

DESARROLLO Y APLICACIÓN DE UN MODELO DE ASIGNACIÓN DEL USO DEL SUELO

DEVELOPMENT AND APPLICATION OF AN LAND USE ALLOCATION MODEL

Fecha de recepción: 27/09/2017//Fecha de aceptación: 21/12/2017

Oscar Arturo Gauto

M.Sc. Profesor de la Universidad Nacional de Misiones. Eldorado - Argentina.

Julio Eduardo Arce

Doctor en Ingeniería Forestal Profesor de la Universidade Federal Do Paraná. Curitiba - Brasil

Afonso Figueiredo Filho

Doctor en Ingeniería Forestal Profesor de la Universidade Federal Do Paraná Curitiba - Brasil y de la Universidade Estadual do Centro Oeste (UNICENTRO) Iratí - Pr - Brasil

Flavio Felipe Kirchner

Ph.D. Universidade Federal do Paraná

RESUMEN

Un modelo de asignación de uso del suelo basado en Programación Lineal (PL) y en Sistemas de Información Geográfica (SIG) fue desarrollado con el propósito de apoyar a la toma de decisión Argentina. Se aplicó una estructura de "baja integración" o "loosecoupling", para la vinculación entre PL y SIG. Con la intención de aplicar el modelo a una situación real, se realizó un diagnóstico socio económico y ambiental de la provincia. Del total de los usos del suelo que actualmente posee la misma, se seleccionó para trabajar: bosques cultivados, yerba mate, te y tabaco por tratarse de actividades representativas. Se plantearon cuatro objetivos básicos de modelado: generación de renta bruta total, generación de empleos, uso de agroquímicos y erosión total de los suelos. Con los datos obtenidos fueron conducidos análisis espaciales de cruzamiento y modelado cartográfico en ambiente SIG; fue construido el modelo de PL y sus resultados visualizados en SIG. Estos resultados demuestran que la PL unido a los SIG son excelentes herramientas de apoyo a la toma de decisión de asignación de uso del suelo, ya

SUMMARY

A land use allocation model based on Linear Programming (PL) and Geographic Information Systems (GIS) was developed with the purpose of supporting decision making on land use allocation in rural areas in Misiones Province. A "loose coupling" link structure was applied to link between PL and GIS. With the aim of applying the model to a real situation, a socio-economic and environmental diagnosis of the Province of Misiones, Argentina was carried out. From all the land uses that it has at present: planted forests, yerba mate, tea and tobacco, were selected to work with because they are representative. Four basic modeling objectives were proposed: total gross income generation, job creation, use of agrochemicals and total soil erosion. With the data obtained were conducted spatial analysis, overlay maps and cartographic modeling in GIS environment; was constructed the model of PL and its results visualized in GIS. Their results show that PLs linked to GIS are excellent tools to support land use decisions, since they produce realistic results.

que producen resultados realistas.

Palabras clave: Asignación usos suelo, SIG, Programación Lineal

Key Words: Land use allocation, GIS, Linear Programming

INTRODUCCION

En los últimos 300 años la población mundial paso de 500 mil a 5.500 millones de habitantes, lo cual implica que cuenta solamente con la novena parte de los recursos naturales de aquel entonces. Este hecho y sus consecuencias direcciona hoy como y con qué propósitos se deben manejar los ecosistemas (SALWASSER, 1994).

El planeamiento territorial debe ser la disciplina que tome el desafío de organizar y dar sostenibilidad al uso de la tierra frente a la creciente demanda poblacional, con el propósito de conducir y transformar el uso del territorio en un sistema equilibrado, capaz de abastecer continuamente con productos y también conservar las diferentes capacidades de los ecosistemas.

STEWART et al. (2004) definieron al planeamiento del uso de la tierra como el proceso de asignar diferentes actividades o usos, a unidades específicas de áreas dentro de una determinada región. Es un proceso complejo y las tomas de decisión deben ser hechas no solamente sobre qué hacer, sino también donde hacer, lo que adiciona aún más complejidad al sistema.

Los aspectos conceptuales sobre planificación de uso del suelo, aunque puede asumir diversas denominaciones, están ampliamente desarrollados en la literatura tal como BARLOWE (1972), SCHEINOWITZ (1983), FAO (1993, 1994, 2001, 2003).

El planeamiento del uso del suelo involucra variables distribuidas territorialmente. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) reemplazaron a la cartografía impresa tradicional desde hace ya más de 50 años e intensivamente podríamos decir en los últimos 20 a 25 años con la disponibilidad de software y hardware de acceso al común de la población.

MALCZEWSKI (2005) definió a los SIG como “un conjunto de herramientas para el ingreso, almacenamiento, recuperación, manejo, análisis y salida de datos espaciales”

El mismo autor describe la evolución de los SIG en tres etapas: la primera, la de sus inicios, en los años 50 a 60 con los avances en la teoría de las ciencias espaciales y la evolución de los hardwares. Con la evolución de los microprocesadores su uso fue evolucionando y quedando disponible para el público general; fueron apareciendo nuevas técnicas como el caso del álgebra de mapas introducido en 1994 por Tomlin de la Universidad de Yale, Estados Unidos, que posibilitó realizar operaciones

entre capas temáticas. Esta parte marco la segunda etapa del desarrollo. Durante la tercera etapa ya los SIG funcionaron en entorno Windows®, los software se hicieron más complejos, más amigables” y de fácil manejo. Los usuarios se expandieron y se inició una etapa de proliferación de datos espaciales. Principalmente se utilizaron con fines de planificación y generación de mapas.

Entre las capacidades de los SIG, ampliamente conocidas, esta su aptitud para realizar análisis integrado de datos espaciales. Los datos contenidos en las capas temáticas son analizados y manejados para obtener informaciones útiles para aplicaciones particulares. (GOODCHILD 1987; TOMLIN 1990; TOMLIN 1994; COLLINS et al. 2001; MALCZEWSKI 2005).

MALCZEWSKI (2005) dice que una de las aplicaciones más útiles de los SIG es en el campo del planeamiento y uso de la tierra.

Si bien los SIG evolucionaron notablemente desde sus inicios hasta nuestros días, sus soluciones no son del todo adecuadas para determinados problemas de modelado y análisis espacial, tal como los problemas de asignación de uso del suelo. Esto fue confirmado por diversos autores como HILFERINK (1999), CROMLEY et al. (1999), AERTS (2002), MALCZEWSKI (2005).

Muchos autores están estudiando el uso de herramientas de análisis y modelado de la asignación de uso del suelo, tal como el análisis multicriterio y multiobjetivo (YALCIN et al. 2002, ASCOUGH et al. 2002, HJORSTO et al. 2001, EASTMAN 2001).

Las técnicas de Programación Lineal (PL) son una excelente alternativa a los métodos de análisis multicriterios. Se destacan los trabajos pioneros utilizando esta última técnica los de RABINGGE y VAN LATESTIEN (1992), CHUVIECO (1993), HANINKY CROMLEY (1998), AERTS et al. (2002), CAMPBELL et al. (1992), ROETTER et al. (2005).

SALKIN (1975) establece que un modelo de programación lineal es un modelo matemático desarrollado para establecer los valores de un conjunto de variables, buscando maximizar o minimizar una función objetivo lineal, mientras satisface un conjunto de restricciones lineales.

BUONGIORNO y GILLES (1987), dicen que la programación lineal es una técnica general de optimización diseñada para resolver problemas gerenciales complejos. Entre sus primeras aplicaciones fue usada para la toma de decisión en las áreas de la industria, agricultura y del gobierno.

Entre esas múltiples aplicaciones se encuentran los problemas de asignación de uso del suelo, porque en este tipo de problemas se busca

asignar de manera óptima y sostenible el recurso suelo a los diversos tipos de usos posibles en las áreas rurales. Tal como lo afirman Leccese y MCCORMICK (2000) en los problemas de optimización de uso sostenible del suelo los objetivos usualmente son conflictivos/antagónicas y no pueden todos ellos ser satisfechos simultáneamente. Esta situación normalmente se resuelve optimizando un objetivo y colocando los restantes como restricciones o bien por el método de programación por metas.

CROMLEY y HANINK (1999) informan que en los problemas de asignación de uso del suelo que utilizan programación lineal, son resueltos fuera del ambiente SIG. Luego se comunican a través de una interfaz.

GOMEZ y BARREDO (2005) señalan que la vinculación entre las técnicas de modelado con programación lineal para resolver problemas de asignación de usos del suelo y los SIG no son muy fuertes, presentándose como un punto sin vinculación o un “eslabón perdido” en la estructura de tratamiento de los datos de los SIG convencionales.

En la figura 1 se observa la forma de abordaje general cuando se vinculan modelado con PL y SIG. En la etapa denominada “ambiente SIG” los datos espaciales son modelados hasta obtener las variables espaciales derivadas utilizando diferentes procedimientos de análisis y modelado cartográfico. A través de una base de datos y de un gestor de base de datos quedan disponibles para la etapa de modelado de asignación de uso, conforme a la metodología seleccionada. Como ya se señaló esta comunicación aún no está del todo integrada entre los programas de SIG y Programación lineal. El símbolo “¿” simboliza esta necesidad de vínculo.

