

REGIONALIZACIÓN ECOLÓGICA DEL PARTIDO DE SALLIQUELÓ (BUENOS AIRES, ARGENTINA)

Ilda Entraigas*, Raúl Rivas*, Marcelo Varni*, Eduardo Usunoff *y Marcelo Gandini#

*Instituto de Hidrología de Llanuras, CC 44 (7300), Azul, Bs. As., ilda@faa.unicen.edu.ar

Facultad de Agronomía (UNCPBA), CC 47 (7300), Azul, Bs. As.

RESUMEN

Este trabajo, tendiente a la regionalización en áreas ecológicas homogéneas del partido de Salliqueló (provincia de Buenos Aires, Argentina), comprende un paso relevante en la caracterización del área y es un elemento imprescindible para los planificadores y administradores de los recursos hídricos en su tarea de toma de decisiones. La obtención, almacenamiento y análisis de la información proveniente de las distintas fuentes (digitalización de mapas, información hidrológica, interpretación de imágenes satelitales NOAA/AVHRR) fueron realizadas con los Sistemas de Información Geográfica ILWIS 2.2 e IDRISI 2.0.

Mediante la aplicación de una combinación lineal ponderada de variables hidrológicas, topográficas, edáficas y biológicas, fue posible identificar cuatro regiones ecológicas. Estas regiones pueden considerarse como diferentes ecosistemas que presentan características naturales distintivas que los ubica en distintas posiciones dentro de una escala de aptitud para las actividades agropecuarias. Así es que se distinguen unas pocas zonas no aptas debido a que constituyen lagunas, bajos o asentamientos urbanos (Región 1); zonas que presentan aptitud –en menor (Región 2) o mayor grado (Región 3)- para las actividades ganadero-agrícolas y que cubren una gran parte de la superficie del partido; y zonas con aptitud tanto ganadero-agrícola como agrícola-ganadera (Región 4) que poseen, también, una buena representatividad espacial. Esta regionalización podrá ser utilizada como base para estudios ecológicos y como guía para la política de manejo de los recursos existentes en el área de estudio.

SUMMARY

This paper, which presents the regionalization in ecological homogeneous areas in Salliqueló County (Buenos Aires Province, Argentina), constitutes a relevant step towards the regional diagnosis from a Natural Sciences viewpoint as well as providing a powerful tool to water resources managers and decision-makers. Data-retrieving, storing and processing of different sources of information (maps digitalization, hydrological information, NOAA/AVHRR satellite images interpretation) made use of the ILWIS 2.2 and IDRISI 2.0 Geographical Information Systems.

Four ecological regions were identified by means of a weighted lineal combination of hydrological, topographical, soil, and biological variables. Those regions can be thought off as different ecosystems with distinctive natural features so that they can be ranked according to their fitness for agriculture and livestock development. Thus, Region 1 includes unfit areas (ponds, lowlands, urban settlements), Region 2 and 3 (lesser to greater degree of fitness) are assigned to livestock-agriculture activities, which is important because they represent the largest extent in the domain, whereas Region 4 (also well areally represented) can fit both livestock-agriculture and agriculture-livestock uses. This regionalization can be used as basis for future ecological studies, and as a guide to come up with sound policies on the management of the regional water resources.

INTRODUCCIÓN

La regionalización consiste en la clasificación del espacio de acuerdo a sus propiedades, siendo una etapa preliminar y esencial en toda investigación. Responde a dos propósitos fundamentales: la descripción y localización de los fenómenos observables en el espacio, y la interpretación y explicación de los mismos a través del establecimiento de modelos espaciales, extrayendo aquellos rasgos esenciales que conforman regularidades.

Este trabajo, tendiente a la regionalización en áreas ecológicas homogéneas del partido de Salliqueló (provincia de Buenos Aires, Argentina) en base a características hidrológicas, topográficas, fisiográficas, edáficas y biológicas, comprende un paso relevante en la caracterización del área. Las regiones ecológicas pueden considerarse como grandes ecosistemas de extensión regional que contienen a un cierto número de ecosistemas más pequeños, definidos por las variables citadas. Son zonas geográficas que representan a asociaciones de ecosistemas que funcionan de manera similar (Bailey, 1983).

