

Los Esteros del Iberá

Informe del Proyecto

“El Manejo Sustentable de los Recursos de Humedales en el Mercosur”

COMISIÓN EUROPEA. PROGRAMA INCO-DEV, PROYECTO ERB IC18-CT98-0262
PERÍODO DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO: 1998 - 2001

Editores:

Graciela Canziani
Claudio Rossi
Steven Loiselle
Rosana Ferrati

El material presentado en esta publicación y las designaciones geográficas empleadas, no implican opinión alguna de parte de la Fundación Vida Silvestre Argentina ni de la International Rivers Network, sobre el estatus legal de cualquier territorio o área, o en relación a la delimitación de sus fronteras.

Las interpretaciones y conclusiones expresadas en esta publicación son opinión de los autores y no representan necesariamente el punto de vista de la Fundación Vida Silvestre Argentina ni de la International Rivers Network.

LOS ESTEROS DEL IBERA

*Informe del Proyecto "El Manejo Sustentable de
los Recursos de Humedales en el Mercosur"*

Período de Ejecución del Proyecto: 1998-2001

Editores:

Graciela A. Canziani

Claudio Rossi

Steven Loiselle

Rosana Ferrati

Coordinación de compilación: Marcelo Acerbi, Programa Agua Dulce y Humedales,
Fundación Vida Silvestre Argentina

Foto de tapa y contratapa: Fabio Brogi, Graciela Canziani, Rosana Ferrati

Diseño de tapa y contrtapa: Florencia Castets, Pablo Martín.

Diagramación gráfica: Pablo Martín

Esta publicación puede citarse como: Canziani, G.; C. Rossi; S. Loiselle y R. Ferrati (Eds.).
2003. *Los Esteros del Iberá. Informe del Proyecto "El Manejo Sustentable de Humedales en el
Mercosur"*. Fundación Vida Silvestre Argentina, Buenos Aires, Argentina. 258 pp.

EL PROYECTO “EL MANEJO SUSTENTABLE DE LOS RECURSOS DE HUMEDALES EN EL MERCOSUR” FUE EJECUTADO POR GRUPOS DE INVESTIGADORES PERTENECIENTES A LAS UNIVERSIDADES SIGUIENTES:



Consorzio per lo Sviluppo dei Grande Interfase.



Università degli Studi di Siena, Italia



Universidad del Salvador, Argentina



Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Argentina



Universidad de Cádiz, España



Universidad Estadual de Campinas, Brasil



Universidad de Aveiro, Portugal



University of York, Reino Unido



Universidad Federal de Rio Grande do Sul, Brasil

ADEMÁS COLABORARON INVESTIGADORES DE:



Laboratorio Centrale di Idrobiologia, Ministero delle Politiche Agricole e Forestali, Italia



Universidad Nacional de Luján, Argentina



Università degli Studi di Roma Tre, Italia

ACUICOR

Acuicor, Provincia de Corrientes, Argentina



El proyecto ha sido financiado por la Comisión Europea (ERB IC18 - CT98 – 0262) y por las Universidades participantes.

Esta publicación cuenta con el auspicio de:



Fundación Vida Silvestre Argentina



International Rivers Network

*A Nuestra Señora de Itatí,
Patrona del Guairá*

| INDICE

PRÓLOGO	15
PREFACIO	17
ADVERTENCIA AL LECTOR	21
LISTADO DE PARTICIPANTES	23
PARTE I. INFORME INTEGRADO DE LAS ACTIVIDADES DEL PROYECTO	25
OBJETIVOS	27
EL SITIO DE ESTUDIOS	30
LAS ACTIVIDADES	31
LOS RESULTADOS	32
A. La adquisición de datos históricos y experimentales	32
<i>La adquisición de datos históricos</i>	32
<i>La investigación de campo en los Esteros del Iberá</i>	34
B. Modelado ecológico, hidrológico, socio-económico y ambiental	39
<i>Resumen de los modelos</i>	39
<i>Características y Uso de los Modelos</i>	39
C. Herramientas de análisis de sustentabilidad y programa de monitoreo	42
<i>Instrumentos de Modelado</i>	43
<i>Indicadores e Instrumentos de Monitoreo</i>	45
EL MANEJO SUSTENTABLE	48
Producción agrícola, en particular cultivo intensivo de arroz	49
Actividades de cría de ganado en los bordes y dentro del humedal.	50
Funcionamiento actual y construcciones futuras en la represa hidroeléctrica Yacyretá.	52
Actividades turísticas e impactos relativos sobre la población local, densidad y estilo de vida.	54
Cosecha de fauna silvestre: peces, carpinchos y yacarés	56
Cambios en la población local y en la planificación territorial	57
Comentario final	58
CONCLUSIÓN	59
INFORME DE ADMINISTRACIÓN	60
Organización de la colaboración	60
Encuentros Científicos	62

Publicación de los resultados	63
Problemas encontrados	63
LISTADO DE PUBLICACIONES	65
PARTE II. INFORMES DE TRABAJOS DE INVESTIGACION ESPECIFICOS	75
1. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y SENSORES REMOTOS. UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES	77
Resumen	77
Sistemas de Información Geográfica	77
<i>Actividades y Metodología</i>	77
<i>Modelo Digital de Elevación</i>	78
<i>Mapas dinámicos de vegetación e Índices de calidad de hábitat</i>	78
<i>Índice de rugosidad</i>	79
Resultados	80
Colaboraciones	80
2. CARACTERIZACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA E HIDROLÓGICA DEL SISTEMA IBERÁ. UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES	83
Objetivo	83
Descripción y caracterización del área	83
Caracterización a escala regional	84
Caracterización a escala local	88
Modelo de balance hídrico	93
Resultados	94
Conclusiones	98
Modelo hidrológico distribuido	98
Colaboraciones	100
Referencias	102
3. CALIDAD DE AGUA, MONITOREO Y DESARROLLO DE INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD. UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SIENA - CSGI	103
Resumen	103
Actividades	103
Resultados	104
<i>Adquisición experimental de datos y base de información</i>	104
<i>Modelado ecológico y económico</i>	106
<i>Análisis y monitoreo de la sustentabilidad</i>	109
<i>Análisis climatológico e hidroquímico</i>	112
<i>Análisis trófico</i>	114
Problemas encontrados	115
Conclusiones	115
4. LIMNOLOGÍA DE LAS LAGUNAS IBERÁ Y GALARZA, UNIVERSIDAD DE CÁDIZ	117
Objetivos	117
Metodología y Resultados	118
<i>Estrategia de muestreo</i>	118

<i>Hidrodinámica y características físico-químicas de las lagunas</i>	119
<i>Comunidad planctónica</i>	127
<i>Red trófica microbiana</i>	128
<i>Fitoplancton</i>	130
<i>Zooplancton</i>	132
<i>Variabilidad espacial</i>	136
<i>Variabilidad temporal</i>	139
Programa de seguimiento a largo plazo	140
Referencias	141
5. NUTRIENTES EN VEGETACION Y SEDIMENTOS DE LA LAGUNA IBERÁ. UNIVERSIDAD NACIONAL DE LUJÁN	143
Resumen	143
Introducción	143
Materiales y métodos	144
Resultados y discusión	144
<i>Biomasa aérea en los embalsados</i>	144
<i>Nutrientes en la vegetación de embalsados</i>	145
<i>Nutrientes en la vegetación acuática</i>	147
<i>Relación N:P (nitrógeno, fósforo)</i>	148
<i>Nutrientes en los sedimentos de embalsado</i>	149
<i>Sedimentos de la laguna</i>	150
<i>Balances aproximados de nitrógeno y fósforo</i>	151
Referencias	152
6. INVERTEBRADOS Y CALIDAD DE AGUA. UNIVERSIDAD NACIONAL DE LUJÁN	155
Resumen	155
¿Porqué este estudio?	155
Toma de muestras y métodos utilizados	156
Resultados	157
Conclusiones	160
7. ESTUDIOS DE FAUNA. UNIVERSIDAD DEL SALVADOR Y UNIVERSITÀ DEGLI STUDI ROMA TRE	161
Macrofauna	161
<i>Actividades y metodología</i>	161
<i>Estudio del Ciervo de los Pantanos (Blastoceros dichotomus)</i>	161
<i>Genética de la población de Ciervo de los Pantanos</i>	162
<i>Reconocimiento del Yacaré Negro (Caiman yacare)</i>	162
<i>Registro de datos de temperatura en hábitat y nidos del Yacaré</i>	163
Estudios Herpetológicos	163
<i>Uso de hábitat y patrones de actividad de las Anaconda Amarilla o Curiyú (Eunectes notaeus)</i>	163
Recursos ictiológicos del Humedal (AQUICOR)	164
Micromamíferos	165
Avifauna	165

8. LA ALIMENTACIÓN DEL BIGUÁ (<i>PHALACROCORAX OLIVACEUS</i>) EN LA LAGUNA IBERÁ.	167
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI ROMA TRE	
Introducción	167
Metodología	168
<i>Observaciones eco-etológicas</i>	168
<i>Alimentación</i>	168
Resultados	169
<i>Observaciones eco-etológicas</i>	169
<i>Alimentación</i>	170
<i>Manejo</i>	171
9. INVESTIGACIÓN ECOLÓGICA SOBRE EL LOBITO DE RÍO (<i>LONTRA LONGICAUDIS</i>) EN LA LAGUNA IBERÁ. UNIVERSITÀ DEGLI STUDI ROMA TRE	173
Objetivos	173
Materiales y Métodos	173
Resultados	174
<i>Distribución espacial</i>	174
<i>Alimentación</i>	174
Conclusiones	175
10. MODELO DE DINÁMICA POBLACIONAL DE CARPINCHOS (<i>HYDROCHAERIS HYDROCHAERIS</i>) INCLUYENDO COSECHA. UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES	177
Objetivos	177
Metodología	177
<i>Estructura de la población</i>	178
<i>Formulación del modelo</i>	179
<i>Ajuste de los parámetros</i>	180
<i>Caza o cosecha de carpinchos</i>	180
Resultados	180
Conclusión	182
Referencias	182
11. MODELO DE DINÁMICA POBLACIONAL DE YACARÉS (<i>CAIMAN CROCODILUS YACARE</i>) INCLUYENDO COSECHA. UNIVERSIDAD FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL	185
Objetivos	185
Actividades y Metodología	185
<i>El Modelo Matemático</i>	186
<i>Tasa de supervivencia y su dependencia con el nivel de agua</i>	187
<i>Recolección de huevos</i>	188
<i>Cosecha</i>	188
Resultados	189
Conclusión	192
<i>Colaboraciones</i>	194

