol Maíz-papa Hortalizas templadas
4 Ladera Las Vigas-Ixhuacán	Leche ⁴	Leche ⁴	-----	-----
5 Abanico Perote	Maíz-papa	Hortalizas templadas	-----	-----
6 Valle Perote	Maíz-papa	Hortalizas templadas	Trigo	Maíz-frijol
7 Cárcavas y derrames	Maíz-papa	Hortalizas templadas	-----	-----
8 Malpaís Perote	-----	-----	-----	-----
TEMPLADO FRIO SUBHUMEDO				
9 Loma Las Vigas	Maíz-frijol	Hortalizas templadas	-----	-----
10 Plano Las Vigas	Maíz-papa Maíz-frijol	Hortalizas templadas	-----	-----
TEMPLADO CALIDO HUMEDO				
11 Pendientes fuertes	Frutales templados	Frutales templados	-----	-----
12 Escarpas de cerros	Frutales templados	Frutales templados	-----	-----
13 Fondos templados	Maíz-papa	Maíz-papa Leche	-----	-----
14 Ladera templada	Leche	Leche	-----	-----
15 Cresta templada	Leche	Leche	-----	-----
16 Plano inclinado	Maíz-papa	Leche	-----	-----
17 Malpaís templado	-----	-----	-----	-----
SUBTROPICAL HUMEDO				
18 Malpaís cálido	Maíz-frijol	Maíz-frijol	-----	-----
19 Barranca semicálida húmeda	Café	Café	-----	-----
20 Ladera semicálida húmeda	Café	Café	-----	-----
21 Plano semicálido húmedo	Café	Café	Maíz-frijol	-----
SUBTROPICAL SUBHUMEDO				
22 Fondo tepetate	Plátano Café Café	Café Café	Maíz-frijol Maíz-frijol Plátano Ganado	-----

Tabla 11 (Continuación)

ZONAS CLIMATICAS TIPOS DE TIERRA	Caso A: PRIORIDAD PRINCIPAL.* MAXIMIZAR INGRESOS		Caso B: PRIORIDAD PRINCIPAL.* MINIMIZAR EROSION	
	NIVEL DE TECNOLOGIA EN 1978	NIVEL DE TECNOLOGIA ILIMITADA	NIVEL DE TECNOLOGIA EN 1978	NIVEL DE TECNOLOGIA ILIMITADA
23 Cresta tepetate	Maíz-frijol	Café	-----	-----
24 Cañada tepetate	Platano	Café	-----	-----
25 Barranca	Papaya (Citricos) ²	Papaya (Platano) Forraje arbóreo para ganado	-----	-----
26 Cresta ondulada	Papaya (Yuca) ² Ganado (RM) ³ Forraje arbóreo para ganado (TM) ³	Hortalizas tropicales	Ganado Ganado (RM) Forraje arbóreo para ganado (TM)	-----
27 Aluviones y terrazas	Papaya (Mango) ² Hortalizas tropicales	Hortalizas tropicales	Ganado Maíz (RM) Arroz-hortalizas (RM) Ganado	Forraje arbóreo para ganado Platano -----
28 Crestas rendzinas	Papaya (Ganado) ²	Ganado Maíz	Ganado	-----
29 Plano rendzinas	Papaya (Ganado) ²	Papaya (Maíz) ²	Ganado	Forraje arbóreo para ganado
30 Cerros costeros	Papaya (Citricos) ¹	Papaya (Platano) ²	-----	-----
31 Laderas costeras	Papaya (Citricos) ²	Maíz-hortalizas (Piña) ²	-----	-----
32 Médanos	Ganado	Ganado	Ganado	-----
33 Lagunas costeras	Ganado	Maíz	-----	-----

* Después de la autosuficiencia alimentaria.

¹ El tipo de tierra Cofre de Perote no fue incluido en este escenario. El uso apropiado de este tipo de tierra sería únicamente reserva natural o uso forestal.

² El cultivo entre paréntesis indica que puede ser un sustituto de la papaya si ésta no es factible debido a infecciones por virus.