El partido de Salliqueló, de 794 km², se encuentra ubicado en el sector oeste de la provincia de Buenos Aires y limita con los partidos de Guaminí, Adolfo Alsina, Tres Lomas y Pellegrini. Tiene forma de rectángulo, con su eje mayor en dirección NO-SE, extendiéndose desde sus vértices extremos entre los 36° 28' 50" y 36° 51' 50" de latitud sur y 62° 48' 40" y 63° 16' 50" de longitud oeste (Figura 1). La principal actividad productiva es la ganadera-agrícola. El ganado bovino es el más importante de la región, aunque también existen lanares, porcinos y equinos. En cuanto a los cultivos, se destacan maíz, girasol, trigo, avena, sorgo, cebada cervecera, centeno y soja.



Figura1. Ubicación del partido de Salliqueló en la provincia de Buenos Aires.

Debido a que el Estado debe ser el protector de la salud pública y el medio ambiente, y al hecho de que este tipo de problemas se acentúan en las zonas urbanas, los gobiernos locales deben ser cada vez más celosos en la preocupación por su hábitat. Así, deberían hacer el diagnóstico y evaluación permanente del estado del medio ambiente de su jurisdicción, teniendo en cuenta las necesidades y expectativas de su población. Los estudios realizados sobre áreas arenosas del oeste de la provincia de Buenos Aires son escasos o bien restringidos casi exclusivamente a las consecuencias de los anegamientos por lluvias copiosas. Pueden hacerse comparaciones con investigaciones que lleva a cabo la Universidad Nacional de La Pampa en regiones ecológicamente similares, pero su carácter puntual (en área y objetivos) impide las extrapolaciones directas al partido de Salliqueló.

MATERIALES Y MÉTODOS

La elección de los Sistemas de Información Geográfica como herramienta permite que los datos puedan ser pensados como representaciones del mundo real. Como a estos datos se puede acceder, transformar y manipular interactivamente en el sistema, ellos pueden servir para el estudio de procesos ambientales, para el análisis de tendencias en ciertos fenómenos naturales, y para el anticipo de probables resultados en decisiones de planeamiento. Así, permite la actualización permanente de la base de datos y, por otro lado, la obtención de distintos mapas finales según las necesidades de los actores que habitan (y administran) la zona. Los SIG utilizados en el desarrollo de esta investigación fueron ILWIS 2.2 (ITC, 1998) e IDRISI 2.0 Rev. 2 (Eastman, 1997).

La metodología seleccionada para discretizar el área fue la superposición de una grilla regular sobre el territorio. Su principal inconveniente radica en que, al ser las unidades artificiales, la garantía de homogeneidad interna está dada sólo por el tamaño reducido de las celdas de la grilla, con lo que se eleva el número de unidades necesarias para asegurar un nivel conveniente de homogeneidad y, por lo tanto, aumenta el esfuerzo posterior de procesamiento de la información. Por otro lado, la gran ventaja de este sistema es que la celda elemental se supone tan pequeña que la homogeneidad con respecto a todas las variables relevantes se da por descontada y, por lo tanto, se puede postular y verificar en principio cualquier hipótesis en cuanto a similitudes e interconexiones.

En la elección del tamaño de las celdas (1 ha. de superficie) también se tuvieron en cuenta la obtención de parámetros en una escala compatible con la utilizada por los modelos hidrológicos (otra herramienta utilizada en el marco de un estudio más general), el tiempo disponible para la realización del trabajo y la memoria de procesamiento de las computadoras disponibles. Como resultado de la superposición de la grilla sobre el área de estudio, se obtuvo un total de 79649 celdas consideradas de máxima homogeneidad interna.

Debido a las características productivas del partido, una regionalización en base a variables hidrológicas, topográficas, edáficas y biológicas, podrá servir de base para un mejor entendimiento de la dinámica del área y, a partir de allí, tomar decisiones más robustas en cuanto a su manejo. En ese mismo sentido, se puso especial cuidado en la selección de las variables, descartando aquellas que, aunque disponibles, no aportaran información o no estuvieran directamente relacionadas con los propósitos perseguidos y, por otro lado, incluyendo aquellas que, por más que su obtención fuera laboriosa y postergara el arribo a los primeros resultados, contribuyeran al logro de una regionalización acorde con los objetivos planteados.

Conductividad eléctrica de las aguas subterráneas: Las aguas subterráneas representan el recurso hídrico más importante de la zona (los cuerpos de agua superficiales sólo son de carácter temporario) por lo que la calidad de las mismas es un factor ineludible a tener en cuenta en la

regionalización. La conductividad eléctrica es un indicador general del total de constituyentes iónicos disueltos en el agua y, por lo tanto, es un indicador de su calidad. La información se obtuvo por medio del muestreo de 122 perforaciones. El mapa vectorial con la ubicación de los pozos fue relacionado con los valores correspondientes, para la obtención mediante su interpolación (se usó el método de ponderación inversa de la distancia al cuadrado), del mapa raster de conductividad (Figura 2).