12. MODELOS METAPOBLACIONALES Y CALIDAD DE HABITAT. UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES	195
Resumen	195
Los Modelos	195
<i>El Modelo Metapoblacional Analítico</i>	195
<i>El Modelo de Autómata Celular (MAC)</i>	197
<i>El Modelo de Autómata Celular Extendido con Vecindades (MACV)</i>	197
<i>El Modelo de Autómata Celular Extendido con Vecindades y Calidad de Hábitat (MACVH)</i>	199
<i>El Modelo de Autómata Celular con Hábitat Extraído desde Imágenes Satelitales</i>	201
Conclusiones	203
Referencias	205
13. IMPACTOS AMBIENTALES QUÍMICOS Y MONITOREO. UNIVERSIDAD DE AVEIRO	207
Resumen	207
Evaluación del impacto ambiental de las actividades antropogénicas actuales	208
<i>Actividades y Metodología</i>	208
<i>Resultados</i>	210
<i>Contenido de metales pesados en peces</i>	211
<i>Impacto de las actividades turísticas</i>	212
<i>Impacto de la producción arroceras</i>	213
Calidad del Aire	216
<i>Actividades y Metodología</i>	216
<i>Resultados</i>	218
<i>Parámetros relevantes y técnicas analíticas simples para medir los contaminantes en el aire</i>	219
Desarrollo de un Biosensor para mediciones a largo plazo de la calidad del agua	220
<i>Actividades y Metodología</i>	220
<i>Resultados</i>	221
Conclusiones	221
<i>Situación Actual</i>	221
<i>Programa de monitoreo futuro</i>	222
14. MODELOS DE DIFUSION DE CONTAMINANTES Y EPIDEMIAS. UNIVERSIDAD ESTADUAL DE CAMPINAS	225
Objetivos	225
Actividades	225
Resultados	226
<i>Modelos de difusión de epidemias</i>	226
<i>Modelos de difusión de contaminantes</i>	228
<i>Actividades conjuntas de intercambio</i>	230
Conclusiones	231
15. ANÁLISIS SOCIO-ECONÓMICO. UNIVERSITY OF YORK Y UNIVERSIDAD DEL SALVADOR	233
Introducción	233
Objetivos	233

Actividades y Metodología	234
<i>Funciones de Producción</i>	234
<i>Adquisición de datos</i>	234
<i>Variables de estados del humedal</i>	234
<i>Datos socioeconómicos</i>	236
Resultados	237
<i>Arroz</i>	237
<i>Forestación</i>	238
<i>Ganadería</i>	239
<i>Turismo</i>	239
<i>Valor de las externalidades del humedal</i>	240
<i>Problemas encontrados</i>	241
Conclusiones	242
16. ASPECTOS SOCIALES Y LEGISLATIVOS. UNIVERSIDAD DEL SALVADOR	245
Resumen	245
Objetivos	245
Indicadores de calidad de vida de la población del humedal	246
<i>Salud</i>	247
<i>Educación</i>	248
<i>Trabajo</i>	249
<i>Conclusiones</i>	249
Un Análisis de la Legislación Normativa y Legal en relación con la Administración de los Recursos del Humedal	250
<i>Conclusiones</i>	251
Recursos Naturales: Aspectos Legales	255
<i>Conclusiones</i>	257
Plan de Monitoreo y Actividades	257

| PROLOGO

El manejo sustentable es un concepto cada vez más aplicado y vigente en el campo de la conservación de humedales en diferentes partes del mundo. Por medio de éste se busca preservar los procesos ecológicos e hidrológicos que ocurren en estos delicados sistemas sujetos a fluctuaciones periódicas, a fin de mantener los beneficios que proveen para el desarrollo y bienestar de la comunidades actuales y futuras. El manejo se nutre de las acciones conscientes de un complejo universo de actores interesados en la gestión de los recursos. Para que sea efectivo, debe estar respaldado por una base científica que reduzca la incertidumbre asociada al conocimiento, uso y gestión de los recursos, y debe alcanzar a los educadores que forman a las nuevas generaciones.

La presente publicación es el resultado del proyecto "El Manejo Sustentable de los Recursos de Humedales en el Mercosur". El mismo ha sido ejecutado entre los años 1998 y 2001 por un conjunto de universidades argentinas y extranjeras, contando con respaldo de la Comisión Europea. Este libro incluye los resultados generales del proyecto así como los estudios de caso abordados durante su implementación. Gracias a la intensa y comprometida labor de sus editores, este documento contribuye al conocimiento de uno de los sistemas de humedales más importante de Argentina, los esteros del Iberá. El ambiente ibereño no sólo constituye una región natural de importancia a nivel nacional. Su conectividad ecogeográfica con otros humedales de Sudamérica hace que su conservación sea estratégica en el contexto territorial del Mercosur.

La Fundación Vida Silvestre Argentina se complace en apoyar la publicación de los presentes resultados, asumiendo que los mismos significan un gran aporte al manejo sustentable de los esteros del Iberá. Esperamos que el conocimiento científico generado fortalezca las acciones de planificación y ordenamiento para la conservación de esta singular ecorregión argentina y que el camino intelectual que ha trazado este equipo de científicos pueda ser aplicado en otros ambientes con características similares.

Lic. Javier Corcuera
Director General
Fundación Vida Silvestre Argentina

| PREFACIO

Entre los años 1997 y 2001, un grupo de investigadores de numerosas instituciones europeas y latinoamericanas hicieron converger sus intereses científicos en un humedal singular. Primero, a través de un pequeño proyecto de cooperación, y después, en un proyecto de investigación y desarrollo de gran envergadura, este grupo de investigadores se concentró, con su curiosidad y sus instrumentos, en el estudio de los Esteros del Iberá. Lo que reunió a esta cincuenta de profesionales venidos de distintos puntos del planeta a trabajar durante más de cuatro años, fue tanto la curiosidad científica como la pasión por un ecosistema único y un sitio fascinante.

Los Esteros del Iberá, en el Nordeste argentino, presentan un desafío particular a la comunidad científica internacional, uno que raramente puede encontrarse en Europa o en el Norte de América. El humedal es amplio, extendido sobre más de 13.000 Km², y sin embargo es increíblemente plano y heterogéneo en los ambientes que lo caracterizan. El ecosistema resultante es por lo tanto altamente sensible a los cambios ambientales, tanto a escala regional como a escala global. Este condicionamiento hace del estudio y el manejo de tal ecosistema una prioridad, tanto para la comunidad internacional como para los habitantes de la región, cuya historia y cultura están íntimamente entrelazadas con el misterio de este vasto humedal.

La Comisión Europea financió este proyecto (Programa INCO-DEV, Proyecto ERB IC18-CT98-0262), que reunió un grupo multidisciplinario de investigadores de diversas instituciones académicas con la meta de crear una serie de metodologías y de instrumentos novedosos para el estudio y el manejo de los recursos de humedales en países del Mercosur. Las investigaciones se caracterizaron por un alto grado de transversalidad disciplinaria y de intercambio entre los grupos. Las características ecológicas y socioeconómicas de la región del Mercosur llevaron a los investigadores a innovar y desarrollar nuevos enfoques en el análisis, modelado y manejo de ecosistemas.

Los investigadores del proyecto trabajaron desde distintas disciplinas con un objetivo común y en estrecha colaboración, cosa que permitió inesperados beneficios. Además, todos los integrantes se beneficiaron con la espontánea colaboración y el apoyo de actores locales, en particular desde la Fundación Iberá. A través de la generosidad de la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) y la disponibilidad de datos de sensores remotos del satélite argentino SAC-C, surgió la oportunidad de examinar la distribución espacial y temporal de variables clave del ecosistema. Los datos meteorológicos e hidrológicos aportados por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación, así como los recibidos de particulares, fueron cruciales para comprender la dinámica hídrica del sistema que rige todos los procesos ecológicos.

Dada la heterogeneidad de los Esteros del Iberá, el modelado matemático demostró ser un elemento destacado en el éxito del proyecto, así como las herramientas de análisis basadas en sensores remotos para el examen de variables socioeconómicas, hidrológicas y ecológicas. La combinación de enfoques fue esencial para comprender las relaciones entre los ambientes naturales y los construidos por el hombre, y examinar la estabilidad del ecosistema y los impactos de las actividades humanas. En particular, la comprensión de la respuesta del ecosistema a los cambios hidrológicos generados a escala regional es de fundamental importancia para una gestión sustentable de los recursos. Por ello, el desarrollo de modelos hidrológicos ha sido una actividad clave y demostró ser fundamental para el proyecto.

La información recogida y la metodología desarrollada han sido puestas a disposición de los tomadores de decisión locales y de la audiencia internacional. Los investigadores del proyecto continúan trabajando con autoridades regionales y ONGs en un análisis a largo plazo de los impactos de las actividades locales en los Esteros del Iberá.

Es nuestra esperanza que el conocimiento ganado a través de este proyecto permita tanto a los actores locales como a la comunidad científica internacional una mejor comprensión de los Esteros del Iberá así como de los otros humedales de América Latina, y permita promover el manejo sustentable de estos extraordinarios ecosistemas para beneficio de las generaciones futuras.

Por eso agradecemos profundamente la iniciativa y el esfuerzo brindados por Fundación Vida Silvestre Argentina para hacer realidad esta publicación. Este libro pone a disposición del público en general muchos de los resultados obtenidos en este proyecto internacional. Una mayor cantidad de información científica estará a disposición en un futuro próximo en revistas científicas de circulación internacional, sumándose a la larga lista de artículos científicos ya publicados.

Es el deseo de los investigadores que participamos en este proyecto y tuvimos el privilegio de recorrer el Iberá, maravillarnos con el esplendor de la Naturaleza, compartir con sus habitantes preocupaciones, trabajo y descubrimientos, vivir con nuestras mentes inmersas en este ecosistema único aunque nos encontrásemos a miles de kilómetros de distancia, que todas las personas que lean los resultados de nuestro trabajo logren comprender la importancia de conservarlo.