³ Insumos modernos: RM = Sistema de uso moderno con riego
TM = Sistema de uso moderno sin riego

⁴ En este escenario permitimos la producción de leche en pendientes pronunciadas de la zona montañosa; la viabilidad de tal sistema productivo en este tipo de tierra es, sin embargo, cuestionable.

dentes del caso anterior, si bien se obtiene, además, un exceso de hortalizas 190 veces las necesidades del consumo regional; estas hortalizas se localizan en los suelos aluviales de las zonas semiárida-templada-fría (Perote) y tropical (Actopan). En resumen, si no se tienen limitaciones en los servicios de apoyo a la

producción, es posible producir más grano y enormes excedentes comerciales tanto de frutas como de hortalizas. Sin embargo, es imprescindible la expansión en cantidad y calidad de la asistencia técnica tanto para desarrollar los cultivos hortícolas, como para fomentar la localización, en tierras marginales, de plantaciones frutales.

TABLA 12.
RESULTADO DE LA ASIGNACION OPTIMA DE
LA TIERRA QUE SATISFACE LOS
REQUERIMIENTOS DE ALIMENTO EN LA
REGION XALAPA PARA 1978, COMPARADO
CON EL USO ACTUAL

ESCENARIOS					
VALORES ANUALES VARIABLES REGIONALES (por una unidad de superficie)	AUTO ABASTECIMIENTO REGIONAL				USO ACTUAL**
	Caso A: Ingreso Máximo		Caso B: Erosión Mínima		
	Nivel de tecnología 1978	Tecnología ilimitada	Nivel de tecnología 1978	Tecnología ilimitada	
Ingresos agrícolas pesos x 10 ⁶ (pesos/Ha) ,	5350 12800	19340 46200	830 5550	746 16800	1140 4840
Erosión: ton x 10 ⁶ (ton/Ha) ,	5.5 13.1	6.7 16.0	.063 .42	.011 .250	4.0 17.0
Químicos agrícolas: pesos x 10 ⁶ (pesos/Ha) ,	230 550	1890 4510	44 300	53 1200	104 440
Mano de obra: Jornales x 10 ⁶ (jornales/Ha) ,	15.0 36.0	52.0 124.0	3.1 21	1.8 41.0	7.9 33.0
Area en granos/ Leguminosas (Km ²)	922	482	540	196	1532
Area en hortalizas (Km ²)	6	1636	11	20	
Area en frutales (Km ²)	2650	1731	13	4	312
Area en ganado (Km ²)	612	660	940	224	920
Area total en uso (Km ²)	4190	4190	1494	444	2355

** Estimaciones basadas en los sistemas de uso dominantes por tipo de tierra, inventario aerofotográfico (Tabla 3 de Sancholuz, Marten y Zóla 1981), y los coeficientes técnicos de la Tabla 5).

Bajo los dos niveles de servicios de apoyo agrícola presentados en la tabla 12, la erosión promedio, (columnas 1 y 2) supera el monto recomendable. Sin embargo, la erosión promedio por hectárea no es mayor que la actual de la región

Xalapa. La solución óptima también indica que, la aplicación de productos químicos agrícolas en toda la región es extremadamente alta; considerando por ejemplo asistencia e insumos ilimitados, esta última es casi 20 veces la cantidad aplicada hoy en día.

Caso B

Si le damos prioridad a la minimización de la erosión (últimas dos columnas, Tabla 12), la solución óptima adjudica a los cultivos alimentarios solamente la tierra necesaria para alcanzar la autosuficiencia (no quedan excedentes exportables). En este caso, la erosión se reduce sustancialmente incluso más de lo necesario, y el uso de fertilizantes y pesticidas se ve también reducido a la mitad del uso actual. Si bien el empleo de químicos agrícolas por hectárea es alto en el caso de tecnología ilimitada (columna 4), el monto de estas aplicaciones en la región es casi el mismo, independientemente de la tecnología (columnas 3 y 4). Esto último se debe al menor empleo de tierra en la producción de alimentos cuando se utilizan insumos modernos.

El ingreso agrícola medio, por hectárea, se reduce a la mitad cuando priorizamos minimizar la erosión en vez de maximizar ingresos. Sin embargo, estos menores ingresos son todavía mayores que los ingresos actuales en la región, 3 veces mayores con tecnología ilimitada. Tanto ingreso como empleo regional son menores porque, para minimizar la erosión, la solución óptima retira tierras de la producción. El nivel de empleo es, en general, mayor cuando mayor es el apoyo técnico, ya que los sistemas de uso más tecnificados emplean más mano de obra que los sistemas utilizados en la actualidad en la región Xalapa.