El espesor de la zona no saturada es un condicionante para cualquier uso que se quiera hacer del suelo, por lo que también fue tenido en cuenta. La información acerca del espesor de la zona no saturada también provino del censo de perforaciones. El mapa vectorial de puntos fue relacionado con el archivo de valores para la elaboración del mapa vectorial de isoprofundidades, a partir del cual se construyó el mapa raster correspondiente (Figura 3). En este caso la interpolación espacial se realizó mediante el método kriging (Samper Calvete y Carrera Ramírez, 1990)

La pendiente del terreno es una propiedad que determina los procesos de erosión a que estará expuesto y, por consiguiente, el potencial uso que se podrá hacer del mismo. Para la obtención de esta variable se procedió a la digitalización de las curvas de nivel presentes en las cartas topográficas del Instituto Geográfico Militar, escala 1:50000, equidistancia 2,5 m. Una vez logrado este mapa de estructura vectorial, se construyó el modelo digital del terreno y, a partir de este, el mapa de pendientes, expresadas en porcentaje (Figura 4).

Las características de los suelos que conllevan a un determinado índice de productividad, también constituyen una variable de interés. Las series edáficas que cubren el partido son: Piedritas (334 km²), Epecuén (211 km²), Bolívar (180.5 km²), Veinticinco de Mayo (27,5 km²) y Phajouapé (38 km²). Para su obtención se procedió a la digitalización de las cartas de suelo elaboradas por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA, 1993, 1994), escalas 1:50000 y 1:100000. Una vez logrado este mapa de estructura vectorial (constituido por polígonos que representan regiones de determinada serie edáfica), se construyó el mapa raster de suelos. Cada serie cuenta con distintos individuos descriptos, para los cuales se ha determinado su índice de productividad (Figura 5).

Finalmente, la cobertura del suelo por parte de la vegetación es indicativa del uso real que se hace del suelo y, además, es importante el análisis temporal de esta variable. Para la estimación de esta variable se utilizaron imágenes NOAA/AVHRR pertenecientes a días totalmente despejados y con las correcciones atmosféricas, ajustes y tests correspondientes. El Índice Normalizado de Vegetación (NDVI) es una medida del verdor de la vegetación lograda a partir de los canales 1 y 2 de dichas imágenes. Su valor, para cada celda de la imagen, se refiere a la cantidad de biomasa verde (Tucker, 1979; Holben *et al.*, 1980), o, dicho de otra forma, a la capacidad fotosintética de los diferentes tipos de cobertura del suelo (Tucker y Sellers, 1986). En la presente investigación se adopta la resolución del Earth Data Center (EDC) de utilizar la fórmula que reescala el NDVI de -1 a 1 en el rango 0 a 200, donde cada valor representa el 1 % del rango total posible. Además, tal cual lo recomendado por Holben (1986), se utiliza el método de la composición del máximo NDVI. Este índice es examinado pixel a pixel en cada observación durante cierto período y se determina el máximo valor.

La retención del NDVI más alto, reduce el número de píxeles afectado por nubes y selecciona aquellos más cercanos al nadir. Las imágenes de NDVI seleccionadas corresponden a un período de 10 días (11 al 20 de cada mes del año 1996), las cuales fueron posteriormente agrupadas de a tres (de acuerdo a la actividad agrícola de la zona) para obtener un promedio trimestral. Las cuatro imágenes resultantes, entonces, son los NDVI máximos promedio de los 10 días centrales de los meses de noviembre, diciembre y enero; febrero, marzo y abril; mayo, junio y julio; y agosto, septiembre y octubre (Figuras 6 a 9), a las que llamamos NDVI 1, 2, 3 y 4, respectivamente.

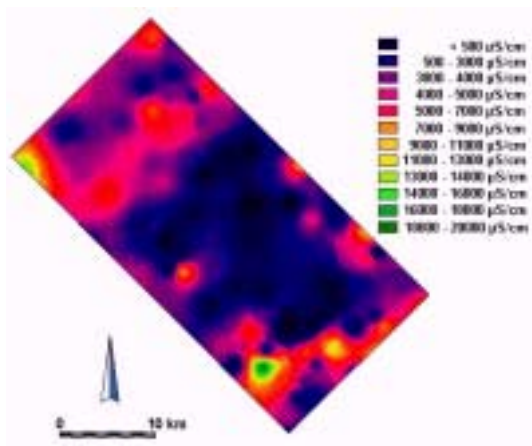


Figura 2. Conductividad eléctrica de las aguas subterráneas.