Según el INDEC (2002), la Provincia de Misiones, Argentina, posee una de las mayores densidades poblacionales del país con 33 habitantes/km². La presión sobre los recursos

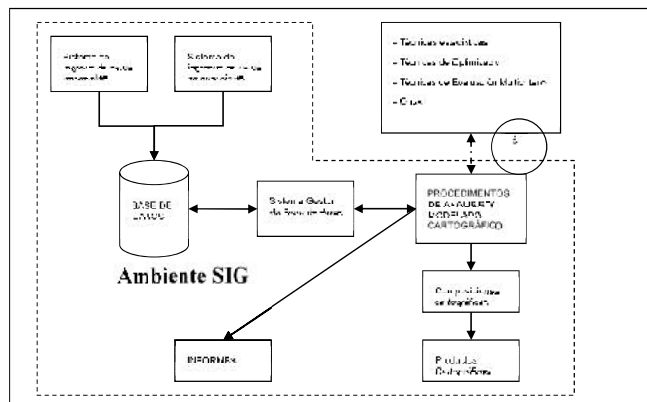
naturales es cada vez mayor en busca de mayores rentabilidades y generación de empleos. Sin embargo no siempre las actividades asignadas a una porción del territorio cumplen con los principios y estándares de la sostenibilidad, desde los enfoques económico, social y ambiental.

Las actividades más importantes de Misiones son las vinculadas a los Bosques Cultivados con especies de rápido crecimiento, la cadena productiva de la yerba mate y, en menor medida, la actividad de cultivo del té y tabacalera. La actividad forestal es una de las más importante y prometedoras, dado que sus productos poseen un mercado mundial en permanente expansión. Cuenta con la ventaja ambiental adicional de tener estructura de bosque que, aunque simplificado y de menor biodiversidad, mantiene y mejora muchos de los servicios ambientales que provee el recurso boscoso nativo original.

Se pretende abordar en el presente trabajo la compatibilidad de conservación de los recursos naturales a la vez de generar actividad económica para satisfacer las necesidades actuales de la población rural.

El objetivo general del trabajo se enfoca en desarrollar un modelo basado en programación lineal y apoyado en los Sistemas de Información Geográfica para asignar usos del suelo que optimicen determinados objetivos económicos, sociales y ambientales. Se aborda el desarrollo de un modelo de optimización de la asignación de uso del suelo vinculado al SIG, que busque maximizar la renta y el empleo generado, minimizando simultáneamente el uso de agroquímicos y la erosión hídrica del suelo.

Complementariamente se pretende desarrollar un procedimiento de integración entre el modelo de programación lineal y el SIG y aplicar el modelo desarrollado a un caso de la economía rural de la Provincia de Misiones.



Fuente: adaptado de GÓMEZ Y BARREDO (2005)

Figura 1. Estructura de operaciones para el modelado y análisis espacial.
Figure 1. Structure of operations for spatial analysis and modeling.

MATERIALES Y METODOS

Descripción General del Área de Estudio y su Economía

En el presente trabajo se aplica un estudio de caso de la Provincia de Misiones, Argentina, la que se ubica en el extremo noreste de la República Argentina, conforme se indica en la figura 2 (a).

BARLOWE (1972) establece que investigar y estudiar la naturaleza de los problemas y la base de los recursos, constituye la primera etapa en un proceso de planeamiento del uso del suelo.

Descripción Biofísica y Áreas naturales protegidas

La superficie de la Provincia de Misiones es de 29.457 Km², posee 965.522 habitantes, conforme el Censo Nacional 2001, con 30% de población rural y 70% de población urbana (INDEC, 2002).

El clima es de tipo subtropical sin estación seca, su relieve es quebrado, con mesetas, encajonado entre los dos grandes ríos, el Paraná y el Uruguay, conforme se puede apreciar en la figura 2 (b).

En la misma figura se observa que en el mapa (b), un cordón central de serranías que hace las veces de divisoria de agua y se constituye en naciente de varios arroyos interiores que luego tributan al Rio Paraná desde el lado oeste, o al rio Uruguay desde el lado Este.

LIGIER et al. (1989), dividen a la Provincia en 10 Regiones Naturales de las que se derivan su vez el mapa de aptitudes de uso del suelo que se observa en la figura 3, siguiendo el Sistema Americano de clasificación de suelos.

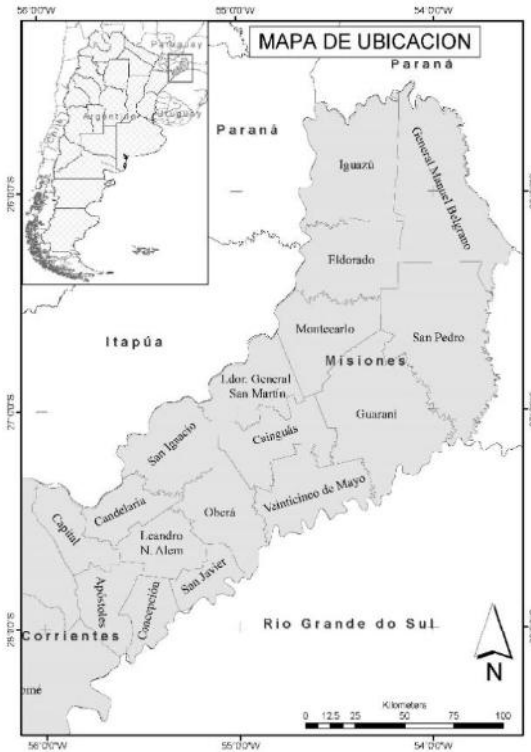
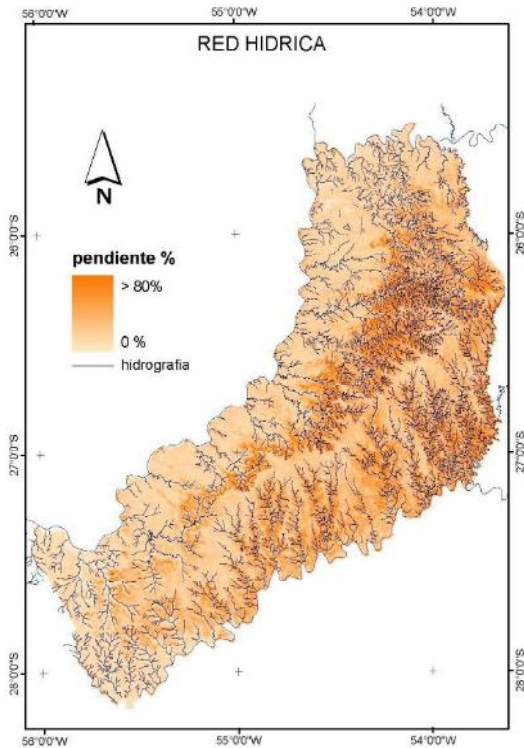
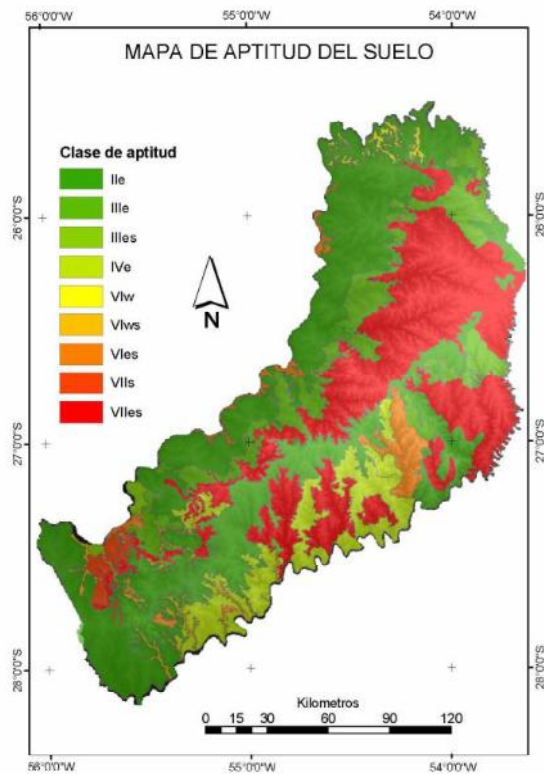


Figura 2. a) Mapa de ubicación
 Figura 2. a) Location map



b) Mapa de pendientes y red hídrica
 b) Map of slopes and water supply



Fuente: adaptado de LIGIER et al (1989).
Figura 3. Clases de aptitud del suelo.
Figure 3. Kinds of soil suitability.

IIe. Apto para todo tipo de cultivo con moderada practica de conservación. Riesgo de erosión hidrica.

IIIe. Con serias limitaciones para cultivos que requieren prácticas de conservación de suelos. Riesgo erosión.

IIIes. Riesgo de erosion y suelos someros.

IVe. Suelos con muy severas limitaciones para cultivos. Requiere muy cuidadoso manejo del suelo. Riesgo de erosión.

VIw. No apto para agricultura y se debe reservar solo para pasturas o vida silvestre, o forestación. Posee limitantes de exceso humedad, o bien suelos muy someros con piedras.

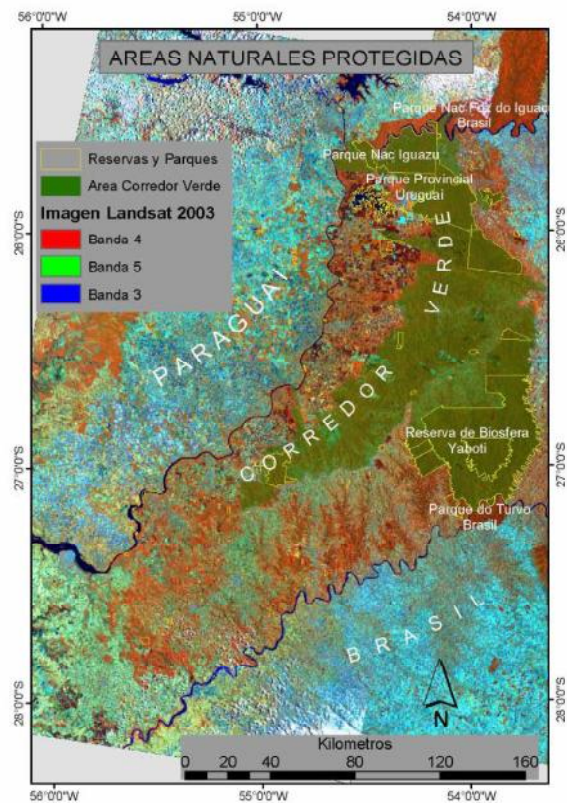
VII. No apto para agricultura. Solo apto para vida silvestre y forestación. Con limitante se piedras y riesgo de erosión.