Siempre manteniendo con más alta prioridad la minimización de la erosión y considerando las presentes condiciones tecnológicas (columna 3, Tabla 11), la estrategia óptima es concentrar estos escasos recursos técnicos en la zona tropical, hecho éste que, además, ocurre en la actualidad. Allí, y de acuerdo con la asignación

óptima, se producen intensivamente arroz, maíz, hortalizas y ganado. Trigo, papas y más maíz, se localizan en las tierras más planas de la zona semiárida-templada-fría (Valle de Perote), y en los suelos planos fértiles de la zona cálida (Coatepec), ocupados en la actualidad por cafetales y caña de azúcar. Los requerimientos adicionales de carne y leche se obtienen en la zona tropical, y los de frutas en una pequeña cantidad de tierra de la zona semicálida. La tierra con altas pendientes (la mayor parte de la zona templada-húmeda), aunque fértil, se asigna exclusivamente a usos forestales.

Si ahora consideramos el caso de tecnología ilimitada (columna 4 de la Tabla 11), la producción de maíz, frijol, papas y hortalizas se concentra en el Valle de Perote. Leche, carne y frutas se producen en las tierras planas de la zona tropical. El resto de la tierra en la región se adjudica a los usos forestales.

Capacidad de sustentación

¿A cuántos habitantes puede dar sustento la región Xalapa? Esta pregunta no tiene una sola respuesta. La "capacidad de sustentación humana" depende del nivel de la tecnología agropecuaria empleada, del estilo de vida de los habitantes de la región (hábitos de consumo), y de la magnitud del deterioro del medio ambiente que estemos dispuestos a tolerar.

Sin límites en el riego o en la cantidad de servicios de asistencia técnica, la región Xalapa podría alimentar 8 veces la población actual (600,000 habitantes), siempre y cuando toda la tierra disponible se asignara al uso agrícola. No obstante, esta solución no sería sostenible sin terrazas y otras obras para prevenir la erosión masiva en las tierras con altas pendientes. Si en cambio, se pusiera a producir solamente la tierra adecuada para la producción sostenible a largo plazo sin tales obras, y tampoco existieran limitaciones de tecnología moderna, la región Xalapa podría dar sustento a 5.5 veces su población actual.

Tomando en cuenta los servicios de apoyo actualmente disponibles en la región, se podrían sustentar 900,000 habitantes (1.5 veces los actuales) manteniendo las tierras excesivamente erosionables fuera de producción (de producir estas tierras aportarían un 40% más de alimento, aunque fuera temporalmente). Al duplicar el monto de servicios técnicos de apoyo la capacidad de sustentación aumenta a 1 300 000 habitantes, y hasta 1 540 000 habitantes tendrían sustento en la región si cuadruplicáramos los servicios técnicos actuales.

Hasta ahora hemos supuesto que los hábitos de consumo de los habitantes de la región serán los mismos que los comprobables en la actualidad. Pero en realidad la población de la región Xalapa está experimentando una rápida urbanización, con todos los cambios de hábitos que la acompañan. Si por ejemplo, toda la población de la región tuviera la misma dieta que el habitante medio de Xalapa (Tabla 6), la capacidad de sustentación de la región se reduciría en un 30% en todos los casos arriba mencionados.

¿Cuáles son las implicaciones de lo dicho para las necesidades alimentarias de la región Xalapa con vista al crecimiento de la población y a la urbanización que tendrá lugar hasta el año 2 000? Esta pregunta puede centrarse con las siguientes preguntas adicionales:

¿Cuánto alimento consumirá la ciudad y la región de Xalapa en el año 2000?

¿Se pueden producir esos alimentos en la región bajo las actuales condiciones tecnológicas? En caso negativo:

¿Cuánto debemos mejorar los servicios tecnológicos para alcanzar tal meta y hacia cuáles usos de la tierra se deben dirigir esos servicios?

¿Qué efecto tendría tal producción adicional en el nivel de erosión?