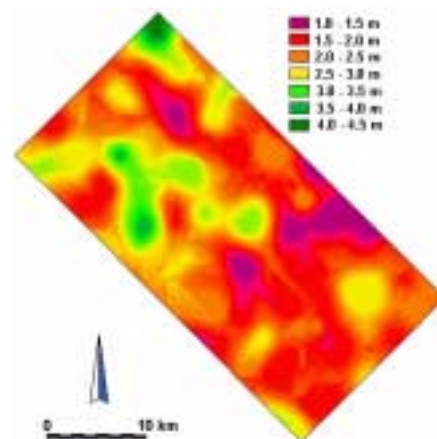


Figura 3. Espesor de la zona no saturada.

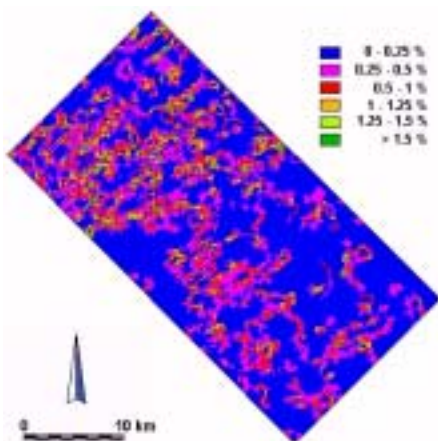


Figura 4. Pendientes.

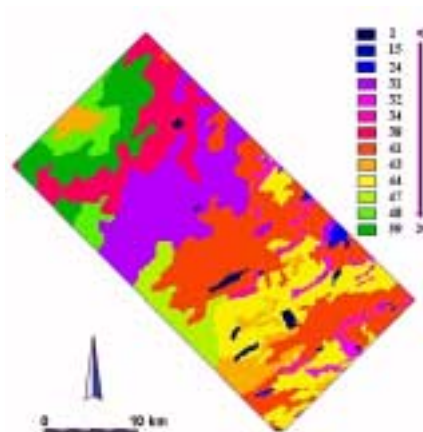


Figura 5. Índices de productividad de los suelos.

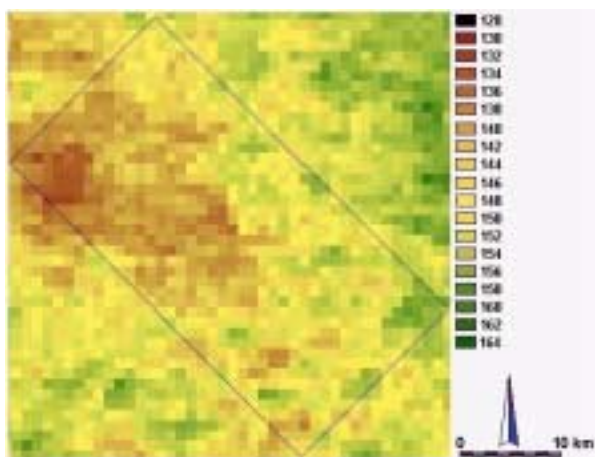


Figura 6. NDVI máximos promedio de los 10 días centrales de Noviembre, Diciembre y Enero.

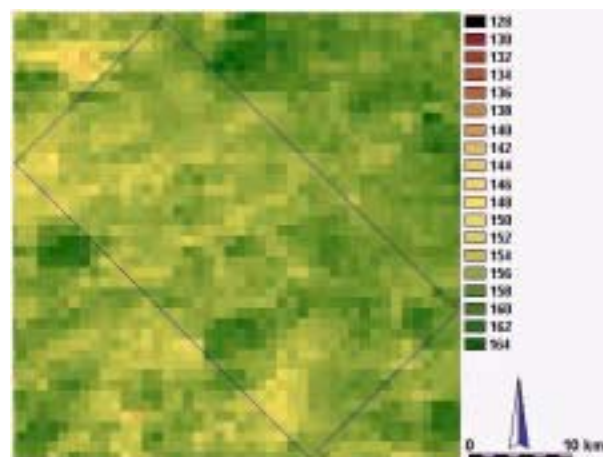


Figura 7. NDVI máximos promedio de los 10 días centrales de Febrero, Marzo y Abril.

