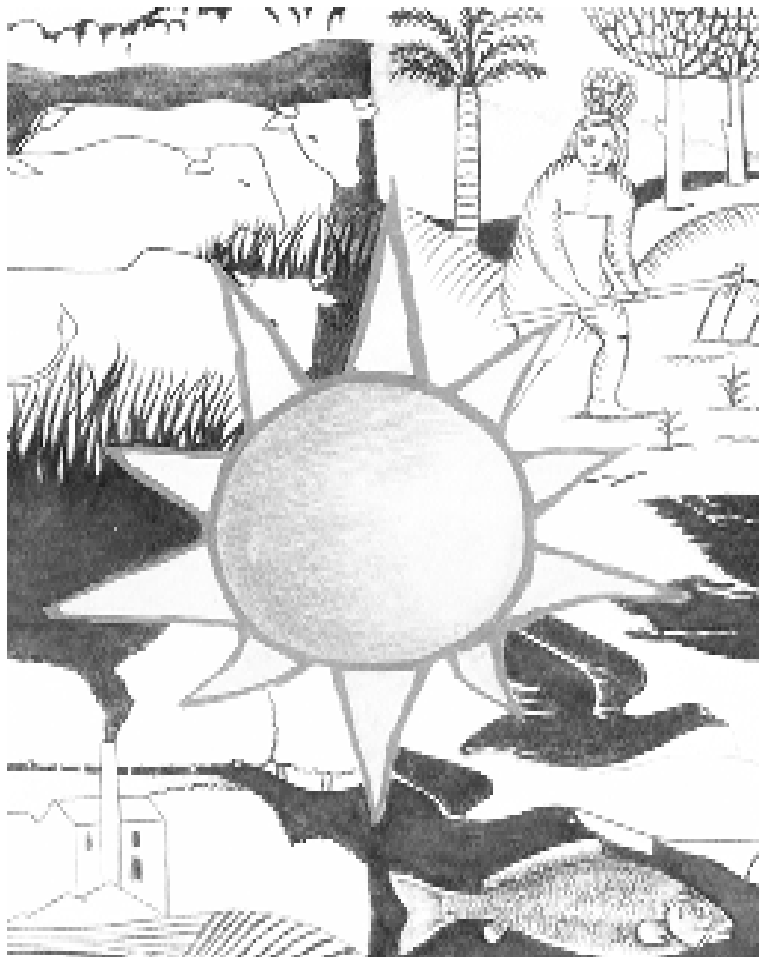


INVENTARIO Y EVOLUCIÓN DE HUMEDALES CONTINENTALES EN EL SUR DE CÓRDOBA (ARGENTINA)¹

Inventory and evolution of continental wetland in the south of Cordoba (Argentina)

DeGIOANNI A, J De Prada, J Cisneros & A Cantero



Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto Ex
Ruta 36 Km 601. 5800 Río Cuarto. Argentina. Correo electrónico:
adegioanni@ayv.unrc.edu.ar

¹Investigación realizada con financiamiento de la Secretaría de Ciencia y Técnica de la UNRC y en el marco del convenio de cooperación Universidad Nacional de Río Cuarto (Argentina) y University of Connecticut (USA).

RESUMEN

Los objetivos de este trabajo son realizar un inventario preliminar de humedales continentales y evaluar los cambios producidos en los mismos durante el período 1975-2001 en el sur de la provincia de Córdoba, Argentina. Mediante el procesamiento y análisis multitemporal de imágenes Landsat MSS, TM y ETM+ y de cartografía auxiliar se procedió a identificar, delimitar y clasificar humedales según el sistema propuesto por la Convención Ramsar. En el área de estudio (14.040 km²) se identificaron 655 áreas (3.499,25 km²) con 9 tipos de humedales y 44 cursos de agua (1.491 km) con 3 tipos de humedales. Por otra parte, se pudo comprobar un incremento no deseado en el número y magnitud en la mayoría de los tipos de humedales identificados a expensas de la disminución en la superficie de tierras de uso agrícola y pastoril.

Palabras claves: humedales continentales, teledetección, SIG, Córdoba-Argentina.

ABSTRACT

The objectives of this paper are to perform a preliminary inventory of inland wetlands and to evaluate the changes of the wetland that have taken place from 1975 to 2001 in the south of the province of Córdoba, Argentina. By multiperiod analysis of satellite images Landsat MSS, TM and ETM+ and auxiliary cartography, we identified and classified the wetlands following the classification of the Convention of Ramsar. In the study area (14.040 km²), 655 areas (3.499,25 km²) with 9 types of wetlands and 44 canal or streams (1.491 km) with 3 types of wetlands were identified. During that time, a significant increase in the number and size of no-desirable wetlands (converted from cropland and rangeland) was observed.

Keywords: inland wetland, remote sensing, GIS, Córdoba-Argentina.

INTRODUCCIÓN

Los humedales constituyen una variada cantidad de ambientes continentales, costeros y marítimos cuya característica común es la presencia de agua en la superficie del suelo. Ocupan entre 4 - 6% de la superficie terrestre (Mitsch & Gosselink 2000). Generalmente, los humedales se los identifican como áreas geográficas que están permanente o frecuentemente inundadas o con el suelo saturado determinando el desarrollo suelos hidromórficos y de vegetación hidrófita (e.g., Tiner 1999).

Históricamente, estos ambientes fueron considerados marginales y por lo tanto no valorados socialmente. Básicamente, se ignoraban las funciones ecológicas y el valor de los bienes y servicios que estas tierras pueden proveer a la sociedad. Consecuentemente, los humedales fueron transformados (mediante obras de drenaje o de rellenos) para posibilitar otros usos, tales como agrícola o urbano (Heimlich et al. 1998). Recientemente, estas prácticas están siendo cuestionadas y se han reconocido en los humedales funciones ecosistémicas de regulación, hábitat, producción e información que satisfacen directa o indirectamente necesidades humanas (Heimlich et al. 1998, de Groot et al. 2002). Entre las funciones más importantes se destacan la preservación de la biodiversidad (hábitat y especies), la regulación del ciclo hidrológico, la mitigación de eventos hídricos catastróficos, el suministro de agua, la recreación y esparcimiento, etc. Sin embargo, existe aún un marcado desconocimiento de la dimensión y función de estos recursos en mucha partes del mundo, por consiguiente, su utilización no está sujeta a una adecuada función ecológica y social.