Las amenazas son muchas y variadas en su magnitud, pero ninguna puede ser tomada a la ligera.

Los investigadores nos hemos esforzado en reunir las piezas sueltas de un rompecabezas y completar entre todos un cuadro que permita una mejor visión de la realidad de los esteros. Sin embargo aún no tenemos el cuadro completo. Todavía faltan agregar piezas, falta conocer muchos otros aspectos, realizar muchas más investigaciones. Esto es apenas un comienzo en la aventura del conocimiento.

Es importante que la conciencia del valor de este ecosistema vaya creciendo en los habitantes de la región.

Sería terrible que malas decisiones hicieran que esas amenazas latentes se transformaran en pérdidas concretas e irreparables, haciendo perder para siempre algunas, no importa si pocas o muchas, pero sí valiosísimas piezas de este incomparable patrimonio de los correntinos y de todos los argentinos. Sería imperdonable.

Prof. Dr. Claudio Rossi

Siena, Enero de 2003.

| ADVERTENCIA AL LECTOR

Este libro contiene el Informe Final presentado a la Comisión Europea luego de concluido el proyecto INCO DC “*The Sustainable Management of Wetland Resources in Mercosur*” (*El Manejo Sustentable de los Recursos de Humedales en el Mercosur*) y cuyo sitio de estudios fue la región de los Esteros del Iberá, en la Provincia de Corrientes, Argentina. Dicho Informe ha sido ya evaluado y aprobado por la Comisión Europea.

La decisión de traducir el informe surgió naturalmente, como respuesta a los múltiples pedidos de difundir los resultados de las investigaciones en idioma castellano, fundamentalmente por parte de aquellos que son los destinatarios de este trabajo: los tomadores de decisión, ya sea gubernamentales o particulares, administradores de recursos, educadores y público en general. Es Fundación Vida Silvestre Argentina quien toma esta idea y ofrece generosamente hacerse cargo de la publicación, con el apoyo financiero de International Rivers Network.

Al abordar la tarea de traducción se hizo evidente que el formato requerido por la Comisión Europea (un informe integrado e informes individuales de cada uno de los grupos de investigación del proyecto sobre tareas específicas desarrolladas y resultados obtenidos) era totalmente inadecuado. Un lector, en desconocimiento de la estructura del proyecto y las colaboraciones cruzadas que se realizaron, tendría dificultades en encontrar el hilo conductor que le permitiera ubicar la información de su interés.

Por este motivo, se reestructuró el texto de los informes particulares en función de una organización jerárquica por temas. En algunos casos, teniendo conocimiento de que posteriores análisis de los datos recogidos permitían obtener resultados adicionales, se les solicitó a los autores ampliar los textos.

Esta publicación es apenas un resumen de los trabajos realizados y los resultados obtenidos. Las publicaciones científicas preparadas a partir de los conocimientos adquiridos y la elaboración sinérgica de nuevos enfoques y metodologías, abordan con más detalle los resultados logrados. Las referencias de dichas publicaciones se incluyen en una lista no exhaus-

tiva, al final del Informe Integrado de manera que el lector interesado pueda abordarlas directamente. Una mayor cantidad de información y datos están disponibles en los sitios web del proyecto: <http://www.unisi.it/wetlands> y <http://www.exa.unicen.edu.ar/~wetland> que irán creciendo con la incorporación de nuevos aportes.

Los Editores agradecen la colaboración prestada por las traductoras Helena Vayo, Beatriz Gómez Freijó y Silvina Martini, así como a aquellos grupos de investigación que tradujeron sus respectivos textos, Universidad Estadual de Campinas, Universidad de Cádiz, Università degli Studi di Roma-Tre, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires y Universidad Nacional de Luján.

Los Editores
Enero de 2003.

LISTADO DE GRUPOS DE INVESTIGACIÓN PARTICIPANTES en el Proyecto INCO DC

The Sustainable Management of Wetland Resources in Mercosur

<p>Coordinador del Proyecto: Consorsio per lo Sviluppo dei Grande Interfase. Departamento de Ciencias y Tecnología Químicas y de Biosistemas. Università di Siena. Via Aldo Moro 53100, Siena, Italia.</p>	<p>CSGI - UNISI</p>	<p>Prof. Claudio Rossi rossi@unisi.it Tel. +39-0577-234355 Fax +39-0577-234177</p>
<p>Vicerectorado de Investigación. Universidad del Salvador. Rodriguez Peña 770 - 2ºPiso. 1020 Buenos Aires, Argentina.</p>	<p>USVID</p>	<p>Dra. Genoveva de Mahieu uds-inve@salvador.edu.ar Tel .+54-11-48130631 Fax +54-11-48131381</p>
<p>Grupo de Ecología Matemática. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Campus Paraje Arroyo Seco. (7000) Tandil, Argentina.</p>	<p>UNICEN</p>	<p>Prof. Graciela Canziani canziani@exa.unicen.edu.ar Tel. +54-2293-447104 Fax +54-2293-444431</p>
<p>Departamento de Biología Vegetal, Animal y Ecología. Área de Ecología. Universidad de Cádiz Puerto Real 11510 Cadiz, España.</p>	<p>UCADIZ</p>	<p>Prof. José Angel Gálvez joseangel.galvez@uca.es Tel: +34 956 016027 Fax: +34 956 016019</p>
<p>Departamento de Ambiente e Ordenamento. Universidad de Aveiro. 3810-193 AVEIRO. Portugal.</p>	<p>UAVR</p>	<p>Prof. Carlos Borrego borrego@ua.pt Tel: +351-34-370617 Fax:+351-34-428600</p>

IMECC. Universidad de Campinas. Cx. P. 6065 13083-970. Campinas, S.P., Brasil.	UNICAMP	Prof. João Frederico C. A. Meyer joni@ime.unicamp.br Tel. +55-19-7885986 Fax +55-19-2895808
Environment Department. University of York. YO10 5DD York. Reino Unido.	UYORK	Prof. Charles Perrings cap8@york.ac.uk Tel: +44 1904 432 997 Fax: +44 1904 432 998
Postgraduação em Matemática Aplicada. Universidade Federal Do Rio Grande do Sul. Bento Goncalves 9500. 91509 - 900 Porto Alegre, Brasil.	UFRGS	Prof. Jacques Silva jaqx@mat.ufrgs.br Tel: +55 51 316 6184 Fax: +55 51 319 1512

INSTITUCIONES DEPENDIENTES

Laboratorio Centrale di Idrobiologia. Ministero delle Politiche Agricole e Forestali. Via del Caravaggio, 107. 00147 Roma, Italia.	LabRoma	Dr. Vincent Hull hull@wwwinea.it Tel: +39-06-51600178 Fax: +39-06-5140296
Programa de Ecología Acuática. Departamento de Ciencias Básicas. Universidad Nacional de Luján B6700ZAB, Luján, Argentina.	UNLU	Prof. Fernando Momo ecología@mail.unlu.edu.ar Tel: +54-2323-423171 Int. 219
Dipartimento di Biologia. Università degli Studi "Roma Tre". Viale G. Marconi 446. 00146 Roma, Italia.	RomaTre	Prof. Giuseppe Carpanetto carpanet@uniroma3.it
ACUICOR. 3400 - Corrientes, Argentina.	ACUICOR	Ing. Walter Jacobo

PARTE I

INFORME INTEGRADO DE LAS ACTIVIDADES DEL PROYECTO

**El manejo sustentable de recursos de los humedales
en el Mercosur**

Informe presentado a la Comisión Europea

| OBJETIVOS

El proyecto INCO-DEV (ERB IC18 - CT98-0262) titulado “*El manejo sustentable de recursos de los humedales en el Mercosur*” se inició en Octubre de 1998 y culminó en Diciembre del 2001. El proyecto reunió un grupo multidisciplinario de instituciones de investigación con el objetivo de crear una serie de herramientas y metodologías para el manejo de recursos de los humedales en los países del Mercosur.

La investigación realizada se caracterizó por un alto grado de intercambio interdisciplinario entre los equipos de investigadores de distintas nacionalidades. Se encontró que los resultados obtenidos tienen un impacto significativo en el contexto regional y, en la actualidad, están siendo utilizados por los actores locales. El desarrollo continuo de los instrumentos del proyecto y su uso a escala regional están encaminados hacia una serie de proyectos menores llevados a cabo por instituciones en el ámbito local y nacional.

Las características ecológicas y socioeconómicas específicas del área del Mercosur llevaron a los investigadores a innovar y desarrollar nuevos enfoques en el manejo del ecosistema. Esto fue incentivado por una estrecha colaboración entre investigadores de las diferentes instituciones participantes y por la creación de una red complementaria de instituciones.

Los objetivos del proyecto fueron los siguientes:

- i.** Desarrollar un sistema de información geográfico como base para el estudio del funcionamiento del ecosistema y calidad de los recursos del humedal,
- ii.** Construir un conjunto de modelos y desarrollar indicadores socio-económicos, químicos, físicos y ecológicos para examinar posibles consecuencias de un crecimiento de la demanda y de la presión sobre los recursos naturales en el área,
- iii.** Elaborar un paquete de software de manejo para el uso sustentable de los recursos naturales en los humedales,
- iv.** Diseñar un programa de monitoreo de la calidad del recurso.

Mediante una estrecha colaboración entre los miembros del proyecto se alimentó un sistema de información geográfico y éste fue utilizado por todos los grupos para analizar los aspectos socioeconómico, ambiental, hidrológico, ecológico y de modelado del proyecto. La definición geográfica de estos parámetros correspondientes a extensas y heterogéneas áreas que caracteri-

zan los humedales del Mercosur es fundamental para la comprensión de las relaciones entre los ecosistemas naturales y los humanos.

El humedal elegido como lugar de estudio en el presente proyecto, los Esteros del Iberá en la Provincia de Corrientes (Noreste argentino), muestra una alta heterogeneidad espacial, a menudo influenciada por los cambios en el uso de la tierra y en la hidrología. En general, la relación entre las actividades de utilización de los recursos en las áreas del entorno del humedal resultaron tener un impacto indirecto (pero importante) en el mismo.

Se utilizaron herramientas de modelado ecológico y socioeconómico para examinar la estabilidad del ecosistema y el impacto del manejo de los recursos. El modelado hidrológico demostró ser fundamental para entender la dinámica del ecosistema y los impactos importantes de una instalación hidroeléctrica cercana (Yacyretá).