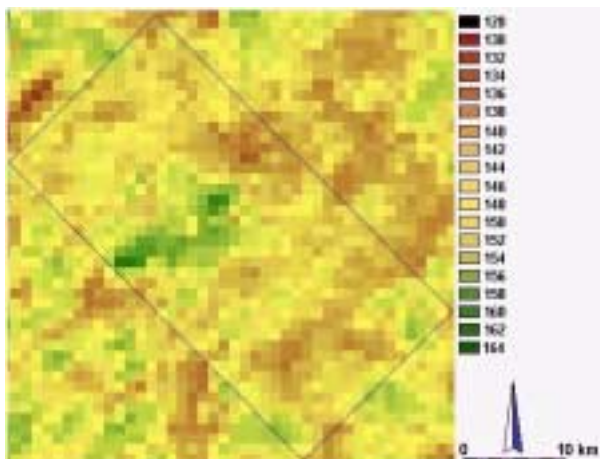


Figura 8. NDVI máximos promedio de los 10 días centrales de Mayo, Junio y Julio.

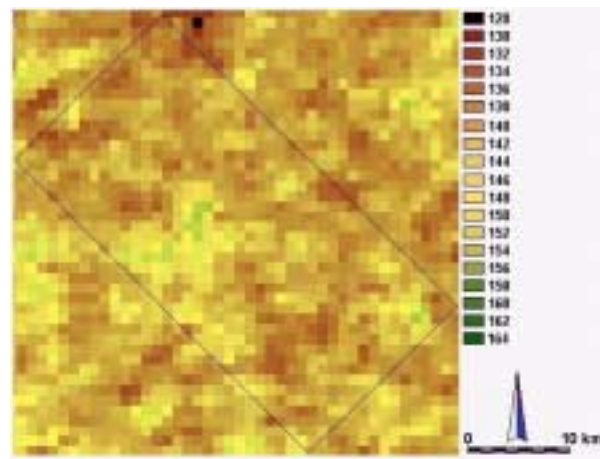


Figura 9. NDVI máximos promedio de los 10 días centrales de Agosto, Septiembre y Octubre.

La elaboración de los mapas temáticos a partir de la "lectura", para cada celda, de las variables seleccionadas, permitió la visualización de la variación espacial de cada uno de los parámetros considerados. La generación de estos mapas tiene por sí mismo un gran valor como primera aproximación a la regionalización definitiva, y sirve como elemento de análisis a tener en cuenta en el momento de evaluar el peso relativo de cada una de las variables en el resultado final (Agraz, 1990). Finalmente, se procedió a la aplicación de una Evaluación Multi-criterio (Combinación Lineal Ponderada), donde a cada una de las variables (criterios) se la multiplica por un determinado peso para finalmente proceder a la suma de los resultados. Este procedimiento se caracteriza, por un lado, por la compensación completa entre los criterios ya que, a medida que aumenta el peso, mayor será su influencia en el mapa final, donde el objetivo fue reconocer diferentes zonas de aptitud para la actividad productiva primaria que se desarrolla en la zona.

Aunque existe una gran variedad de técnicas para el desarrollo de los pesos, una de las más exitosamente utilizadas es la de comparación de a pares desarrollada por Saaty (1977) en el marco de un proceso de construcción de decisiones denominado Proceso Analítico Jerárquico. En dicha técnica los pesos derivan del principal autovalor de una matriz cuadrada recíproca de las comparaciones de a pares de los criterios o variables. Las comparaciones se refieren a la importancia relativa de los dos criterios involucrados en la determinación de la aptitud para un determinado objetivo. El resultado de la aplicación de dicha técnica, se observa en la Tabla 1.

Criterio o Factor	Peso
Conductividad eléctrica	0.0401
Espesor de la zona no saturada	0.0473
Índice de Productividad	0.2981
Pendiente	0.0243
NDVI 1	0.0978
NDVI 2	0.1973
NDVI 3	0.0978
NDVI 4	0.1973

Tabla 1. Pesos de los distintos factores para la evaluación multi-criterio.

RESULTADOS

Una vez realizada la selección de las variables (criterios) de interés, la estandarización de las mismas y la determinación de los pesos correspondientes, se procedió a la aplicación de la Combinación Lineal Ponderada de la Evaluación Multi-Criterio. El mapa resultante (Figura 10) muestra, entonces, las zonas con distintos valores de aptitud para la producción primaria de la región, obtenidas a través de esta metodología y según la valoración adoptada.

