

APLICACIÓN DE SENSORES REMOTOS AL ESTUDIO DE LOS CAMBIOS EN EL USO DE LA TIERRA Y SU INCIDENCIA SOBRE EL HÁBITAT, EN LA CUENCA DEL RIO QUEQUEN GRANDE (PROVINCIA BUENOS AIRES, ARGENTINA)¹

APLICAÇÃO DE SENSORES REMOTOS PARA ESTUDO DE MUDANÇAS NO USO DO SOLO E SUA INCIDENCIA SOBRE O HÁBITAT, NA BACIA DO RIO QUEQUÉN GRANDE (PROVÍNCIA DE BUENOS AIRES, ARGENTINA)

Patricia Susana VASQUEZ*

Laura ZULAICA**

Resumen: Las imágenes satelitales permiten identificar usos de la tierra a escala regional, facilitando el análisis de los cambios agroproductivos territoriales. Estudios previos realizados en la región pampeana, demuestran que la expansión de la agricultura se produjo a expensas del pastizal. El presente trabajo, cuantifica las áreas ocupadas por distintos tipos de uso de las tierras de la Cuenca del Río Quequén Grande (CrQG), en 1998-2008, estableciendo comparaciones entre las unidades geomorfológicas que la componen. Se aplicó una clasificación supervisada sobre imágenes captadas por el sensor TM con ajustes realizados a campo. En ese período, los usos agrícolas aumentaron significativamente en las unidades geomorfológicas de sierras y serranías (38%); en contraposición, la superficie destinada a ganadería disminuyó en un 35,0%. Considerando el conjunto de tierras de la CrQG, los usos agrícolas crecieron un 10,7%, mientras que los ganaderos disminuyeron un 13,7%. El uso relativo a asentamientos urbanos creció un 132,3% y las áreas ocupadas por cuerpos de agua se redujeron en un 68,8%. Los resultados obtenidos permiten afirmar que la percepción remota constituye una alternativa central para determinar cambios en el uso del suelo y sus efectos sobre la vegetación, para generar propuestas tendientes a la sustentabilidad agroproductiva en la cuenca.

Palabras clave: teledetección; usos de la tierra; sustentabilidad; transformaciones agroproductivas; intervención del hábitat.

Resumo: As imagens de satélite permitem identificar os usos do solo em escala regional, facilitando a análise das mudanças agro-productivas territoriais. Estudos anteriores realizados na região dos pampas demonstram que a expansão da agricultura se produziu à custa de pastagens. O presente artigo, quantifica as áreas ocupadas pelos distintos usos do solo da Bacia do Rio Quequén Grande (CrQG) de 1998-2008, estabelecendo comparações entre as unidades geomorfológicas que a compõem. Foi aplicada uma classificação supervisionada sobre as imagens captadas pelo sensor TM com ajustes realizados em campo. Nesse período, os usos agrícolas aumentaram significativamente nas unidades geomorfológicas das serras e

¹ El desarrollo de este artículo pudo realizarse a partir de datos obtenidos durante el periodo de Beca de Formación Superior en la Universidad Nacional de la Plata (UNLP) referida la misma a la temática en el área de la Cuenca del río Grande Quequen; y ampliando profundamente los objetivos y metodología al presentarse este tema como propuesta para el Doctorado de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Rosario (UNR), el cual se encuentra en evaluación para el futuro ingreso al Posgrado.

* Licenciada en Diagnóstico y Gestión Ambiental; MSc. en Teledetección y SIG. Realizando Doctorado en Ciencias Agrarias. Tengo una Beca de Formación Superior en la UNLP. Y un cargo simple en la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, en la Carrera de Diagnóstico y Gestión Ambiental.

** Licenciada en Diagnóstico y Gestión Ambiental. Doctora en Geografía. Becaria de CONICET con lugar de trabajo en el Centro de Investigaciones Ambientales, Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño de la Universidad Nacional de Mar del Plata. E-mail, laurazulaica@conicet.gov.ar

montanhas (38%) em contraste, a superfície destinada à criação de gado diminuiu em 35%. Considerando o conjunto das terras da CrQG, os usos agrícolas cresceram 10,7%, enquanto que os criadores de gado diminuiram 13,7%. O uso relativo aos assentamentos urbanos cresceu 132,3% e as áreas ocupadas pelos corpos d'água reduziram em 68,8%. Os resultados obtidos permitem afirmar que os sensores remotos constituem uma alternativa central para determinar mudanças nos usos do solo e seus efeitos sobre a vegetação, para gerar propostas que tendem a sustentabilidade agro-produtiva na bacia.

Palavras chave: sensoriamento remoto, usos do solo, sustentabilidade, transformações agro-produtivas, intervenções de hábitat.

Introducción

Los patrones de ocupación del territorio y usos de la tierra poseen características dinámicas, es decir, varían en tiempo y espacio, constituyendo su estudio un desafío para el análisis de la evolución de una región.

La evaluación de las transformaciones regionales requiere de la administración de información de la superficie de la tierra con buena resolución espacial y temporal; dicha información, debe ser sencilla, de fácil acceso y comprensible (Vazquez et al., 2008). Así, en la comparación de los usos de la tierra y su dinámica a lo largo del tiempo, la teledetección integra un conjunto de técnicas valiosas como fuente de información. Dentro de estas técnicas, se incluyen aquellas que hacen uso de sensores a bordo de satélites que registran energía electromagnética emitida o reflejada por un objeto o superficie en distintas porciones del espectro electromagnético (Paruelo et al., 2004).

Los primeros satélites de observación terrestre comenzaron a operar a principios de la década de 1970; desde entonces, el sistema científico-técnico ha puesto a disposición de la sociedad herramientas y modelos conceptuales que traducen los datos registrados por sensores remotos en conocimiento útil para la toma de decisiones en múltiples áreas incluyendo las ciencias ambientales y la conservación (Paruelo, 2008). De acuerdo con Guerschman et al. (2003), las imágenes generadas por estos sensores proveen datos cualitativos y espacialmente continuos de la superficie, resultando útiles para describir el uso de la tierra en grandes extensiones; la discriminación de tipos de cobertura se basa en la unicidad de su respuesta espectral y en los cambios temporales que en ellos pudieran operar.

En términos semejantes, Alperín et al. (2002) sostienen que los sensores remotos, especialmente las imágenes satelitales, constituyen una importante fuente de información para mapear y caracterizar el uso del suelo y la estructura del paisaje a escala regional. Asimismo, Baeza et al. (2006) destacan que la percepción remota es una alternativa para describir la heterogeneidad espacial del funcionamiento ecosistémico a diferentes escalas. Partiendo de las premisas anteriores, se considera importante fomentar el uso de información de satélite ya que requiere un mínimo costo y posee gran utilidad para realizar estudios en áreas de relevancia productiva (Vazquez y Rivas, 2009).

En América Latina, los cambios en el uso de la tierra con la expansión de áreas agrícolas, constituye un hecho ineludible de la economía de mercado que, más allá de algunos beneficios, ocasiona impactos sociales y ambientales con múltiples consecuencias en los ecosistemas regionales. Entre estos casos podemos mencionar, en particular, que la mayoría de las reservas forestales han desaparecido o conservan solo una pequeña porción de su área original, debido a procesos de ocupación y cambio de uso de la tierra a usos agrícola y pecuarios (Terán et al., 2010; López Barrera et al., 2010; Pérez et al., 2008; Pontius, et al.,

2004). Comprender por qué y cómo se da este proceso de ocupación y cambio de uso de la tierra es de fundamental importancia para proteger las áreas naturales que aun se logran preservar.

En los biomas de pastizal, como es el caso de la región pampeana, los pastizales nativos han sido difusa e intensamente transformados como consecuencia de los procesos agropecuarios. Sus ecosistemas nativos manifiestan un nivel de degradación alto (Bertonatti y Corcuera, 2001; Burkart, 1994; FECIC, 1988; Cabrera, 1976; Ghersa, 2005; Ghersa y León, 2001).

El proceso de expansión denominado “agriculturización”, se define como el uso creciente y continuo de las tierras para cultivos agrícolas en lugar de usos ganaderos o mixtos (Manuel-Navarrete et al., 2005), y se asocia con cambios tecnológicos, intensificación ganadera, expansión de la frontera agropecuaria y desarrollo de producciones orientadas al monocultivo, principalmente soja, o la combinación trigo-soja. Dicho proceso, surgido a principios de la década del setenta, se profundiza a mediados de los noventa con la difusión de variedades transgénicas de soja y su expansión en regiones extrapampeanas.

