

Rev. FCA UNCuyo. Tomo XXXIX. N° 1. Año 2007. 41-57.



Balance energético en unidades de tierra de una cuenca rural basado en un sistema de información geográfica.

Energy balance in land units of a rural basin based on a geographical information system.

Néstor C. Di Leo ^{1,2} María Sofía Vilche ²
 Beatriz A. Bonel ² Julio A. Denoia ²
 Sergio Montico ²

Originales
 Recepción: 25/09/2006
 Aceptación: 26/03/2007

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue desarrollar una metodología de procesamiento de información espacial basada en un Sistema de Información Geográfica (SIG), para la determinación del balance de energía en unidades de tierra (UT) definidas en una cuenca hidrográfica rural. Se determinaron las UT a partir de mapas de unidades de paisaje y de mapas de estratos de superficie operada por productor. Se caracterizaron los ingresos (IE) y egresos energéticos (EE) en los sistemas de producción agrícolas. Se calculó la energía neta (EN) y la relación EE/IE (Re). Los datos se analizaron mediante un ANVA ($p < 0,05$). Los parámetros IE, EE, EN y Re no fueron significativamente diferentes entre UT, por lo que se infiere que el modelo productivo actualmente desarrollado, desde el punto de vista energético, resulta similar. Se hallaron relaciones de interés entre las variables de estudio y su ubicación geográfica, lo que permite recomendar para los sistemas agrícolas de una cuenca rural la planificación general del uso de la energía considerando las capacidades de los SIG.

SUMMARY

The objective of this work was to develop a methodology for the processing of spatial information based on a Geographical Information System (SIG), with the object of applying a model of energy balance in land units (UT) defined in a hydrographic basin. The UT were determined from maps of landscape units and from maps of the area operated by farmer. The energy inputs (IE) and outputs (EE) were characterized in agricultural production systems. The net energy (EN) and the relationship EE/IE (Re) was calculated. The data were analyzed for ANVA ($p < 0.05$). IE, EE, EN and Re parameters were not different between UT, reason why it is inferred that the production model, from the energy point of view, was similar. Interest relationships were found between the study variables and its geographic location, thus it is possible to recommend, for the agricultural systems of a rural basin, the general planning of the energy use considering the SIG capabilities.

Palabras clave

Sistemas de Información Geográfica •
 balance de energía • agricultura

Keywords

Geographical Information Systems •
 energy balance • agriculture

1 Gabinete de Teledetección y Sistemas de Información Geográfica.

2 Cátedra de Manejo de Tierras.

Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Rosario. C. C. 14. Zavalla. Santa Fe. Argentina. S2125ZAA. ndileo@sede.unr.edu.ar

INTRODUCCIÓN

El modelado espacial realizado por los sistemas de información geográfica (SIG) permite el análisis de grandes volúmenes de datos territoriales y posibilita, por lo tanto, el tratamiento adecuado de la información disponible a costos y en tiempos razonables. Los modelos de comportamiento y de interacciones sistémicas entre componentes se pueden generar para los elementos y los procesos biofísicos que constituyen el ambiente natural, así como para las actividades socio-económicas que se desarrollan en estos ambientes (14).

Con los avances tecnológicos recientes en los SIG es posible manejar grandes volúmenes de datos geográficos y construir la estructura topológica que subyace a complejos fenómenos espaciales (tanto naturales como socio-económicos). Alrededor del 80-90 % de los datos recogidos y usados por diversos sistemas de información sobre el medio ambiente regional se relacionan con la geografía (16). Por lo tanto, los SIG proporcionan un entorno computacional muy adecuado para la integración de datos socio-económicos y ambientales.

La disponibilidad de información actualizada y confiable es vital para el manejo de los recursos humanos y naturales de una región y para el abordaje de decisiones acerca del desarrollo regional que tienen un contexto espacial (20). Una sólida información de base podría reducir incertidumbres y facilitar la toma de decisiones.

Generalmente, el objetivo de la investigación de los recursos naturales en la actividad agropecuaria es generar conocimientos sobre los distintos ambientes intervenidos por el hombre y definir sobre esta base el adecuado manejo de los factores controlables (31). Por otra parte, se necesitan tecnologías innovadoras que puedan ser aplicadas a diferentes escalas de manera que aumente el control, por parte del hombre, sobre los flujos energéticos no productivos. En este sentido se han desarrollado prácticas que resuelven problemas que principalmente ocurren a nivel de establecimiento y lote, pero sería importante el desarrollo tecnológico a gran escala para incrementar el control de los flujos en amplias áreas geográficas y a largo plazo (37).

Los controles sobre las funciones ecológicas son determinados por factores biofísicos y socio-económicos que varían de una escala a otra. Las acciones humanas, como ubicación de los cultivos, sistemas de labranzas, aplicación de pesticidas y fertilizantes, pueden hacer sentir sus efectos a niveles correspondientes a mayor escala (32), y a la vez controlarían patrones geográficos predecibles de ciclos y flujos de energía, nutrientes y agua (39), a partir de diferencias en la geomorfología, el clima y la calidad de las tierras (2).

En primer lugar, y respecto de la energía, a nivel mundial se verifica un sostenido aumento del uso de la energía fósil en proporciones mayores que el aumento poblacional, y por otra parte, los cambios tecnológicos no proveen una real emancipación de los sistemas de producción desde la base de los recursos naturales ya que depende del uso, cada vez mayor, de energía fósil (22).

En segundo lugar, debido al aumento de la población mundial, que ha pasado de 3,5 mil millones de personas en los años 60 a más de 6 mil millones a principios de 2000, es necesario incrementar la producción total de alimentos, pero con la condición de mantener un medio ambiente durable.

Por otra parte, el aprovechamiento, ordenación y uso de los recursos naturales deben contemplar la definición de las cuencas hidrográficas como unidad de análisis, mientras que la identificación y valoración de las unidades de tierras que componen una cuenca constituyen un vínculo entre el reconocimiento básico de los factores productivos y la adopción de decisiones sobre la planificación y ordenamiento territorial (33). Es así que el concepto de desarrollo sustentable sitúa a la tierra como un soporte de diferentes sistemas: ecológico, agrícola, económico y político (7). En este contexto se define el análisis de sistemas como la «aplicación de modelos y bancos de datos basados en computadoras para analizar sistemas en una base holística, de manera que muestre cómo los elementos del sistema interactúan entre sí y con sus ambientes externos» (12).

En este sentido, un SIG es una herramienta informática para la adquisición, el almacenaje, el análisis, la modelación y la exhibición de los elementos y datos geográficos que forman parte de un sistema dado. La tecnología de SIG integra operaciones comunes de bases de datos tales como consultas y análisis estadístico con la visualización única y las ventajas geográficas de análisis ofrecidas por los mapas (4).