En Argentina, se han incluido doce sitios en la Lista de Humedales Internacionales de la Convención de Ramsar desde 1992 hasta la fecha. La lista incluye los siguientes: (a) Reserva Costa Atlántica Tierra del Fuego en la

provincia de Tierra del Fuego (28.600 ha), (b) Reserva Provincial Laguna de Llanquanelo en la provincia de Mendoza (65.000 ha), (c) Bahía Samborombón en la provincia de Buenos Aires (244.000 ha), (d) Lagunas de Guanacache en las provincias de San Juan y Mendoza (580.000 ha), (e) Lagunas de Vilama (157.000 ha), (f) Laguna de los Pozuelos (16.224 ha) ambos en la provincia de Jujuy, (g) Jaaukanigás en la provincia de Santa Fe (492.000 ha) (h) Lagunas y Esteros del Iberá en la provincia de Corrientes (25.540 ha), (i) Bañados del Río Dulce y Laguna de Mar Chiquita en la provincia de Córdoba (996.000 ha), (j) Refugio Provincial Laguna Brava en la provincia de La Rioja (405.000 ha), (k) Parque Nacional Laguna Blanca en la provincia de Neuquén (11.250 ha), (l) Parque Nacional Río Pilcomayo en la provincia de Formosa (55.000 ha)¹.

Esto muestra la contribución realizada por Argentina en la identificación y protección de los humedales a nivel internacional. Sin embargo, existe una gran cantidad de humedales que aún no han sido inventariados y se desconocen sus funciones ecológicas y la evolución de los mismos en los últimos años, lo cual dificulta un adecuado aprovechamiento de estos ambientes. Esto cobra mayor importancia en el sur de Córdoba, Argentina, donde los humedales continentales son la principal fuente de regulación del ciclo hidrológico y recientemente -1998, 1999 y 2001, los fenómenos de inundaciones han sido más intensos y frecuentes produciendo no solo graves pérdidas económicas (Cantero et al. 1988, Cantero et al. 1998a, Cantero et al. 1998b, Peretti et al. 1999, Cisneros et al. 2001, Degioanni et al. 2002) si no también serios conflictos sociales entre comunidades rurales y/o urbanas que usufructúan de estos ambientes.

¹CCBSADS - Coordinación de Conservación de la Biodiversidad, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2003. Ministerio de Salud. Argentina. "Definiciones y conceptos sobre humedales" <http://www.medioambiente.gov.ar/faq/humedales/default.htm>.

Los humedales en el sur de Córdoba han sido tratados en estudios hidrobiológicos para medir la calidad del agua (Rodríguez et al. 2000, Rodríguez et al. 2001), en estudios de la actividad pesquera (Mancini & Grosman, 2001, Mancini et al. 2001) y en estudios de ordenamiento y manejo de cuencas, conceptualizando procesos de degradación de tierras tales como erosión hídrica, eólica, sedimentación y colmatación de lagunas vinculados con la pérdida o degradación de humedales y daños ocasionados por inundaciones (Cantero & Cantú 1981, Cantero et al. 1988b, Cantero et al. 1998a, Cantero et al. 1998, Cisneros et al. 2001). Además, la magnitud de las inundaciones y procesos hidrológicos superficiales en la zonas deprimidas han sido estudiados por Degioanni et al. (2002). Sin embargo, la apropiada clasificación, cuantificación y evolución de humedales, como así también, la magnitud de afectación de otras tierras con uso agrícola o pastoril no ha sido previamente estudiada.

Debido a la presencia de agua en superficie en estos sitios, la teledetección se constituye en una herramienta particularmente apta para la identificación y delimitación de humedales debido al claro contraste del agua con el resto de cubiertas terrestres en el es-

pectro electromagnético (Jensen et al. 1986, Lunetta & Balogh 1999, Frazier & Page 2000, Yue et al. 2003), como así también, para el estudio de la vegetación en estos ambientes (Schmidt & Skidmore 2003). La integración de técnicas de procesamiento de imágenes (clasificación supervisada, no supervisada y tasseled cap) con el análisis espacial en un SIG permiten alcanzar resultados más eficaces (Sader et al. 1995).

Los objetivos de este trabajo son realizar un inventario preliminar de humedales mediante su identificación y clasificación en el ámbito de los sistemas hidrológicos de los arroyos Santa Catalina, del Gato y Ají en el sur de Córdoba y comparar cuantitativamente la evolución y expansión de los humedales sobre otras tierras durante un período de 26 años (1975-2001).

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El área de estudio (Fig. 1) abarca una superficie de 14.040 km² y está localizada entre los 32° 53' - 65° 08' y 34° 16' - 63° 00' de latitud

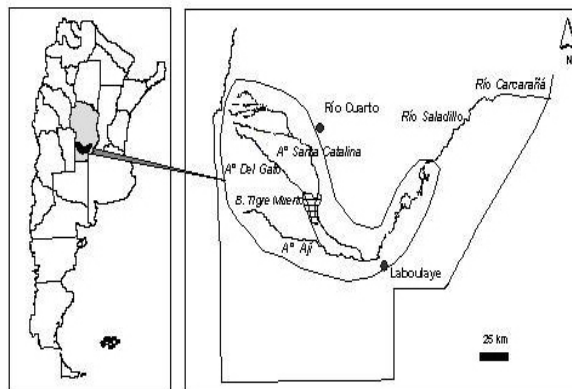


FIGURA 1. ÁREA DE ESTUDIO EN ARGENTINA.
Area of study in Argentina.

sur y longitud oeste respectivamente. Incluye las cuencas de los arroyos Santa Catalina, Del Gato y Ají y a un sector de la Llanura medanosa del SO (Cantero et al. 1998b). El sistema hidrológico de los arroyos mencionados posee salida al océano Atlántico a través de los ríos Saladillo-Caracarañá-Paraná y río de la Plata. El clima del sector corresponde al tipo templado subhúmedo (Cantero et al. 1998b).