Lapitz et al., (2004), sostienen que los países del Cono Sur avanzan desde 1990 hacia la especialización en la producción de oleaginosas. Esta tendencia es dramática en Argentina y Paraguay donde dichos aumentos adquieren los mayores valores relativos. De acuerdo con los mismos autores, el área dedicada a oleaginosas aumenta desde la década de 1970; en Argentina el incremento es de 382%, mientras que en Brasil es de 156% y en Paraguay 1.251%. En Uruguay se observa que el área de oleaginosas aumenta 55% desde la década de 1990. Mientras en Brasil y Argentina el crecimiento de la producción de oleaginosas se debe al incremento del área y rendimientos, en el caso de Paraguay el aumento del área es superior a la mejora en los rendimientos.

La evaluación de las consecuencias de este proceso, constituye una tarea central para instituciones públicas, privadas y la comunidad en su conjunto dado que el desarrollo del sector agroexportador ha sido y seguramente seguirá siendo fundamental para el crecimiento económico en Argentina. Manuel-Navarrete y Gallopín (2007) analizan los síntomas centrales del proceso de agriculturización: aumento de la superficie agrícola, transformación del proceso de trabajo, concentración productiva gerencial, estrategias comerciales de las corporaciones internacionales, entre otros. Asimismo señalan que estos síntomas integran, fundamentalmente, la esfera tecnológico-productiva. No obstante ello, influyen y son influenciados por síntomas de las esferas económico-institucional, ambiental y social.

De acuerdo con informaciones provenientes de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación, entre 1990 y 2005 la superficie cultivada con soja en Argentina aumentó un 190%, pasando a constituir más de la mitad de la superficie cultivada en el país. Paruelo et al. (2006) señalan que en la región pampeana, la expansión de la agricultura se produjo a expensas de tierras implantadas con cultivos forrajeros perennes. Sostiene además que, si bien los datos disponibles no permiten una evaluación cuantitativa directa, las evidencias indican que en buena medida se ha reemplazado por agricultura continua la rotación agrícola-ganadera en la cual el suelo era ocupado durante 4-5 años por cultivos anuales y luego por un período similar se implantaba una pastura basada en mezclas de gramíneas y leguminosas perennes.

Ante estos eventos, se hace indispensable lograr un uso más sustentable de los agroecosistemas pampeanos, no obstante sabemos que el análisis de la sustentabilidad es un tópico difícil y complejo. La sustentabilidad es concebida como “aquella que permite satisfacer las necesidades de las generaciones presentes, sin comprometer las necesidades de las generaciones futuras”, siguiendo una de las definiciones más conocidas acuñada por la Comisión de Brundtland (WCED, 1987).

Una herramienta práctica para apreciar la sustentabilidad es el uso de indicadores debido a que la complejidad y la multidimensión de la sustentabilidad hacen necesario volcar aspectos de naturaleza compleja en valores claros, objetivos y generales. Los mismos deben ser elegidos y contruidos de acuerdo al objetivo perseguido (Sarandon, 2002). Son varios los que se han propuesto para agroecosistemas. Este análisis implica, no sólo realizar una enumeración de los impactos, sino evaluar la intensidad, magnitud, reversibilidad de los mismos (Altieri, 2002; Sarandón, 2002). En este sentido, existen trabajos específicos directamente relacionados con mediciones de impactos ambientales a partir de indicadores, generados antes y después de las grandes transformaciones en el agro pampeano (Viggliuzzo, et al. 2002; Vazquez, 2004; Frank, 2007; Vazquez et al., 2009), donde se concluye que si bien algunos impactos tienden a mejorar (erosión de suelos como consecuencia de la aplicación de la siembra directa), otros aumentan significativamente, tal es el caso del uso de herbicidas, insecticidas, funguicidas, disminución de corredores y parches para la flora y fauna nativa, entre otros.

Considerando el contexto planteado, el presente trabajo analiza, utilizando sensores remotos, los cambios en los usos de la tierra, basados en las transformaciones sobre la cubierta vegetal observada a partir de sensores remotos (Mas, 1999), en un sector de la región pampeana, situado en la denominada Pampa Austral: la Cuenca del río Quequén Grande (CrQG), provincia de Buenos Aires, Argentina. El período estudiado es el comprendido entre los años 1998 y 2008 y las transformaciones en los usos de la tierra, se analizan considerando distintas unidades geomorfológicas delimitadas y caracterizadas en trabajos previos (Teruggi et al., 2004; Martínez, 2007). Además, dado que el proceso de agriculturización tiene lugar a expensas de los pastizales, se pretende en este trabajo estimar la evolución respecto de las pérdidas de vegetación nativa en el mismo período (1998-2008) para toda la cuenca. Con ese fin, se aplica el indicador de “riesgo de intervención del hábitat”.

Antes de presentar el área de estudio, conviene conceptualizar el término “tierra” utilizado en el trabajo. En relación con ello, la FAO (1972) afirma que la tierra constituye una porción geográficamente definida del planeta, cuyas características integran atributos razonablemente estables o predeciblemente cíclicos de la biósfera, y que sobreyacen o subyacen a la superficie del área, incluyendo la atmósfera, el suelo, el sustrato geológico, las aguas, las poblaciones de plantas y animales, como asimismo los resultados de todas las intervenciones de la ocupación y uso humano del área, en la medida en que los atributos naturales y culturales resultantes de la intervención influyen apreciablemente sobre el uso actual y futuro que haga el hombre.

El área de estudio

La CrQG ocupa una superficie de 9944 km², pertenecientes a los partidos de Adolfo González Chaves, Benito Juárez, Lobería, Necochea, San Cayetano y Tandil (Figura 1).

El río que da nombre a la cuenca, nace en el Sistema de Tandilia, el cual define una red hidrográfica de alcance regional, y desemboca en el puerto del núcleo urbano Necochea-Quequén (población cercana a 80.000 habitantes). De acuerdo con Píccolo y Perillo (1997), en general, el ancho del río Quequén varía de 150 a 200 m aproximadamente, llegando a unos 400 m en la zona portuaria; el caudal medio alcanza unos 11,3 m³/s (Sala, 1975). La red de avenamiento de la cuenca se conforma bajo un diseño dendrítico (Campo de Ferreras y Píccolo, 1999). Asimismo, en la CrQG, una secuencia sedimentaria del Cuaternario - Terciario Superior constituye un acuífero libre, el pampeano, principal acuífero de la zona y único explotado para todo tipo de usos (Martínez et al., 2004).

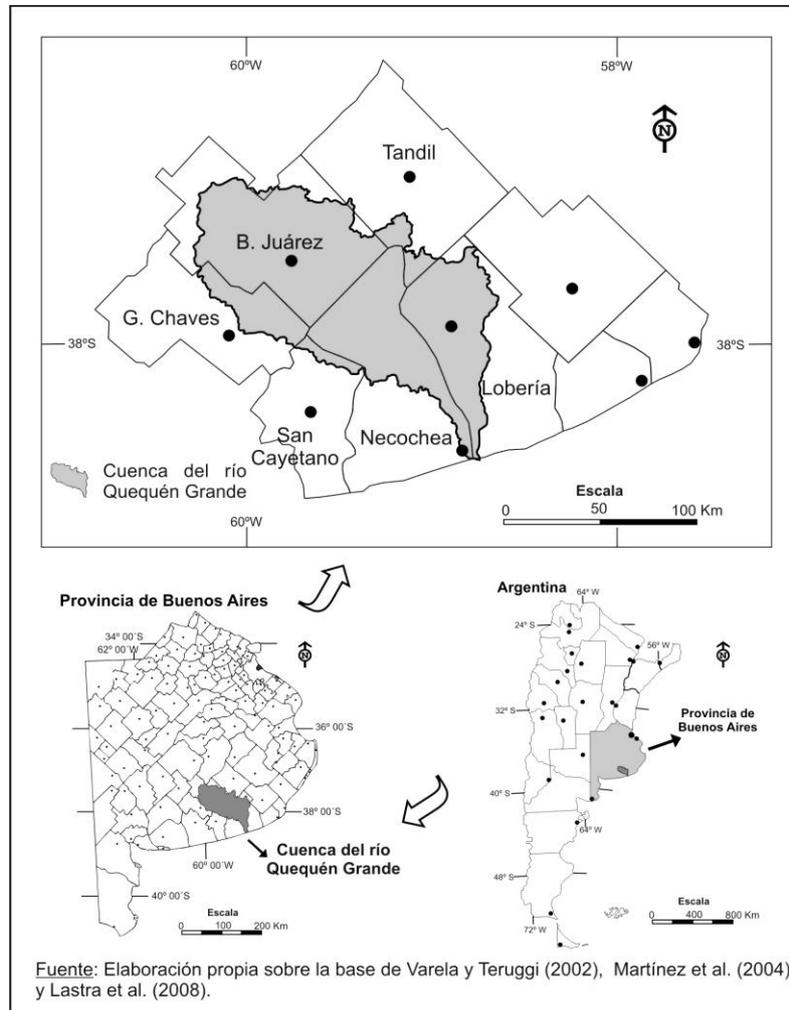
De acuerdo con el estudio realizado por Lastra et al. (2008), el clima es templado y húmedo con veranos suaves según la clasificación climática de Köppen, con precipitaciones todo el año pero más frío y seco que el del resto de los distritos que comparten la Provincia Pampeana definida por Cabrera y Willink (1973); la temperatura media anual ronda los 14°C, siendo julio el mes más frío con un valor mínimo medio cercano a los 3°C, mientras que en los meses de verano la temperatura máxima media mensual supera los 27°C.