Se crearon indicadores socioeconómicos y de calidad de los recursos para analizar las condiciones socioeconómicas y de calidad de agua actuales, proveyendo información para el análisis a largo plazo de la relación entre los usos de los recursos del humedal y la población local. Las publicaciones resultantes son muestra del intercambio entre los grupos. Mucho del trabajo de modelado aparecerá en una edición especial de la revista científica *Ecological Modeling* (Elsevier Science) que será dedicado a los resultados logrados en este proyecto INCO-DEV.

La información y la metodología desarrolladas en el proyecto debían ser accesibles tanto a los responsables de tomar las decisiones en el ámbito local así como a la comunidad científica internacional. Por esta razón, actores locales, provinciales, nacionales y regionales estuvieron involucradas en el desarrollo del proyecto y en las actividades de difusión a partir del primer encuentro científico. La creación de un sitio web sobre manejo de humedales (www.unisi.it/wetland) y de un CD interactivo facilitó las interacciones en el ámbito internacional. Los resultados del proyecto se han integrado al programa de manejo que está siendo desarrollado por las asociaciones de productores locales y los investigadores locales del proyecto (USVIDY Fundación Iberá).

Parte del área de estudio, los Esteros del Iberá, fue recientemente designada como sitio Ramsar, haciendo que el trabajo realizado en este proyecto sea de particular importancia como línea de referencia para el programa de conservación del humedal. Los investigadores del proyecto están comprometidos con las autoridades locales y regionales en el análisis a largo plazo de los impactos que las actividades locales tienen en la hidrología y la calidad de los recursos del ecosistema bajo estudio.

Se consideró fundamental la realización de un programa de monitoreo a largo plazo del humedal y de sus recursos para crear una propuesta de manejo sustentable. Las estaciones automáticas *in situ*, los conocimientos manejados por lugareños y el monitoreo por satélite presentan la posibilidad de integrar una nueva tecnología en las áreas de análisis claves. Se instalaron estaciones hidrológicas y meteorológicas automatizadas con el objetivo de registrar la información necesaria en el futuro para monitorear las principales variables climáticas e hidrológicas dentro del humedal. Se creó un programa de monitoreo local de los indicadores químicos y biológicos de la calidad del agua y del hábitat en colaboración con los guardafauna de la Reserva de Iberá, quienes lo ejecutan.

A través de la colaboración con la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE), investigadores del proyecto desarrollaron instrumentos de monitoreo satelital para examinar las

modificaciones estacionales y a largo plazo en la calidad del agua, en la calidad del uso de la tierra, en el hábitat y la hidrología del humedal. La colaboración puede encontrarse en las páginas web de la CONAE <http://www.conae.gov.ar/sac-c/sustainable/sld001.htm> así como en el sitio web de manejo de humedales creado para el proyecto <http://www.unisi.it/wetlands> y una página en idioma español en el sitio web <http://www.exa.unicen.edu.ar/~wetland>.

Los resultados y los instrumentos del proyecto fueron bien difundidos en la región a través de una serie de foros y reuniones públicas, así como a través de una significativa cobertura de las actividades de investigación en los medios de comunicación locales y nacionales. Esto se inició durante la primera reunión científica con discusiones públicas en varias comunidades y con entrevistas en la radio, la televisión y los periódicos locales. La atención se mantuvo hasta la última serie de conferencias de prensa con orientación científica en Buenos Aires, en Corrientes capital y nuevamente en las comunidades locales. Otros cuerpos regionales (Paraguay) y personalidades científicas (Brasil, Uruguay) han participado en los encuentros científicos, favoreciendo la difusión del proyecto en estos otros países del Mercosur.

| EL SITIO DE LOS ESTUDIOS

El macrosistema de humedal de los Esteros del Iberá cubre una parte importante (14%) de la provincia de Corrientes en la mesopotamia argentina. El macrosistema consiste de un vasto mosaico de llanuras arenosas, lomadas bajas, y un complejo intrincado de bañados, esteros, embalsados y lagunas. La interfase entre los sectores permanente o estacionalmente inundados en los ecosistemas de humedales, sostiene una comunidad de vida silvestre diversificada típica de la sabana neotropical: carpincho o capybara (*Hydrochaeris hydrochaeris*), ciervo de los pantanos (*Blastocerus dichotomus*), lobito de río (*Lutra longicaudis*), anaconda amarilla (*Eunectes murinus*), yacarés (*Caiman crocodilus yacare* and *C.c. latirostis*), y pirañas (*Serrasalmus* spp.).

Históricamente este humedal ha sufrido poca presión antrópica debido a su casi completo aislamiento y sus amplias dimensiones. Las actividades se limitaban a entrapar y cazar, principalmente carpinchos y ciervo de los pantanos por su carne, mientras que yacarés, anacondas amarillas y lobitos de río eran capturadas por sus pieles. Los habitantes del área eran principalmente cazadores que utilizaban métodos primitivos o de baja tecnología y se quedaban en las lagunas y pantanos durante varias semanas.

Desde 1939, se intentaron propuestas para establecer un Parque Nacional en la región que se vieron frustradas debido a razones políticas. En 1983 el Gobierno de Corrientes creó una Reserva Provincial cubriendo toda el área, la “Reserva Natural de las Lagunas y Esteros del Iberá”. Sin embargo el control real sobre esta inmensa área fue limitado por restricciones financieras y organizativas, y la caza furtiva continuó en gran parte de la región.

Desde los comienzos de 1990, varias áreas han sido eficazmente protegidas dentro de la totalidad de la reserva. Estas áreas son las áreas de estudio escogidas para el presente proyecto. La caza furtiva ha sido eliminada en estas localidades y los antiguos cazadores, generalmente cabezas de familias numerosas, se convirtieron en guardafaunas de la vida silvestre, proporcionando información histórica y cualitativa valiosa a los investigadores del proyecto y colaborando estrechamente en las actividades del mismo.

| LAS ACTIVIDADES

El proyecto se realizó a lo largo de un período de 38 meses, incluyendo tres reuniones / talleres en las que participaron todos los equipos de investigación involucrados en el mismo. Los encuentros fueron organizados de la siguiente manera: dos días de intercambio, interpretación y discusión de datos, dos días de actividades de investigación y programación en colaboración y dos días de reuniones con los organismos locales, provinciales, nacionales y regionales. Las actividades de difusión se iniciaron desde el comienzo del primer taller y continuaron a lo largo del proyecto hasta las reuniones públicas finales, con la conclusión del mismo.

La estructura básica de las actividades puede describirse de la forma siguiente: definición del problema y consulta con las agencias y pobladores locales, recolección de datos y estudio ecológico y socio-económico, desarrollo de modelos, desarrollo de indicadores, desarrollo de instrumentos de manejo, desarrollo de instrumentos de monitoreo, y talleres/reuniones de difusión.

Todos los colaboradores participaron activamente en las tareas pautadas para alcanzar las metas del proyecto. Las responsabilidades de cada equipo de investigadores fueron complementarias, siendo:

- Las actividades experimentales coordinadas por la Universidad de Siena (UNISI), junto con la Universidad de Cádiz (UCADIZ) y la Universidad del Salvador (USVID),
- Las actividades de modelado coordinadas por la Universidad Nacional del Centro (UNICEN), junto con la Universidad de Campinas (UNICAMP), y la Universidad Federal Do Río Grande Do Sul (UFRGS), y
- El desarrollo de instrumentos realizado por la Universidad de Aveiro (UAVR), la Universidad de Siena (UNISI) y la Universidad de York (UYORK).

La coordinación global del proyecto fue realizada por UNISI. Participaron intensamente en trabajos específicos el Laboratorio Centrale de Idrobiologia, Ministero delle Politiche Agricole e Forestali, (LabRoma - estaciones de monitoreo), la Università degli Studi Roma Tre (RomaTre - fauna) y la Universidad Nacional de Luján (UNLU- macrófitas y sedimentos).

LOS RESULTADOS

Como fué descripto en la propuesta, las actividades del proyecto y los resultados pueden fragmentarse en tres “*workpackages*” o bloques de tareas principales.

- A. Adquisición de datos históricos y experimentales;
- B. Modelado económico ecológico, hidrológico, socioeconómico y medioambiental;
- C. Herramientas de análisis de sustentabilidad y programa de monitoreo.

En las siguientes páginas, se presenta una breve descripción de cada bloque de tareas y los resultados correspondientes.

A. ADQUISICIÓN DE DATOS HISTÓRICOS Y EXPERIMENTALES.

La adquisición de datos históricos

El primer bloque de tareas se inició con una serie de reuniones *in situ*, primero entre colaboradores y luego entre los equipos de investigación y los actores locales y provinciales. El lugar en estudio, los Esteros del Iberá, es un extenso (13,900 km²) y heterogéneo ecosistema de humedal en el que las actividades económicas como la ganadería, el cultivo de arroz, la forestación y el ecoturismo comparten los mismos recursos.

Estos primeros encuentros de trabajo *in situ* estuvieron orientados a examinar el panorama de posible desarrollo futuro en el área del humedal, tal como es percibido por actores a diferentes niveles (público en general, productores, gobierno local y provincial). Los resultados ayudaron a identificar los cambios percibidos, presentes y futuros, en el uso de los recursos del humedal, el uso de la tierra en el área circundante y los cambios en la calidad del ecosistema. Los actores locales que interactuaron con los investigadores durante el desarrollo de las actividades del proyecto incluyeron la ONG local (Fundación Iberá), EEA INTA Mercedes (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria), Instituto Correntino del Agua (Gobierno de la Provincia de Corrientes), Sociedad Rural de Ituzaingó, Fundación Vida Silvestre Argentina (asociada al WWF) y Asociación de Productores de la Cuenca del Batel-Batelito. Además, se celebraron reuniones públicas con la población local de Colonia Pellegrini y de Gobernador Virasoro en las que participaron funcionarios del gobierno provincial de Corrientes así como

autoridades locales del Paraguay (Secretaría de Medio Ambiente del Departamento Central).