USDA (1961)

En la figura 3 se aprecia que la clase de suelo IIe que posee muy buenas aptitudes para una gran variedad de cultivos, ocupa 880.658 ha, la clase III ocupa 537.000 ha, haciendo en conjunto 1,41 millones de ha apto para agricultura y forestación. Esta superficie marca un primer techo al uso económico que puede hacerse del suelo. Bajo estrictas medidas de manejo y conservación pueden

ser utilizadas otras 288.000 ha de suelo clase IV, haciendo un total de 1,698 millones de ha aptas para actividades agropecuarias o bien forestal, marcando si se quiere otro punto de crecimiento de las actividades económicas por sobre el cual ya no es posible crecer sin significativos impactos al ambiente.

Por otra parte, desde la década de los 80' el estado provincial profundizo sus esfuerzos en la conservación de sus bosques naturales utilizando como principal instrumento, la generación de una red de áreas naturales protegidas. Su matriz de conservación, está integrada por parques nacionales, parques provinciales, reservas de uso múltiples, reservas de biosfera y corredores de biodiversidad, interesando una superficie protegida superior a las 500 mil ha, esto es, más de 15% del territorio Provincial, tal como se puede apreciar en la figura 4.



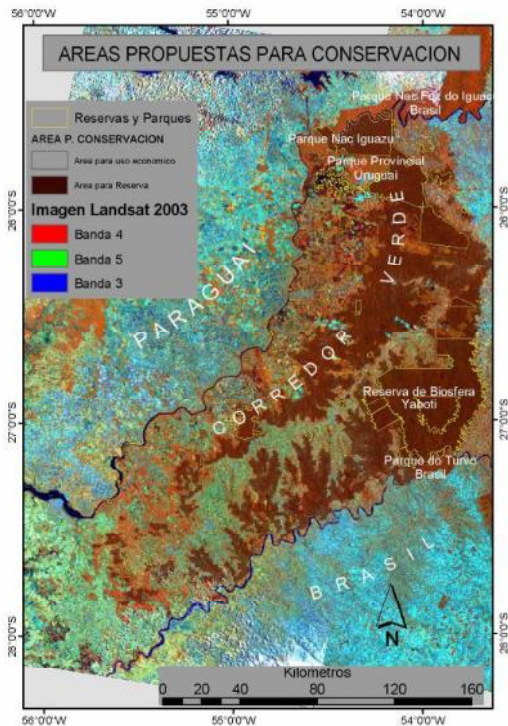
Fuente: propio en base a la red de ares naturales protegidas de Misiones

Figura 4. Red de Áreas Naturales Protegidas de Misiones

Figure 4. Network of Protected Natural Areas in Misiones.

También, la Provincia posee un importante plexo jurídico forestal ambiental, constituido por leyes, decretos y resoluciones, orientado a la conservación y a la regulación del uso del recurso natural bosque nativo. Entre ellos se cuenta la prohibición de conversión de bosques naturales a

otro tipo de uso, cuando las pendientes del terreno superen el 20% medidos en tramos de 100 m (Ley de la Provincia de Misiones N°854). La aplicación de este último criterio de conservación y las áreas naturales protegidas, exceptuando el “corredor verde”, genera un paisajediferente de conservación, adoptando la forma representada en la figura 6. De la comparación de las figuras 6 y 3, se aprecia que el paisaje de conservación tiene mayor correlación con las aptitudes de uso del suelo y, lógicamente también con la región de actual actividad antrópica.

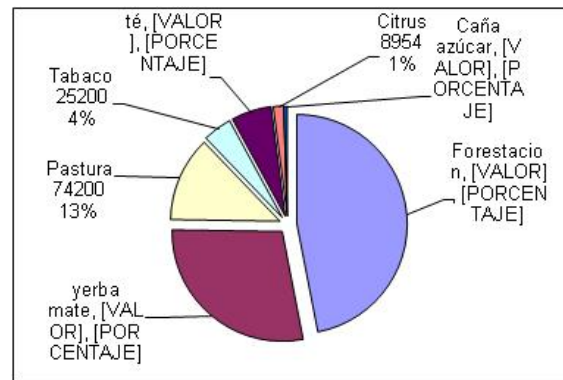


Fuente: propio.
Figura 5. Áreas propuestas para conservación.
Figure 5. Areas Proposed for conservation.

Actividades productivas de Misiones

El producto bruto geográfico de la Provincia de Misiones al año 2004, era solo del 1,3% del producto bruto nacional (Dirección Nacional de Programación de Política Económica, Ministerio de Economía, 2004).

Las actividades productivas predominantes son la foresto industria, yerba mate y su cadena, la producción tealera y su cadena industrial, la producción tabacalera, ganado bovino, citricultura, caña de azúcar (INDEC, 2002). En la figura 7 se observa la preponderancia de la actividad forestal, en cuanto a la variable superficie, seguido por la actividad yerbatera, pasturas, tealera y tabacalera.



Fuente: Propia en base a INDEC (2002) y GAUTO (2001)

Figura 6. Superficie de los cultivos de Misiones
Figure 6. Area of crops of Misiones

Como bien lo destaca FREAZA (2002) las actividades agrícolas de Misiones poseen la característica de tener cultivos perennes con poca capacidad de reacción ante cambios de mercado (alta inversión inicial y cultivos que no se erradican con facilidad); oferta de materia prima atomizada y demanda concentrada; una porción importante de estos cultivos se realizan solo en la provincia de Misiones; sus mercados objetivos son externos, a excepción de la yerba mate que es para abastecimiento interno del país, y la ganadería que se orienta al autoabastecimiento alimentario de la Provincia. Dadas estas características, estamos frente a economías altamente dependiente de políticas macroeconómicas del país y vulnerables a sus cambios.

La actividad forestal es uno de los principales rubros en la provincia, y según GAUTO (2001) la provincia contaba al año 2001 con 277.564 ha, principalmente de especies del género pinus, araucaria y eucaliptos.

De acuerdo con FREAZA (2002) y lo informado por el Ministerio de Ecología y RNR (2002, información personal) la Provincia de Misiones posee un fuerte complejo industrial de transformación constituido por plantas de pastas celulósicas de transformación química de la madera, industrias de transformación física como aserraderos de diferente grado de tecnificación, fábrica de tableros compensados, como también fábricas de tableros de partículas. Su complejo industrial forestal es uno de los más fuertes del país.

La actividad forestal es la economía más importante de la provincia de Misiones. La renta bruta estimada para el sector para el año 2004, en base a datos facilitados por el Ministerio de Ecología era de 2.075 millones de pesos. Según la misma fuente, el total de mano de obra ocupada en la cadena productiva forestal al año 2002 era de 38.879 personas, incluyendo el sector primario, aprovechamiento e industrialización.

La actividad yerbatera, es otro sector poderoso, y se integra con plantaciones, industrias del secado de la hoja de yerba mate, y molinos que generan el producto final e inclusive su envasado. No existe una información exacta sobre la superficie actualmente plantada, el Censo Nacional Agropecuario (INDEC, 2002) informa la existencia de 167.300 ha, en tanto que el relevamiento realizado por el Ministerio del Agro y la Producción de Misiones (2002) la superficie de yerba mate en Misiones era de 173.354 ha.

Conforme a lo informado por GUNTHER (2001) y MONTESCHIESI (2005, comunicación personal) la estimación de personal ocupado en toda la cadena de producción yerbatera es de 24.658 personas.

Según BERNARDI y PRAT KRICUN (2002) la superficie plantada con té en la Provincia de Misiones era de 41.850 ha, en tanto que el Censo Nacional Agropecuario (INDEC, 2002) estimó en 34.843 ha. Conforme lo establecen los primeros autores, la cantidad de personas ocupadas en el sector es de 12.000 personas con empleos directos en toda la cadena productiva. Estos mismos autores dicen que se trata de una economía fuerte que poseía al 2002 alrededor de 100 industrias de procesamiento de Te en sus distintas modalidades.

FREAZA (2002) dice que se trata de una economía minifundista y con escasa mecanización a excepción de la cosecha y poda. ZANINO (1993) establece que la producción promedio por ha es de 6000 kg de hoja verde, en tanto que FERNANDEZ JARDON et al. (2005) dice que la productividad puede llegar a 25 tn/año si se utilizan buenas variedades, buen manejo y densidades de plantación de 10.000 plantas por ha.

La Provincia de Misiones es la principal productora de tabaco de la Argentina concentrando el 34% de la superficie plantada con 26.992 ha al año 2004, y con una producción total de 29 millones de kg de hoja, con una productividad promedio de 1099 kg de hoja por ha (FET, 2004). Se trata de una actividad sumamente atomizada, con 11.290 productores y promedio de 2,4 ha por productor, distribuyendo notablemente los ingresos en el área rural de la Provincia (ZILOCHI Y MENDOZA, 2004). La actividad se concentra fuertemente en 4 departamentos de Misiones, siendo en el resto la actividad muy menor o inexistente.