La vegetación originaria es la pseudoestepa de gramíneas con dominancia de los géneros *Stipa* y *Piptochaetium* (Cabrera, 1976), la cual ha sido sustituida en más del 50% de la CrQG por agroecosistemas. Este hecho se vincula con la presencia de suelos con aptitud para el desarrollo de esas actividades.

En relación con ese aspecto, el análisis de informaciones publicadas por SAGyP-INTA (1989) revela que los suelos del área integran, en su mayoría, el Orden Molisoles. En las áreas serranas se destacan los suelos pertenecientes al Subgrupo *hapludoles líticos*, en las áreas periserranas y lomas los *argiudoles típicos* y en las áreas planas y anegables dominan los *natracuoles típicos*.

Teruggi et al. (2004) y Martínez (2007) identifican y describen las unidades geomorfológicas de la CrQG (Cuadro 1), muy importantes en este trabajo dado que el análisis de los cambios en los usos de la tierra utiliza como punto de partida dichas unidades espaciales. Los autores distinguen seis principales, que presentan una disposición general en franjas elongadas en sentido NW-SE: Sierras y serranías, Lomas periserranas, Llanuras aluviales, Lomas relictuales sin lagunas, Lomas de divisorias con lagunas y Planicie baja mal drenada (Figura 2).

Figura 1. Localización del área de estudio



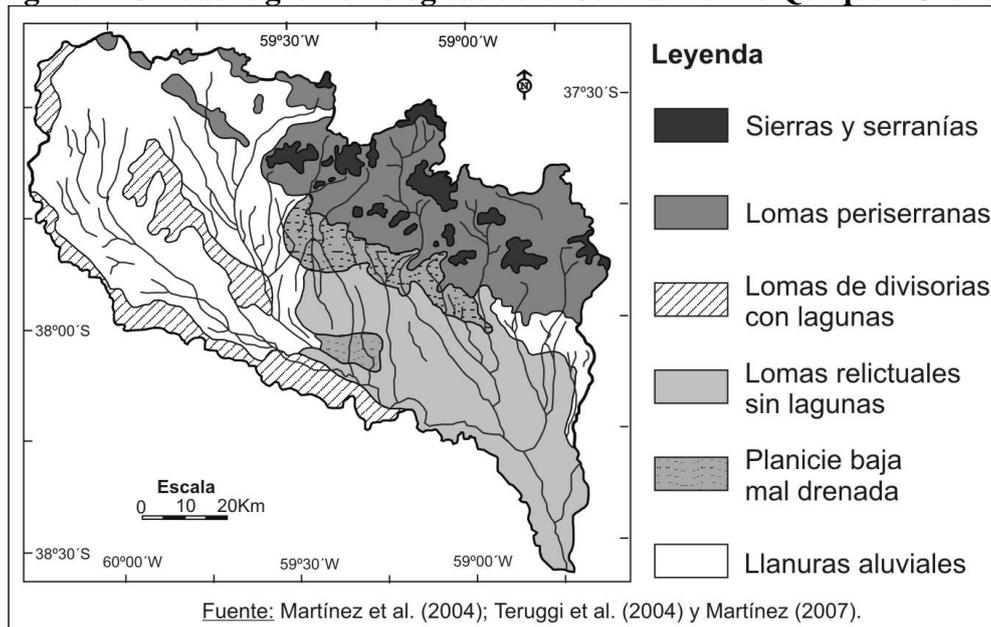
Cuadro 1. Unidades geomorfológicas de la Cuenca del río Quequén Grande

Unidades geomorfológicas	Descripción
<p>Sierras y serranías</p>	<p>Están constituídas por elevaciones del sistema de Tandilia, cuya morfología se encuentra condicionada por el tipo de roca aflorante. Litológicamente pueden estar formadas tanto por estratos subhorizontales de ortocuarcita de la Formación Balcarce, como por afloramientos del Basamento Cristalino igneometamórfico dando morfologías de colinas o serranías de morfología variada.</p> <p>La característica común de los afloramientos es que no forman cordones continuos sino que constituyen sierras y serranías aisladas o separadas por amplios valles entre sí. Las sierras más importantes conforman la divisoria principal de aguas entre las vertientes sur y norte. En estos sectores los cursos suelen ser de régimen temporario con valles estrechos o nacientes efímeras.</p>
<p>Lomas periserranas</p>	<p>Constituyen un paisaje ondulado conformado por lomas de morfología compleja que bordea los cuerpos de las Sierras y serranías. En sectores los cuerpos serranos han actuado como una barrera orográfica aumentando localmente la sedimentación eólica.</p>

	<p>En algunas lomas el basamento rocoso no aflora pero controla subsuperficialmente la morfología de los relieves positivos. En otros casos su morfología está controlada por un manto de tosca (“Paleosuperficie Tandil”) que corona el techo de los sedimentos loésicos infrayacentes de edad Pleistoceno superior. Este manto de tosca ha sido cubierto nuevamente por loess que generalmente no sobrepasa el metro de espesor. En este sentido, el control paleotopográfico puede también estar determinado por la morfología de un relieve preexistente, sepultado por un manto de loess.</p> <p>Un tercer tipo de lomadas es de tipo construccional y han sido generadas por el último ciclo de depositación eólica (Holoceno tardío). El drenaje es poco denso debido a la pendiente y a la mayor infiltración que en los depósitos loésicos no consolidados. Estas características de buen drenaje han dado lugar a suelos de alto potencial agrícola.</p>
Lomas de divisorias con lagunas	<p>Esta unidad está constituida esencialmente por tres relieves positivos elongados con una dirección O-E que son perpendiculares a la pendiente regional y conforman la mayor parte de las divisorias del los afluentes del río Quequén del sector oeste.</p> <p>Estos altos topográficos son perpendiculares a la pendiente regional lo que obliga a las cuencas superiores del arroyo Pecado Castigado y el Quequén a desviarse hacia el este. Ello ha determinado en gran parte el sobredimensionamiento de la cuenca del río Quequén. Estas cubetas de deflación (actuales lagunas) presentan dunas de limo (<i>lunettes</i>) inmediatamente al este, indicando paleovientos del oeste en su construcción. En las divisorias del sector sur de esta unidad, existen procesos de capturas con valles con profunda incisión y alturas relativas de hasta 25 m y pendientes de hasta el 5%.</p>
Lomas relictuales sin lagunas	<p>Esta unidad puede considerarse como una continuidad de la unidad Lomas periserranas; no obstante, se la ha diferenciado por presentar características particulares. Conforman un paisaje antiguo que ha sido preservado por un encostramiento calcáreo. Esta unidad es atravesada por el cauce principal del río Quequén en sus tramos medio e inferior.</p> <p>En distintos sectores de las divisorias, pero principalmente en las proximidades del cauce principal, se identifican restos de un antiguo nivel de planización disectado por procesos de incisión bastante profundos que indican un cambio de nivel de base importante.</p>
Planicie baja mal drenada	<p>Es un área caracterizada topográficamente por la escasa pendiente (0,2%). El paisaje es plano a suavemente ondulado. El drenaje corresponde a una serie de múltiples pequeños cursos temporarios subparalelos y lagunas subcirculares de escasas dimensiones. Los cauces principales han generado valles de relativa importancia, en cuyas divisorias aflora subsuperficialmente un manto de tosca espeso. Ocasionalmente se presentan lomadas subcirculares de loess de 2-2,5 m de altura relativa que apoyan sobre el manto calcáreo.</p>
Llanuras aluviales	<p>Unidad conformada por las planicies aluviales de las cuencas media y superior del río Quequén Grande y el arroyo Pecado Castigado. Estas áreas bajas están drenadas por el cauce principal de dichos cursos y sus tributarios, en gran parte de régimen temporario. Se destacan acciones eólicas que se han preservado dejando una morfología de dunas longitudinales de dirección oeste-este, que se reconocen principalmente en las nacientes del arroyo Pecado Castigado. En ocasiones pueden formarse pequeñas lagunas con pequeñas <i>lunettes</i> al este de las mismas.</p>

Fuente: Teruggi *et al.* (2004) y Martínez (2007).