La participación de los propietarios, los responsables de actividades económicas y los líderes locales, así como de los guardafauna, fue un elemento importante en la creación de una situación donde pudiera orientarse o realizarse la recolección de datos. La región del Iberá, que fue elegida para el lugar de estudio, como la mayoría de los humedales en el Mercosur, tiene una base de datos muy limitada sobre las características socioeconómicas, ambientales, ecológicas y de uso de sus recursos. Datos fundamentales sobre variaciones de los niveles de agua y batimetrías, presencia turística, cambios en el uso de la tierra y calidad de agua son ya sea inexistentes o sumamente limitados (pobre cobertura espacial y temporal).

Se hizo un esfuerzo significativo para recopilar información de fuentes disponibles en Argentina, así como internacionalmente, para formar una base de datos sobre la cual construir los modelos e instrumentos desarrollados en el proyecto. La firme colaboración entre colegas favoreció un intercambio de información sobre ecosistemas similares en Brasil, Paraguay, Europa y África. Esta información demostró ser valiosa en la construcción de los modelos ecológicos. La información de la topografía emergente se obtuvo de cartas del Instituto Geográfico Militar (IGM) en Buenos Aires. Esta información fue fundamental en la construcción del GIS así como para el análisis de datos satelitales relacionados con el agua y el hábitat.

Datos meteorológicos regionales históricos se obtuvieron a través de la colaboración de institutos locales y nacionales. No existen series de datos meteorológicos completas del interior del humedal, dado que las series de datos locales mostraron brechas. Un gran volumen de datos hidrológicos fue obtenido a través de la Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente Humano (SERNAH), Subsecretaría de Recursos Hídricos. Se obtuvo también valiosa información del Instituto Nacional del Agua (INA, ex. INCYTH) a través de su Centro Regional Litoral. Información complementaria adicional fue proporcionada por el Instituto Correntino del Agua, particularmente permitiendo el libre acceso a los muchos volúmenes y mapas de su publicación “*Estudio del Macrosistema Iberá*” (1981).

Expertos regionales también contribuyeron a la investigación, en particular con observaciones que permitieron completar información relativa al análisis ecológico y al modelado. Éstos incluyen a Patricio Micucci para el trabajo sobre el yacaré, el Prof. Dr. Rubén Quintana, de la Universidad de Buenos Aires, para el modelado del carpincho, y el Prof. Dr. Juan José Neiff, del CECOAL, para las observaciones ecológicas. Se usó información de la Oficina de Estadística y Censo de la provincia de Corrientes para el desarrollo de indicadores de economía ambiental y de calidad de vida.

Actores de la región (productores, profesionales, representantes provinciales y los guardafauna) también fueron fundamentales en la localización de importantes datos químicos, físicos, ecológicos y económicos. El Sr. Marcos García Rams, administrador de la estancia San Juan Poriahu, facilitó los registros meteorológicos tomados en esta región. El Lic. Adolfo Fulquet, geólogo y consultor de la Sociedad Rural de Ituzaingó, ofreció datos inéditos muy valiosos que resultaron ser esenciales para entender la hidrología del humedal y su relación con la dinámica del Río Paraná. La Sra. Jacinta Segovia, de Colonia Pellegrini, proveyó las series históricas completas de los niveles de agua de la laguna Iberá, que fue información clave para los análisis hidrológicos realizados. Los integrantes de la Fundación Iberá ayudaron en actividades de recolección de datos y facilitaron los estudios de campo. Otras importantes fuentes de información local (económica, administración de recursos, ecológica) fueron el Sr. Vicente Fraga (Reserva

Natural Provincial del Iberá), la Sra. María Paz Galmarini y el Sr. Jorge Goyenechea (Posada “Aguapé”), el Sr. Pedro Perea Muñoz (Fundación Iberá), la familia Sánchez (Mercedes) y la familia Noailles (Posada Ypa Sapukai y Hostería Ñande-Retà, de Colonia Pellegrini), y la Asociación de Productores de la Cuenca del Batel-Batelito (propietarios en la cuenca al Oeste del Iberá). Estas personas tuvieron activa participación, brindando su apoyo en las actividades de recolección de datos para el proyecto. Debe destacarse el apoyo fundamental de los guarda-fauna locales en la recolección de datos, así como su continua participación en las actividades de monitoreo.

Las asociaciones ambientales que participaron u organizaron reuniones relacionadas a los Esteros del Iberá e invitaron a investigadores de este proyecto incluyen la Fundación Vida Silvestre Argentina (Argentina) y la Fundación ECOS (Uruguay).

La investigación de campo en los Esteros del Iberá

Las actividades de recolección de datos del primer bloque de tareas fueron diseñadas para obtener información sobre las interrelaciones entre las variables ambientales, ecológicas, las actividades económicas y los escenarios futuros percibidos en el humedal en estudio.

Debido a la falta de datos de referencia consistentes para analizar la situación ambiental y ecológica (biológica, físico-química, morfológica, climática e hidrológica) presente, se realizó una importante investigación de campo para obtener los datos sobre los cuales construir modelos e instrumentos. Dentro del macrosistema del humedal, se eligieron dos lagunas poco profundas y sus esteros circundantes para el estudio intensivo y la recolección de datos ambientales, ecológicos, sociales y económicos. La elección de estas dos áreas estuvo basada en sus diferentes niveles de actividad económica, en la presencia de guarda-fauna locales, en la disponibilidad de información histórica limitada y en su accesibilidad. Las dos áreas de estudio, Laguna Iberá y Laguna Galarza están ambas bordeadas por inmensas áreas de esteros casi permanentemente inundadas y ambas tienen una pequeña población en su margen (400 y 50 personas, respectivamente).

	Laguna Iberá	Laguna Galarza
Latitud	28.5°S	28.1°S
Altitud (m.s.n.m.)	61.0	66.5
Area (km ²)	52.1	14.6
Longitud promedio (m)	13300	6200
Ancho promedio (m)	2883	2369
Perímetro (km)	45.5	17.1
Profundidad promedio (m)	3.2	2.3

Tabla 1. Ubicación y características físicas de la Laguna Iberá y la Laguna Galarza

El contorno de cada laguna consiste en una progresión de vegetación emergente y sumergida que concluye en islas de vegetación flotante compacta y de gran tamaño. Estos límites flotantes (embalsados) forman un borde continuo entre la laguna y el estero circundante. Estas formaciones están conformadas por un espeso sustrato orgánico de entre 0.8 y 1.5 m de profundidad, que atraviesan por una evolución continua de fragmentación y regeneración para permanecer relativamente constantes en la forma. El ancho de estas áreas de borde puede variar

pero la mayoría es de entre 300 m a 1.5 km. El agua pasa por debajo de este borde de vegetación, permitiendo una conexión hidráulica entre el estero y las lagunas. En estos ecosistemas habita fauna de gran tamaño, que migra durante los períodos de bajante, es decir, cuando las áreas del estero tienen niveles más bajos de agua. Especies de la fauna que habita estos ecosistemas están amenazada de extinción y tienen gran valor atractivo para las crecientes actividades de ecoturismo o turismo aventura.

Los integrantes del proyecto de investigación realizaron un estudio intensivo de dieciocho meses sobre las características físicas, químicas, biológicas y ecológicas del humedal del Iberá en estas dos áreas de estudio. Se instalaron estaciones hidrológicas y meteorológicas automatizadas (LabRoma, dependiente de UNISI) y se mantuvieron (USVID) durante la duración del proyecto. (UCADIZ) realizó un detallado análisis de la comunidad planctónica de las dos lagunas, contemporáneamente con estudios de vegetación y sedimentos llevados a cabo por la UNLU (dependiente de UNICEN), con estudios de ictiofauna (USVID), con estudios ecológicos de fauna USVID y RomaTre, (dependiente de UNISI) y estudios de calidad de agua por UNISI y UAVR. Un análisis de parámetros regionales y locales relacionados a la calidad de vida, salud y servicios fue hecho por USVID y un estudio de economía ambiental fue realizado por UYORK en colaboración con USVID. Estos estudios fueron llevados a cabo con el apoyo de los guardafauna locales, autoridades provinciales y nacionales e integrantes del sector económico local.

En cada una de estas lagunas, se instaló y se mantuvo una estación hidrológica automatizada durante el transcurso del proyecto. Adicionalmente, se instalaron estaciones hidrométricas en estas dos lagunas, como también en Laguna Itatí y en los esteros que aportan a la Laguna Iberá, otros dos puntos del sector sur del humedal. Así mismo, se instalaron estaciones meteorológicas en localidades vecinas a las lagunas en estudio y en la localidad de Concepción, ubicada en el borde occidental del humedal. Estas estaciones fueron instaladas por LabRoma (dependiente de UNISI) en colaboración con USVID, quienes se hicieron responsables del manejo de éstas durante y después del proyecto.

Los datos de las estaciones hidrológicas, meteorológicas e hidrométricas fueron usados en el desarrollo de modelos basados en hidrología, ecología y energía. También se usaron para el análisis de la dinámica estacional del humedal. Los datos recogidos mostraron una variación espacial significativa en las condiciones meteorológicas y de calidad de agua, mientras los datos hidrométricos mostraron un comportamiento similar entre ambos sitios. Los estudios batimétricos (LabRoma) de varias áreas de lagunas del humedal fueron también importantes para los estudios hidrológicos y el trabajo de modelización, ya que existía escasa información anterior sobre la batimetría del humedal.

El equipo de investigación estudió los siguientes aspectos del ecosistema acuático: la dinámica estacional de las características químicas, físicas y biológicas de columna de agua y del sedimento, la composición del fitoplancton y la biomasa, el zooplancton, la red trófica microbiana, la estructura, funcionalidad y control de la comunidad planctónica, y la variación espacial y temporal del estado trófico de la laguna.

La investigación sobre las características tróficas de los dos cuerpos de agua en estudio demuestra una relación entre el estado trófico de la laguna y los flujos de energía y de material característicos de los subsistemas estudiados dentro del macrosistema Iberá. La laguna que se caracteriza por un nivel más alto de actividad económica y de densidad de población en sus márgenes

nes (L. Ibera) mostró signos de eutrofización, aunque su cuenca sur mostró un menor promedio de concentración de clorofila, además de una más marcada variabilidad estacional. La otra laguna en estudio (L. Galarza), con bajas actividades económicas en su entorno y una muy baja población resultó mostrar un estado mesotrófico. Analizando la distribución espacial de las propiedades biológicas y químicas de las dos lagunas, pareciera que la eutrofia de la L. Iberá está correlacionada con la materia particulada que fluye dentro del sistema, ya que concuerda con la evolución de las concentraciones de clorofila del agua.