En la figura 1 se muestran las fuentes informativas principales, los componentes y los resultados de la informática de un SIG. Mediante la georreferenciación de las distintas capas de información (1), los entornos SIG se utilizan para crear, almacenar, recuperar, actualizar y para presentar objetos, atributos, métodos e informaciones geográficas.

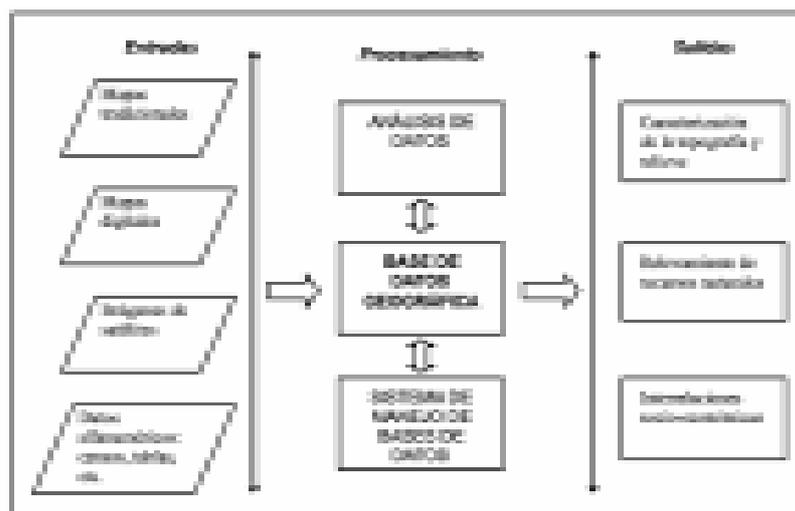


Figura 1. Fuentes de información, componentes y resultados de un SIG.

Así, los SIG han sido utilizados con éxito en numerosas temáticas relacionadas con el manejo de recursos naturales (38), resaltando su importancia en la integración y visualización de datos, generación de nuevas informaciones y como un sistema de soporte para la toma de decisiones.

La sustentabilidad del sistema agroproductivo se debe determinar dentro de una amplia perspectiva, donde el rendimiento de los cultivos y los impactos ambientales de la tecnología de producción pueden ser tomados como indicadores, pero incompletos. El análisis energético fue desarrollado durante los años 70 motivado por la crisis del petróleo y fue también aplicado para evaluar la sustentabilidad de los sistemas agroproductivos (3, 11, 13, 21, 24, 26, 29) así como para la determinación de las necesidades de energía de la agricultura (5). Estos autores consideraron el método de requerimientos energéticos brutos, que contempla solamente el flujo de energía de fuentes no renovables aplicadas a nivel de establecimiento junto con la energía incorporada en los productos (10, 19, 30) y el análisis del uso de fuentes no renovables, que es preferible cuando se persigue la disminución del exceso del uso de la energía (27).

En trabajos que abordan la provisión de energía en ambientes rurales (en la forma de energía eléctrica, calefacción, etc.), los Sistemas Espaciales de Información Energética basados en SIG han demostrado su utilidad en estudios acerca de la distribución espacial de sitios de generación y consumo de energía (28).

Objetivo

- Proponer una metodología basada en SIG para la integración de datos medioambientales y socio-económicos tendientes a la determinación de balances energéticos en unidades de tierra de una cuenca rural.

MATERIALES Y MÉTODOS

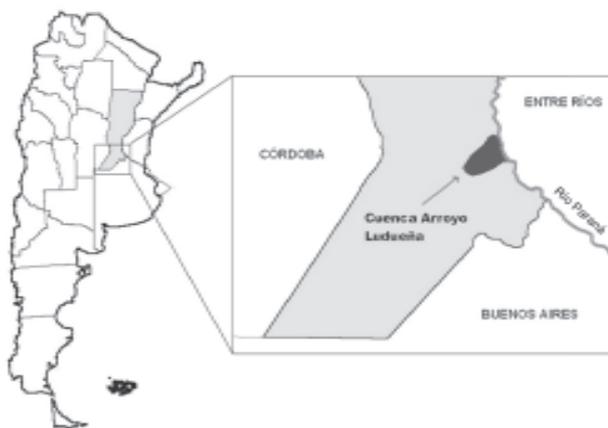


Figura 2. Localización del área de estudio.

El área de trabajo corresponde a la cuenca del arroyo Ludueña, en el sur de la provincia de Santa Fe, en los departamentos Rosario y San Lorenzo, entre los paralelos $32^{\circ} 45' 12''$ S y $33^{\circ} 06' 53''$ S, y los meridianos $60^{\circ} 39' 40''$ W y $61^{\circ} 06' 19''$ W (figura 2). Abarca una superficie de 80.114,38 ha. De este total, un 16,51 % corresponde a áreas urbanas (13.228,99 ha) y un 83,49 % corresponde a usos del territorio para actividades rurales (66.885,39 has).

Los análisis y cálculos fueron realizados utilizando los softwares ArcView 3.2 (8) y Spatial Analyst 2.0 para MS Windows. El software Surfer 5.01 fue también utilizado en interfase con el SIG para los análisis topográficos. Varios scripts de Avenue fueron escritos, modificados y utilizados. Polylinetopolygon.avx fue empleado en el cierre de las polilíneas de las coberturas catastrales y polytopoint.avx fue utilizado en la conversión de coberturas de línea en coberturas de punto para derivar curvas de nivel, pendientes, orientación, etc. El modelo de elevación digital fue realizado usando la extensión 3-D analyst.

El modelo de geoprocamiento o algoritmo empleado para la determinación de balance energético en la cuenca en estudio se presenta en la figura 3.