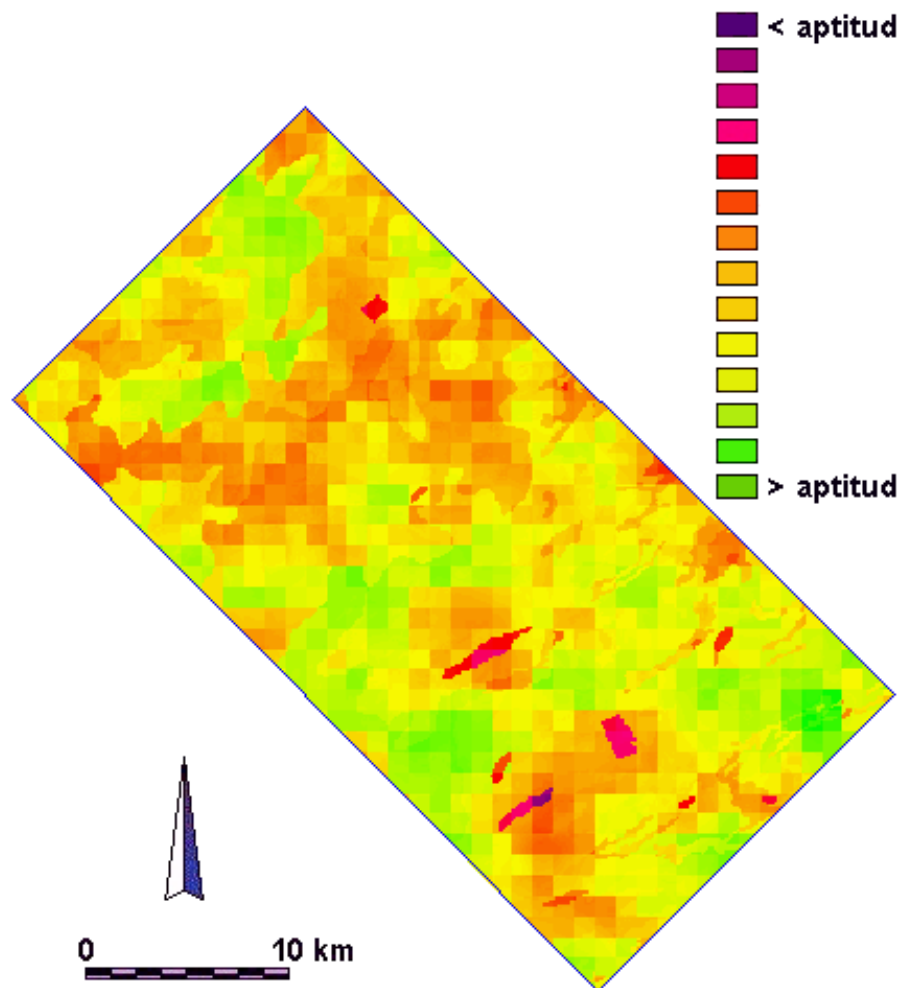


Figura 10. Mapa resultante de la Combinación Lineal Ponderada de la Evaluación Multi-Criterio.

A partir del mapa resultante de la aplicación de la evaluación multi-criterio, se procedió a reclasificar los valores para identificar más fácilmente las distintas regiones ecológicas de acuerdo al objetivo planteado (Figura 11). Las mismas no poseen continuidad espacial ya que las distintas zonas que presentan combinaciones muy similares de las variables analizadas fueron consideradas como pertenecientes a una misma unidad o región, independientemente de su localización. La reclasificación aporta, entonces, una mera facilidad al momento de interpretar la imagen, ya que, en realidad, el paso entre una región y otra se produce de manera gradual. Bailey (1983) –investigador de amplia trayectoria en la delineación de regiones según sus características ambientales–, aconseja que al considerar las diferencias entre regiones ecológicas, se debe reconocer que los límites regionales indican dónde han tomado lugar los cambios ecológicos significantes; aunque reconoce que las definiciones de los límites son un tanto subjetivas. Un borde de límite se ubica allí donde los cambios

en las condiciones de suelo, vegetación, relieve, etc., aparecen como más pronunciados o significantes comparados con las áreas adyacentes. En la naturaleza, las variaciones de estos aspectos son esencialmente continuas; se conforma un espectro donde se visualiza desde lo insignificante de la presencia de esas variables, hasta su plenitud.

Por lo tanto, la ubicación de los límites de regiones sobre un mapa, es una tarea de gran responsabilidad para el investigador. Es aquí donde debe afinar su criterio para llevar al mínimo la subjetividad inherente al trazado de los mismos. Una manera de lograr esto, es que los mapas sobre los que se identificarán los límites, hayan sido logrados a partir de técnicas lo suficientemente objetivas.