Las principales fuentes de nutrientes en L. Iberá durante la última década parecen estar ligadas al cultivo de arroz que aumentó en un 312% desde 1990 hasta 1999 en la provincia en general. En colaboración con RomaTre, también se encontró una relación entre las áreas de dormitorios de varias aves acuáticas piscívoras (fundamentalmente biguá) y áreas de altas concentraciones de amonio. Un análisis en profundidad de las concentraciones de clorofila en la columna de agua y sobre el sedimento mostraron que el desarrollo del fitoplancton reduce fuertemente la penetración de luz en la columna de agua, creando una relación inversa entre el fitoplancton y la biomasa del fitobentos. De la relación entre la clorofila en sedimento y un coeficiente para la luminosidad en agua (sombreado), fue posible obtener un límite superior de la actividad autótrofa sobre el sedimento por limitación de la luz. Otro importante factor de control de la dinámica del plancton resultó ser la presencia de parches de vegetación acuática. Las áreas de vegetación de L. Iberá mostraron tener una mayor transparencia y menor concentración de clorofila, según resulta de los aportes de modelado conjunto realizados por UNISI y UCADIZ.

Los dos cuerpos de agua en estudio mostraron una heterogeneidad espacial significativa que fue mayormente influenciada por la calidad de las aguas de movimiento lento, que entran a las lagunas desde los esteros circundantes y por debajo de los embalsados, y de las variables climáticas locales (en particular, velocidad y dirección del viento). Un análisis multivariado de cluster por el método *k-mean* de las series temporales permitió la clasificación de las lagunas en zonas de similar evolución temporal, lo que brindó una visión sinóptica de los resultados.

La distribución estacional y espacial de la calidad de agua fue hecha con el trabajo conjunto de UCADIZ, UNISI y UAVR. En estas actividades, la heterogeneidad espacial del humedal se vio fuertemente evidenciada. Las propiedades ópticas de la columna de agua (atenuación vertical, transparencia, turbidez, concentraciones de sustancias húmicas) resultaron variar significativamente a lo largo de la laguna y entre lagunas (UNISI). La causa principal de estas variaciones parece estar relacionada con la hidrología de las lagunas así como con el fitoplancton y las concentraciones de materia orgánica.

Se hizo un análisis de metales pesados en la población de peces para determinar si las actividades agrícolas tienen influencia en la calidad del agua. Se analizaron concentraciones de mercurio, plomo, cadmio, cobre, níquel, cromo y zinc en una única especie de pez carnívoro. Las concentraciones de metales pesados en las muestras analizadas estaban por debajo de lo recomendado por la legislación de países del hemisferio norte, pero superiores a lo esperado para un sistema de humedal remoto, respecto de fuentes de emisión, haciéndolo un tema importante a considerar en un plan de monitoreo a largo plazo.

UNLU (dependiente de UNICEN) realizó un estudio de un año de la vegetación (composición y nutrientes) y los sedimentos del sector litoral de las lagunas en estudio. Los resultados

mostraron que la cantidad de nutrientes presentes en las matas de vegetación flotantes que separan las lagunas de las áreas poco profundas de estero son suficientes para sustentar el aumento de biomasa emergente durante la estación de crecimiento. Por lo tanto las áreas de vegetación en las orillas de la laguna no necesariamente incorporarían nutrientes del agua libre. A su vez, las aguas de la laguna podrían ser receptoras de los nutrientes que no fueron incorporados a la biomasa, actuando como un sumidero. La vegetación flotante del litoral mostró una biomasa emergente que tuvo una importante variación estacional —233.21 g/m² en julio (invierno) a 1005.02 g/m² en febrero (verano)—, con composición diversificada, de hasta diez especies en cuadrantes de 2500 cm². Entre las especies encontradas, *Cyperus giganteus* (26.3% de la biomasa media anual); *Rhynchospora corymbosa* (22.9%); *Thalia multiflora* (18.3%) y *Schoenoplectus californicu* (6.8%) fueron dominantes.

Los recursos ictícolas fueron estudiados por Acuicor, (dependiente de USVID), en colaboración con UCADIZ, UNISI y UAVR. Las lagunas que están presentes en el sistema de esteros del Iberá representan un recurso de pesca potencial que aún tiene que ser desarrollado significativamente. Se realizó un estudio de un año en las dos lagunas para recoger información sobre el potencial de este recurso y la importancia funcional de este compartimento ecológico en el ecosistema en relación con otros estudios (avifauna) y modelado. Se condujo una serie de cinco trabajos de campo, usando varias técnicas de captura y midiendo simultáneamente las condiciones del agua. Se registró información sobre la comunidad de peces, densidad, productividad, reproducción y red trófica. Un análisis cualitativo identificó un total de cuarenta y tres especies en las dos lagunas en estudio, dominadas por especies menores no migratorias, en particular pirañas (*Serrasalmus spilopleura*) y corvinas (*Pachiuirus bonariensis*). Las especies migratorias de alto valor para la pesca deportiva, encontradas en el río Corriente: sábalo (*Prochilodus lineatus*), pacú (*Piaractus mesopotamicus*) y dorado (*Salminus maxillosus*) y las lagunas del sector sur, cerca de la naciente del río, no fueron encontradas en las dos lagunas bajo estudio (L. Iberá y L. Galarza).

Los datos sobre la abundancia aproximada de peces (CPUE, catch per unit effort) indicaron que las lagunas en estudio son significativamente diferentes en productividad: L. Iberá tiene una productividad de 194 kg/ha, en comparación con la de L. Galarza que es de 35 kg/ha. Estas cantidades representan productividad media y baja con respecto a otros cuerpos de agua en la región. Esta información fue luego utilizada en el desarrollo de índices de información de energía y análisis trófico.

El estudio de la ecología y la dinámica poblacional de las especies principales de mamíferos y reptiles que habitan el ecosistema del humedal fue realizado por investigadores de USVID. Esta información fue luego usada en los programas de manejo y en trabajos de modelización ecológica. Las actividades de campo fueron realizadas en colaboración con otros investigadores del proyecto y se centraron en las siguientes especies: ciervo de los pantanos, carpincho, yacaré negro, anaconda amarilla, anfibios y micro mamíferos. También se concentró la atención en las relaciones entre la fauna silvestre y los animales domésticos (ganado) en las zonas de interfase tierra firme/humedal.

Los resultados de los estudios sobre la dieta y la transmisión parasitaria de las poblaciones del ciervo de los pantanos, ganado y carpincho en los Esteros del Iberá mostraron que hay una superposición en la dieta y en la transmisión parasitaria entre las poblaciones de animales silvestres y domésticos. Los resultados son particularmente importantes para el manejo de hume-

dales en el Mercosur, ya que sus áreas limítrofes han sido históricamente utilizadas para pastoreo del ganado doméstico. La mayor superposición de dieta ocurre en invierno, cuando los alimentos preferidos de ambos, ganado y ciervo de los pantanos, son similares y escasos. Con el objetivo de determinar la importancia de la propagación e incidencia de endoparásitos dentro de las poblaciones animales silvestres y domésticas, se llevó a cabo una investigación en dos áreas diferentes de la zona limítrofe del humedal. Los resultados demuestran una alta densidad de céstodos en el ciervo de los pantanos y el ganado durante el verano debido a las lluvias y las altas temperaturas. (180 huevos/gr). Esto indica que debería dedicarse una atención especial al esfuerzo de reducir la posible transmisión entre el ganado y la fauna nativa de los esteros.

El estudio de las poblaciones del yacaré negro dio información sobre la recuperación de las mismas desde que la prohibición de caza se hizo efectiva a principios de 1990. Evaluando la tendencia de la población en esta área, los investigadores lograron un notable avance en la comprensión de la dinámica poblacional de esta importante e histórica especie cuya caza indiscriminada había deprimido fuertemente su abundancia. Esta información fue luego utilizada en el análisis trófico del humedal, el modelado de la población del caimán yacaré y en el análisis de posibles alternativas de manejo sustentable para la cosecha del mismo como una potencial actividad económica. Las poblaciones actuales de yacaré negro mostraron un incremento en un factor de dos veces y media, tanto para los arroyos como para las lagunas respecto del censo de 1991/92 realizado por los mismos investigadores, habiendo resultado en promedio 46.2 individuos/km respecto de 17.7 individuos/km para los arroyos y 14.8 ind/km respecto de 6.4 ind/km para las lagunas (Waller y Micucci, 1993).

Se realizaron estudios ecológicos sobre el impacto de los cambios meteorológicos e hidrológicos locales en las poblaciones de yacarés y anacondas amarillas en colaboración con los equipos de modelado (UFRGS), así como estudios ecológicos térmicos (USVID). Se observó que las bajas temperaturas actúan como un cuello de botella para el crecimiento de la población, limitando las tasas de crecimiento somáticas, matando individuos por congelamiento directo, y posiblemente afectando -en el caso de los yacarés- la proporción de sexos de recién nacidos producidos en nidos incubados naturalmente. Los datos de las estaciones meteorológicas e hidrológicas fueron combinados para estudiar el efecto en las temperaturas de radiación de los nidos, de las precipitaciones, la temperatura del agua/aire y el viento.

Un estudio del seguimiento radial a largo plazo comenzó en Junio del 2000 para estudiar el ciclo de vida de la anaconda amarilla o curiyú en relación con los cambios en los usos del suelo del humedal y en el manejo de recursos, y con el objetivo final de proveer de herramientas científicas para el establecimiento de políticas de manejo para su eficaz conservación. El estudio buscó comprender los requisitos ecológicos de las anacondas amarillas (patrones espaciales de uso, ecología termal y biología general).

Se comenzó un censo mensual de la avifauna específica del humedal en colaboración con los guarda fauna de la Reserva, UNISI y RomaTre. Este censo se aboca al estudio de biodiversidad de las aves acuáticas mayores y especies relevantes de pájaros en el humedal. El cormorán neotropical o biguá también fue estudiado para determinar su ubicación en la red trófica y los posibles impactos de las áreas de descanso (dormideros) en la distribución espacial de la calidad de agua. También se estudiaron el lobito de río, micro mamíferos, insectos y anfibios en pequeñas actividades de investigación, en colaboración con institutos locales (Museo de

Ciencias Naturales de la Plata) e internacionales.