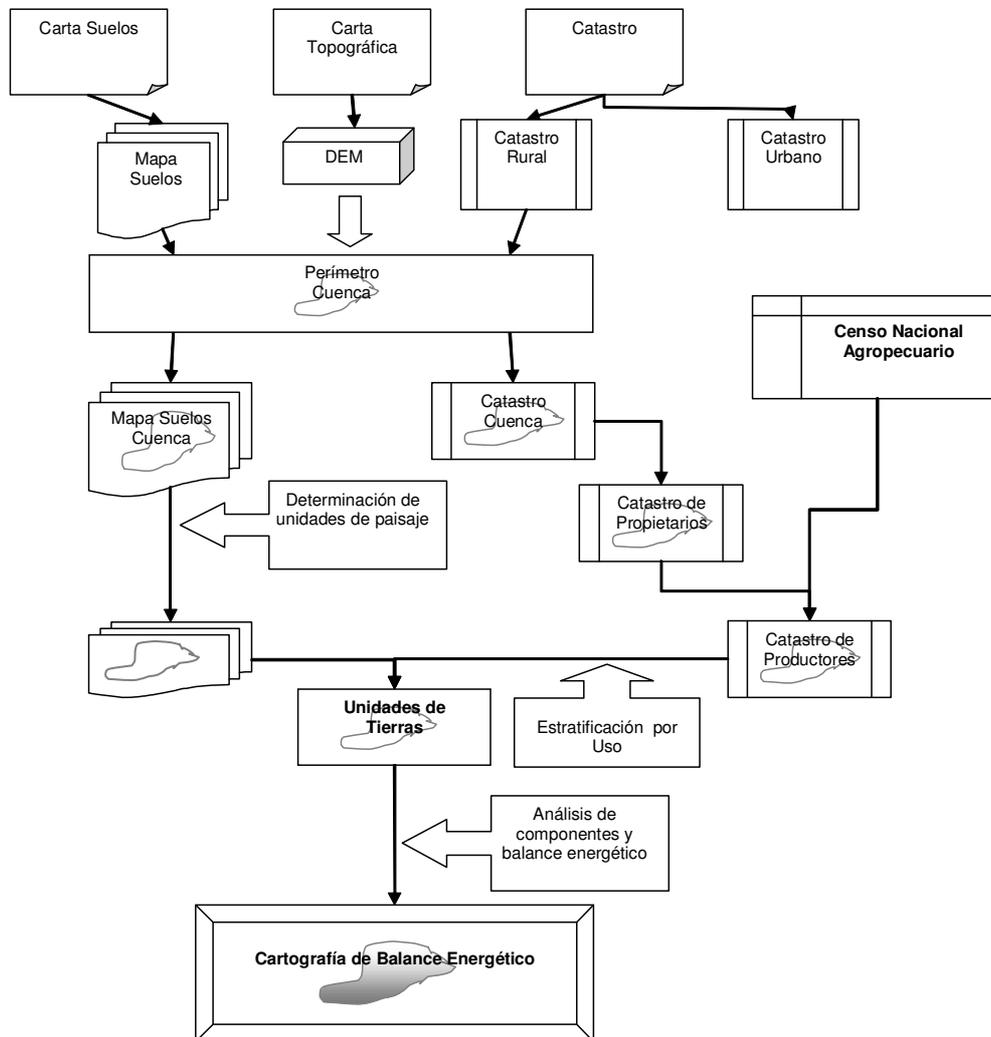


Figura 3. Algoritmo para la determinación de balance energético en unidades de tierra de una cuenca rural.

Dicho modelo consiste en la interrelación espacial mediante intersecciones de archivos geográficos de formas (shapefiles) (8), junto con la carga y adecuación de datos atributivos, contenidos en bases de datos, que luego se representan geográficamente. La información geográfica de entrada que se requirió para este algoritmo se lista en la tabla 1.

Tabla 1. Información de entrada necesaria para el algoritmo desarrollado

Información	Fuente
Topografía	Carta Topográfica IGM (1:100.000)
Suelos	Carta de Suelos INTA (1:50.000)
Catastro	Sistema de Catastro e Inf. Territorial, Santa Fe
Productores rurales	Censo Nacional Agropecuario 2003

A partir de cartas topográficas a escala 1:100.000 del Instituto Geográfico Militar se digitalizaron las curvas de nivel y los puntos acotados del área en estudio. Con estos datos altimétricos se procedió a la generación del modelo digital de elevaciones (MDE) mediante algoritmo de Krigging con un tamaño de píxel de 5 m (figura 4, pág. 47), del que fue derivado el mapa de pendientes de la región (figura 5, pág. 47).

Como fue descrito por Mc Cuen (23), el límite de una cuenca está definido por todos los puntos que dirijan el agua a la vía de avenamiento que drena la cuenca. El agua escurrirá perpendicular a las curvas de nivel, que es la dirección que maximiza las pendientes. A partir de este MDE se procedió a la delimitación automática del área de la cuenca con el algoritmo Watersheed, el cual utiliza los valores de altimetría de los píxeles y los cataloga de acuerdo con su incremento a partir del cauce que debe ser indicado mediante un vector lineal. De esta manera, cuando el incremento se hace máximo, sitúa el límite de la cuenca en el punto de inflexión del arco de mínima curvatura que va trazando entre píxeles desde el cauce principal indicado, que se corresponde con la divisoria de aguas. Se obtuvo así el perímetro de la cuenca que se utilizará para seccionar las demás coberturas temáticas y datos atributivos (figuras 4 y 5, pág. 47).

La información sobre los tipos de suelos de la cuenca se obtuvo de la Carta de Suelos de la República Argentina (18). En primer lugar se procedió a digitalizar las hojas de la mencionada carta y a georreferenciarlas, posteriormente fueron vectorizadas todas las unidades cartográficas, incluyendo en la base de datos asociada la información referida a las características físicas, químicas y paisajísticas que describen cada unidad cartográfica de suelos (figura 6, pág. 47).

A partir del MDE, el mapa de pendientes y la cobertura de tipos de suelos, y considerando la información contenida en la base de datos asociada, se procedió al reagrupamiento de unidades cartográficas de suelos en Unidades Edáficas o de Paisaje (UP). Cada UP representa un área homogénea en cuanto a relieve, drenaje y a los atributos de mayor relevancia de los suelos. Del análisis realizado resultaron cuatro UP (figura 7, pág. 47), que se describen a continuación:

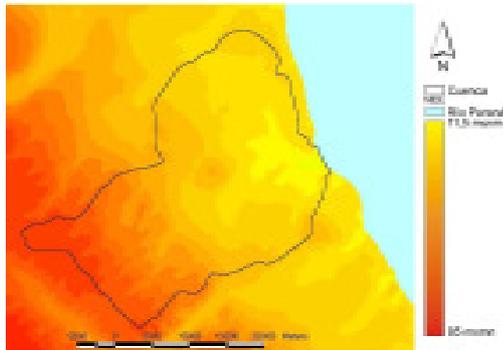


Figura 4. Modelo digital de terreno y cuenca del arroyo Ludueña.

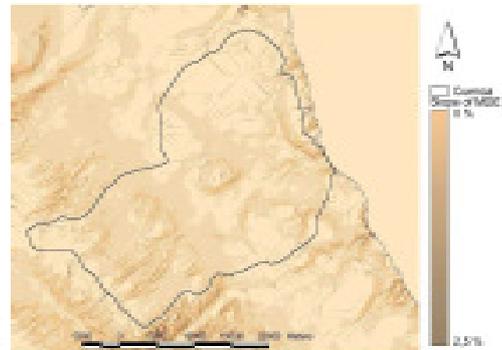


Figura 5. Mapa de pendientes y cuenca del arroyo Ludueña.