Figura 2. Unidades geomorfológicas de la Cuenca del río Quequén Grande



Metodología

Aplicación de sensores remotos al estudio de los cambios de uso de la tierra en unidades geomorfológicas de la CrQG

El estudio de la evolución de los usos de la tierra en la CrQG demandó la búsqueda de imágenes satelitales del área de estudio correspondientes a 1998 y 2008. Las imágenes fueron obtenidas del sitio Web <http://www.inpe.br/>, página correspondiente al Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) del Ministerio de Ciencia e Tecnología de Brasil. Se obtuvieron 6 imágenes captadas por el sensor TM de la misión Landsat 5, con Path/Row (225/86, 224/87 y 224/86) cuyas fechas de adquisición fueron las siguientes: 1998/08/17 y 2008/10/31.

En el procesado de las imágenes se utilizó el Software ENVI 4.5 (Reserch System Inc., Boulder, CO, USA). La calibración radiométrica efectuada implicó un proceso en el cual se convirtieron los ND (nivel digital) a nivel de satélite a reflectividad TOA (tope de la atmósfera). Las imágenes Landsat 5 fueron convertidas primero a valores de radiancia (Chander y Markham, 2003; Chander et al., 2007; Science Data). La reflectancia TOA fue convertida a reflectancia en superficie, asumiendo una superficie uniforme Lambertiana y bajo condiciones libres de nubes (Schroeder et al., 2006; Soudani et al., 2006).

En principio se llevaron todas las imágenes a la proyección UTM- Datum WGS-84 - Zona 21, Sur. Las imágenes fueron georreferenciadas utilizando como imagen base la provista por el recorte de un mosaico de imágenes (2135) del sensor ETM+, obtenido de la pagina Web <http://www.landcover.org/>, Global Land Cover Facility, Earth Science Data Interface. El modo de operación de georreferenciación consistió en una técnica basada en obtención de puntos de control entre dos imágenes, lo cual se realizó eligiendo puntos (un mínimo de 20 puntos) del mismo sector en cada imagen y, a través de una interpolación matricial realizada por el software, se corrigieron geoméricamente las imágenes con un error de un píxel (Armand, 1995).

Se realizaron luego los mosaicos (ENVI 4.5) correspondientes a cada año seleccionado (1998-2008) y se aplicó y recortó la cuenca en base al vector de Varela y Teruggi (2002).

Posteriormente, tomando como base las unidades geomorfológicas de la CrQG (Teruggi et al., 2004; Martínez, 2007), se construyeron los vectores correspondientes a las mismas, los cuales permitieron subdividir la cuenca en los diferentes ambientes que la componen y establecer el análisis comparativo de cada unidad geomorfológica en el período estudiado.

Para la realización de la clasificación supervisada fue necesario obtener conocimientos e información antecedente de la Cuenca. Con esta finalidad, se realizaron campañas de campo, donde se obtuvieron puntos de GPS (Global Position System), además de información recabada por informantes calificados e información extraída a partir de las imágenes procesadas; con todo lo anterior se orientaron las clases o ROIs (Regiones de Interés) que luego se utilizan para aplicar en el algoritmo.

En la detección de ROIs se utilizaron técnicas de visualización de las imágenes en cada año seleccionado para representar con mayor precisión las clases asociadas con la cuenca (en este caso usos de la tierra). La composición utilizada fue la llamada falso color o infrarrojo color, sobre las bandas correspondientes al infrarrojo cercano, rojo y verde, respectivamente. Esta composición facilita la cartografía de masas vegetales, láminas de agua, ciudades (Chuvieco, 2007).

Con el fin de ajustar las clases, se relevaron datos proporcionados por informantes calificados en cada unidad geomorfológica para 2008. De esta manera se recabó información acerca de los cultivos sembrados en la fecha en que se obtuvieron las imágenes seleccionadas para el trabajo.

En base a esta información, se realizaron transectas en zonas con cultivos, ingresando al centro de cada potrero (para evitar el efecto de borde) y obtener un punto GPS del lugar. Luego, ese dato fue referenciado en la imagen, definiendo un ROI buffer alrededor de cada punto. Esto permitió asegurar que la reflectividad del área corresponde específicamente a un cultivo, además de analizar las curvas del espectro electromagnético para cada ROI obtenido y sus estadísticos. Siguiendo el mismo procedimiento se obtuvieron datos acerca de los pastizales disponibles para el desarrollo de la actividad ganadera. En función de los datos obtenidos y de consultas realizadas a los mismos informantes, se ajustaron las clases para la clasificación de la imagen de 1998.

Estos relevamientos facilitaron la realización de una clasificación supervisada con mayor precisión. Luego, en la fase de asignación, se aplicó el Clasificador de Máxima Probabilidad (ENVI 4.5), que es el más complejo y el que demanda mayor volumen de cálculo. Sin embargo, es el más empleado en la teledetección, por su robustez y por su ajustarse con mayor rigor a la disposición general de los datos (Chuvieco, 2007; Sobrino, 2000).

Una vez obtenida la imagen clasificada por unidades geomorfológicas, se aplicó un filtro Median (3*3) (ENVI 4.5), técnica que permite mejorar el contraste espacial de la imagen (Chuvieco, 2007). Se obtuvieron los estadísticos de las imágenes clasificadas por unidades, los píxeles por cada clase y se estimó la superficie de las mismas.

Estimación de la incidencia de los cambios en uso de la tierra sobre el hábitat

A fin de evaluar las consecuencias de las transformaciones agroproductivas sobre el hábitat, se utilizó un indicador de sustentabilidad agroecológica y ambiental obtenido del Software Agro-Eco-Index, versión 1.1, desarrollado por Viglizzo et al. (2002). Dicho indicador, denominado riesgo de intervención del hábitat, fue calculado para las principales actividades desarrolladas en la cuenca y modificado para efectuar el análisis temporal a escala regional.

De acuerdo con Viglizzo et al. (2002), el cálculo de este indicador apunta a generar un índice relativo que valore el impacto negativo que impone un proceso productivo sobre la biodiversidad del lugar donde se realiza. Mediante el uso de determinados coeficientes, el indicador compara la vegetación actual con la vegetación potencial del mismo (la vegetación que se supone que habría si el hombre no hubiese intervenido en el proceso sucesional). La comparación se realiza a través de “Puntos de Impacto”, donde las mayores puntuaciones pueden ser entendidas como mayores efectos negativos sobre la flora nativa y la biodiversidad.

Los coeficientes utilizados para lograr esta comparación son:

Cantidad de especies: este es el coeficiente que se considera de mayor importancia relativa, y se asignan 10 puntos de impacto si existe un cambio significativo (tanto pérdida como ganancia de especies) en la cantidad de especies debido a la intervención humana y 0 puntos si no hay cambio.

Origen: se asignan 7,5 puntos de impacto si una proporción significativa de las especies presentes en la vegetación actual son introducidas a un determinado ecosistema. Se parte del supuesto que la vegetación nativa, al haber coexistido con la fauna nativa, tiene mayor capacidad de servirle de hábitat que la vegetación exótica.

Periodicidad: referida a la vegetación dominante. Si la vegetación potencial era perenne y es reemplazada por especies anuales (aún si fueran nativas), se asignan al potrero correspondiente 5 puntos de impacto. Lo mismo sucede si la vegetación potencial era mayoritariamente anual y pasa a ser perenne.