Los resultados de cada estudio fueron utilizados por las diferentes unidades de investigación para integrar y aumentar el valor de la información obtenida. Se intercambiaron datos constantemente entre los investigadores y se creó un sitio web dedicado al intercambio de la nueva información entre todos los integrantes del proyecto.

B. MODELADO ECOLÓGICO, HIDROLÓGICO, SOCIO-ECONÓMICO Y AMBIENTAL

Los datos obtenidos en el primer bloque de tareas crearon las bases del modelado ecológico, hidrológico, socioeconómico y ambiental, y los indicadores del segundo bloque de tareas. En este bloque, los investigadores trabajaron para crear una serie de instrumentos para el estudio de los posibles efectos de las actividades en los usos presentes y futuros de los recursos.

Resumen de los modelos

Se construyeron modelos ecológicos para examinar posibles efectos de actividades antropogénicas actuales o propuestas en las poblaciones clave, en el hábitat y en la calidad de agua. Estos modelos incluyen: un modelo de dinámica poblacional de carpincho estructurado en edades (UNICEN), un modelo de dinámica poblacional estructurado en edades para examinar el impacto de estrategias de manejo en la población local del yacaré negro (UFRGS), una serie de modelos metapoblacionales espacialmente explícitos para examinar procesos de dispersión locales basados en la calidad del hábitat (UNICEN), dos modelos cualitativos para estudiar las relaciones entre los cambios en la red trófica y el sistema abiótico (UNISI, LabRoma, RomaTre), y un modelo de dispersión para la transmisión de la enfermedad parasitaria derren-gadera o mal de caderas en la población de carpincho (UNICAMP).

El modelado hidrológico (UNICEN) fue dedicado a examinar las variaciones en las condiciones hidrológicas del humedal en respuesta a los cambios en el uso local de la tierra (en particular el funcionamiento de la represa hidroeléctrica de Yacyretá en el río Paraná). Un modelo de escala media fue usado para simular el flujo atmosférico y la dispersión sobre y alrededor del humedal (UAVR). Se desarrolló un modelo basado en energía para estudiar los flujos de energía dominantes que influyen en la temperatura de los cuerpos lénticos (UNISI). También se usaron modelos para examinar los efectos de emisiones de hidrocarburos, residuos domésticos y metales pesados en la calidad de agua (UAVR). Un análisis para la dispersión del contaminante en las aguas del humedal fue construido usando un modelo de difusión y transporte advectivo (UNICAMP). Se desarrollaron también modelos económicos para el análisis del impacto en los humedales de actividades productivas desarrolladas en la región (UYORK).

Características y Uso de los Modelos

La dinámica poblacional del carpincho (el herbívoro más numeroso y abundante del humedal) fue examinada a partir de la construcción de un modelo estructurado en edades que describe un ciclo de vida simplificado de los carpinchos (Federico *et al*, 2001a Federico *et al*, 2001b).

El modelo poblacional, que provee un nexo entre características del individuo y la población, fue construido a partir de una descripción sencilla del ciclo de vida estructurada en cinco clases de edades. Este modelo permite entender los efectos de la supervivencia específica de cada clase etaria y las probabilidades de crecimiento en función de estrategias alternativas de cosecha.

Se construyó un modelo poblacional estructurado en edades para examinar el impacto de las estrategias de manejo y de la calidad del hábitat en las poblaciones de yacaré negro (Castro *et al.*, 2000, 2001). Las estrategias de manejo examinadas en el modelo incluyen la cosecha de yacarés y la recolección de huevos. El modelo y el software resultantes consideran los cambios ambientales, y examinan el efecto que los cambios en el nivel de agua y en la temperatura de los nidos tienen en la determinación del sexo de los cocodrilos y por lo tanto en la población.

Se construyó una serie de modelos metapoblacionales espacialmente explícitos utilizando la estructura de Autómata Celular, que se desarrolló en cuatro etapas progresivas, para examinar la evolución de los procesos de dispersión locales basados en la calidad del hábitat (Ruiz Moreno *et al.*, 2001; Ruiz Moreno *et al.*, 2002). Se modelaron tres procesos, colonización y persistencia, y los disturbios que afectan a ambas, para examinar la influencia de la calidad del hábitat en la ocupación del terreno. La última etapa permitió la inclusión de imágenes satelitales para definir la calidad del hábitat en cada punto de los humedales.

La transmisión espacial de una enfermedad parasitaria de importancia, “*derrengadera*” o “*mal de caderas*”, que ocasiona la muerte de los carpinchos, fue estudiada utilizando métodos de aproximaciones por elementos finitos en el espacio y de técnicas Crank-Nicolson en el tiempo (Pregnoatto y Meyer, 2001). La enfermedad estudiada también afecta al ganado bovino, equino y ovino, pero se ha visto que causa el colapso de las poblaciones de carpinchos cuando hay una epidemia. El modelo estudia la transmisión de la enfermedad en las condiciones del humedal, suponiendo una distribución de población inicial dada. Los parámetros en el modelo representan varios aspectos de una enfermedad contagiosa, sus períodos de latencia y de infección, y la mortalidad resultante.

Se construyeron modelos cualitativos basados en relaciones entre la red trófica y el sistema abiótico. La primera fue diseñada para examinar el potencial cualitativo de retro-alimentación de la prohibición de caza del yacaré sobre otras especies del humedal (Loiselle *et al.*, 2000, Loiselle *et al.*, 2001), sobre las cuales hay pocos datos cuantitativos. El modelo estaba dirigido a examinar la retroalimentación a partir del aumento en la población de caimanes sobre el equilibrio de las poblaciones de aves piscívoras de gran tamaño (importantes para el turismo) y la estructura de la comunidad de peces. Un segundo modelo cualitativo fue dedicado a examinar los efectos de retroalimentación posibles de varias de las actividades económicas presentes y futuras en el humedal (Loiselle *et al.*, 2002). Como ambos modelos están basados en relaciones cualitativas entre variables físicas y tróficas, la información obtenida de ellos mostró las consecuencias potenciales de la utilización de los recursos y ayudó a concentrar los esfuerzos de monitoreo en las especies clave, que se percibió sufrían el impacto de los cambios en el humedal.

El modelado hidrológico (Ferrati *et al.*, 2000, Ferrati *et al.*, 2002, Canziani *et al.*, 2003) fue una actividad fundamental de este proyecto y un elemento clave para la comprensión del ecosistema y de los impactos potenciales de varias actividades, que pueden influir fuertemente las funciones del humedal. Se llevó a cabo una caracterización hidrometeorológica de las principales

variables con el propósito de comprender, desde un punto de vista hidrológico, las condiciones actuales del sistema del Iberá y su respuesta a las variaciones climáticas. Se planteó un modelo de balance hídrico del humedal para proveer las bases de una comprensión de los procesos hidrológicos del sistema. La cuantificación del fenómeno fue hecha realizando tanto un balance hídrico de paso de tiempo anual y a escala regional como un balance mensual a escala del sistema. Los componentes examinados fueron la precipitación, la afluencia de agua de superficie, la erogación o derrame de agua de superficie, el ingreso/egreso subterráneo, la evapotranspiración, y el almacenamiento del sistema. La importancia relativa de cada componente en el mantenimiento de los humedales varía tanto espacial como temporalmente, y todos estos componentes interactúan para crear la hidrología de un humedal particular. El modelo considera que el sistema del humedal se comporta como función de respuesta cuya característica principal es el almacenamiento. La variable principal de ingreso es la precipitación, mientras que el ingreso de agua superficial es nulo. Los principales egresos superficiales son el volumen erogado por el Río Corriente y la demanda por evaporación y evapotranspiración. El comportamiento del flujo de agua subterránea es desconocido, considerando que puede darse tanto ingreso como egreso del sistema en diferentes momentos y lugares. Por lo tanto, se consideró que el balance del agua subterránea estaba contenido en el almacenamiento global del sistema. El balance hídrico superficial con paso de tiempo mensual, se calculó con los datos de precipitación históricos obtenidos y ponderados en las estaciones, utilizando polígonos de Thiessen, la evapotranspiración se computó tomando la temperatura media mensual de estaciones periféricas por el método de Thornthwaite.

Se utilizó un modelo de mesoescala para simular el flujo atmosférico y la dispersión sobre y en los alrededores de la región del humedal, usando datos de estaciones meteorológicas del entorno. El modelo fue usado para evaluar los efectos del transporte aéreo de contaminantes en la calidad del agua, debido a las condiciones de flujo y dispersión atmosférica. La dirección del viento estudiada fue la Nordeste dominante, que es la que se espera que transporte la mayor carga de contaminantes desde las áreas industriales de Brasil. En el modelo, las ecuaciones de conservación en la atmósfera para las variables de momento, de masa y escalares, tales como temperatura potencial, energía cinética turbulenta y humedad específica, fueron resueltas numéricamente, y posteriormente se calculó la dispersión de contaminantes no reactivos.

Se realizó y examinó un modelo sobre una estimación del impacto de los desechos locales (sólidos y líquidos) sobre la calidad del humedal, usando información sobre la población local, datos de campo recopilados y publicaciones científicas de referencia. Se trabajó sobre un modelo de contaminación que permitiera evaluar impactos del cultivo del arroz en el humedal para diseñar estrategias de manejo de los recursos agua y suelo (Silva, C., Boia, C.; 2000).

Se construyó un modelo de dispersión de contaminantes (Diniz *et al.* 2001) en el ambiente acuático, utilizando ecuaciones de transporte advectivo y de difusión para examinar la posible distribución de contaminantes contenidos en agua tomando una de las lagunas estudiadas (L. Iberá), utilizando los datos meteorológicos de registros regionales históricos así como datos meteorológicos del proyecto. Los resultados demuestran que, comenzando con una concentración en el límite Este de la laguna, más cercano a las actividades agrícolas, hay un transporte efectivo hacia la parte Sur de la laguna, y en dirección del río Corriente (a través de los Esteros).