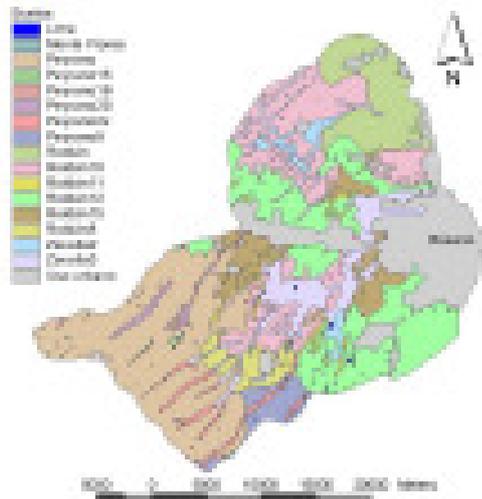


Figura 6. Mapa de suelos.

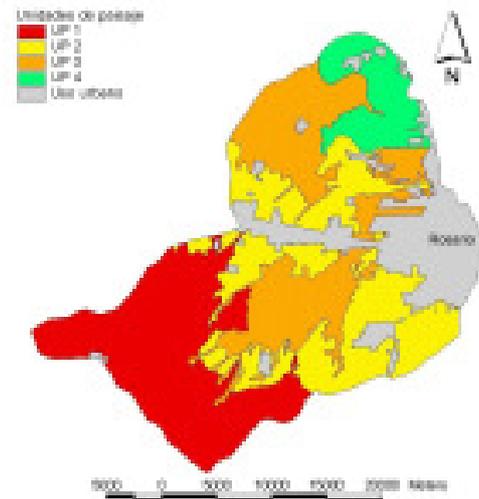


Figura 7. Mapa de unidades de paisaje (UP).

Unidad de paisaje N° 1 (UP1)

Abarca posiciones de relieve correspondientes a lomas extensas y ligeramente onduladas, con pendientes menores al 1 % (0,5 - 1 %). El escurrimiento es moderado a bueno y el drenaje es bueno. No existe peligro de anegamiento o inundación y la napa freática, por su profundidad, no influye en las propiedades edáficas. En las áreas con mayor pendiente existe ligero peligro de erosión. La capacidad de uso corresponde a I-2. Los suelos son Argiúdoles típicos de la Serie Peyrano (Py) y Consociación Serie Peyrano fase suavemente ondulada (Py8). La UP1 está atravesada por áreas inclinadas hacia los cauces situados al pie de la loma constituyendo áreas cóncavas, cuyos suelos corresponden a las Consociaciones Serie Peyrano moderadamente engrosada (Py2x) y Serie Peyrano bien drenada y engrosada (Py20); la clasificación por capacidad de uso corresponde a II_e y II_w , respectivamente.

Unidad de paisaje N° 2 (UP2)

Abarca lomas extendidas. Algunos sectores corresponden a interfluvios entre vías de drenaje. Están presentes numerosos microrrelieves dando un aspecto «cribado». La permeabilidad del suelo es lenta, el perfil edáfico tiene características hidromórficas y son afectados por alcalinidad sódica; el escurrimiento es lento. Las posiciones más altas están ocupadas por suelos de la Serie Roldán (Rd) y en menor medida por la Serie Monte Flores (MF). Las microdepresiones están ocupadas por suelos de la Serie Lima (Li), Monte Flores (MF) y Zavalla (Za), con Capacidad de Uso: II_{w-s} y II_w . El área está atravesada por sectores cóncavos con pendientes menores al 1 %, de lenta permeabilidad, anegables y de escurrimiento lento. Estos sectores también están afectados por alcalinidad sódica. Los suelos presentes corresponden a las Series MF y Rd (fases erosionada y engrosada) y Ge (Serie Gelly), con capacidad de uso: IV_{w-s} . La clasificación taxonómica de las series corresponde a Natralbol típico (Ge), Argialbol típico (MF) y Natracualf típico (Za). Los suelos de la UP2 abarcan las consociaciones Rd8, Rd12, Rd11 y Rd15.

Unidad de paisaje N° 3 (UP3)

Abarca posiciones en el paisaje correspondientes a áreas planas, bajas, amplias y vías de avenamiento digitiforme, de permeabilidad lenta a muy lenta y drenaje impedido a pobre. Los gradientes de pendientes son menores a 0,5 % y el escurrimiento es lento. Los suelos presentan alcalinidad sódica y sales, y son Consociaciones de las Series Rd, Ge, Za, Manantiales (Ma) y MF, con capacidades de uso que comprenden las clases VI_{w-s} y VII_{w-s} . Taxonómicamente corresponden a Argiudoles vérticos (Rd), Argialboles típicos (MF), Natralboles típicos (Ge) y Natracualfes típicos (Za), y están presentes en las Consociaciones Rd10, Za2 y Za3.

Unidad de paisaje N° 4 (UP4)

Abarca posiciones de paisaje correspondientes a amplias lomadas, con pendientes de 0,5 %, escurrimiento lento a moderado y drenaje moderado a bueno. La napa freática se encuentra entre 5 y 15 m de profundidad. El suelo representativo es un Argiudol vértico que corresponde a la Serie Roldán, cuya capacidad de uso es I-2.

Desde el Sistema de Catastro e Información Territorial de la Provincia de Santa Fe (SCIT) fue obtenida la cobertura del mapa catastral de los distritos que, total o parcialmente, forman parte de la cuenca (figura 8, pág. 50), y en cuya base de datos asociada se registra el listado de propietarios de cada parcela catastral y el número de partida o nomenclador catastral, entidad codificada que identifica cada predio a efectos legales e impositivos.

A partir del Censo Nacional Agropecuario 2003 se obtuvo la información de las personas físicas o jurídicas que operan con actividades agrícolas en las distintas parcelas catastrales (productores). En la base de datos de dicho Censo, por cada productor censado se indican los números de partida o nomenclador catastral de las parcelas que tiene a su cargo.

Las bases de datos de la cobertura catastral y del censo de productores fueron vinculadas mediante el campo que lista los números de partida, resultando de esta manera una nueva cobertura con el catastro de productores para toda la cuenca.

En función de este nuevo ordenamiento de la información y a la «geografización» del censo de productores fue posible el cálculo de la superficie total operada en agricultura por cada productor rural, luego de lo cual se definieron tres estratos de uso tecnológico (EUT), debido a que la superficie operada es un indicador de la magnitud de la empresa rural y por ende de la tecnología de producción que es utilizada en ella.