En cuanto al perfil socio económico general de las explotaciones, la Provincia presenta un fuerte contraste entre un minifundismo acentuado por una parte, con prácticas culturales poco tecnificadas, y por la otra, explotaciones concentradas en pocas manos con alta tecnificación en las prácticas culturales de las actividades agrícolas y forestales. Existen 27.072 explotaciones agropecuarias de las que el 92% tienen menos de 50 ha, y en el otro

extremo 36 propietarios concentran el 30% de la tierra (INDEC, 2002).

Debido a la importancia que tiene para la economía provincial y considerando el crecimiento que puede experimentar se considera en el presente trabajo a los sectores económicos: forestal, yerba mate, te y tabaco. No obstante, en un próximo trabajo y siempre que se disponga de información confiable se puede ampliar al resto de los sectores que utilizan el suelo como insumo principal.

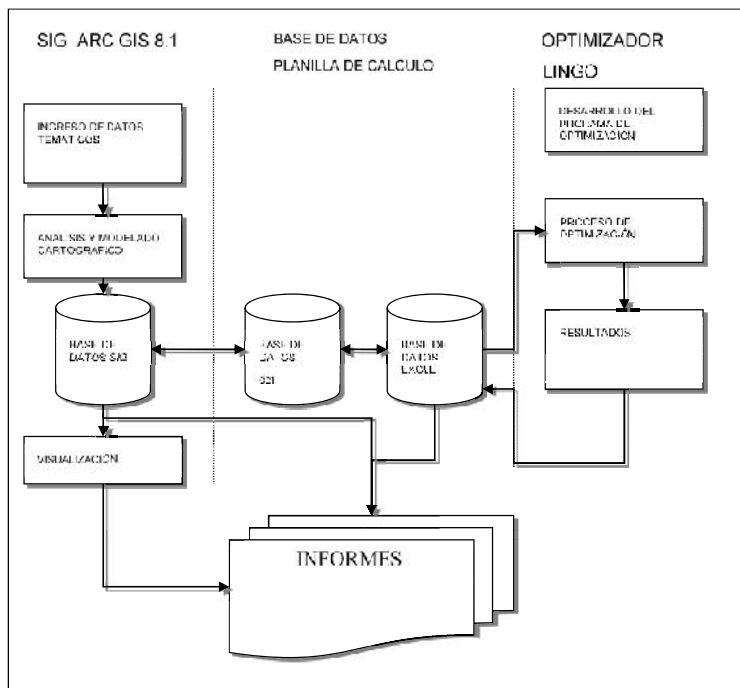
Modelo de Asignación de Uso del Suelo

El modelo para asignación de uso del suelo desarrollado en el presente trabajo, involucra instrumentos de Programación Lineal (PL) y Sistemas de Información geográfica (SIG). Los SIG permiten utilizar la información geográficamente distribuida y ponerlas a disposición del modelo de PL, la que la utiliza como coeficientes técnicos o bien, como restricciones. Con esta información territorial, el modelo de programación lineal permite buscar valores óptimos de objetivos tal como maximización de empleos generados, minimización de tierra utilizada, y otros. Cada objetivo optimizado implica una configuración diferente de usos del suelo. Los resultados de la optimización son visualizados luego en el Sistema de Información Geográfica para obtener un juicio visual del funcionamiento del sistema.

Como fue señalado en la revisión de literatura uno de los problemas que persiste en la actualidad es la comunicación entre los SIG y los modelos de PL. En este trabajo se utilizó un modelo denominado "baja integración" "*loosecoupling*" o de baja integración (GOMEZ Y BARREDO, 2005). En la figura 8 se observa el flujo de trabajo del modelo y la comunicación entre sí.

Se utilizaron los software SIG, Arc GIS® 8.1 de ESRI (*Environmental Research Institute*), planilla de cálculo EXCEL® de Microsoft y software de programación lineal LINGO® 7.0 de la empresa Lyndon Systems Inc.

Se ingresan los datos de diversas fuentes, tal como mapas con información georeferenciada, que pueden ser obtenidos de diversas maneras, por extracción de información de sensores remotos, relevamiento con sistema GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*), digitalización de información directa en SIG, entre otros. Esta información se homologa pasándola a la misma escala, igual proyección cartográfica, etc. obteniéndose un conjunto de mapas en formato raster y en formato vectorial. A estos efectos se consideró como la mínima unidad de análisis 100 ha, para lo cual se dividió a la provincia en 29.492 celdas abarcando el total del territorio provincial. Esta constituye la base para el análisis de todas las variables del modelo.



Fuente: propio

Figura 7. Estructura de operaciones y de comunicación en el modelado espacial.

Figure 7. Structure of operations and communication in spatial modeling.

Los mapas temáticos con sus respectivas georeferencias se colocan en base de datos y quedan disponibles para su procesamiento en el modelo de optimización. Los resultados de la optimización se devuelven a la base de datos con georeferencia desde donde se despliega nuevamente en el SIG para visualizar en cartografía los resultados.

Variables estudiadas

Se trabajó sobre las variables/objetivos erosiones hídricas, renta bruta total de cada actividad, uso de agroquímicos y generación de empleos.

Según FERNANDEZ et al. (1989) la degradación de los suelos por la erosión hídrica es una de las causas de disminución de la productividad en todo el mundo. En Misiones, la erosión hídrica de los suelos es una de las principales preocupaciones. LIGIER et al. (1989) construyeron mapas de riesgo erosión hídrica a escala 1:500.000 donde se evidencia con claridad este hecho.

El riesgo de erosión se incorporó como coeficientes técnicos de las funciones del modelo de PL. Para ello se aplicó la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) descrito en Mitchel (1980), utilizando mapas de aptitud de uso del suelo de Ligier et al. (1989) datos de elevación digital de terreno, conocido como DTM (*digital terrainmodel*) desarrollado por el programa SRTM (*Shuttle Radar TopographyMission*) de la NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), y

técnicas de cruzamiento de mapas en SIG. Resultaron cuatro mapas con sus bases de datos con riesgo de erosión para cada uso posible distribuidos en toda la provincia.

La otra variable bajo análisis es la renta bruta total de la actividad y su cadena productiva. A esta variable se la considera también dependiente de su distribución espacial, dado que tienen influencia la accesibilidad a los mercados y la aptitud de los suelos, entre otras variables de distribución espacial. No se puede considerar entonces a la renta bruta de la producción como una constante para todo el territorio.

Mediante un análisis multiatributo se determinó para cada cultivo un mapa de renta bruta que se utilizó posteriormente en el modelo de optimización. Se trabajó con los valores de renta total de cada tipo de cultivo, mapa de aptitud de suelos conforme describe LIGIER et al. (1989), mapas de rutas, áreas destinadas a reservas y áreas protegidas.

Uso de agroquímicos. El uso total de agroquímicos que se produce por el conjunto de actividades concurrentes en el territorio provincial es otra preocupación frecuente de la población y decisores. Por esta razón se la incluye como uno de variables del modelo. El uso de agroquímicos que tiene cada actividad está relacionado al perfil tecnológico y de manejo que a su vez tiene relación con las características socio-económicas del lugar donde se desarrolla la tarea. Dada la baja disponibilidad de información, en este trabajo se

considera coeficientes de uso de agroquímicos promedio y constantes para cada actividad.

Generación de empleos. Conforme lo establece el INDEC (2002) la provincia de Misiones posee el 30% de su población viviendo en zonas rurales. La generación de empleos a través de la actividad forestal y agraria son objetivos permanentes de políticas públicas. Por esta razón se la incorpora como otro de los objetivos del modelo. Al igual que en el caso de uso de agroquímicos, el uso de mano de obra en cada actividad es dependiente del perfil tecnológico de cada actividad, la que a su vez también depende del perfil socio económico del lugar. También aquí la información disponible es limitada, razón por la cual se tomaron coeficientes para cada actividad como promedio y constantes para todo el territorio.

Desarrollo del modelo de asignación de usos del suelo por programación lineal

Se desarrollaron en primer lugar cuatro modelos de programación lineal, con la intención de verificar el comportamiento de las variables para cada uno de los objetivos, para finalmente establecer un quinto modelo que englobe a todos los objetivos, cada uno en un nivel preestablecido, buscando en ese contexto minimizar el uso del suelo.