Organización en estratos verticales: se asume que una mayor cantidad de estratos se corresponde con una mayor disponibilidad de sitios para su utilización como hábitats naturales. Por consiguiente, un cambio en este número determina un cambio en la capacidad de provisión de refugio y alimento de los ecosistemas. Se asignan 2,5 puntos de impacto cuando esto ocurre.

Organización en sub-estratos verticales: tiene un nivel de importancia relativa menor e incluye los cambios en la cantidad de sub-estratos dentro de alguno (o algunos) de los estratos principales.

Para obtener el valor del indicador de riesgo de intervención sobre el hábitat de la Cuenca, en primera instancia, se suman los coeficientes obtenidos para cada actividad y se divide dicha sumatoria por 26 (para obtener un valor de cero a uno). Este procedimiento permite estimar el “riesgo parcial de intervención del hábitat” (RPIH), denominado así en el presente trabajo. El RPIH queda expresado como se muestra a continuación:

$$\text{RPIH} = \frac{\text{Ce} + \text{Or} + \text{Pe} + \text{Oev} + \text{Osv}}{26}$$

Donde: RPIH, es el indicador de riesgo parcial de intervención del hábitat; Ce, es el coeficiente relativo a la cantidad de especies; Or, indica el coeficiente referido al origen; Pe, expresa el coeficiente de periodicidad; Oev, es el coeficiente de organización de estratos verticales; y Osv, corresponde al coeficiente de estratos subverticales.

Posteriormente, los valores obtenidos para cada actividad (riesgo parcial de intervención del hábitat) se multiplican por un coeficiente de ponderación que expresa la superficie ocupada por cada actividad en la Cuenca. De esta manera, la sumatoria de los valores obtenidos expresa el riesgo de intervención del hábitat. El riesgo de intervención del hábitat queda representado de la siguiente forma:

$$RIH = \sum cpSupAc * RPIH$$

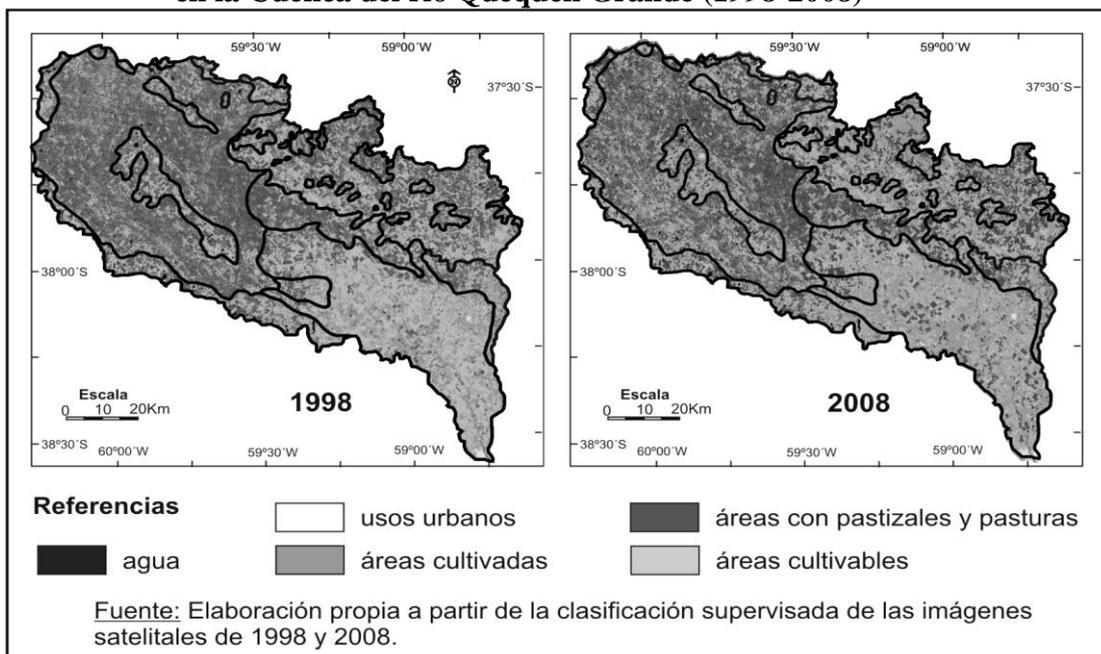
Donde: RIH, es el indicador de riesgo de intervención del hábitat; cpSupAc, es el coeficiente de ponderación que indica la proporción de la superficie de la cuenca ocupada por la actividad; y RPIH, es el indicador de riesgo de intervención del hábitat.

Resultados y Discusión

Como fue explicado en la metodología, a fin de realizar el análisis de la evolución de los usos de la tierra entre 1998 y 2008, se aplicó el algoritmo de clasificación supervisada a partir del método de Clasificador de Máxima Probabilidad. De esta manera, se obtuvieron las imágenes clasificadas (Figura 3).

La clasificación supervisada permitió identificar diferentes usos de la tierra: urbanos, áreas con pastizales y pasturas, áreas cultivables (sin cultivos en el momento en que fue tomada la imagen), áreas cultivadas y agua. Las áreas cultivables y cultivadas representan en conjunto el total de tierras agrícolas, mientras que las ocupadas con pastizales y pasturas las ganaderas.

Figura 3. Clasificación supervisada de usos de la tierra por unidades geomorfológicas en la Cuenca del río Quequén Grande (1998-2008)



Una vez identificadas las diferentes “clases” correspondientes a usos de la tierra en la CrQG, se obtuvieron las superficies ocupadas por cada una de ellas en las unidades geomorfológicas caracterizadas previamente (Cuadro 2).

Cuadro 2. Superficie ocupada por cada clase en las distintas unidades geomorfológicas de la Cuenca del río Quequén Grande (1998-2008)

Unidades geomorfológicas	Clases (usos de la tierra) – Superficies en km ²				
	Usos urbanos	Áreas con pastizales y	Áreas cultivadas	Áreas cultivables	Agua

			pasturas							
	1998	2008	1998	2008	1998	2008	1998	2008	1998	2008
Sierras y serranías	1,0	3,0	135,0	87,8	23,0	44,1	101,0	127,0	2,0	0,1
Lomas periserranas	3,0	19,0	900,5	564,0	240,0	607,0	1109,0	1092,0	33,5	4,0
Lomas de divisorias con lagunas	3,0	12,8	355,0	298,0	86,0	190,0	580,0	559,8	63,0	26,4
Lomas relictuales sin lagunas	27,0	35,0	441,0	354,0	380,0	577,0	1413,0	1299,0	24,0	20,1
Planicie baja mal drenada	0,3	3,2	300,5	282,4	102,0	91,5	358,0	387,1	9,0	5,6
Llanuras aluviales	1,2	9,5	1690,0	1714,0	279,0	238,7	1194,0	1279,0	90,0	13,0
CrQG	35,5	82,5	3822,0	3300,2	1110,0	1748,3	4755,0	4743,9	221,5	69,2

Fuente: Elaboración propia a partir de la clasificación supervisada de las imágenes de 1998 y 2008.

Usos de la tierra en las unidades geomorfológicas de la CrQG (1998-2008)

En los estadísticos correspondientes a los usos de la tierra en el año 1998 se observa que, en cada una de las unidades geomorfológicas, predominan las actividades ganaderas en las llanuras aluviales y en las sierras y serranías (51,9% y 51,5%, respectivamente) y en menor proporción en las lomas periserranas, planicies mal drenadas y lomas con divisorias de aguas (39,4; 39 y 32,7%, respectivamente). En las lomas relictuales sin lagunas, las áreas destinadas al pastoreo se distribuyen sólo en un 19,3% de esta unidad geomorfológica. Considerando el total de la superficie de la cuenca, es posible afirmar que el uso de la tierra correspondiente a pasturas y pastizales representa un 38,4% de la CrQG.

En contraposición, los usos de la tierra referidos a agricultura (correspondientes a las clases áreas cultivadas y cultivables), marcan una gran diferencia con respecto al ganadero en la unidad geomorfológica de lomas relictuales sin lagunas, el cual representa el 78,5% del total de la superficie en esta unidad. En las unidades restantes, la agricultura ocupa aproximadamente el 50% de las tierras, siendo la variación entre unidades geomorfológicas de un 14,5%. En términos generales, los usos agrícolas ocupaban en 1998 un 59% cuenca.