En las parcelas donde no hubo productores asignados, por no estar completa la base de datos del censo de productores, se tomó la superficie de la parcela, corroborando previamente la utilización agrícola de la misma mediante imágenes satelitales.

Los estratos definidos, basados en consultas a referentes calificados, correspondieron al siguiente rango de superficies: estrato **h**: 0,1 a 19,9 ha, estrato **A**: 20 a 150 ha, estrato **B**: 151 a 450 ha, estrato **C**: más de 451 ha. Puesto que la base de datos correspondientes a los productores no era completa, se trabajó con una población total de 166 productores exclusivamente agrícolas, que representaban 18.965 ha de la cuenca. En la figura 9 (pág. 50) se muestra la cobertura catastral con las parcelas categorizadas en los estratos de uso tecnológico mencionados precedentemente.

En la parte final del algoritmo propuesto se procedió a la vinculación de la cobertura de unidades de paisaje (UP), con la cobertura de los estratos de uso tecnológico (EUT) lográndose, mediante la intersección espacial de ambas, la cobertura de unidades de tierra (UT). En ésta se verificaron 14 combinaciones espaciales que dieron lugar a las respectivas 14 unidades de tierras: A1, A2, A3, A4, B1, B2, B4, C1, C2, C3, h1, h2, h3 y h4 (figura 10, pág. 50).

Las unidades de producción menores a 20 ha (estrato h), y por ende las respectivas UT devenidas de éstas, no fueron consideradas en el análisis energético por incluir en ellas generalmente formas más intensivas de producción (horticultura).

Con el fin de caracterizar los ingresos y egresos energéticos en cada UT se realizaron encuestas a productores. Para obtener el tamaño de muestra de cada UT se consideró un diseño aleatorio y la adjudicación óptima de Neymann. El error máximo admisible **e** fue igual a 10 y el error permisible al realizar una estimación **k** fue igual a 1. Se eligieron unidades de reemplazo por cada estrato.

En total se encuestaron 52 productores, abarcando una superficie de 11.264 ha. La encuesta abarcó la campaña de producción agrícola correspondiente al período 2003/2004. Los aspectos relevados de los sistemas agrícolas incluyeron tipo, densidad y superficie sembrada de los diferentes cultivos; tipo y dosis de fertilizantes aplicados; tipo y dosis de pesticidas utilizados; operaciones realizadas para la preparación de la cama de siembra, siembra, protección, fertilización y cosecha de los diferentes cultivos.

Tabla 2. Componentes del modelo utilizado en el análisis energético.

Parámetros energéticos	Definición
Energía directa (Ed)	Ingreso de gasoil
Energía indirecta (Ei)	Semillas + Fertilizantes + Pesticidas + Maquinaria
Ingreso de energía (IE)	$IE = Ed + Ei$
Egreso de energía (EE)	Biomasa cosechada
Energía neta (EN)	$EN = EE - IE$
Relación egreso/ingreso (Re)	$Re = EE / IE$

Tabla 3. Valores de referencia

Concepto	Unidad (U)	Mj . U	Concepto	Unidad (U)	Mj . U
Semillas			Operaciones		
Soja	kg	16,62	SD Soja, Maíz, Sorgo	ha	368,05
Trigo	kg	16,62	SD Trigo	ha	545,58
Maíz	kg	32,99	Siembra Convencional	ha	346,4
Sorgo	kg	32,99	Fertilización	ha	99,59
			Protección de cultivos	ha	99,59
Pesticidas ¹			Cosecha Sj, Mz, Sg	ha	562,9
Herbicidas	cc	0,418	Cosecha Trigo	ha	627,85
Insecticidas	cc	0,364	Labores		
Fungicidas	cc	0,272	Disco	ha	259,8
Curasemillas ²	cc	0,136	Cinzel	ha	281,45
Fertilizantes			Cultivador de campo	ha	238,15
Nitrógeno (N)	kg	77,53	Rastra	ha	103,92
Fósforo (P)	kg	6,035	Granos		
Azufre (S)	kg	9,74	Soja	kg	16,75
Potasio (K)	kg	14,41	Trigo	kg	15,45
Inoculante			Maíz	kg	16,54
	cc	0,011 ³	Sorgo	kg	14,06

- 1 Concentración energética por unidad de principio activo
- 2 Carbendazim
- 3 Se igualó a la concentración energética de la deltametrina

Los datos se analizaron en un modelo estadístico completamente aleatorizado, comparando las distintas UT. Asimismo se calcularon los coeficientes de correlación entre las variables del modelo de análisis energético y entre éstas y las proporciones de cultivos (18). Los valores de IE, EE, EN y Re se expresaron en $Mj \cdot ha^{-1}$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como resultado del análisis de las encuestas realizadas a productores se definió la proporción de cultivos presentes en las unidades de tierras (UT) analizadas en la campaña 2003/2004 (tabla 4). El cultivo predominante fue el de soja, ocupando más del 50 % de la superficie total en la mayoría de las UT, el doble cultivo trigo/soja ocupó entre un 14 y 50 % de la superficie total y los cultivos de maíz y el sorgo representaron una baja participación en la ocupación de la tierra.

Tabla 4.

Proporción de cultivos en cada Unidad de Tierra (UT). Campaña agrícola 2003/2004.

UT	Superficie (ha)	N	Soja (%)	Trigo/Soja (%)	Maíz (%)	Sorgo (%)
A1	1068	18	75	22	3	0
A2	140	2	100	0	0	0
A3	203	3	65	27	0	8
A4	120	1	33	33	0	33
B1	2298	12	76	20	4	0
B2	1507	6	59	25	13	3
B4	542	2	66	14	20	0
C1	2197	4	69	19	10	2
C2	180	1	61	22	0	17
C3	3009	3	57	26	10	7

N = número de productores en cada UT

De la aplicación de la metodología descrita, en el SIG se obtuvieron los mapas de ingreso de energía (IE) (figura 11, pág. 53) y de egreso de energía (EE) por UT (figura 12, pág. 53). A partir de los cálculos realizados en la base de datos del SIG se obtuvieron los mapas de balance energético (energía neta o EN) (figura 13, pág. 53) y de Relación egreso/ingreso de energía (Re) (figura 14, pág. 53) de las UT consideradas en la cuenca.

En cuanto al análisis energético, no se hallaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre las diferentes UT en las variables analizadas (IE, EE, EN y Re). La producción de energía (EN) varió entre 45.000 y 67.000 Mj/ha/año y el consumo de energía (IE) osciló entre 5.000 y 6.000 Mj/ha/año (tabla 5).