Los modelos propuestos son:

1. Maximización de empleo generado. El modelo busca maximizar el número de empleos asignando a los usos más eficientes en este aspecto, pero manteniendo para cada uso un nivel mínimo de actividad por departamento y un nivel máximo de actividad también por departamento conforme a los valores de crecimiento máximo posible por departamento.

$$MAXZ_1 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^U \text{empleo}_j * x_{ij}$$

Para

$$i = 1, \dots, N, \quad j = 1, \dots, U$$

Sujeto a:

$$\sum_{i \in k} x_{ij} > \text{act min}_{jk}, \quad \forall i | i \in k \quad k = 1, \dots, D$$

$$\sum_{i \in j} x_{ij} < \text{act tot}_j \quad \forall i | i \in j, \quad j = 1, \dots, U$$

$$x_{ij} \geq 0$$

$$x_{ij} \leq 100$$

2. Maximización de la renta bruta. Al igual que el caso del modelo 1, en este se busca maximizar la renta total generada en el mismo contexto de restricción de actividad mínima por tipo de uso y por departamento y no superando la actividad total por actividad j .

$$MAXZ_2 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^U \text{VBT}_{ij} * x_{ij}$$

Para

$$i = 1, \dots, N \quad j = 1, \dots, U$$

Sujeto a:

$$\sum_{i \in k} x_{ij} > \text{act min}_{jk}, \quad \forall i | i \in k \quad k = 1, \dots, D$$

$$\sum_{i \in j} x_{ij} < \text{act tot}_j \quad \forall i | i \in j, \quad j = 1, \dots, U$$

$$x_{ij} \geq 0$$

$$x_{ij} \leq 100$$

3. Minimización de uso de agroquímicos. En este modelo se pretende utilizar el mínimo posible de agroquímicos, dentro del mismo nivel de manejo para cada uso del suelo. Las restricciones tienen que ver con mantener un mínimo nivel aceptable de actividad por uso y departamento. El techo (o máximo nivel) admisible de actividad por tipo de uso pasa a ser una restricción redundante dado que el modelo por su tipo normalmente buscará minimizar el nivel de actividad.

$$MINZ_3 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^U \text{agrqco}_j * x_{ij}$$

Sujeto a:

$$\sum_{i \in k} x_{ij} > \text{act min}_{jk}, \quad \forall i | i \in k \quad k = 1, \dots, D$$

$$x_{ij} \geq 0$$

$$x_{ij} \leq 100$$

4. Minimización de la erosión total. Es un tipo de modelo similar al modelo 3, de minimización de impacto y actividad. Valen las mismas observaciones para las restricciones.

$$MINZ_4 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^U \text{ero}_{ij} * x_{ij}$$

Sujeto a:

$$\sum_{i \in k} x_{ij} > \text{act min}_{jk}, \quad \forall i | i \in k \quad k = 1, \dots, D$$

$$x_{ij} \geq 0$$

$$x_{ij} \leq 100$$

5. **Minimización del uso del suelo.** Utilizando los valores de los objetivos obtenidos de los modelos 1 a 4, se formula un nuevo modelo buscando utilizar la menor superficie posible dentro de parámetros mínimos de actividad, generación de empleo y renta bruta y

$$MINZ_5 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^U x_{ij}$$

$$\sum_{i \in k} \sum_{j \in u} x_{ijk} > act \min_{jk},$$

$$\forall i | i \in k, u \quad k = 1, \dots, D, \quad j = 1 \dots U$$

$$\sum_{i \in j} x_{ij} < acttot_j \quad \forall i | i \in j, \quad j = 1, \dots, U$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^U VBT_{ij} * x_{ij} \geq 6.857.813.400 \quad \forall i \quad y \quad \forall j$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^U empleo_j * x_{ij} \geq 134.115 \quad \forall i \quad y \quad \forall j$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^U agrqco_j * x_{ij} \leq 1.838.992 \quad \forall i \quad y \quad \forall j$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^U ero_{ij} * x_{ij} \leq 6.000.000 \quad \forall i \quad y \quad \forall j$$

$$x_{ij} \geq 0$$

$$x_{ij} \leq 100$$

Se describe a continuación las variables, coeficientes y objetivos del modelo de programación lineal.

x_{ij} celdas o variables de decisión con la asignación del j -ésimo uso a la i -ésima celda 29.492 celdas y cuatro tipos de usos posibles,

i variando de 1 a N celdas

j variando de 1 a U usos

Algunos niveles de actividad están dados por departamentos entonces el subíndice $Kasume$ valores que van de 1 a 17 departamentos existentes en Misiones.

Uso de Agroquímicos $agrqco_j$

Generación de empleo $empleo_j$

Renta bruta total VBT_j

Erosión ero_j

Actividad mínima requerida por departamento y para cada uso $Actmin_{jk}$

Actividad máxima total por usos $acttot_j$

Los modelos quedaron con 117.968 variables de decisión, 68 restricciones de actividad mínima, 4 restricciones de actividad máxima, uno por cada uso y, 58.984 restricciones de celdas. Fueron resueltos en el software LINGO ® v7.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las actividades mínimas requeridas por el modelo ($actmin_{jk}$) para cada uso y departamento se extrajo de la distribución actual por departamento según el Censo Nacional Agropecuario del 2002 (INDEC 2002) y cuyos valores se observan en la tabla 1.

En la tabla 1, están los valores de actividad máxima para cada uso, empleo generado en la cadena productiva para cada uso, demanda de agroquímicos para cada uso. Estos valores se obtienen a partir de información obtenida de COLCOMBETY GUNTHER (2006), GUNTHER et al. (2001), GTZ (1981), ZANINO (1993), FREAZA (2002), INDEC (2002), MINISTERIO DEL AGRO Y LA PRODUCCION MISIONES (2002), GAUTO (2001), FERNANDEZ JARDON (2005), INYM (2006).

La primera fila de la tabla 2, actividad máxima por usos, es una estimación de la superficie hasta donde se estima que potencialmente puede crecer la actividad sin colisionar con cualquiera de las otras, y es el resultado del análisis de la disponibilidad de suelos aptos para uso agrícola y forestal y de las propias de cada actividad.

En la misma tabla están los valores de los coeficientes técnicos para las funciones de empleo, considerando la cadena productiva total para cada actividad y la demanda o uso de agroquímicos con base anual.

Los coeficientes técnicos de las funciones de valor de renta bruta total y de la erosión de suelo para cada uno de los cuatro usos posibles que fueron construidos con base espacial fueron colocados en la base de datos para acceso directo por el software de PL al momento de resolver los modelos.

En la tabla 3 se observan los resultados de asignación de superficie por cultivo de cada uno de los modelos para los objetivos planteados.

Tabla 1. Superficies mínimas de actividad para cada uso por departamentos.

Table 1. Minimal surfaces of activity for each use in each department.

DEPARTAMENTO	SUPERFICIES MÍNIMAS DE ACTIVIDAD en ha (actvín,)			
	BOSQUES CULTIVADOS	YERBA MATE	TE	TABACO
Concepción	15491	6128	23	3
Montecarlo	19841	5578	420	2
San Pedro	14227	6556	839	1405
Guaraní	14578	9970	2678	7568
Caaguazú	17128	17748	10010	3036
Ltdor. General San Martín	27551	10440	732	314
Candelaria	5614	1319	7	32
Eldorado	28834	7888	9	0
San Javier	7152	3761	563	1095
Leandro N. Alem	10193	8653	1501	1733
General Manuel Belgrano	7419	12886	229	2872
Iguazú	124640	4317	151	42
Oberá	24619	29296	13117	921
Apóstoles	6522	16583	798	8
Capital	10646	2022	0	0
San Ignacio	26404	19161	2140	132
25 de Mayo	11072	4997	1628	6095

Fuente: propio en base a datos de INDEC (2002)

Tabla 2. Limitantes y coeficientes técnicos de las funciones de PL.

Table 2. Limitations and technical coefficients of functions from PL.

FUNCION OPTIMIZADA	COEFICIENTES TECNICOS			
	BOSQUES CULTIVADOS	YERBA MATE	TE	TABACO
ACTIVIDAD MÁXIMA POR USOS (ha) (<i>acttot</i>)	800.000	300.000	70.000	300.000
EMPLEO EN LA CADENA PRODUCTIVA (personas/ha) (<i>empleo</i>)	0,133	0,142	0,140	0,586
DEMANDA DE AGROQUIMICO(kg/ha/año) (<i>agrqco</i>)	0,30	3,37	0,7	8,7

Fuente: propio

Tabla 3. Resultados en superficie asignada en ha, de los modelos 1 a 4 de PL

Table 3. Results in assigned surfaces in ha of the models 1 to 4 of PL.

FUNCION OPTIMIZADA	SUPERFICIE POR CULTIVO				TOTALES
	BOSQUES CULTIVADOS	YERBA MATE	TE	TABACO	
1. MÁXIMO EMPLEO	700.000	300.000	70.000	30.000	1.100.000
2. MÁXIMA RENTA					
TOTAL	700.000	300.000	70.000	30.000	1.100.000
3. MINIMIZACIÓN USO AGROQUIMICOS	371.928	167.300	34.843	22.256	599.328
4. MINIMIZACIÓN EROSION SUELO	371.928	167.300	34.843	25.256	599.328

Fuente: propio

Como es de esperar, en los problemas de maximización, sea de empleo o bien de renta bruta total, funcionan las restricciones de actividad máxima para acotar el crecimiento de la superficie total utilizada. En ambos modelos de maximización de objetivos la superficie total asignada es de 1.100.000 ha.

En los dos modelos de minimización funcionan las restricciones de actividad mínima para cada uso y en este caso ambos modelos (el 3 y 4) la superficie total asignada es de 599.328 ha.

En la tabla 4 se muestran los valores de las variables de interés en la asignación de los usos del suelo, como resultado del funcionamiento de los cuatro modelos propuestos.

Se aprecia con claridad el impacto y la importancia en la configuración espacial de la asignación de usos, de los coeficientes que también están espacializados tal como la renta bruta y la erosión.

Comparando los dos primeros modelos, maximización de empleo y maximización de renta total, se aprecia una diferencia importante en el valor de la renta bruta, debido a que el segundo modelo asigna espacialmente los sitios más aptos conforme a este criterio de renta, en tanto que en el primer modelo la distribución espacial no es tenida en cuenta. Lógicamente, esto se refleja también en un mayor grado de erosión total del suelo al ser diferentes las configuraciones espaciales.