Los arroyos tienen sus nacientes en la parte más austral de la unidad geomorfológica Sierras Comechingones. Luego atraviesan las unidades geomorfológicas Pié de Monte, Llanura bien drenada y Llanura mal drenada hasta alcanzar el río Saladillo previo paso por el sistema de grandes lagunas interconectadas del este (Cantero et al. 1998b) (Fig. 2).

Durante el paso por el Pié de Monte y la Llanura bien drenada donde se localizan las cuencas altas, cuyas cotas altimétricas se encuentran entre los 850 y 250 m de altitud sobre el nivel del mar, los arroyos se cargan de

sedimentos producto de la erosión laminar y en barrancas de tierras con uso agrícola-ganadero, erosión de caminos y la erosión de márgenes y fondos de los propios cauces. Cuando los arroyos cruzan la Llanura mal drenada donde se encuentran las cuencas intermedias y bajas, cuya topografía es plana y de muy bajo gradiente de pendiente (cotas altimétricas entre los 250 y 130 m de altitud sobre el nivel del mar), disminuyen su velocidad, depositan sedimentos en los sectores más bajos del relieve colmatando las depresiones y provocando recurrentes procesos de anegamiento - inundación de tierras por desbordes de los propios cursos y de las depresiones existentes en el sector. Este proceso se agrava por la existencia de suelos hidromorfos, salinos – alcalinos, de baja permeabilidad debido a la presencia de horizontes sódicos y de una capa freática salina próxima a la superficie (Degioanni et al. 2001).

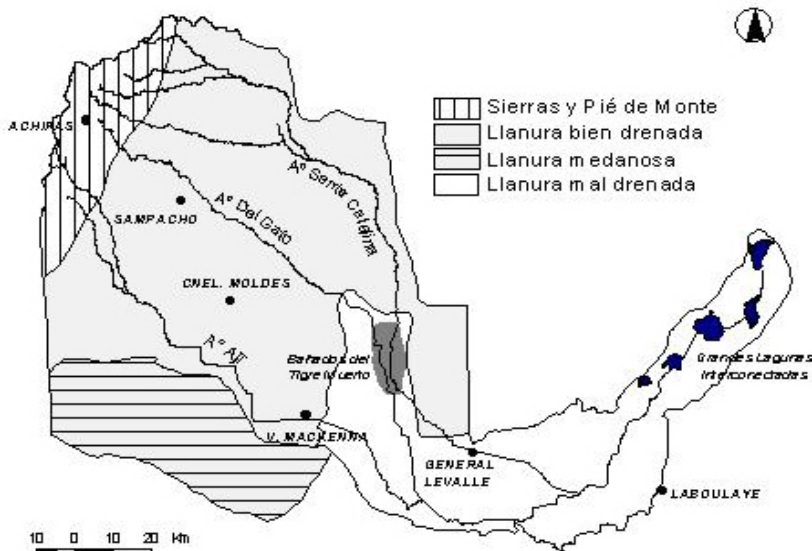


FIGURA 2. UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO.
Geomorphologic units in the area of study.

Procesamiento de la información geográfica

Para identificar ambientes con características de humedales se procesaron imágenes de los satélites Landsat 4 MSS con fecha de adquisición de octubre de 1975 y Landsat 5 TM con fecha de adquisición de octubre de 1999. También se utilizaron imágenes Landsat 5 TM de enero de 1994 y Landsat 7 ETM+ de noviembre de 2001. Todas las imágenes fueron georreferenciadas al sistema Gauss Krüger con un error medio cuadrático de la transformación menor a un píxel. Mediante este procedimiento se uniformó el tamaño del píxel entre las imágenes MSS y TM. A partir de un exhaustivo análisis visual de la composición falso color 423 (imágenes MSS) y 453 (imágenes TM y ETM+) y de clasificaciones supervisadas, se identificó áreas donde la presencia de agua en superficie es un rasgo sobresaliente para las fecha analizadas con el programa Erdas Imagine. Los mapas generados con este procedimiento se integraron en un SIG con fuentes cartográficas auxiliares para facilitar la tarea de identificación y clasificación de los humedales. Dichas fuentes son: cartografía a escala 1:250.000 del Instituto Geográfico Militar, cartografía de la Hidrografía del sur de Córdoba (Cantero et al. 1998b), cartografía del Distrito de Ordenamiento Ambiental para el área al sur de Laboulaye-Rosales -Leguizamón (Rang et al. 1999) y el Atlas Digital de Suelos de la República Argentina (Aeroterra & INTA 1995). Finalmente, se procedió a digitalizar en pantalla capas de polígonos (lagunas y bañados) y de líneas (arroyos y canales) para conformar un SIG vectorial donde se establecieron las magnitudes de superficie y longitud y la asignación de tipos de humedales según la Convención Ramsar. También se realizaron operaciones de superposición y análisis espacial entre las capas de humedales y unidades de suelos. Para este procedimiento se utilizó el programa ArcView.

Sistema de clasificación de los humedales

Para definir y clasificar los humedales se ha seguido lo establecido por la Convención de Ramsar (Resolución VII.11, 1971)² El concepto «humedales» se define de la siguiente manera:

«A los efectos de la presente Convención son humedales las extensiones de marismas, pantanos y turberas o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros».

Esta clasificación establece un conjunto de categorías y tipos que facilita la identificación rápida de los principales hábitat de humedales en el mundo. Dicho sistema establece 12 tipos en las categorías de humedales marinos y costeros, 19 tipos en la categoría de humedales continentales y 10 tipos en la categoría de humedales artificiales.