Tabla 5.

Análisis energético en cada Unidad de Tierra (UT). Campaña agrícola 2003/2004.

UT	IE	EE	EN	EE/IE (Re)
	Mj.ha ⁻¹			
A1	5363	61054	55691	11,38
A2	3529	48569	45040	13,76
A3	5928	66275	60347	11,18
A4	5277	66637	61360	12,63
B1	5778	60649	54871	10,50
B2	6575	70647	64072	10,74
B4	5844	73263	67419	12,54
C1	6157	70396	64239	11,43
C2	4860	60129	55269	12,37
C3	6997	72382	65385	10,34

IE = ingresos de energía; EE = egresos de energía; EN = energía neta

SIG: balance energético en unidades de tierra

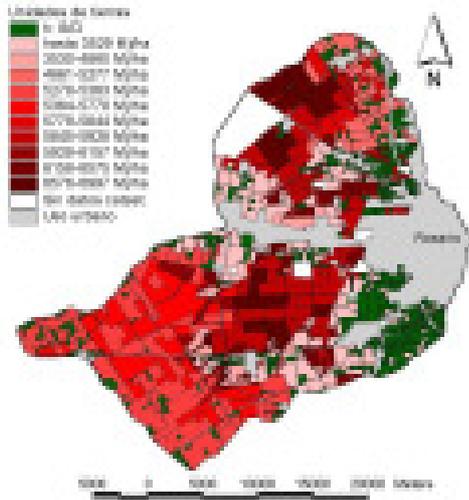


Figura 11. Mapa de ingreso de energía (IE) por UT.

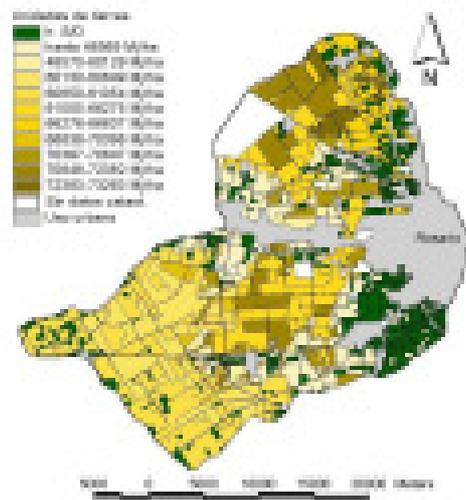


Figura 12. Mapa de egreso de energía (EE) por UT.

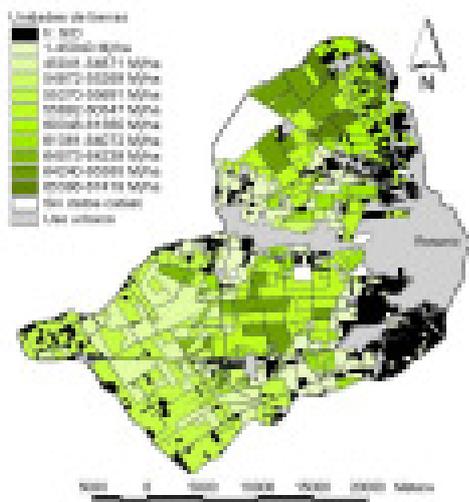


Figura 13. Mapa de balance energético o energía neta (EN) por UT.

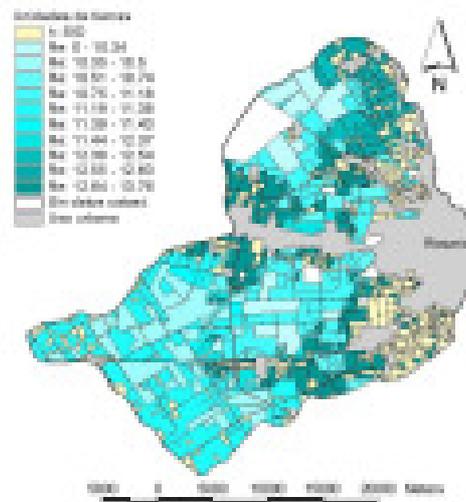


Figura 14. Mapa de eficiencia energética o relación EE/IE (Re) por UT.

La eficiencia energética medida como la relación EE/IE en las UT analizadas en la Cuenca del arroyo Ludueña en la campaña 2003/2004 superaron el valor de 10, con un promedio de 12. Por otra parte la EN se correlacionó en forma positiva con la cantidad de energía que egresa por ha (EE) ($R^2 = 0,99$; $p < 0,05$). Estos resultados son predecibles puesto que la cantidad de energía que egresa en los sistemas de producción es casi diez veces mayor que la energía que ingresa como insumos.

Considerando todas las UT, el egreso energético promedio fue de 65.000 Mj/ha/año. En cuanto a los ingresos energéticos, se halló una correlación positiva con la EN ($R^2 = 0,59$; $p < 0,059$) y con los EE ($R^2 = 0,68$; $p < 0,05$). A su vez los IE tuvieron una correlación inversa con Re ($R^2 = -0,48$; $p < 0,05$). Estos resultados evidencian que una aplicación mayor de energía en términos de insumos logra aumentos de producción pero con menores niveles de eficiencia de uso de la energía.

El análisis energético en las diferentes UT no presentó diferencias, por lo cual se infiere que el modelo de producción, desde el punto de vista energético, en las diez UT definidas es similar. La proporción de cultivos tendría una influencia importante sobre los resultados del análisis energético. La proporción que cada productor realizó de soja de primera se correlacionó de manera negativa con los ingresos y egresos energéticos y con la EN, mientras que la proporción del doble cultivo trigo/soja tuvo una alta correlación positiva con los IE y el cultivo de maíz con los EE y la EN. Se podría pensar que, en función de la combinación de cultivos, se puede maximizar la EN, si el objetivo es generar producción física, o minimizar los IE si el objetivo es disminuir el impacto del uso agrícola de las tierras sobre el ambiente. Por otra parte, no se hallaron relaciones de interés entre Re y la proporción de cultivos, ya que las correlaciones halladas fueron bajas (tabla 6). La Re estuvo relacionada en forma negativa con los IE con un R^2 de $-0,48$ ($p < 0,05$), mientras que con la EN y los EE las correlaciones fueron menores ($R^2 = 0,35$ y $R^2 = 0,25$ respectivamente; $p < 0,05$).

Tabla 6. Coeficientes de correlación entre los parámetros energéticos y las proporciones de cultivos.