A partir de los resultados mencionados anteriormente, se puede afirmar que la CrQG en 1998 era netamente agropecuaria dado que el 97,4% de superficie la misma estaba representada en ese año por este tipo de usos.

Los cuerpos de agua superficiales se reconocen principalmente en las lomas de divisorias con lagunas (5,8%) y se observa que, en proporción, abarcan casi la mitad de la superficie (2,8%) de la unidad llanura aluvial. El resto de las unidades geomorfológicas presenta una variación del 0,7%, alcanzando la superficie total ocupada por agua en la cuenca el 2,2%.

Los núcleos urbanos se hallan concentrados principalmente en las unidades geomorfológicas de lomas relictuales sin lagunas. Esto coincide con el mayor porcentaje de tierras dedicadas a la agricultura en la unidad.

Con respecto a los usos de la tierra en 2008, se observa estadísticamente que la ganadería está mayormente representada en la unidad geomorfológica de llanuras aluviales (52,7%). Otras de las unidades que marcan una tendencia de pastoreo son las sierras y

serranías (las cuales incluyen sectores periserranos en su delimitación espacial) con un 33,5% y la zona correspondiente a planicies mal drenadas que ocupan un 36,7%. En las lomas de divisorias con lagunas esa proporción alcanza un 27,4% y en las lomas periserranas es aún menor (24,7%). Las lomas relictuales sin lagunas presentan, en términos relativos, la menor superficie con usos ganaderos de la tierra (15,5%). Del análisis general de los datos de la cuenca se deduce que el área ocupada por ganadería en 2008 alcanza el 33,2% de las tierras.

De la misma manera que en 1998, las lomas relictuales sin lagunas se caracterizan por una fuerte dominancia de tierras destinadas a la agricultura, alcanzando en este caso, un 82,1% del ambiente. Dicha área representa la denominada zona triguera por excelencia, actualmente destinada al doble cultivo trigo-soja. Asimismo, las lomas periserranas exhiben valores altos de uso agrícola (74,3%), continuando las áreas de sierras y serranías, lomas de divisorias con lagunas y planicies mal drenadas con valores que varían entre 69,0% y 62,2%. En la zona de llanuras aluviales los valores de tierras agrícolas son inferiores al 50%. Considerando la superficie total de la cuenca, el uso agrícola alcanzó en 2008 el 65,3% de las tierras. En este año, el área destinada a agricultura y ganadería en la CrQG es del 98,5%.

La superficie ocupada por el agua se encuentra localizada principalmente en la unidad correspondiente a lomas de divisorias con lagunas (2,4%); en el resto de los ambientes geomorfológicos el máximo porcentaje de concentración de aguas se halla en las lomas relictuales sin lagunas, con un 0,9%. El porcentaje total de la cuenca ocupado por agua en 2008 es 0,7%.

Con respecto a los usos urbanos, se observa que nuevamente, la mayor concentración se encuentra en las lomas relictuales sin lagunas (1,5%), continuando en las zonas de lomas de divisorias con lagunas (1,2%) y las sierras y serranías (1,1%).

Evolución de los usos de la tierra (1998-2008) en las unidades geomorfológicas de la CrQG

Se observa que, comparativamente, los usos agrícolas aumentaron en un 10,7% y que ese incremento se produjo a expensas de las áreas ganaderas, las cuales disminuyeron un 13,7%. En ese sentido, Paruelo et al. (2006) plantea que el aumento en el área agrícola pampeana muestra cambios no sólo en la composición del paisaje (proporción de los distintos tipos de cobertura) sino también en su configuración (patrón con el que se distribuyen los distintos tipos de cobertura). Dentro de estos últimos, adquiere particular relevancia la fragmentación de la cobertura original de vegetación.

Los usos destinados a cultivos aumentaron considerablemente en las unidades geomorfológicas correspondientes a las sierras y serranías (38%) y en las llanuras periserranas (25,9%); mientras que, en forma inversa, se produce una disminución de 35,0% y 37,4% (respectivamente) en la superficie dedicada a pastoreo. En estas unidades geomorfológicas se verifica la mayor transformación en el uso de la tierra. Este hecho coincide con lo propuesto por Vazquez et al. (2009), quienes demuestran que, en las últimas décadas, los sistemas productivos pampeanos (caracterizados por sus altos rendimientos), evolucionaron abandonando la ganadería en pos de la agriculturización permanente, modificando el uso del espacio y reduciendo la disponibilidad de corredores biológicos.

Las superficies ocupadas por cuerpos de agua superficiales disminuyen significativamente (en un 68,8%) respecto de 1998. Esto es consecuencia de la presencia de un año más seco en 2008 (Informes del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria) que en 1998, año correspondiente a un año húmedo (Carbone et al., 2004). El proceso mencionado se evidencia principalmente en las unidades geomorfológicas de sierras y serranías (94 %), lomas periserranas (88,1%) y llanuras aluviales (85,6%).

Por último, el uso relativo a asentamientos urbanos, se caracteriza por un crecimiento del 132,3%. La unidad geomorfológica con mayor incremento (966,7%) corresponde a las planicies mal drenadas. A su vez, se produce también un aumento importante en las llanuras aluviales y lomas periserranas con un 691,7% y 533,3%, respecto de 1998. Este hecho, se asocia con el proceso de expansión urbana de un sector del núcleo Necochea-Quequén, Benito Juárez y Lobería, ciudades cabeceras de partido que concentran la población urbana de la cuenca (alrededor de 110.000 habitantes).

En síntesis, los cambios agroproductivos que han tenido lugar en la CrQG se ajustan a los modelos imperantes a nivel nacional y se vinculan directamente con los mercados internacionales. Este proceso se manifiesta fundamentalmente en la reconversión de establecimientos agropecuarios, muchos de los cuales pasaron a ser sólo agrícolas en el período estudiado. Esta situación fue favorecida por la presencia de un año más seco.

De acuerdo con Puelo et al. (2006), hay un escaso conocimiento científico de las consecuencias ambientales de los cambios en el uso de la tierra sobre la magnitud del cambio en la producción de bienes y servicios ecosistémicos (regulación hídrica, control de erosión, ciclado de nutrientes, etc.), a pesar de que existen evidencias de ello.

En ese sentido, es importante destacar que estas transformaciones, agudizan algunos problemas ambientales tales como la contaminación de suelos y aguas por el uso extensivo de agroquímicos y ocasionan sustitución y simplificación de los ecosistemas nativos que conllevan a disminuciones o pérdidas de biodiversidad. A su vez, las especies de fauna se encuentran afectadas como consecuencia de la fragmentación extrema de los ecosistemas y existe una potencial pérdida de suelo (en el mediano y largo plazo) si no se utilizan prácticas de manejo adecuadas.

Riesgo de intervención del hábitat en la CrGQ (1998-2008)

El cálculo del indicador RPIH revela que, entre las actividades rurales, las agrícolas ocasionan un mayor impacto sobre la flora nativa. Como la ganadería sustituye parcialmente la vegetación nativa, el coeficiente correspondiente a la cantidad de especies se reduce y el relativo a periodicidad no se considera dado que, en general, las especies utilizadas como forraje son perennes. No obstante, es importante resaltar que en los sectores de la Cuenca en los cuales la ganadería se desarrolla sobre pastos naturales (sectores de fuertes pendientes de las Sierras y Serranías y en las Planicies bajas mal drenadas), el riesgo parcial de intervención se reduce a un valor de 0,115 mientras que cuando se trata de pastos cultivados, el indicador podría alcanzar 0,673.

Lógicamente el indicador de riesgo parcial correspondiente a usos urbanos alcanza el máximo valor (1). Esto se debe a que el ecosistema natural se encuentra completamente sustituido. En este trabajo no se estima el RPIH asociado con las áreas ocupadas por agua.

Dado que no se realizaron para este trabajo estudios específicos en los cuerpos de agua, se asume que en esta clase de uso, el riesgo es mínimo o nulo ya que la presencia de agua limita las distintas intervenciones.

Cuando se incorporan los datos relativos a la superficie de las actividades desarrolladas en la Cuenca, se verifica que, en 1998 el RIH es de 0,699 mientras que en 2008 asciende a 0,730. Este incremento del 4,42%, se correlaciona con el aumento de la agricultura en desmedro de la ganadería, ya que las áreas agrícolas se incrementaron un 10,7% entre 1998 y 2008. Este aumento se tradujo en una reducción del 13,7% de las áreas con pastizales y pasturas.