Para la definición de humedales transitorios o permanentes, se requirió del análisis multitemporal de las imágenes. El tipo de humedal permanente, tanto para lagunas como arroyos, se estableció bajo el criterio de persistencia en el período analizado: si el arroyo o laguna es visible en la imagen Landsat MSS de octubre de 1975 y en las imágenes de octubre de 1999 y 2001 se lo clasificó como humedal permanente. En caso de no ser visible en la imagen de 1975 o las imágenes de 1999 y 2001, se lo clasificó como humedal transitorio o estacional. Por otro lado, se clasificaron como humedales de agua dulce a los localizados en ambas llanuras (Llanura bien drenada y Llanura medanosa) mientras que se clasificaron como humedales salobres a los ubicados en la Llanura mal drenada, ambiente

²Resolución VII.11 (1971) Marco estratégico y lineamientos para el desarrollo futuro de la Lista de Humedales de Importancia Internacional: Apéndice A. Definición de «humedales» y Sistema de Clasificación de Tipos de Humedales de la Convención de Ramsar. Irán. http://www.ramsar.org/key_guide_list_s.htm

este fuertemente influenciado por la capa freática salina próxima a la superficie del suelo (Cisneros, 1994³, Cisneros et al. 1997, Cantero et al. 1998a, Cantero et al. 1998b, Degioanni et al. 2001).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Humedales identificados y clasificados

En el área de estudio se identificaron en la categoría de humedales continentales y artifi-

ciales 12 tipos diferentes (Tabla 1).

En la Tabla 2 se indican los tipos, número y superficie de humedales identificados y delineados como polígonos en los ambientes de agua dulce (unidades geomorfológicas Llanura bien drenada y Llanura medanosa) y en ambientes salobres (unidad geomorfológica Llanura mal drenada). Del contraste entre los humedales identificados en 1975 y 2001 se pueden observar los cambios ocurridos en la cantidad y superficie de los mismos.

Para el período analizado se observa incrementos en el número (se pasa de 211 a 655 unidades) y en la superficie de los humedales

TABLA 1. TIPOS DE HUMEDALES IDENTIFICADOS Y CLASIFICADOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO.

Wetland types identified and classified in the area of study

Símbolo	Descripción
M	Ríos y arroyos permanentes
N	Ríos y arroyos estacionales - intermitentes
O	Lagos permanentes de agua dulce (superficie mayor de 8 ha)
P	Lagos estacionales – intermitentes de agua dulce (superficie mayor de 8 ha)
Tp	Pantanos, esteros, charcas permanentes de agua dulce (superficie menor de 8 ha)
Ts	Pantanos, esteros, charcas estacionales – intermitentes de agua dulce
Q	Lagos permanentes salobres – alcalinos
R	Lagos y zonas inundadas estacionales – intermitentes, salobres – alcalinos
Sp	Pantanos, esteros, charcas permanentes, salobres – alcalinos
Ss	Pantanos, esteros, charcas estacionales – intermitentes, salobres – alcalinos
6	Áreas de almacenamiento de agua (superficie mayor de 8 ha) (humedal artificial)
9	Canales de transportación y de drenaje (humedal artificial)

que se incrementa un 35%. En las cuencas altas y el sector de Llanura medanosa, se observa un incremento del 50% en la superficie del tipo O y la aparición de los tipos P y Ts, humedales permanentes y estacionarios de agua

dulce localizados en el sector NE de las cuencas altas (lagunas Suco, Turnbol y Seca) y en el sector SO de la Llanura medanosa (lagunas La Panchita, Toro Muerto, Las Vacas, La Reforma, La Brava y El Espinillo). También se observa una disminución en el humedal tipo Tp debido a que cambiaron al tipo O al aumentar de superficie en el 2001. El humedal

³CISNEROS J (1994) Caracterización del hidrohalomorfismo en ambientes representativos del centro-sur de Córdoba. Tesis Magister Scientiae en Ciencias del Suelo, Universidad de Buenos Aires.

TABLA 2. CAMBIOS EN EL TIPO, NÚMERO Y SUPERFICIE DE HUMEDALES ENTRE 1975 Y 2001.
Change in wetlands between 1975-2001

	1975			2001	
	Tipo	Nº	Superficie (ha)	Nº	Superficie (ha)
Llanura bien drenada (cuencas altas) y	O	31	1.736,2	34	2.614
	P	-	-	44	1.557
Llanura medanosa	Tp	9	48,8	5	30,5
	Ts	-	-	113	386,5
Subtotal		40	1.785	196	4.588
Llanura mal drenada (cuencas intermedias y bajas)	Q	5	9.531	5	10.540
	R	1	237.191	1	312.873
	Sp	135	9.298	139	14.072
	Ss	29	1.624	313	7.833
Subtotal		170	257.644	458	345.318
6		1	19,5	1	19,5
Totales		211	259.448,5	655	349.925,5

artificial (6) corresponde al lago artificial de la localidad de General Levalle.

En las cuencas intermedias y bajas (Llanura mal drenada) se observa que el tipo humedal Q permanece constante en número con un leve incremento en superficie. Este tipo de humedal lo constituyen un sistema de cinco grandes lagunas interconectadas del Este (Fig. 2) que constituyen el área de recepción más importante de todo el sistema hidrológico analizado. Dicha lagunas son: La Brava (2.680 ha), La Salada (1.430 ha), Santa Ana (3.610 ha), Las Acollaradas (1.410 ha) y La Chanchera (514 ha). Por otro lado, se observa un incremento del 51% en la superficie del tipo de humedal Sp y se decuplica el número del humedal tipo Ss. También se observa un incremento en superficie del 32% del humedal tipo R asociado a las zonas inundadas intermitentes, salobres - alcalinas en las cuencas inter-

medias y bajas. Esta expansión de los humedales en el área estudiada está vinculada a procesos de degradación de suelos y a la reducción gradual de la función de regulación hídrica de los humedales debido a sedimentación, tal como se pudo comprobar en el análisis multitemporal de las imágenes de satélite y chequeos de campo.