Cultivos	IE	EE	EN	EE/IE
Soja	-0,78 *	-0,76 *	-0,71 *	0,15 ns
Trigo/Soja	0,65 *	0,44 *	0,38 *	0,31 *
Maíz	0,24 ns	0,56 *	0,58 *	0,36 *
Sorgo	0,14 ns	0,32 *	0,32 *	0,02 ns

* = correlación estadísticamente significativa ($p < 0,05$)

ns = correlación estadísticamente no significativa ($p < 0,05$)

Los valores de consumo (IE) y producción de energía (EN) hallados en este trabajo son mayores que los informados por Viglizzo et al. (37), quien contabilizó para la pampa ondulada una producción de energía de 32 Gj/ha/año en la década del 90 y un consumo de 4 Gj/ha/año. Estos resultados confirman la tendencia hacia la intensificación energética señalada por el autor antes mencionado. A pesar de advertirse un aumento de inputs energéticos, la región se halla en un nivel relativamente bajo de consumo de energía fósil ya que, a nivel global, se mencionan variaciones en los inputs energéticos para producir cultivos desde menos de 1 Gj/ha en sistemas de bajos inputs de África hasta más de 30 Gj/ha en el oeste europeo (10).

En cuanto a la eficiencia energética (Re) los valores hallados fueron mayores que los correspondientes a la pampa ondulada en la década del 90 (37). Probablemente la inclusión de híbridos y variedades mejoradas y de prácticas de manejo más adecuadas influya sobre estos resultados. Cuando la Re se acompaña con la estimación de

la productividad de la tierra es un indicador de la carga ambiental (7). La interpretación de estos valores también depende de las condiciones socio-económicas del país que se analice. Los países dotados de poca superficie por productor requieren una alta cantidad de energía fósil para alcanzar una alta productividad. En cambio, los países donde la dotación de tierras es alta, una mayor productividad se obtiene aplicando comparativamente baja cantidad de energía fósil por unidad de egreso.

En la agricultura regional actual, caracterizada por la aplicación de tecnología, el aumento de la producción está vinculado con el uso de energía a través de inputs químicos, principalmente fertilizantes y pesticidas. En la cuenca del arroyo Ludueña es posible aumentar la productividad a través de una mayor aplicación de energía en los sistemas agrícolas. En este sentido habría que considerar el rol de la tecnología de procesos y el costo de oportunidad de la tierra al sacar conclusiones sobre la conveniencia o no de un mayor uso de energía (39).

El análisis energético ha sido aplicado para hacer efectiva y eficiente la planificación de agroecosistemas, llegando hasta la recomendación de cultivos para posiciones de relieve diferentes (38). En este trabajo, a pesar de que se consideraron aspectos socio-económicos (los EUT catalogados mediante la información censal) y biofísicos (las distintas UP), la aplicación de insumos y tecnología en los sistemas agrícolas de la cuenca del arroyo Ludueña fue similar en las distintas UT, por lo que el resultado del análisis energético no difirió entre ellas. De alguna manera se compensa la menor calidad de la UP3 y las restricciones de manejo del EUT A con las mejores condiciones de las UP1, 2 y 4 y los EUT B y C. Con estos resultados se puede recomendar realizar una planificación general del uso de la energía en la cuenca.

CONCLUSIONES

- ❖ La metodología propuesta, desarrollada en un entorno de Sistemas de Información Geográfica, permitió reconocer la relación espacial entre los caracteres naturales y los agroproductivos de manera automatizada, agilizando las posibilidades de visualización de las distintas interacciones e interrelaciones espaciales entre ellos.
- ❖ Las UT discriminadas en la cuenca del arroyo Ludueña no tuvieron diferencias significativas en los componentes del balance energético. En este sentido, la alta productividad de los suelos estaría controlando la expresión de los términos de los balances energéticos, enmascarando otras características biofísicas de las UT de la cuenca.
- ❖ La inclusión de los SIG en los análisis energéticos potencia las posibilidades de planificación de los agroecosistemas. Permitiría también la posibilidad de simulación de escenarios futuros a efectos de establecer las bases del ordenamiento territorial, desde el punto de vista energético, y generar un soporte para la adopción de decisiones prediales y regionales.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aronoff, S. 1991. Geographical Information Systems: A Management Perspective. WDL Publications, Ottawa, Canada. 294 p.
2. Bailey, A. P.; Basford, W. D.; Penlington, N.; Park, J. R.; Keatinge, J.; Rehman, T.; Tranter, R. B.; Yates, C. M. 2003. A comparison of energy use in conventional and integrated arable farming systems in the UK. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 97 (1-3): 241-253.
3. Bonari, E.; Mazzoncini, M.; Peruzzi, A.; Silvestri N., 1992. Valutazioni energetiche di sistemi produttivi a diverso livello di intensificazione colturale. *Inf. Agr.* 1. p. 11-25.
4. Burrough, P. A.; McDonnell, R. A. 1998. Principles of Geographical Information System. Oxford University Press. 333 p.
5. CNR-ENEA. 1989. Le richieste d'energia del sistema agricolo italiano. Libro bianco 20. CNR-ENEA, Roma. 114 p.
6. Conforti, P.; Giampietro, M. 1997. Fossil energy use in agriculture: an international comparison. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 65: 231-243.
7. Constanza, R. 1991. The ecological economics of sustainability, investing in natural capital. In: *Environmentally sustainable economic development: building on Brundtland*, UNESCO. 98 p.
8. ESRI. 2000. ArcView GIS 3.2 User's Guide. ESRI Press.
9. Faidley, L. W. 1992. Energy and agriculture. In: Fluck, R.C. (Ed.). *Energy in farm production*. Elsevier, Amsterdam. p. 1-2.
10. Ferrière, J. M.; Fauveau, C.; Chabanet, G.; Stoll, J.; Hoffmann, M.; Risoud, B.; Farruggia, A.; Fortin, G. 1997. L'analyse énergétique à l'échelle de l'exploitation agricole. *Méthode, apports et limites*. *Fourrages*, 151: 331-350.
11. Franzluebbers, A. J.; Francis, C. A. 1995. Energy output: input ratio of maize and sorghum management systems in eastern Nebraska. *Agric. Ecosys. Environ.*, 53: 271-278.
12. Grigg, N. S. 1996. *Water resources management: principles, regulations, and cases*. McGraw-Hill Book Co., Inc. New York. 333 p.
13. Gristina, L.; Temple, S.; Friedman, D. B.; Sarno, R. 1995. Energetic analysis of four farming systems during the conversion from conventional to organic farming system in the Sacramento Valley, California. *Rev. Agron.* 29(3): 493-498.
14. Hernández, J.; García, L.; Ayuga, F. 2004. Integration Methodologies for Visual Impact Assessment of Rural Buildings by Geographic Information Systems. *Biosystems Engineering*. 88(2): 255-263.
15. Hülsbergen, K.; Feil, B.; Biermann, S.; Rathke, G.; Kalk, W.; Diepenbrock, W. 2001. A method of energy balancing in crop production and its application in a long-term fertilizer trial. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 86: 303-321.
16. Huxhold, W. E. 1991. *Introduction to Urban Geographic Information Systems*. New York: Oxford University Press Inc. 337 p.
17. INFOSTAT/Profesional. 2002. Software estadístico. Actualización 23/09/02. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
18. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). 1975. Carta de suelos de la República Argentina, hojas: Carcarañá, Andino, Cañada de Gómez-Rosario, Casilda, Arroyo Seco-San Nicolás de los Arroyos. Buenos Aires. Argentina.
19. Jones, M. R. 1989. Analysis of the Use of Energy in Agriculture - Approaches and Problems. *Agric. Sys.* 29: 339-355.
20. Klosterman, R. E. 1995. The appropriateness of geographic information systems for regional planning in the developing world. *Computer, Environment and Urban Systems*. 19(1): 1-13.