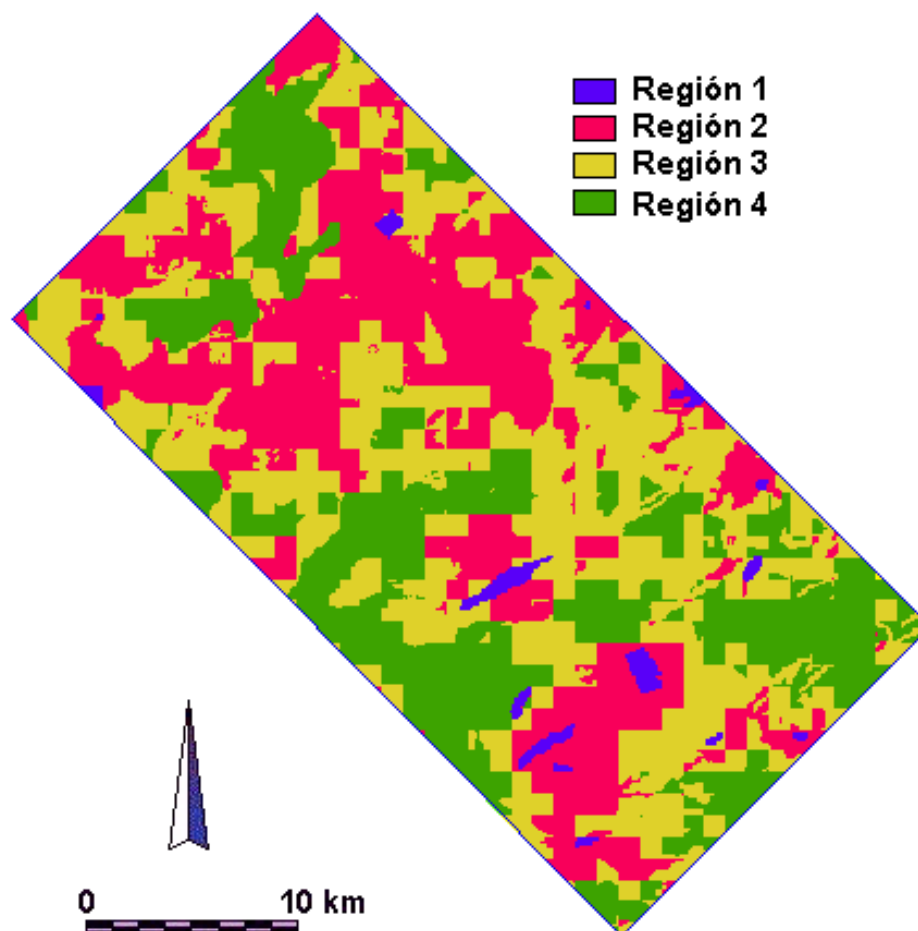


Figura 11. Regiones ecológicas del partido de Salliqueló.

Región 1: Cubre una superficie aproximada de 11.81 km² y corresponde a las zonas no aptas para las actividades agropecuarias, ya que en ella se encuentran las lagunas y bajos, como así también están involucradas las localidades de Salliqueló y Quenumá. Tienen el menor índice de productividad (1); un espesor de la zona no saturada entre 1 y 1,5 m; una conductividad de las aguas subterráneas de alrededor de 1000 μ S en Salliqueló, 6000 μ S en Quenumá, y entre 2000 y 4000 μ S en las cercanías de lagunas y bajos; pendientes entre 0 y 0,6 %; y valores de NDVI muy bajos para casi todo el año, excepto en febrero, marzo y abril (NDVI 2) en que alcanzan a 150, debido a que hay una buena cobertura de la vegetación característica de los bajos, aunque sin alcanzar el desarrollo que logra un cultivo.

Región 2: Cubre una superficie de 251.30 km² y corresponde a las zonas de aptitud ganadero-agrícola (gran parte de ellas en cercanías de la región 1). Los índices de productividad oscilan entre 31 y 44; el espesor de la zona no saturada cubre todo el espectro de los datos obtenidos, esto es, entre 1 y 4,5 m; la conductividad de las aguas subterráneas presenta valores por debajo de 6000 µS y, por otro lado, valores muy altos, de hasta 19700 µS; los índices normalizados de vegetación se mantienen, para todas las épocas, en los valores cercanos a los mínimos de cada imagen.

Región 3: Cubre una superficie de 314.75 km² y corresponde, al igual que la región anterior, a zonas con aptitud ganadero-agrícola, aunque los índices de productividad alcanzan valores de hasta 48. El espesor de la zona no saturada es variable, pero generalmente se encuentra alrededor de 2,5 m; la conductividad de las aguas subterráneas presenta valores entre 1700 y 4300 µS; la pendiente más generalizada es de 0,7 %, y los índices normalizados de vegetación se mantienen, para todas las épocas, en los valores cercanos a la media de cada imagen.