Es importante destacar que el área cubierta por humedales es más del doble que la recomendada para el adecuado funcionamiento de la cuenca. Basado en la literatura de humedales para climas templados, Mitsch & Gosselink (2000) sugieren que la superficie de humedales debe cubrir entre el 3-7% para facilitar la función de control de inundaciones. La superficie cubierta por humedales en el área de estudio pasó de 18% en el año 1975 al 25% en el año 2001. La principal función de los humedales es la regulación del ciclo

hidrológico y básicamente el control de las inundaciones (Cantero et al. 1988; Cantero et al. 1998)a. Sin embargo, tener más del doble de la superficie cubierta por humedales no ha significado un mejor servicio de los mismos.

Por otro lado, se han identificado cambios en la red de drenaje superficial del área de estudio. En la Tabla 3 se indican los humedales identificados como líneas (arroyos y canales) y en la Tabla 4 los cambios de longitud ocurridos durante el período 1975 – 2001. Esta categoría de humedales corresponden a la red de drenaje superficial de las cuencas de los arroyos Santa Catalina, Del Gato y Ají.

Los arroyos Chaján, Corralito, Knutzen, Suco y Zelegua muestran cambios importantes en la longitud de sus cauces, en algunos casos han duplicado o triplicado la magnitud desde 1975. La dinámica del cambio en estos cursos está dominada por un fenómeno natural posiblemente asociado a un mayor volumen de escurrimiento superficial (al menos para esta escala de percepción no se identifica la acción del hombre). En contraste, la acción antrópica se manifiesta claramente en la construcción de canales de desagües y de interconexión de cuencas identificados como humedales tipo 9. El análisis de la dinámica operada en los 26 años de estos humedales sobre el sector de cuencas altas, intermedias y bajas se sintetiza en la Tabla 4.

La longitud de los cursos de agua ha crecido un 66,5% pasando de 895 km a 1.491 km en el período 1975-2001. Se observa un incremento en la longitud de los cursos de agua en las cuencas altas del 185% para el tipo N y se identifica una nueva categoría de humedal: el tipo 9 (canales). En las cuencas intermedias y bajas, se observa un fuerte incremento en el número y longitud del humedal tipo 9, donde prácticamente se ha cuadruplicado la longitud de los mismos. Este incremento obedece a la canalización realizada para facilitar el desagüe de estas cuencas a partir de la década de 1980,

TABLA 3. TOPÓNIMO, TIPO Y LONGITUD DE HUMEDALES LINEALES ENTRE 1975 Y 2001.

Streams and canal length identified between 1975 and 2001

Nombre del Humedal	Tipo	1975	2001
		Long (km)	Lon. (km)
Arroyo Achiras	M	25,0	25,0
Arroyo Chaján	M	53,4	95,4
Arroyo Chañaditos	M	37,4	37,4
Arroyo Cipión	M	25,3	25,3
Arroyo Corralito	N	16,7	43,1
Arroyo Del Gato	M	85,8	85,8
Arroyo Del Medio	M	4,4	4,4
Arroyo El Ají	M	25,7	25,7
Arroyo El Chico	N	5,8	5,8
Arroyo El Salto	M	12,1	12,1
Arroyo Knutsen	M	8,4	16,9
Arroyo La Barranquita	M	50,3	50,2
Arroyo La Colacha	M	24,6	24,6
Arroyo La Cruz	M	10,3	10,3
Arroyo Las Cortaderas	M	39,0	39,0
Arroyo Las Lajas – 630	M	88,1	88,1
Arroyo Los Arroyitos	M	5,4	5,4
Arroyo Los Jagueles	N	36,1	36,1
Arroyo Sampacho	M	42,9	51,2
Arroyo San José	M	4,4	4,4
Arroyo Santa Catalina	M	134,1	134,1
Arroyo Suco	N	11,4	43,7
Arroyo Zelegua	M	62,9	62,9
Canal Devoto	9	97,2	97,2
Canal Arroyo El Ají	9	-	98,9
Canal Arroyo Los Jagueles	9	-	18,0
Canal de Copa	9	-	41,0
Canal El Ala	9	-	12,0
Canal El Norte	9	-	35,2
Canal La Cautiva	9	-	51,1
Canal La Cautiva – El Aji	9	-	10,6
Canal La Diagonal	9	-	42,7
Canal Los Tamarindos	9	-	21,6
Arroyos s/n (tres)	N	-	60,6
Canales s/n (tres)	9	-	32,4
Canales interconectores (4)	9	-	42,9

coincidente con los procesos de anegamiento - inundación que ocurrieron desde entonces.

TABLA 4. CAMBIOS EN EL TIPO Y LONGITUD DE HUMEDALES LINEALES.
Changes in the type and length of linear wetlands

	1975			2001	
	Tipo	Nº	Long (km)	Nº	Long (km)
Cuencas altas (Sierras, Pié de monte y y Llanuras bien drenadas)	M	19	733,6	19	804,6
	N	4	64,2	7	182,8
		9	-	-	2 74,3
	Subtotal	23	797,8	28	1.061,7
Cuencas intermedias y bajas (Llanuras mal drenada)		1	97,2	16	429,3
	Total	24	895	44	1.491

La red de desagüe de las cuencas bajo estudio se ha modificado notoriamente y por lo tanto se ha incrementado la capacidad de evacuación de agua del sistema en general. No obstante, esta capacidad de evacuación es mayor en las cuencas altas, mientras que en las cuencas intermedias y bajas si bien aumentó la canalización, la capacidad de desagüe de los canales depende del nivel de sedimentos que ingresen al área y de la capacidad de transporte de los canales. Si el proceso erosivo se mantiene, el nivel de sedimentos acarreados por el agua reducirá o prácticamente colmatará los canales, anulando la capacidad de desagüe en períodos de intensas precipitaciones, fenómeno observado en los bañados del Tigre Muerto que se describe a continuación.