¿Qué otros costos adicionales (ejemplo: contaminación con pesticidas y fertilizan-

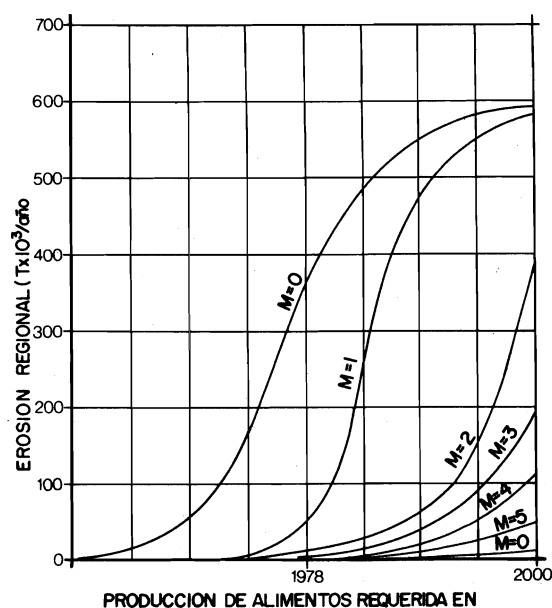


FIGURA 5. Erosión regional y su relación con la producción de alimento. Se supone que la asignación de la tierra es la óptima para producir el alimento requerido y con los mínimos niveles de erosión. Los puntos 1978 y 2000 de la abscisa representan la cantidad de alimento necesario para abastecer la región Xalapa en los años respectivos. El intervalo entre el origen y 1978 y entre 1978 y 2000 se calculó haciendo interpolaciones lineales de producción entre esos años.

tes) tendríamos que afrontar para satisfacer las necesidades alimentarias?

La población de la región de Xalapa se duplicaría hacia finales del siglo, y tal crecimiento será más importante en las áreas urbanas de alto consumo. Si la población y la demanda actuales fueran pequeñas comparadas con la capacidad productiva de la tierra, un crecimiento rápido de la demanda no ocasionaría mayor problema. Sin embargo, éste no es el caso de la región Xalapa. En ella ya está, en producción virtualmente toda la tierra apta, y el 90% de esas tierras se dedica a la producción de alimentos.

Supongamos los siguientes objetivos, en orden de prioridad decreciente: 1) suficiente producción alimentaria para satisfacer el consumo regional del año 2000; 2) minimización de la erosión; 3) maximización de los ingresos rurales, y 4) minimización del empleo de insumos químicos. El

juego del uso de la tierra indica que sería posible (dada una asignación óptima de usos a tipos de tierra) producir los alimentos requeridos, bajo niveles aceptables de erosión, si los servicios de apoyo tecnológicos se cuadruplicaran (Fig. 5). En la solución óptima, la mayor parte del esfuerzo se dirige a la intensificación de la producción de carne en la zona tropical y el resto hacia la intensificación de la producción de granos (maíz y arroz), también en la zona tropical.

La producción ganadera es relativamente ineficiente cuando se compara su rendimiento de alimentos por hectárea con cualquier otro uso agrícola alimentario. Por ello, y por la alta demanda de carne que existirá en el año 2000, de no mediar cambio alguno en esta situación, el siguiente patrón de usos prevalecería: los usos ganaderos ocuparían vastas extensiones, la producción de maíz se extendería hasta las tierras altas e inclinadas con la consecuente erosión de los suelos, y ya no quedaría tierra alguna para la producción del resto de los alimentos requeridos. Afortunadamente, la producción pecuaria puede intensificarse hasta alcanzar 5 veces los rendimientos actuales si se combina con cultivos forrajeros. Este mejoramiento liberaría tierras de la zona tropical para su uso en producción de granos básicos y, consiguientemente, en las áreas montañosas se reemplazarían esos granos con frutales o pastizales bien manejados. La importancia de la zona tropical radica en su potencial productivo bajo riego, el que permite realizar dos o tres cultivos al año. Acotemos, sin embargo, que los esquemas de riego ininterrumpidos en el trópico pueden fracasar en el mediano plazo si no se toman todas las precauciones necesarias.

En todos los escenarios, las plantaciones de árboles forrajeros juegan un papel capital en el uso de las tierras marginales del trópico. Nosotros incluimos como ejemplo, las plantaciones de ramón (*Brosimum alicastrum*), que si bien no se cultiva comercialmente en la actualidad debería ensayarse a escala piloto (Pardo Tejeda y Sánchez Muñoz, 1980). Este sistema de

uso promete ser un medio ecológicamente eficaz para intensificar la producción ganadera del trópico mexicano.

En la Figura 5, podemos ver cómo el nivel de erosión cambia con la producción. Se abarca allí un rango de producción consistente con la satisfacción de las necesidades alimentarias regionales de los años 1978 al 2000. Bajo cualquier nivel tecnológico (distintas curvas de la Figura 10) se nota un cambio catastrófico en la pérdida de suelos cuando se supera un cierto umbral; umbral que se relaciona con la adición de tierras altamente erosionables a la producción. El valor de este umbral es más alto cuando mayor es el nivel tecnológico.