Región 4: Cubre una superficie de 218.63 km² y corresponde a zonas con aptitud ganadero-agrícola y agrícola-ganadera, ya que posee los índices de productividad más altos del partido (entre 47 y 59). El espesor de la zona no saturada varía entre 2,5 y 3,5 m; la conductividad de las aguas subterráneas presenta valores de hasta 3000 µS; las pendientes son de las más bajas (entre 0 y 0.09 %) y los índices normalizados de vegetación se mantienen, para todas las épocas, en los valores máximos de cada imagen.

CONCLUSIÓN

La regionalización es el paso inicial del diagnóstico y la evaluación en los estudios ambientales. Responde a la necesidad de aplicar políticas de corrección, control o mejoramiento ante situaciones críticas del ambiente, ya que permite localizar los problemas y analizar espacialmente la estructura y el funcionamiento del territorio en cuestión.

Mediante la aplicación de una combinación lineal ponderada de variables hidrológicas, topográficas, edáficas y biológicas, fue posible identificar cuatro regiones ecológicas en el partido de Salliqueló. Estas regiones pueden considerarse como diferentes ecosistemas que presentan un conjunto de características naturales distintivas que los ubica en distintas posiciones dentro de una escala de aptitud para el desarrollo de actividades agropecuarias. Así es que se distinguen unas pocas zonas no aptas debido a que constituyen lagunas, bajos o asentamientos urbanos (Región 1); zonas que presentan aptitud –en menor (Región 2) o mayor grado (Región 3)- para las actividades ganadero-agrícolas y que cubren una gran parte de la superficie del partido; y zonas con aptitud tanto ganadero-agrícola como agrícola-ganadera (Región 4) que poseen, también, una buena representatividad espacial.

Esta regionalización puede ser utilizada como base para futuros estudios ecológicos y también como guía para la política de manejo de los diversos recursos existentes en el área de estudio. La identificación de las distintas regiones también puede ser aplicada en la modelación de los cambios a largo plazo de la composición, estructura y patrón del paisaje.

BIBLIOGRAFÍA

- Agraz, J. L. 1990. *Regionalización del curso inferior del Río Bermejo*. El Bermejo y el País, revista de COREBE, N° 8, 39-52.
- Bailey, R. G. 1983. *Delineation of ecosystem regions*. Environmental Manag., 7 (4):365-373.

- Eastman, J. R. 1997. IDRISI - A grid based geographic analysis system. Clark University, Graduate School of Geography, Worcester, Massachusetts 01610-1477, USA.
- Holben, B. N. 1986. *Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data*. The International Journal of Remote Sensing, N° 11, 1511-1519.
- Holben, B. N., C. J. Tucker y C. Fan. 1980. *Spectral assessment of soybean leaf area and leaf biomass*. Photogramm. Eng. Remote Sensing, N° 46, 651.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 1993. Carta de Suelos de la República Argentina. Hojas 3763-9, 3763-10 y 3763-15. CIRN. Castelar.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 1994. Carta de Suelos de la República Argentina. Hoja 3763-16. Centro de Investigaciones de Recursos Naturales. Castelar.
- ITC. 1998. ILWIS 2.2. The Integrated Land and Water Information System: User's Manual. Computer Dept, International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences. Enschede, The Netherlands.
- Saaty, Tl L. 1977. *Scaling method for priorities in Hierarchical structures*. Journal of Mathematicx Psychology, 15, 234-281.
- Samper Calvete, F. J. y J. Carrera Ramírez. 1990. Geoestadística. Aplicaciones a la Hidrología Subterránea. Barcelona. 484 págs.
- Tucker, C. J. 1979. *Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation*. Remote Sensing Environ., N° 8, 127.
- Tucker, C. J. y P. J. Sellers. 1986. *Satellite remote sensing of primary production*. International Journal of Remote Sensing, N° 7, 1395-1416.

AGRADECIMIENTOS

A los pobladores de la zona rural, autoridades municipales y personal de la Casa de Campo de Salliqueló, por su permanente predisposición y amabilidad. Al Sr. Juan Carlos Cagalj, jefe de la Delegación Salliqueló de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación, y al médico veterinario Daniel Belot, de la Sociedad Rural de Salliqueló, por la provisión de información actualizada sobre las actividades agrícolas y ganaderas del partido.