Expansión de humedales y la regulación hidrológica

La expansión en los humedales en las cuencas bajas, debido al proceso sedimentación de la-

gunas y canales, ha llevado en algunos casos a la pérdida de funciones de regulación del régimen hidrológico. Esto se ha verificado en los bañados del Tigre Muerto (Fig. 2) (Cantero et al. 19984b, Cantero et al. 1998a, Paoli et al. 2000). Dicho humedal, localizado a 33°35´-64°11´ de latitud sur y longitud oeste y que ha sido tipificado como R, en el pasado constituía el área de derrame de los arroyos Del Gato y Santa Catalina. Este sector, antiguamente, ha tenido la presencia de una laguna llamada Tigre Muerto y que ha desaparecido por el continuo aporte de sedimentos de los arroyos mencionados que fueron colmatando la misma.

En el análisis de las imágenes Landsat (composición falso color 453) se ha comprobado esta dinámica identificando tres clases informacionales en la respuesta espectral de este ambiente y sus respectivos cambios en el período analizado (Tabla 5). Dicha clases son:

- Áreas de sedimentos estabilizados: presentan una textura media y de color rojo oscuro o verde oscuro, uniforme. Se tra-

TABLA 5. CAMBIOS EN LOS BAÑADOS DEL TIGRE MUERTO.

Changes in the marshes of Tigre Muerto

	1975	2001
	Sup. (ha)	Sup. (ha)
Área de sedimento estabilizado A° Del Gato	0	2.111
Área de sedimentación actual A° Del Gato	2.140	4.030
Área de sedimento estabilizado A° Sta. Catalina	370	4.504
Área de sedimentación actual A° Sta. Catalina	970	0
Áreas de derrame estacional de ambos arroyos	10.170	40.180
Total	13.650	50.825

ta de sectores con vegetación arbustiva mezclada con pastizales gramíneos y se localizan a ambos lados de los cursos de agua.

- Áreas de sedimentación actual: presentan una textura rugosa dado el aspecto variegado que se observa en la superficie. A su vez, presenta diferentes colores según el tipo de cubierta: agua en superficie en forma permanente (color negro-azul oscuro), vegetación hidrófila activa (color rojo-naranja intenso) y suelo desnudo (color cyan intenso). Estos sectores están indefectiblemente vinculados con el curso de agua.
- Áreas de derrames estacionales: son áreas que presentan una textura rugosa. Se trata de un aspecto similar a la categoría anterior salvo que no están vinculadas a los arroyos. Son áreas con agua en superficie en forma intermitente, estacional, con presencia de eflorescencia salinas (color blanco-cyan claro)

En general, se observa un marcado proceso de sedimentación tanto pasado como actual y una fuerte expansión del área de derrame estacional de los arroyos hacia la periferia del

ambiente, avanzando sobre tierras de uso pastoril o pastoril-agrícola, habiéndose cuadruplicado el área relacionada al proceso de sedimentación en los últimos 26 años. En particular, se observa para el A° Del Gato que lo que estaba en proceso de sedimentación activo en 1975 se ha estabilizado en la actualidad y continua con el proceso de sedimentación dentro del bañado. Por otro lado, el A° Santa Catalina ya no sedimenta más en el sector del bañado por lo que se supone que los sedimentos son transportados hacia las depresiones del sudeste (humedales Q, Sp y Ss) con la consecuente colmatación de las mismas.

Estos resultados muestran una dimensión cuantitativa de los cambios ocurridos en un lapso de 26 años en los bañados del Tigre Muerto y como el proceso de erosión hídrica – sedimentación ha prácticamente eliminado la capacidad reservorio de agua de este humedal, tal como se conceptualizó en estudios previos (Cantero & Cantú 1984, Cantero et al. 1988, Cantero et al. 1998a, Cantero et al. 1998b). En tal sentido, se supone que la pérdida progresiva de la función de regulación hidrológica de los humedales está ocurriendo en toda el área de estudio y que la expansión de los humedales sobre tierras de mayor pro-

ductividad está relacionada con este proceso de degradación.

Expansión de los humedales y degradación de tierras

Analizando los cambios por unidad geomorfológica (Tabla 2), el número de humedales prácticamente se quintuplicó y la superficie aumentó un 157% en las cuencas altas y Llanura medanosa. En las cuencas intermedias y bajas, el número de humedales salobres aumentó un 170% y la superficie aumentó un 34%. Cuando se relaciona la superficie ocupada por los humedales con la superficie total de las cuencas, los humedales ocupaban tan solo el 0,2% del área en 1975 y el 0,5% en

2001 en las cuencas altas y Llanura medanosa (993.330 ha) mientras que en las cuencas intermedias y bajas (410.670 ha) el nivel de ocupación de los humedales salobres era del 62,7% en 1975 y alcanzaron el 84,2% en 2001. Si bien las tendencias de incremento se observan en mayor proporción en las cuencas altas y Llanura medanosa, la expansión de los humedales sobre tierras que eran principalmente utilizadas para agricultura y ganadería es mayor en las cuencas intermedias y bajas, particularmente por el incremento de humedales que tienen una muy baja función ecológica-económica (tipos R, Sp y Ss). Para evaluar dicho impacto, se analizó el cambio de superficie del humedal tipo R (Tabla 6) sobre los suelos de las cuencas intermedias y bajas agrupados por el Índice de Productividad⁴ de

TABLA 6. CAMBIO EN EL HUMEDAL TIPO R E IMPACTO SOBRE UNIDADES DE SUELO DE LAS CUENCAS INTERMEDIAS Y BAJAS. ¹IP = 0 son tierras no aptas para agricultura o ganadería, IP = 100 son tierras sin limitación para la producción agrícola ganadera y las de mayor potencial productivo. ²(%) estimada sobre superficie humedal R en el año 1975.