Comparando los modelos 3 y 4, ambos de minimización, también aquí se aprecia la decisiva influencia de los coeficientes con configuración espacial, en este caso la erosión. Se observa una enorme diferencia en la erosión total obtenida en el modelo 3, con 13.388.194 tn de suelo erosionado, y el modelo 4 (recordar aquí que el coeficiente de la función objetivo es la erosión para cada uso en cada celda de 100 ha) donde la erosión total disminuye a 2.005.025, casi siete veces. Sin embargo esta reconfiguración obtenida por el modelo 4 no afecta significativamente a la otra variable con configuración espacial, renta bruta total, la que disminuye levemente.

Esto mismo se aprecia en los mapas (a) y (b) de la figura 8 donde el modelo 1, cuya configuración espacial se observa en el mapa (a), no sigue ningún patrón espacial de asignación.

Sencillamente, el modelo resuelve celda por celda sin tener en cuenta esta configuración porque no tiene ningún condicionante (esto es coeficientes espacializados); en el modelo 2 cuya configuración de asignación de usos se observa en el mapa (b) de la figura 8 se ve que la configuración espacial sigue una lógica correlacionada al territorio dado que aquí tiene influencia el coeficiente de la renta bruta, que tiene distribución espacial.

En los mapas (c) y (d) de la figura 8, también se observa el mismo fenómeno y la influencia aquí en una mejor configuración espacial del modelo de minimización de la erosión, cuyos coeficientes tienen configuración espacial.

A la luz de estos resultados, se puede afirmar que es decisivo considerar la influencia de la ubicación territorial de las distintas variables que se considerara en cada modelo de asignación de uso del suelo. La mayor parte de las variables que se consideran en los modelos de asignación de usos están geocorrelacionadas y este aspecto se debe reflejar en los modelos.

Por otra parte queda evidenciado la importancia y efectividad de la optimización, es decir, la maximización o minimización de determinados objetivos en la asignación de uso del suelo. Ese es el caso de la erosión o la renta bruta total, cuando se minimiza la primera o se maximiza el segundo.

El recurso tierra se convirtió en todo el planeta en un recurso escaso, y más aún en aquellas regiones, como en la Provincia de Misiones, con alta densidad poblacional. En Misiones las actividades que compiten por el uso del suelo están orientadas a la conservación por una parte y a la producción por la otra. Esta argumentación lleva a la necesidad de minimizar el uso de la tierra en actividades económicas para dar mayores oportunidades a la conservación, y a la vez cumpliendo con el desafío de mantener o aumentar el número de empleos, los ingresos y con un nivel ambientalmente aceptable de uso de agroquímicos y generación de erosión como producto de la actividad agrícola y forestal.

En ese entendimiento, y a partir de los modelos que optimizaron objetivos en los modelos 1 a 4, se genera un quinto modelo, que busca minimizar el uso del suelo dedicado a las actividades agrícolas y forestales buscando obtener niveles preestablecidos de empleo, renta bruta, uso de agroquímicos y erosión.

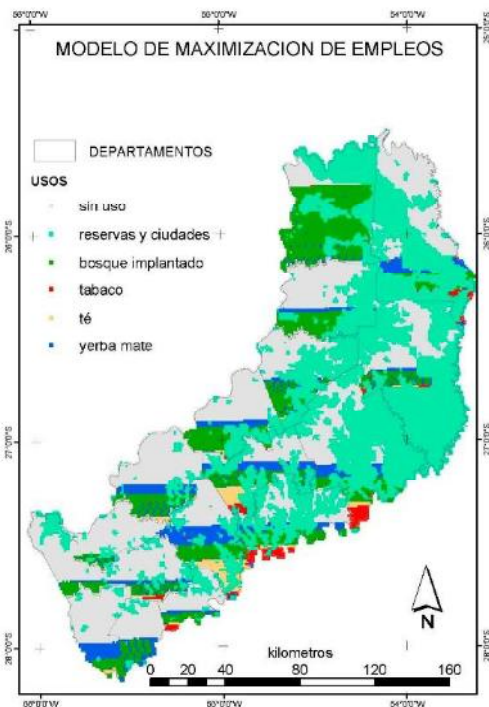
Las metas que se proponen en el nuevo modelo, son obtener un aumento en la renta bruta total del 50% en relación al nivel actual (4,5 billones de pesos); se pretende también la ocupación plena de la población rural estimada por el Censo Nacional Agropecuario en 134.115 personas (INDEC 2002); se busca limitar la pérdida de suelos por erosión hasta 6.000.000 tn al año compatible con su tasa de generación anual estimada en 0,9 kg/año (MITCHEL et al 1980) y el uso de agroquímico al doble del valor de uso de agroquímicos obtenido por el modelo 3.

Tabla 4. Valores asumidos por las variables en la resolución de los modelos de PL 1 a 4.
Table 4. Values assumed by variables in the resolutions of the models of PL 1-4.

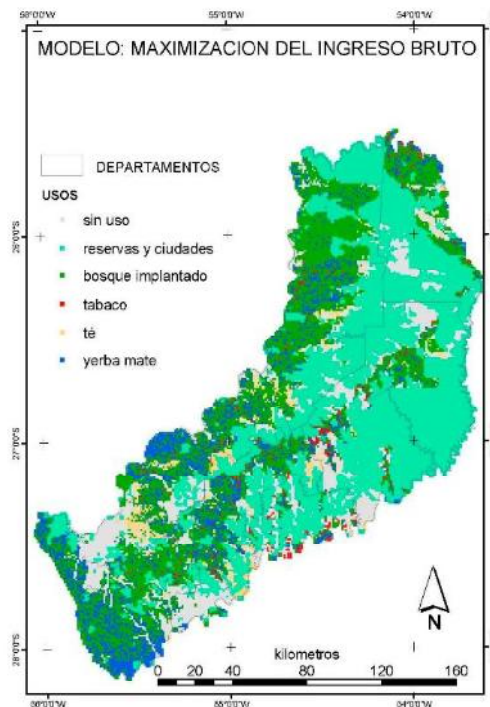
FUNCION OPTIMIZADA	SUPERFICIE (ha)	IMPACTO EN LAS VARIABLES DE INTERES			
		RENDA BRUTA TOTAL(\$)	AGROQUIMICO (kg)	EMPLEO (individuos)	EROSION (tn)
MAXIMO EMPLEO	1,100,000	5,953,084,540	1,531,000	163,085	21,386,094
MAXIM. RENTA BRUTA TOTAL	1,100,000	6,800,870,390	5,017,223	163,085	23,821,247
MIN AGROQUIMICO	599,328	3,282,068,590	919,496	93,054	13,388,194
MIN EROSION	599,328	3,276,084,640	919,496	93,054	2,005,025

Fuente: propio

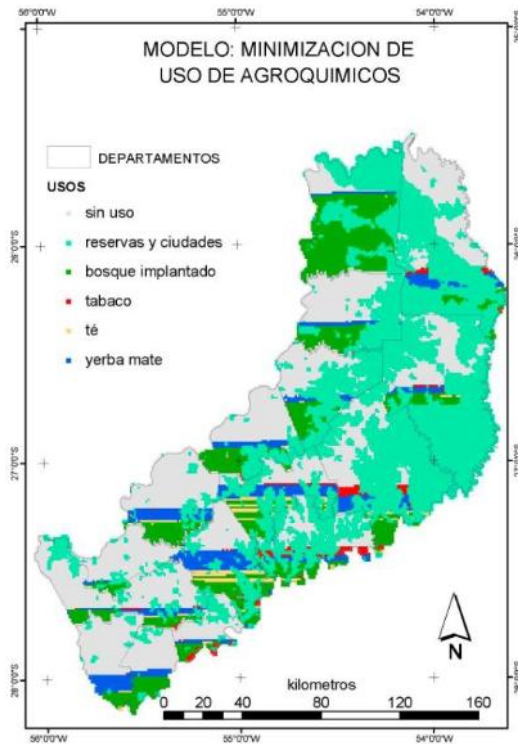
a) Mapa de Max empleo



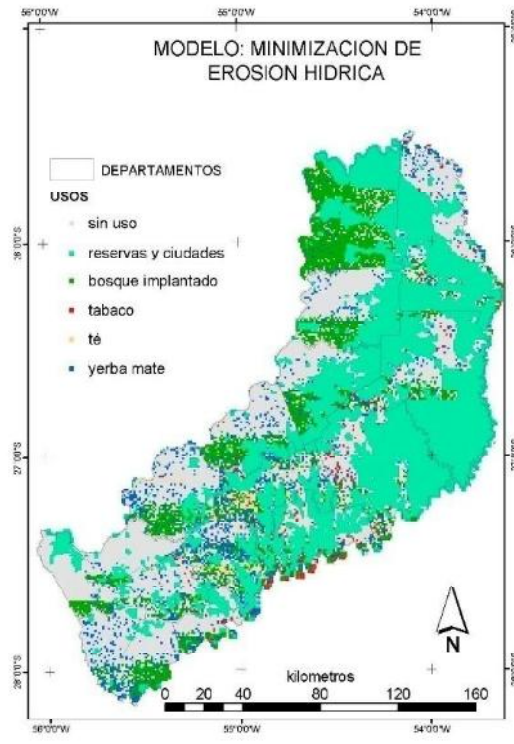
b) Mapa de Max Renta Bruta



a) Mapa de Min agroquímicos



b) Mapa de Min erosión



Fuente: propio

Figura 8. Visualización espacial de los resultados de los modelos de optimización de 1 a 4.

Figure 8. Spatial visualization of optimization models results from 1 to 4.