21. Kuesters, J.; Lammel, J. 1999. Investigations of the energy efficiency of the production of winter wheat and sugar beet in Europe. *Eur. J. Agron.* 11: 35-43.
22. Mayumi, K. 1991. Temporary emancipation from land: from the industrial revolution to the present time. *Ecological Economics* 4(1): 35-56.
23. Mc Cuen, R. H. 1998. *Hydrologic Analysis & Design*. 2nd edition. Prentice Hall. 814 p.
24. Nguyen, M. L.; Haynes, R. J. 1995. Energy and labour efficiency for three pairs of conventional and alternative mixed cropping (pasture-arable) farms in Canterbury, New Zealand. *Agric. Ecosys. Environ.* 52: 163-172.
25. Pereira dos Santos, H.; Fontaneli, R. S.; Ignaczak, J. C.; Zoldan, S. M. 2000. Conversão e balanço energético e sistemas de produção de grãos com pastagens sob plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 35(4): 743-752.
26. Pimentel, D. 1993. Economics and energetics of organic and conventional farming. *J. Agric. Environ. Ethics.* 6: 53-60.
27. Pimentel, D.; Heichel, G. H. 1991. Energy efficiency and sustainability of farming systems. In: Lal, R. and Pierce, F. J. (eds.): *Soil management for sustainability*, 113-123. Soil and Water Conservation Soc., Ankeny, IA.
28. Pokharel, S. 2000. Spatial analysis of rural energy system. *Int. J. Geographical Information Science.* 14(8): 855-873.
29. Refsgaard, K.; Halberg, N.; Kristensen, E. S. 1998. Energy utilization in crop and dairy production in organic and conventional livestock production systems. *Agric. Syst.* 57: 599-630.
30. Risoud, B. 1999. Développement durable et analyse énergétique d'exploitations agricoles. *Écon. Rurale.* 252: 16-26.
31. Scoppa, C. O.; Digiacomio, R. M. 2000. El sistema científico tecnológico. Los recursos naturales de uso agropecuario y el ambiente en la Argentina. *Anales Acad. Nac. de Agr. y Veterinaria.* 54: 151-172.
32. Solbring, O.; Viglizzo, E. F. 1999. Sustainable farming in the Argentine Pampas: History, Society, Economy and Ecology. DRCLAS Paper N° 99/00-1 Harvard University, Cambridge, MA. 45 p.
33. Sys, C.; van Ranst, E.; Debaveye, J. 1991. *Land Evaluation*. ITC. Agricultural publications N° 7. GADC. Brussels. Belgium. 273 p.
34. Tripathi, R. S.; Sah, V. K., 2001. Material and energy flows in high-hill, mid-hill and valley farming systems of garhwal Himalaya. *Agriculture, Ecosystems and Environment.* 86: 75-91.
35. Uhlin, H. E. 1999. Energy productivity of technological agriculture-lessons from the transition of Swedish agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment.* 73: 63-81.
36. Viglizzo, E. F.; Pordomingo, A. J.; Castro, M. G.; Lértora, F. A. 2002. La sustentabilidad ambiental del agro pampeano. Programa Nacional de Gestión Ambiental Agropecuaria. INTA. 84 p.
37. _____ . 2004. Scale-dependent controls on ecological functions in agroecosystems of Argentina. *Agriculture, Ecosystems & Environment.* 101(1): 9-51.
38. Wadsworth, R.; Treveek, J. 1999. *Geographical information systems for ecology*. London: Longman. 184 p.
39. Wagenet, R. J. 1998. Scale issues in agroecological research chains. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 50: 23-34.



**Profesor Titular del Instituto de Biología Animal
Facultad de Ciencias Agrarias
(1964)**

Su nombre completo era José Miguel Alfredo María Cei. Nació el 1 de marzo de 1918 en la ciudad de San Miniato, provincia de Pisa; sus padres fueron Luis Cei y Ginetta Pialini. Completó sus estudios en su provincia natal donde el 25 de octubre de 1940 obtuvo el título de Doctor en Ciencias Naturales.

**Dr. José M. Cei
1918 - 2007**

Poco después de terminar la Segunda Guerra Mundial, hacia 1947, arribó a Argentina invitado por el Instituto Lillo de Tucumán. En la Universidad de esa provincia revalidó su título y comenzó a desarrollar su labor docente y de investigación.

En la Universidad Nacional de Cuyo fundó el Instituto de Biología, orientado especialmente a la Zoología y dentro de ella la Herpetología, es decir, el estudio de reptiles y batracios. En 1964 fue contratado por la Facultad de Ciencias Agrarias de dicha Universidad como profesor e investigador del Instituto de Biología con dedicación exclusiva. A partir de enero de 1970 se desempeñó como Profesor Titular e Investigador, cargo que ocupó hasta su jubilación, en 1979.

Escribió varios libros y fue director de numerosas tesis doctorales. Participó en importantes reuniones científicas, tanto a nivel nacional como internacional. Cabe mencionar, como particularmente significativas, las III Jornadas Argentinas de Zoología, en 1972, realizadas en Mendoza, y reuniones y seminarios en Estados Unidos e Italia en 1977.

En 1940 contrajo matrimonio con Silvana Zaira Ida María Silvi y tuvo tres hijos: Roberto, Vera Gineta Catalina (nacidos en Italia) y Luis Marcos (nacido en Argentina).

Falleció en Mendoza el 8 de enero de 2007, a los 88 años.

F. A. Melis

Fuentes:

Archivos de la Facultad de Ciencias Agrarias.

Agradecimiento al Sr. Luis Paulino Castro (ex colaborador), por su importante manuscrito.