Change in wetland type R and impact on soil units in the intermediate and downstream watershed

Índice de Productividad ¹ de los Suelos de las cuencas bajas	Superficie humedal R 1975 (ha)	Superficie humedal R 2001 (ha)	Diferencia (%) ²
0	70.580	89.494	27
5-13	18.941	19.268	2
18-31	109.171	144.006	32
41-58	38.499	60.105	56
Total	237.191	312.873	32

las unidades cartográficas del Atlas Digital de Suelos de la República Argentina (Aeroterra & INTA 1995) correspondientes a dichas cuencas.

La expansión de los humedales tipo R muestra que el 32% en las cuencas interme-

dias y bajas ha sufrido algún nivel de degradación. El incremento promedio del humedal R sobre los suelos mayor capacidad producti-

⁴Véase NAKAMA V & R SOBRAL (1987) Índice de Productividad. Método paramétrico para la evaluación de tierras. Proyecto PNUD Arg. 85/019. INTA – CIRN. Argentina.

va para el área (IP: 41 a 58) es del 56% (21.696 ha). Esta situación es preocupante porque estos suelos ocupan una proporción limitada (21% del total) de estas cuencas. Por otra parte, también los suelos de capacidad productiva intermedia (IP: 18-31) han tenido un importante grado de deterioro por el avance del humedal R: un 32% (34.832 ha) hacia el final del período analizado. Ello se comprueba por la identificación, en las imágenes de satélite más recientes, de sectores con sales en superficie. En contraste, sobre los suelos de baja capacidad productiva (IP: 5 a 13) la degradación ha sido muy baja (menor al 2%). Por último y aunque de menor importancia desde el punto de vista productivo, pero posiblemente de gran relevancia para la regulación hidrológica del sistema Santa Catalina, Del Gato y Ají, los suelos con IP: 0 muestran un apreciable nivel de incremento del humedal R.

Estos cambios se explican por el incremento en el proceso de degradación de los suelos por anegamiento temporario y salinización permanente, situación que es claramente identificada en las imágenes de satélite y que ha sido verificada a campo, mediante observación visual y entrevistas a productores y técnicos del área. Este proceso ha inducido a un cambio significativo en las capacidades productivas de las cuencas bajas e intermedias: se modificó la capacidad productiva de 43.514 ha que se volvieron no aptas para pasturas y cultivos no resistentes a salinidad y por ende de menor calidad comercial. Este impacto negativo se pudo verificar al sur de la colonia El Destino y al este de la colonia Santa Ana entre las localidades de General Levalle y Laboulaye.

Estos resultados son consistentes con los

estudios realizados por Cantero & Cantú 1984⁵, Cantero et al. 1988a, Cantero et al. 1998b, Cantero et al. 1998, Cisneros et al. 2001 y Degioanni et al. 2002. En este trabajo se ha encontrado que la magnitud física del deterioro de los humedales y la degradación de las tierras son de una alta significancia para las cuencas intermedias y bajas en la Llanura mal drenada, donde existe mayor densidad de población y donde las posibilidades de desarrollo económico y social están fuertemente vinculadas a la producción agropecuaria.

Comentarios finales

Los resultados muestran claramente que la superficie cubierta por humedales supera ampliamente la recomendada para cumplir el servicio de control de inundaciones. Sin embargo, la calidad de este servicio se ha visto reducida por el nivel deterioro en el funcionamiento de los mismos. Por otro lado, de mantenerse las condiciones vigentes de los últimos 26 años es probable que los procesos de inundación y sequías se intensifiquen en el futuro. En períodos de altas precipitaciones, se intensificará el proceso de erosión-sedimentación y la magnitud de las inundaciones. En contraste, en períodos de menores precipitaciones, la red de desagüe permitirá evacuar agua en forma permanente, que sumado a las pérdidas de la capacidad de reserva de los humedales, intensificará las sequías.

Posibles extensiones de este estudio son la identificación de factores que expliquen la dinámica del cambio en la tierra ocupada por humedales y la pérdida de áreas de regulación hídrica que magnifican el problema de inundaciones. Dentro de las hipótesis probables de este cambio están el incremento de las precipitaciones, el cambio del uso de los suelos, el incremento en las tasas de erosión y las escasas acciones reguladoras del régimen hidrológico

⁵CANTERO A & M CANTÚ (1984) Algunas consideraciones sobre los suelos y la degradación de las tierras en el área de Río Cuarto. Comité Argentino para el Programa El Hombre y la Biósfera. Actas del Seminario Internacional sobre Deterioro y Conservación de Suelos en la Cuenca del Plata. Buenos Aires. 6 pp.

superficial realizadas en las cuencas del sistema hidrológico Santa Catalina, Del Gato y Ají.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecen a la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) por la provisión de las imágenes Landsat TM y ETM+ y a las Lic. Candela Fuentes y Marina Frachetti por su colaboración en tareas de digitalización.

LITERATURA CITADA

AEROTERRA SA & INTA (1995) Atlas Digital de Suelos de la República Argentina.

CANTERO A & M CANTU (1981) Unidades de erosión de la cuenca del sistema arroyo Santa Catalina-Del Gato & Laguna del Tigre Muerto. Escuela de Graduados. UNRC. Argentina. 9 pp.

CANTERO A, J CANTERO, J CISNEROS, M CANTU, V BECERRA, S DEGIOVANNI, A BECKER, I MORENO, M BLARASIN, M VILLEGAS, J MATEA, F PEREZ & A PIÑEIRO (1988) Propuesta de ordenamiento y manejo integrado de tierras y aguas en el sur de la provincia de Córdoba. UNRC. Argentina. 75 pp.