Los resultados de la asignación de superficies por departamentos se observa en la tabla 5. El modelo asignó un total de 1.088.292 ha a las actividades de bosques cultivados, yerba mate, té y tabaco; alrededor de 500.000 ha más de la superficie que la suma de dichos cultivos ocupan actualmente. Esto generó renta bruta total para la cadena productiva de \$6.857.813.400, con 159.288 empleos generados, uso de agroquímicos de 1.473.574 kg y 6.000.000 tn de tierra erosionada. Se observa el cumplimiento de todas las restricciones del modelo, siendo la más restrictiva la erosión, la que se produce en el máximo admitido.

De todos los usos posibles los bosques cultivados son los que más ganan en superficie, 728.193 ha (superficie mínima de actividad es de 371.928 ha), debido a su nivel de renta bruta que supera al té y al tabaco, y también es una buena opción en cuanto a la menor cantidad de uso de agroquímicos y erosión. En el resultado hay una ganancia significativa también en yerba mate, con 300.000 ha asignada. El mínimo admitido por el modelo es de 167.300 ha (tabla 2).

En cuanto a las actividades de Té y Tabaco, ambos se mantienen en el mínimo para la actividad. El Tabaco, es penalizado por su alto nivel de uso de agroquímicos y efecto erosivo del suelo, que su mayor ganancia en generación de empleo no

alcanza a compensar. Probablemente si los techos de crecimiento en superficie para forestación y yerba mate fueran menores, la superficie de tabaco podría incrementarse, a fin de alcanzar el objetivo de empleo generado. En tanto que el té no posee coeficientes atractivos ni de renta bruta generada como tampoco de empleo (tabla 5) por lo que se mantiene en su nivel mínimo requerido.

En relación a la distribución espacial de la asignación de usos, en la figura 9 se observa su configuración final. Cada uso ocupa una distribución uniforme en las áreas de mejores aptitudes habilitadas por el modelo, con mezcla razonable de usos, es decir, no se generan bloques excluyentes de usos. Esta distribución obedece al condicionante de la restricción actividad mínima por departamento y para cada uso. Sin embargo como no se impuso una restricción de máxima actividad por departamento y uso, algunos usos como el forestal adquieren mayor ocupación en algunos departamentos como se observa en la figura.

Como las superficies finales de bosques cultivados y yerba mate casi duplican a sus valores actuales estos usos, lógicamente ocupan todo el territorio útil.

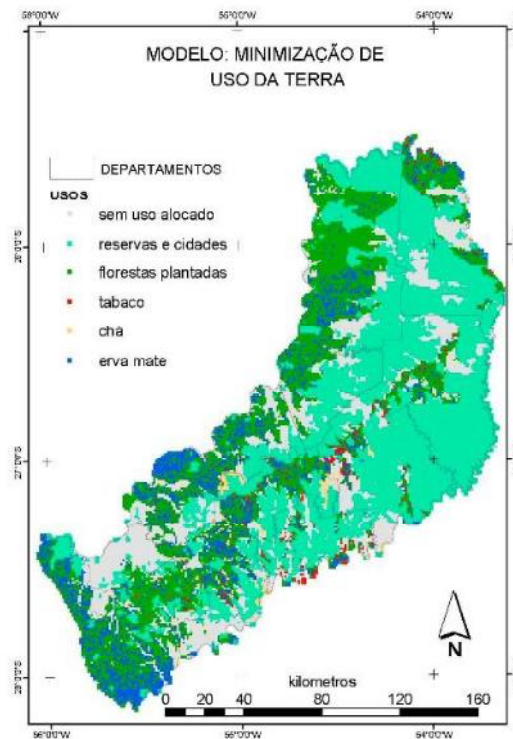
Se destaca también que las áreas ocupadas son las de mejores aptitudes de suelo conforme lo descrito en la figura 3.

Tabla 5. Asignación de superficies por uso como resultado del modelo 5 (minimización del uso de la tierra) de PL.

Table 5. Mapping of surfaces by use as a result of the PL model 5 (minimization of the use of the land).

DEPARTAMENTO	SUPERFICIE POR USO (ha)				TOTAL
	FLORESTA PLANTADA	TABACO	CHA	ERVA MATE	
Veinticinco de Mayo	11,072	6,095	1,628	4,997	23,791
Concepción	30,700	3	23	24,497	55,223
Montecarlo	40,800	2	420	11,298	52,520
San Pedro	33,939	1,405	839	6,556	42,739
Guaraní	18,562	7,568	2,678	9,970	38,778
Cainguás	38,416	3,036	10,010	17,748	69,210
Libertador Gral San Martín	52,200	314	732	24,429	77,675
Candelaria	10,800	32	7	3,068	13,907
Eldorado	69,391	0	9	29,500	98,900
San Javier	7,152	1,095	563	3,761	12,570
Leandro N. Alem	54,513	1,733	1,501	8,653	66,400
General Manuel Belgrano	53,543	2,872	229	12,886	69,529
Iguazú	124,640	42	151	7,619	132,451
Oberá	45,566	921	13,117	29,296	88,900
Apóstoles	54,739	8	798	36,455	92,000
Capital	27,900	0	0	25,100	53,000
San Ignacio	54,260	132	2,140	44,168	100,700
TOTALES	728,193	25,256	34,843	300,000	1,088,292

Fuente: propio



Fuente: propio

Figura 9. Mapa de distribución de usos con la aplicación del modelo 5, minimización del uso de la tierra.
Figure 9. Map of uses distribution with the application of model 5, minimization of the use of land.

CONCLUSIONES

De los resultados del presente trabajo, se concluye que el estado actual de los Sistemas de Información Geográfica permiten modelar con eficacia las variables geográficas que influyen en la asignación del uso del suelo mediante técnicas de modelado y, por lo tanto, se constituyen en herramientas aptas para trabajar con problemas de asignación de usos del suelo.

Es importante entender y capturar en el modelado, la distribución espacial de las variables y relacionarlos con los usos posibles del suelo. Quedo demostrado, la configuración, poco lógica, que toma en el territorio los usos del suelo cuando no son utilizadas en el proceso de optimización variables con geoposición.

El estudio de caso desarrollado en este trabajo demostró que la programación lineal unido a los sistemas de información geográfica en un solo modelo, es una excelente herramienta para resolver problemas de asignación de usos del suelo que buscan múltiples objetivos, como la minimización de uso del suelo pero manteniendo niveles aceptables de empleo, generación de renta y con niveles conocidos y limitados de usos de agroquímicos e impactos conocidos de erosión del suelo. Unido a coeficientes técnicos adecuadamente construidos y con datos de calidad, ofrecen escenarios muy realistas para la asignación del uso del suelo.

El sistema denominado de baja integración entre el SIG y el Software de Programación lineal desarrollado y utilizado en este trabajo vinculó con la suficiente eficiencia ambos programas computacionales, permitiendo utilizar los datos generados en los SIG en el modelo de PL y posteriormente visualizar los resultados del modelo en un mapa. Sin embargo, debería avanzarse hacia sistemas de mayor integración a través de la programación o macros especiales que permitan un manejo más "amigable".

La asignación de usos de una unidad fraccionada es uno de los problemas cuya solución los vienen estudiando varios autores (AERTS et al., 2002, STEWART et al. 2004, CHUVIECO, 1993 y otros autores). La asignación fraccionada es una característica de la programación lineal porque trabaja con variables continuas. En los cinco modelos desarrollados en este trabajo, ese problema se presentó de manera muy limitada que puede considerarse despreciable, dado que en un conjunto de 29.492 celda solo 20 presentaron respuesta fraccionada.

Los coeficientes técnicos construidos y utilizados en el modelo, aunque de carácter general, mostraron ser muy eficientes al momento de comparar ventajas y desventajas de las diferentes actividades económicas que ocurren en el territorio.

Cuando los coeficientes fueron construidos en base a la posición en el territorio, esto es en base a las celdas, los resultados adoptan una distribución espacial más realista, como es de esperar.

Análisis de mayor profundidad sobre los coeficientes y las variables que lo explican e incorporar el aspecto espacial en todos ellos. También es necesario ampliar e incorporar nuevos coeficientes y reglas de decisión que permitan reflejar las cuestiones de vecindad entre usos en el modelo.

El arreglo final de las áreas de conservación mostraron un ordenamiento diferente a la matriz actual de conservación de la provincia debido a que el criterio básico de conservación también es diferente.

La actividad de bosques cultivados se presenta como una de las mejores actividades desde el análisis de los cuatro criterios (empleo, renta, agroquímicos, erosión) seleccionado. Es de esperar similar comportamiento de esta actividad en relación a otros vinculados a la socio-economía y al ambiente.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento especial a la Universidad Federal Do Paraná, a su personal docente y no-docente, y compañeros de estudio, que me recibieron durante los años 2002 a 2006 para realizar curso de Doctorado en Ingeniería Forestal y donde se desarrolló esta investigación.

A la CAPES Brasil (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal ao Nível Superior) por el financiamiento del presente trabajo mediante beca de Doctorado.

A la Universidad Nacional de Misiones por el apoyo institucional brindado.

BIBLIOGRAFÍA

AERTS; J.C.J.H.; Erwin, E.; Heuvelink, G.B.M.; Stewart, T.J. Using Linear Programming for Multi Site Land Use Allocation. *Geographical Analysis*. 35 148 – 169 . 2002.

AERTS; J.C.J.H.; Erwin, E.; Heuvelink, G.B.M.; Stewart, T.J. 2002. Using Linear Programming for Multi Site Land Use Allocation. *Geographical Analysis*. 35, pp 148 – 169 .