Estos resultados se condicen con lo expresado por Altieri (1999) quien manifiesta que la agricultura a partir de la revolución verde, trajo aparejado problemas ambientales tales como, contaminación de suelos y aguas por el uso extensivo de agroquímicos, sustitución y

simplificación de los ecosistemas nativos con pérdidas de biodiversidad, fragmentación extrema de los ecosistemas, pérdida de suelo, entre otros. Ante esta situación, surge como respuesta a la agudización de los impactos sobre el medio ambiente, el paradigma de la agricultura sustentable, el cual plantea que el logro de sus objetivos depende de una correcta gestión social, política, económica, tecnológica y ambiental, basadas en valores éticos (Zahedi y Gudynas, 2008).

Ante todo lo mencionado, y la creciente preocupación por la conservación de la biodiversidad y agrobiodiversidad (hecho ineludible en la planificación presente agroproductiva), se hace necesario la aplicación de nuevas experiencias, tal es el caso de las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA). Estas prácticas, constituyen una herramienta tendiente a la sustentabilidad de las explotaciones agropecuarias. Actualmente, las posibilidades de certificación de este tipo de prácticas, plantean un desafío para los productores rurales y la comunidad científica, promoviendo nuevas modalidades agroproductivas (Vazquez y Zulaica, 2010d).

Conclusiones

En el trabajo se destaca la importancia del uso de información captada por sensores remotos para obtener información con buena resolución espacial y temporal. Una vez procesados los datos obtenidos de las imágenes, fue posible elaborar mapas temáticos de la CrGQ para los años 1998 y 2008.

El análisis de la información procesada permite afirmar que, por un lado, el área de estudio es netamente agroproductiva, y por el otro, que se producen cambios variables y significativos en relación con la expansión de la agricultura en 2008. Este proceso, no es sólo característico de la cuenca sino que se evidencia en el conjunto de tierras que integran la región pampeana.

La comparación de los cambios en los usos de la tierra por unidades geomorfológicas permite destacar que los ambientes más afectados por el proceso de “agriculturización permanente” son “Sierras y serranías” y “Lomas periserranas”, cuyo incremento de la superficie agrícola se produjo en detrimento de la ganadería.

Con respecto al agua superficial, se observa que la mayor superficie ocupada por lagunas y ríos corresponde a 1998. Esto se debe a la presencia de un régimen hídrico de máximas precipitaciones en ese año. El área ocupada por agua disminuye en 2008, favoreciendo el avance de la agricultura.

En el período comprendido por los diez años analizados, se verifica también la expansión de los principales núcleos urbanos de la cuenca, los cuales crecieron, principalmente, a expensas de las áreas rurales circundantes.

Además, se observa que esta evolución agroproductiva tiene un impacto inmediato sobre el hábitat y por lo tanto sobre la vegetación nativa, la cual es reemplazada por monocultivos y pasturas. Los resultados finales obtenidos del indicador de RIH, revelan las consecuencias del proceso de agriculturización. Se considera importante en trabajos futuros, discriminar las pérdidas de pastizales naturales por unidades geomorfológicas a fin de determinar aquellas más afectadas por el proceso. Asimismo, se estima pertinente profundizar en el análisis y cuantificación de los impactos derivados de los cambios en el uso de la tierra a fin de identificar alternativas de desarrollo tendientes a la sustentabilidad ambiental. En relación con esto último, las BPA procuran una buena alternativa agroproductiva, con implicancias favorables sobre la conservación de los recursos naturales de la cuenca.

Finalmente, sobre la base de un estudio realizado por Vazquez y Rivas (2009), la presente investigación concluye que la disponibilidad de mapas permite optimizar el manejo

de los sistemas agrícolas y ganaderos, y con ello, puede fomentar la sustentabilidad de la producción en los distintos partidos de la provincia de Buenos Aires, mejorando las relaciones entre los sistemas socio-económico y natural.

Referencias

ALPERÍN M.I., BORGES V.G., y SARANDÓN R. “Caracterización Espacial de los Tipos de Cobertura de Suelo usando Técnicas Geoestadísticas a partir de Información Satelital”, **Revista de la Facultad de Agronomía**, 2002. 105 (1), pp. 40-51.

ALTIERI, M.A. Los impactos ecológicos de los cultivos transgénicos y las razones por la que la biotecnología agrícola es incompatible con una agricultura sostenible. En: Sarandón (ed.). Agroecología. El camino hacia una agricultura sustentable. 2002. Cap. 11: 223-247. E.C.A.

ALTIERI, M.A. **Biodiversity and Pest Management in Agroecosystems**. Haworth Press, New York. 1994.

ARMAND, M. **Téledétection, urbanisme et aménagement**. Toulouse, Groupement pour le développement de la téledétection aérospatiale (GDTA). 1995.

BAEZA S., PARUELO J.M. y ALTESOR A. “Caracterización funcional de la vegetación del Uruguay mediante el uso de sensores remotos”, **Interciencia**, 2006, v. 31, n. 5, pp. 382-388.

BERTONATTI C. y CORCUERA J. Situación Ambiental en Argentina 2000. FVS. 2001.

BURKART R. (comp.). **El Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas de la Argentina**. Administración de Parques Nacionales. Buenos Aires. 1994.

CABRERA A. **Regiones Fitogeográficas Argentinas**. Buenos Aires, Editorial ACME. 1976.

CABRERA A. y WILLINK A. **Biogeografía de América Latina**. Washington, Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. 1973.

CAMPO DE FERRERAS A. y PÍCCOLO M.C. “Hidrogeomorfología de la Cuenca del río Quequén Grande, Argentina”, **Papeles de Geografía**, 1999. n. 29, pp. 35-46.

CARBONE M.E., PÍCCOLO M.C. y SCIAN B.V. (2004): “Análisis de los períodos secos y húmedos en la cuenca del arroyo Claromecó, Argentina”, **Papeles de Geografía**, n. 40, pp. 25-35

CHANDER G. y MARKHAM B.L. “Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges”, **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 2003. v. 41, n. 11, pp. 2674-2677.

CHANDER G, MARKHAM B.L. y BARSÍ J.A. (2007): “Revised Landsat-5 Thematic Mapper Radiometric Calibration”, **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, v. 4, n. 3, pp. 490-494.

CHIRIBOGA M. y PLAZA O. **Desarrollo rural microrregional y descentralización**. San José de Costa Rica, IICA. 1993.

CHUVIECO E. **Teledetección Ambiental. La observación de la tierra desde el espacio**. Barcelona, Editorial Ariel Ciencia. 2007.

FAO. “Evaluación de tierras para la planificación del medio rural; un método ecológico”, en BEEK, K. J. y BENNEMA J. (Ed.): **Proyecto Regional FAO/PNUD RLA 70-457**, 1972. Santiago de Chile Oficina Regional para América Latina.

FECIC. *El deterioro del ambiente en La Argentina*. Ed. FECIC. 1988.

FRANK, F.C. Impacto agro-ecológico del uso de la tierra a diferentes escalas en la región pampeana argentina. Tesis de Magister Scientiae. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, Balcarce. 2007. 164 p.

GHERSA C.M. La sucesión ecológica en los agroecosistemas pampeanos: sus modelos y significado agronómico. *En*: Oesterheld, Aguiar, Guerza, Paruelo (comps.). **La heterogeneidad de la vegetación de los agroecosistemas. Un homenaje a Rolando JC León.**: 195-212. Ed. Facultad de Agronomía. 2005.

GHERSA C.M. y LEÓN J.C. Ecología del paisaje Pampeano: consideraciones para su manejo y conservación. *En*: Naveh y Lieberman (eds.). **Ecología de paisajes. Teoría y Aplicación**. Cap. 6. 2001. Editorial Facultad de Agronomía. UBA.

GUERSCHMAN J.P., PARUELO J.M., DI BELLA C.M., GIALLORENZI M.C. y PACÍN F. “Land cover classification in the Argentine Pampas using multi-temporal LANDSAT TM data”, **International Journal of Remote Sensing**, 2003, n. 24, pp. 3381-3402.

LAPITZ R., EVIA G. y GUDYNAS E. **Soja y carne en el Mercosur; comercio, ambiente y desarrollo agropecuario**. Montevideo, Coscoroba Ediciones. 2004.