CANTERO A, M CANTÚ, J CISNEROS, J CANTERO, M BLARASIN, A DEGIOANNI, J GONZALEZ, V BECERRA, H GIL, J DE PRADA, S DEGIOVANNI, C CHOLAKY, M VILLEGAS, A CABRERA & C ERIC (1998a) Las tierras y aguas del sur de Córdoba. Propuestas para un manejo sustentable. Editorial UNRC, Río Cuarto 107 pp.

CANTERO A, M CANTU, V BECERRA, J CANTERO, J CISNEROS, A DEGIOANNI, J GONZALEZ, J DE PRADA, H GIL, C PEREIRA, M GEYMONAT & M CHOLAKY (1998b) Actualización de la Propuesta de ordenamiento y manejo integrado de tierras y aguas en el sur de la provincia de Córdoba. UNRC. Argentina. 85 pp.

CISNEROS J, J CANTERO & A CANTERO (1997) Vegetation, Soil Hydrophysical Properties, and Grazing Relationships in Saline-Sodic Soils of Central Argentina. *Canadian Journal Soil Science* 79:399-409.

CISNEROS J, A DEGIOANNI, H GIL, J CANTERO, A CANTERO, S RANG, A MILANESIO, A CHIAPAROLI, C PEREYRA, M GEYMONA, L ISSALY, V FREIRE & M VIGLIOCCO (2001) Propuesta de creación de los Distritos de Ordenamiento Ambiental: Gral. Levalle – Rio Bamba - Laboulaye y Rosales – Leguizamón – Melo. Informe Técnico. Convenio UNRC – Dirección de Saneamiento y Obras Hidráulicas Buenos Aires 100 pp.

De GROOT R, M WILSON & R BOUMANS (2002) A typology for the classification, description and valuation ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics* 41(3) 393-408.

DEGIOANNI A, J MARCOS & A CANTERO (2001) Balance hidrológico en una cuenca representativa de las llanuras del sur de Córdoba. Argentina. *Revista de la UNRC* 21(1-2):1-11.

DEGIOANNI A, A CAMARAS, A BELMONTE, J CISNEROS, J MARCOS & A CANTERO (2002) Las Inundaciones en el SE de Córdoba (Argentina) y las Tecnologías de Información Geográfica: Ejemplos de Aplicación. *Serie Geográfica* 10:143 – 169.

FRAZIER P & K PAGE (2000) Water body detection and delineation with Landsat TM data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 66(12):1461–1467.

HEIMLICH R, K WIEBE, R CLASSEN, D GADSBY & H ROBERT (1998) Wetlands and Agriculture: Private Interests and Public Benefits. *Resources Economics Dicision, Economic Research Service. U.S. Department of Agriculture.*

JENSEN W, E HODGSON, H CHRISTENSEN, J MACKAY, L TINNEY & R SHARITZ (1986) Remote sensing inland wetlands: a multispectral approach. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 52(1):87-100.

LUNETTA R & E BALOGH (1999) Application of multi - temporal Landsat 5 TM imagery for wetland identification. *Photogrammetric*

- Engineering & Remote Sensing 65(11):1303-1310.
- MANCINI M, J DE PRADA & H GIL (2001) Viabilidad económica de la instalación de una pesquería recreativa de pejerrey. En: Astyanax Ed. Fundamentos Biológicos, Económicos y Sociales para una Correcta Gestión del Recurso Pejerrey.
- MANCINI M & F GROSMAN (2001) Efecto de la pesca deportiva sobre población de pejerrey *Odontesthes bonariensis*. En: Astyanax ed. Fundamentos Biológicos, Económicos y Sociales para una Correcta Gestión del Recurso Pejerrey.
- MITSCHE W & J GOSSELINK (2000) The value of wetlands: importance of scale and landscape setting. Ecological Economics 35 (1) 25-33.
- PAOLI C, R GIACOSA, H BIANCHI, R MAZZON, G BERNAL, G MACEDO, C MONTAVERDE & R BRAVO (2000) Estudios en el área de derrame del río Quinto y arroyos del sur de Córdoba. Instituto Nacional del Agua y del Ambiente. Ministerio de Infraestructura y Vivienda. Subsecretaría de Recursos Hídricos. Argentina. 30 pp.
- PERETTI M, V FREIRE, C GHIDA DAZA, J GONZALEZ, J GRANDA, C ISSALY, M LIDDLE, F MOORE, L PIZARRO, B URQUIZA & M VIGLIOCCO (1999) Monitoreo económico de los sistemas productivos predominante del sector agropecuario de Córdoba. INTA – SA y G Córdoba – UNRC. Argentina.
- RANG S, J CISNEROS, A MILANESIO, H GIL & A DEGIOANNI (1999) Propuesta de Creación del Distrito de Ordenamiento Ambiental para el área al Sur de Laboulaye - Rosales - Leguizamón. Informe beca para el sector productivo. CONICOR – ADESUR – UNRC. Argentina. 45 pp.
- RODRÍGUEZ C, M MANCINI, C PRÓSPERI, A WEYERS & G ALCANTÚ (2000) Hidrobiología del sistema lagunar La Salada – La Brava Natura Neotropicalis 31(1-2): 01-09.
- RODRÍGUEZ C, M MANCINI, C PRÓSPERI, A WEYERS & G ALCANTÚ (2001) Calidad de agua de una laguna recreacional del centro – oeste de la provincia de Córdoba. Argentina. Aquatic 12:01-08.
- SADER S, AHL D & W LIU (1995) Accuracy of Landsat TM and GIS ruled – based methods for forest wetland classification in Maine. Remote Sensing Environment 53:133-144.
- SCHMIDT K & A SKIDMORE (2003) Spectral discrimination of vegetation types in a coastal wetland. Remote Sensing of Environment 85: 92-108.
- TINER R (1999) Wetland Indicators. A Guide to Wetland Identification, Delineation, Classification and Mapping. Lewis Publishers. 392 pp.
- YUE T, J LIU, S JORGENSEN & Q YE (2003) Landscape change detection of the newly created wetland in Yellow River Delta. Ecological Modelling 164:21-31.