ASCOUGH, J.C., Rector, H.D., Hoag, D.L., Mac Master, G.S., Vandenberg, M.J., Shaffer, M.A., Weltz, M.A., Ahjua, L.R. Multicriteria Spatial Decision Support Systems: Overview, applications, and Future Research Directions. *Environmental*. In AE RIZZOLI e AJ JAKEMAN

(Eds) Integrated Assessment and Decision Support Proceedings of the 1st biennial meeting of the IEMSS, June 2002, Lugano, Suiza. Vol3 pp 175-180.

BARLOWE R. Land Resource economics. The economics of real property. 2nd Ed. Prentice Hall Inc. New Jersey. 1972.

BARLOWE R. 1972. Land Resource economics. The economics of real property. 2nd Ed. Prentice Hall Inc. New Jersey. xxx pp.

BUONGIORNO, J.; Gilles, J.K. Forest Management and Economics. A Primer in Quantitative Methods. Macmillan Publishing Company. New York. 285 p. 1987.

BERNANRDI DE, L.A. DE; Prat Kricun, S.D. Diagnóstico de la Región Tealera. 2002. INTA. Estación Experimental Cerro Azul. Misiones.

CAMPBELL, J.C.; Radke, J.; Gless, J.T.; Wirthshafter, R.M. An application of linear programming and geographic information systems: cropland allocation in Antigua. Environment and Planning 24: 535 – 549. 1992

CHUVIECO, E. Integration of linear programming and GIS for land use modeling. International Journal of Geographical Information Systems. 1993. 13p.

COLCOMBET, L., Gunther, D. Coeficientes técnicos para cálculos de costos de forestación. INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria) EEAA Montecarlo. 2006

COLLINS, M.G.; Steiner, F.R.; Rushman, M.J. Land Use Suitability Analysis in the United States: Historical Development and Promising Technological Achievements. Environmental Management. Issue 5 10p. 2001.

CROMELY, R.G., Hanink, D.M. Coupling land use allocation models with raster GIS. Geographical Systems. 1 : 37 – 53. 1999.

DIRECCION NACIONAL DE PROGRAMACION ECONOMICA REGIONAL. Ministerio de Economía de Argentina. Misiones: Panorama Económico Provincial. Buenos Aires. 2004. 13 pp.

DIRECCION NACIONAL DE PROGRAMACION ECONOMICA REGIONAL. Ministerio de Economía de Argentina. El complejo forestal en el desarrollo regional. El caso de las Provincias de Misiones y Corrientes. Buenos Aires. 2004. 4p

EASTMAN, J.R. The Evolution in Modelling Tools in GIS. 2001. Directions Magazine: www.directionsmag.com. Acceso Marco 2006

FAO. Guidelines for land-use planning (Vol. 1). 1993. Food & Agriculture Org

FAO. Directrices sobre la Planificación del Aprovechamiento de la Tierra. Colección FAO: Desarrollo 1. 1994. FAO, Roma, Italia.

FAO. Programación lineal para la elaboración de escenarios óptimos de uso de la tierra. Proyecto Regional Información sobre tierras y aguas para un desarrollo agrícola sostenible. 2001. Santiago, Chile.

FAO. Evaluación de tierras con metodologías de FAO. Proyecto Regional “Ordenamiento Territorial Rural Sostenible”. 2003. Santiago, Chile. 26p.

FERNANDEZ JARDON, C.M.; Martínez Carlos, Y.; Gutawski, R.S.; Martos, M.S.; Dakun, M.C. La cadena empresarial del té en Misiones: un enfoque estratégico. Universidad Nacional de Misiones y Universidad de Vigo España. Posadas, Misiones. 2005. 59p.

FERNANDEZ, R., Castello, L.M., Olery H. 1989 Estimación de la erosionabilidad de los suelos del norte de la Provincia de Misiones. Revista Ciencia del Suelo v7 pp

FONDO ESPECIAL DEL TABACO. Anuario Estadístico campaña 2002/2003. SAGPyA. Buenos Aires 2005. 103 p.

FREAZA, M.A. Economía de Misiones: Aspectos y Actividades Relevantes. Editorial Universitaria de Misiones. Posadas. 2002. 234 p

GUNTHER, D.; Correa, G.M. Zonas agroeconómicas homogéneas y sistemas de producción predominantes para productores que integran cambio rural en la Provincia de Misiones. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Estación experimental Cerro Azul Misiones. 1999. 46p.

GAUTO, O. A. Informe del Inventario Provincial de Bosques Implantados 2001. Presentado en seminario a las autoridades del Ministerio de Ecología, Recursos Naturales Renovables de la Provincia de Misiones. Posadas, Diciembre de 2001.

GOMEZ DELGADO, M., Barredo Cano, J.I. Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio. 2ª ed. Alfaomega – Ra – Ma. México. 2005.

GOODCHILD, M. Towards an enumeration and clasification of GIS functions. NASA Washington DC. 1987. 10p.

GTZ. Manual para la Agricultura en la Provincia de Misiones. Parte III. Elementos Micro y Macroeconómicos para la planificación en la Agricultura. 1981. Posadas. Misiones

GUNTHER, D.F. Caracterización de las explotaciones Tabacaleras de Productores que integran Cambio Rural en la Provincia de Misiones. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) Estación Experimental Cerro Azul Misiones. 2001. 13p.

HANINK, D.M.; Cromley, R.G. Land use allocation in the absence of complete market value. Journal of Regional Sciences. Vol 38, 3. 1998. Pp465-480.

HILFERINK, M., Rietveld, P. Land use scanner: an integrated GIS based model for long term projections of land use in urban and rural areas. Geographical Systems. 1: 155-177. 1999.

HJORSTO, C.N., Straede, S. Strategic multiple use forest planning in Lithuania: applying multi criteria decision making and scenario analysis for decision support in an economy in transition. Forest Policy and Economics. 3 : 175 – 188. 2001.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICAS Y CENSOS. INDEC. Censo Nacional Agropecuario 2002 (CNA 2002). Online www.indec.gov.ar. Acceso: Júlio, 2006.

INSTITUTO NACIONAL DE LA YERBA MATE (INYM). Online www.INYM.org.ar. Acceso, Agosto, 2006.

LECCESE, M. and McCormick, K. (Eds.), Charter of the New Urbanism (McGraw – Hill). 2000.

LINDO SYSTEMS INC. LINGO Users Guide. Chicago. 1999. 536 p.

LIGIER, H.D., Matteio, H.R., Polo H. Erosión hídrica potencial en la Provincia de Misiones. INTA EEA CORRIENTES Argentina. 1989.

MINISTERIO DEL AGRO Y LA PRODUCCION MISIONES: Relevamiento Yerbatero. Posadas. 2002. 76 p

MITCHELL, J.K., Bubbenzer, G.D. Erosión de suelos. John Wiley and Sons. New York. 1980.

MALCZEWSKI, J. GIS-based land-use suitability análisis: a critical overview. Progress in Planning. 62 3 – 65. 2004.

MALCZEWSKI, J. Rinner, C. Exploring multicriteria decision strategies in GIS with linguistic quantifiers: a case study of residential quality evaluation. Journal of Geographical Systems. 7 : 249 – 268 . 2005.

MISIONES. MINISTERIO DE ECOLOGIA RNR y T. Informe del Primer Censo Provincial de Industrias de la Madera. Posadas. 2002.

RABINGGE, R.; Van Latesteijn, H.C. Long Term Options for Land Use in the European Community. Agricultural Systems 40. 1992. 195 – 210.

ROETTER, R.P.; Hoanh, C.T.; Alborde, A.G.; Van Keulen, H.; Van Itersum, M.K.; Dreiser, C.; Van Diepen, C.A.; DE Ridder, N.; Van laar, H.H. Integration of Systems Network (SysNet) tolos for Regional Land Use Scenario Analysis in Asia. Environmental Modelling & Software. 20: 291 -307. 2005

SALWASSER, H. Ecosystem Management: Can it sustain diversity and productivity?. Journal of Forestry. p 6-10. August 1994.

TOMLIN, C.D. Map Álgebra: One perspective. Landscape and Urban Planning. 30: 3 - 12. 1994.

TOMLIN, C.D., Geographical Information Systems and Cartographic Modeling. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ. 1990.

USDA (United State Department of Agriculture). Land Capability Classification. Agriculture Handbook N 210. 1961.

SALKIN, H. M. Integer programming. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley, 1975.

SCHEINOWITZ, A. S. O Planejamento Regional. Salvador, Gráfica Universitaria do Centro Editorial e didático da UFBA. 1983. 318p.

STEWART, T.J., Janssen, R., Herwiggen, M. A genetic algorithm approach to multiobjective

land use planning. Computers and operations Research. V31 2293 – 2313. 2004.

VAN LATESTSTEIJN H.C. Assessment of future options for land use in the European Community. Ecological Engineering 4 211-222 Elsevier. 1995

YALCIN, G., Akyurek, Z, Multicriteria análisis for flood vulnerable aereas. Online: <http://gis.esri.com/library/userconf/proc04/abstracts/a1097.html>. 2002. Acceso febrero 2005.

ZANINO, L. La actividad tealera en la Provincia de Misiones. Informe al Consejo Federal de Inversiones. Buenos Aires. 1993. 178 p.

ZILOCHI, H.O.; Mendoza, G.G.; Explotaciones Agropecuarias Tabacaleras de la República Argentina: Caracterización en base al Censo Nacional Agropecuario 2002 – Capítulo Misiones. Programa de Reconversión Productiva SAGPyA. Buenos Aires. 2006. 30p.