LASTRA G., PEREYRA M., MARINO B. y THOMAS L. “Análisis del uso del agua en la Cuenca del río Quequén Grande”, **en Contribuciones Científicas, Congreso Nacional de Geografía, 69 Semana de Geografía**. Buenos Aires, Sociedad Argentina de Estudios Geográficos, 2008. p. 197-212.

LOPEZ BARRERA F., VELAZQUEZ A., MERINO PÉREZ, L. Exploring the determinants of good community forest management. **Interciencia** Volume 35 Issue: 8 Pages: 560-567 Published: AUG. 2010.

MANUEL-NAVARRETE D., GALLOPÍN G., BLANCO M., DÍAZ-ZORITA M., FERRARO D., HERZER H., LATERRA P., MORELLO J., MURMIS M.R., PENGUE W., PIÑERO M., PODESTÁ G., SATORRE E.H., TORRENT M., TORRES F., VIGLIZZO E., CAPUTO M.G. y CELIS A. **Análisis sistémico de la agriculturización en la pampa húmeda argentina y sus consecuencias en regiones extrapampeanas: sostenibilidad, brechas de conocimiento e integración de políticas**. Santiago de Chile, CEPAL, Serie Medio Ambiente y desarrollo, División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos, 2005. n. 118.

MANUEL-NAVARRETE D. y GALLOPÍN G. Integración de políticas, sostenibilidad y agriculturización en la pampa argentina y áreas extrapampeanas. Santiago de Chile, CEPAL, Serie Seminarios y Conferencias, 2007. n. 50.

MARTÍNEZ G. Mapeo geomorfológico con imágenes Landsat 7 y Radarsat 1 en la cuenca del río Quequén Grande, Provincia de Buenos Aires, Argentina, en **XII Congreso de la Asociación Española de Teledetección**. Mar del Plata, Actas del Congreso. 2007.

MARTÍNEZ D.E., MASSONE H.E., MARTÍNEZ G.A., FERRANTE A., TERUGGI, L. y FARENGA M.O. "Hidroquímica y flujo subterráneo en la Cuenca del río Quequén, Provincia de Buenos Aires, Argentina", en **XXXIII Congreso Internacional de Hidrogeología**. Zacatecas, Actas del Congreso. Zacatecas AIH-ALHSUD, 2004. p. 18-23.

MAS J.F. Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques. **Remote Sensing**, 1999. vol. 20, no. 1, 139-152p.

PARUELO J.M. "La caracterización funcional de los ecosistemas mediante sensores remotos", **Ecosistemas**, 2008. v. 17, n. 3, pp. 4-22.

PARUELO J.M., GUERSCHMAN J.P., BALDI G. y DI BELLA C.M. "La estimación de la superficie agrícola; antecedentes y una propuesta metodológica", **Interciencia**, 2004. n. 29, pp. 421-427.

PARUELO J.M., GUERSCHMAN J.P., PIÑEIRO G., JOBBÁGY E.G., VERÓN S.R., BALDI G. y BAEZA S. "Cambios en el uso de la tierra en Argentina y Uruguay: marcos conceptuales para su análisis", **Agrociencia**, 2006. v. X, n. 2, pp. 47- 61.

PÉREZ-VEGA A., MAS J.F., VELÁZQUEZ A. y VÁZQUEZ L. Modelling vegetation diversity types in Mexico based upon topographic features. **Interciencia** Vol. 2008. 33 (2): 88-95.

PÍCCOLO M.C. y PERILLO G.M.E. "Geomorfología e hidrografía de los estuarios", en Boschi, E. E. (Ed.): **El Mar Argentino y sus recursos pesqueros**. Mar del Plata, INIDEP-SAGPyA, 1997. p. 133-161.

PONTIUS J.R., SHUSAS E., MCEACHERN M. Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 2004. 101, 251-268.

SAGyP-INTA. **Mapa de Suelos de la Provincia de Buenos Aires; Proyecto PNUD Argentina 85/019**. Buenos Aires, Secretaría de Agricultura Ganadería y Pesca - Instituto de Tecnología Agropecuaria. 1989.

SALA J.M. "Recursos hídricos", en **Relatorio del Congreso Geológico Argentino**, 1975. p. 169-193.

SARANDÓN, S.J. El desarrollo y uso de indicadores para evaluar la sustentabilidad de los agroecosistemas. En: Sarandón (ed.). *Agroecología. El camino hacia una agricultura sustentable*. 2002. Cap 20: 393-414. E.C.A. Argentina.

SCHROEDER T.A., COHEN W.B., SONG C., CANTY M.J. y YANG Z. "Radiometric correction of multi-temporal Landsat data for characterization of early successional forest patterns in western Oregon", **Remote Sensing of Environment**, 2006. n. 103, pp. 16-26.

SOBRINO J.A. **Teledetección**. Valencia, Universidad de Valencia. 2000.

SOUDANI K., FRANCOIS C., LE MAIRE G., LE DANTEC V. Y DUFRÊNE E. "Comparative analysis of IKONOS, SPOT, and ETM+ data for leaf area index estimation in temperate coniferous, and deciduous forest stands", **Remote Sensing of Environment**, 2006. n. 102, pp. 161-175.

TERÁN O., QUINTERO N., ABLÁN M. y ÁLVAREZ J. **Multiagent-Based social simulation: The case of the cparo forest Reserve, Venezuela**. INTERCIENCIA. 2010. Vol. 35 Issue: 9 p. 696-703

TERUGGI L.B., MARTÍNEZ G.A., BILLI P. y PRECISO E. "Geomorphologic units and sediment transport in a very low relief basin: Rio Quequén Grande, Argentina", **Geomorphological Processes and Human Impacts in River Basins** (Proceedings of the International Conference held at Solsona, Catalonia, Spain, May 2004), IAHS Publ. 2004. 299, pp. 154-160.

VARELA L.B. y TERUGGI L.B. "Caracterización hidrológica de la cuenca del río Quequén Grande, Provincia de Buenos Aires", en Teruggi, L. B. (Ed.): **Manejo integral de cuencas hidrográficas y planificación territorial**. Mar del Plata, Centro de Geología de Costas y del Cuaternario, FCEyN, UNMdP, 2002. p. 19-29.

VAZQUEZ, P. Comparación temporal de dos modalidades de producción en una estancia del sudeste pampeano (Tandil, Argentina). Tesis de Grado. Facultad de Ciencias Humanas. UNCPBA. Tandil. 2004.

VAZQUEZ P.S., RIVAS R. y USUNOFF E. "Análisis multitemporal de la disponibilidad de agua en el suelo", **Revista Ciencia**, 2008. v. 3, n. 3, pp. 47-58.

VAZQUEZ P.S. y RIVAS R. "Transferencia de información basada en sensores remotos para la toma de decisiones de usuarios no expertos", **Revista Ciencia**, 2009. v.4, n 8, pp. 49-59.

VAZQUEZ P., KRISTENSEN M. J. y GIARRATANO M. "Loss of remnant biological corridors in the pampas environment due to changes in agricultural practices (Tandil, Buenos Aires, Argentina)", en **Diversitas OSC2 Biodiversity and Society, Understanding connections, adapting to change**. Ciudad del Cabo, Sudáfrica, Actas del Congreso. 2009.

VAZQUEZ, P. y ZULAICA. L. Nuevas tendencias agroproductivas y su incidencia en la sustentabilidad de los agroecosistemas. I Congreso Latinoamericano. **En Actas IV Argentino de conservación de la Biodiversidad**. 22 -26 de Noviembre. San Miguel de Tucumán. Argentina. 2010.

VIGLIZZO E.F., PORDOMINGO A.J., CASTRO M.G. y LÉRTORA F.A. "La sustentabilidad ambiental de la agricultura pampeana ¿oportunidad o pesadilla?", **Ciencia Hoy**, 2002. v. 12, n. 8, p. 38-51.

WCED. Our common future. Oxford Univ. Press, Oxford. 1987. 74 p.

ZAHEDI, K. y E. GUDYNAS. Ética y desarrollo sostenible. América Latina frente al debate internacional. En: Gottsbacher y Lucatello (comp.) Reflexiones sobre la ética y la cooperación internacional para el desarrollo: los retos del siglo XXI. : 273–292. 2008. Instituto Mora, México, DF.