Contrastando con lo anterior, y aunque la descarga hacia el medio ambiente de pesticidas y fertilizantes aumenta proporcionalmente con los aumentos de producción, el volumen final de productos químicos descargados en la región no guarda relación con el nivel de tecnología empleado en la producción. De esta forma, la tecnología moderna es un instrumento necesario (si bien no suficiente) para mantener la erosión dentro de límites tolerables cuando la demanda por productos de la tierra aumenta. Esto es así puesto que, con más tecnología, el aumento de producción no resulta necesariamente de la expansión del área productiva, sino, más bien, de la intensificación de los usos en algunas partes de la región.

La región Xalapa podría ser autosuficiente en alimentos sin ocasionar exagerada erosión, pero de cualquier forma encontrará un umbral crítico en las proximidades del año 2000. Esto será así de no mejorarse el presente cuadro tecnológico. Para superar este escollo, es necesario redoblar los esfuerzos que conduzcan a la intensificación de los usos agropecuarios actuales.

Consideraciones finales

El juego del uso de la tierra que hemos presentado, al operar con "óptimos", nos

indica lo que es posible. Sus soluciones pueden compararse con lo que pasa en la realidad. Así, por ejemplo, el nivel de erosión de la región, con los usos que en ella se practican hoy en día, es 60 veces mayor que lo sugerido por el juego a iguales condiciones tecnológicas, dándole alta prioridad al autoabastecimiento alimentario, y a minimizar la erosión. Desde el punto de vista de la conservación de los suelos, estamos, pues, en presencia de un caso de asignación subóptima de recursos. Ello nos inclina a pensar que hay otras restricciones económicas y sociales, que al no haberse incluido en nuestro estudio, pueden dar razón a tal disparidad entre el óptimo y lo real. Pensamos entonces que, a más de existir otros objetivos y prioridades individuales entre los productores (tales como la maximización de la ganancia, y la minimización de los riesgos y de los esfuerzos de producción), también existen serias restricciones en la tenencia de la tierra y en la disponibilidad de asistencia técnica, las que limitan, aún más, la búsqueda de soluciones óptimas en la práctica.

Agradecimientos

Queremos agradecer, en primer lugar, a todo el personal del Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos (INIREB) por su constante apoyo durante este trabajo. El Dr. Arturo Gómez-Pompa (Director del INIREB), y los miembros del Programa de Planeación Ecológica del Uso de la Tierra de INIREB; Manuel Zolá, Enrique Portilla, Arturo Arrieta, Antonieta Lavín, Michael Koterba, Jerónimo García y Lorena Bowser merecen especial mención por sus valiosas contribuciones a las ideas y datos que sustentan este estudio.

Fernando Brunstein colaboró en la elaboración del marco socio-económico y Donald Jameson nos introdujo a la programación de metas. Paul Zinke preparó al personal en fotointerpretación y clasificación de territorios, y condujo estudios edafológicos de nutrición y perfiles en el campo. Silvio Olivieri contribuyó con valiosas observaciones para la preparación del manuscrito final.

Estamos profundamente agradecidos a los numerosos agrónomos, campesinos y productores en general de la región Xalapa por la riqueza de la información que nos transmitieron acerca de los usos de la tierra.

También agradecemos a la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos de México por permitirnos el acceso a sus archivos de estadística meteorológica y agrícola, así como al Instituto de Investigaciones y Estudios Superiores Económicos y Sociales de la Universidad Veracruzana (IISES) por permitirnos consultar los datos originales de la encuesta de ingresos y gastos del Estado de Veracruz.

Numerosos funcionarios del Gobierno

del Estado de Veracruz, especialmente Carlos Lascurain y su grupo de Reforma Urbana de Xalapa, nos apoyaron constantemente e intercambiaron información con nuestro proyecto. La Tesorería del Estado de Veracruz, facilitó gentilmente el uso de su computador IBM 370.

Este trabajo fue financiado por la Fundación Ford, y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT) y el programa del Hombre y de la Biosfera de la UNESCO (MAB).

Sin embargo, cualquier error u opinión vertida en el presente trabajo son de la entera responsabilidad de los autores.

BIBLIOGRAFIA

- ARRIETA, A.A. 1979. Influencia de variables climáticas en la productividad del maíz. Tesis Universidad Veracruzana, Xalapa, México, 39 p.
- HOLDRIË, L.R. 1971. Forest environments in tropical life zones. Pergamon, Oxford, 747 pp.
- I.E.U.V., 1975. Encuesta sobre ingresos y gastos de las familias del estado de Veracruz. Inst. Inv. y Est. Sup. Econ. y Sociales, Universidad Veracruzana, Xalapa, Ver., México, 110 p.
- LEE, S.M. 1972. Goal programming for decision Analysis. Pelroielli, New York.
- MARTEN, G.G. y SANCHOLUZ, L.A. 1981. Análisis estadístico de una encuesta ecológica sobre cafetales del Golfo de México Biotica 6 (1): 7-32.
- MARTEN, G. SANCHOLUZ L.A. 1981 b. El maíz como indicador de productividad de la tierra en la región Xalapa. Biotica 6 (2): 175-182.
- PARDO TEJEDA, T.E. y SANCHEZ MUÑOZ. C.S. 1980. *Brossimum alicastrum* (ramón, capomo, ojite, ojoche): Recurso silvestre desaprovechado. INIREB, Cuadernos de divulgación (2da. edición), Xalapa, México.
- PORTILLA, O.E. 1980. Suelos en la región Xalapa y relación con la productividad. Tesis Universidad Veracruzana. Xalapa, México, 39 p.
- SANCHOLUZ, L.A., MARTEN, G.G. y ZOLA, M. 1981. Tipos de tierra para la planeación ecológica del uso de la tierra. Biotica 6 (2): 155-173.
- SARH, 1979, Estado de Veracruz: Plan de Desarrollo Agropecuario y Forestal (1980-82). Tomo I, Diagnóstico global, 104 pp. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Xalapa, Ver.
- WISCHMEIER, W.H. 1974. New developments in estimating water erosion, in: Proc. 29th. annual meeting Soil Cons. Soc. Amer., pp. 179-186.
- WISCHMEIER, W.H. y SMITH D.D. 1965. Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky mountains; a guide for the selection of practices for soil and water conservation. Agric. Handbook No. 282, U.S. Dept. of Agric., Washington, D.C.
- WISCHMEIER, W.H. y MANNERING J.V. 1969. Relation of soil properties to its erodibility. Proc. Soil. Sci. Soc. Amer., 33: 130-137.
- WISCHMEIER, W.H., JOHNSON L.B. y CROSS R.V. 1971. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. J. Soil & Water Cons., 26: 189-193.

ERRATAS ADVERTIDAS

BIOTICA VOL. 6, NUMERO 2, 1981

- Página 126, Tabla 1. a) Dice: "Tipos climáticos²", debe decir: "Tipos climáticos⁴"; b) dice: "Templado cálido húmedo 1800-2250", debe decir: "Templado cálido húmedo 1400-2250"; c) columna Promedio Temperatura m² debe ser: 11, 15, 14, 19, 22, 24, 29.
- Página 133, Tabla 4. a) Columna Tipo de suelo, línea 5. Abanico Perote, debe decir: Aluvial; en 7. Cárcavas y derrames: Litosol; en 9. Loma Las Vigas : Regosol; en 15. Cresta Templada: Latosol; en 16. Plano inclinado: Andosol. b) Columna Superficie, en 13. Fondos templados, dice: "458", debe decir: "58". c) Columna Pendientes, en 1. Cofre de Perote, dice: "750", debe decir: ">50".
- Página 134, Tabla 5. Columna rendimiento, hilera yuca, dice "29.0", debe ser "20.0".
- Página 135, Tabla 5. Al pie de la Tabla dice: "(TA) Agricultura...", debe decir: "**(TA) Agricultura...".
- Página 136, línea 31, dice: "sea relativamente baja a la erosión...", debe decir: "sea relativamente baja o la erosión...".
- Página 139, línea 1, dice: "La erosión (E) de un...", debe decir: "La erosión (Ei) de un.....".
- Página 144, Tabla 9. Falta aclaración de las fuentes utilizadas: a) Productividad media de los sistemas de uso, y b) Hernández, M. Chávez, A. y Bourges, H. 1977. Valor nutritivo de los alimentos mexicanos. Tablas de uso práctico. Publicación de la División de Nutrición. 7a edición. Instituto Nacional de Nutrición. Méxco. 34 pp.