Se utilizaron modelos económicos para examinar la dependencia de las principales actividades productivas en variables seleccionadas de recursos del humedal, y estimar el impacto de las acti-

vidades económicas en el mismo. Para hacer esto, los investigadores (Cattaneo, F. 2000 (tesis), Simonit, S. 2001 (tesis)) especificaron una relación funcional entre los egresos de actividades económicas y un conjunto de ingresos que incluyen tierra, trabajo y capital usados en la producción, así como la calidad ambiental. Los sectores económicos investigados fueron la producción de arroz, la forestación, la cría de ganado y el turismo. La actividad de modelado se hizo bastante difícil debido a la falta de datos utilizables y a la imposibilidad de usar ciertas técnicas de estudio debido a la naturaleza del problema bajo investigación. Por lo tanto, fue necesario depender de datos obtenidos de los gobiernos provinciales y nacionales, los que eran, en la mayoría de los casos, incompletos, desactualizados e inconsistentes.

Se creó un mapa topográfico y un modelo de elevación digital para encuadrar geoespacialmente los modelos hidrológicos y ecológicos descritos anteriormente. Se creó un mapa topográfico (UNICEN) usando información del Instituto Geográfico Militar (IGM). Se usaron curvas de nivel para definir los límites de la cuenca utilizando un sistema de información geográfico (GIS), así como cartas fitogeográficas (INCyTH) y mapas de suelo desarrollados por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), mapas geomorfológicos y mapas en donde se analizaron flujos obtenidos del Estudio del Macrosistema Iberá (INCyTH, 1981), para completar la batimetría. Estos datos se combinaron con información satelital y datos provistos por los estudios de batimetría realizados por el Lab Roma.

El Modelo de Elevación Digital (DEM) se determinó por medio de la interpolación bi-dimensional del mapa topográfico digitalizado previamente (UNICEN). Este DEM fue posteriormente utilizado para estudiar la cuenca y los flujos hídricos en el humedal (Ferrati *et al.*, 2002). Una vez terminado el proceso de definición de la cuenca, las funciones internas del GIS crearon un archivo vectorial que delimita la cuenca. Esto permitió luego delimitar la cuenca de los Esteros del Iberá sobre las imágenes satelitales utilizadas en el proyecto.

Se creó un mapa de vegetación a partir de imágenes satelitales SAC-C (UNICEN). Esta información fue utilizada para definir distintos paisajes como base para el modelado del hábitat y la dinámica de las especies de macro vertebrados dentro del sistema del humedal. Junto con los investigadores del UNISI se desarrolló una modificación a la transformación Tasseled Cap que permite medir diferencias en la reflectancia de la vegetación del humedal. Basados en la información de intensidad del Brillo del Suelo, Verdor y Humedad, se determinaron diez tipos distintos de hábitat, que combinados con la información correspondiente a las preferencias ambientales de las especies permite asignar un índice de Calidad de Hábitat a cada clase.

Se creó un mapa de calidad del agua para las lagunas del humedal (UNISI). El mapa se basa tanto en datos Landsat como SAC-C, y demuestra la heterogeneidad espacial de los cuerpos de agua abierta del humedal, dividiéndolos en cuatro clases dependiendo de sus características ópticas y composición química (substancias húmicas y concentraciones clorofílicas).

C. HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS DE SUSTENTABILIDAD Y PROGRAMA DE MONITOREO

Los datos históricos, los resultados de la investigación de campo, y los modelos económicos, hidrológicos y ecológicos fueron luego utilizados para examinar el impacto actual del uso de

los recursos y la administración del humedal sobre la calidad del mismo. Se utilizó tecnología de indicadores con el fin de determinar instrumentos comparativos para examinar el humedal y el medio ambiente socio-económico en el tiempo y el espacio. Se usaron modelos para analizar alternativas de manejo de recursos y las posibles consecuencias de las tendencias de utilización actuales. Los modelos económicos fueron utilizados para examinar las tendencias recientes en la calidad del humedal y las actividades económicas.

Se creó un plan de monitoreo a largo plazo para determinar cambios en el funcionamiento del ecosistema y en la calidad de los recursos. Se prepararon CDs y una página web de resultados de las investigaciones realizadas en el humedal (<http://www.unisi.it/wetland>), para los administradores y responsables de la toma de decisiones, ya sean locales o internacionales. Se delineó un plan de manejo específico de los Esteros del Iberá en colaboración con los propietarios locales y con agencias nacionales y provinciales. Se realizaron una serie de actividades de difusión para asegurar la divulgación de los resultados del proyecto a nivel local, regional y nacional.

Instrumentos de Modelado

El modelo hidrológico fue una herramienta fundamental para la comprensión de la dinámica del ecosistema del Iberá. Debido a la escasez de series de datos históricos del interior del sistema, los aspectos de análisis y modelado se basaron en un enfoque de balance hídrico, el cual resultó muy efectivo para comprender el comportamiento del humedal. Luego de su desarrollo y validación, el modelo fue utilizado para examinar los posibles impactos de los cambios climáticos globales (ENSO – El Niño) y regionales (represa hidroeléctrica de Yacyretá) en la hidrología del humedal. Como la hidrología del humedal rige el ciclo ecológico y afecta la calidad de los recursos del ecosistema, la información resultante del modelo hidrológico es fundamental para un manejo sustentable del mismo. El enfoque elegido al hacer el modelo de balance hídrico resultó ser muy apropiado en lo que respecta al estudio del comportamiento del humedal, donde había muy pocos datos disponibles del interior del sistema (Canziani *et al.*, 2003).

El modelo de balance hídrico fue posteriormente utilizado para estudiar los cambios en los niveles de agua en el humedal durante los últimos treinta años, y en particular el aumento repentino registrado en 1989-1990. Hasta ese momento, la hipótesis dominante era que las precipitaciones y la evaporación eran las principales variables de control de los niveles hídricos del humedal. El resultado fue que, si bien las variables atmosféricas condicionan las fluctuaciones en el nivel de las aguas, la hipótesis de cuenca hidrológicamente aislada quedaba descartada. Basándose en el modelo y en los análisis de series de datos hidrológicos, el manejo y la operación de la instalación hidroeléctrica de Yacyretá, tendría un efecto directo sobre la hidrología del humedal. El análisis del nivel de agua en el río Paraná y en la laguna Iberá, muestra una simultaneidad del período donde se registraron los aumentos más significativos en los niveles de agua de la Laguna Iberá con el de la construcción del cuerpo principal de la represa.

Las implicaciones de los resultados del modelo hidrológico respecto del ecosistema y del manejo del ecosistema en relación con la represa hidroeléctrica son múltiples. Primero, una conexión subterránea entre el río Paraná y el humedal, no evaluada previamente, afecta la gestión futura de la represa, particularmente con respecto al aumento de siete metros adicionales propuesto para el nivel del agua en el reservorio. Segundo, los resultados del modelo indican la importancia de considerar las actividades a escala regional para un correcto manejo del hume-

dal. Gran número de instalaciones hidroeléctricas en funcionamiento y proyectadas en los países del Mercosur (AR, BR, PY, UY) están generalmente localizadas cerca o dentro de importantes áreas de humedal, cuya pérdida tiene implicaciones serias. El enfoque de modelado hidrológico, con la escala regional utilizada aquí, mostró ser una herramienta efectiva para ser utilizada en las áreas con baja densidad de estaciones, como es el caso de los humedales del Mercosur. Finalmente, éste aporta una base para investigar el impacto de cambios drásticos y rápidos en el nivel del agua, que tienen consecuencias de importancia en el equilibrio ecológico y en la calidad de los recursos del humedal.

Los modelos ecológicos desarrollados en el presente proyecto, en particular los modelos estructurados por edad para las poblaciones de carpincho y de yacaré tienen la característica de que pueden ser exportados a humedales similares en los neotrópicos. Igualmente, ambos incluyen un factor para la estimación del efecto de cosecha (diferentes estrategias de cosecha) en sus poblaciones respectivas.

El yacaré es el depredador superior en el ecosistema e históricamente ha sido un recurso económico local importante. La caza y la cosecha han sido prohibidas recientemente en el ecosistema en estudio, debido a niveles previos de caza descontrolados e insostenibles, pero la cosecha de caimanes se ha practicado en forma exitosa en otras partes del mundo y es una actividad económicamente viable si se la maneja correctamente. El carpincho no se consume como alimento en Argentina, pero se cosecha en otros países del Mercosur (BR, PY) convirtiéndolo en un producto exportable. El cuero de Carpincho es un material ampliamente apreciado. Cazadores extranjeros con frecuencia cruzan la frontera para cosecharlos.

Ambos modelos demuestran que las estrategias de cosecha sustentables son posibles. Además, ambos modelos examinan los efectos de una hidrología cambiante en el humedal (el nivel de agua en el modelo del Yacaré, la calidad de hábitat en el modelo del Carpincho), relacionando la pérdida de hábitat con la reducción en las poblaciones de ambas especies.

Se encontró que el enfoque de modelado cualitativo era útil para estudiar los nexos entre los procesos del ecosistema y los recursos utilizados. Como los modelos están basados en las relaciones entre los componentes de los ecosistemas en el humedal estudiado, no pueden ser aplicables a otros humedales sin modificaciones. De todas formas, el enfoque del modelado con grafos direccionados, "*loop analysis*", provee un instrumento útil en el estudio de los humedales donde existe poca información cuantitativa, que es usualmente el caso en el Mercosur.

Se encontró que el modelo metapoblacional espacialmente explícito basado en Autómatas Celulares es un buen instrumento para la comprensión de los impactos en los procesos poblacionales generados por cambios en la calidad del hábitat (migraciones y reintroducciones). Cuando el modelo fue aplicado a una estructura de paisaje con base en imágenes satelitales, se convirtió en una herramienta útil para el estudio de la influencia de la calidad del hábitat en la ocupación del paisaje.

La utilización de información georeferenciada ha sido esencial en todos los aspectos de este estudio. Como muchos de los humedales más extensos tienen una pobre cobertura de datos geográficos, es importante el desarrollo de nuevas herramientas para estudiar aspectos tales como los límites de la cuenca del sistema, los cambios en la disponibilidad y calidad del hábitat, en la hidrología y en el uso de la tierra. Se desarrolló un proceso de clasificación modificando un algoritmo de reflectancia satelital para la distribución de la vegetación y para crear

un índice de calidad de hábitat que fue utilizado en los modelos de población de las especies. Con la creación de un índice de rugosidad usando técnicas de clustering ISODATA sobre una serie de imágenes en el GIS, fue posible examinar la distribución espacial de la rugosidad de la superficie e incorporar esta información para examinar los patrones de flujo dentro del humedal.

También se utilizó un enfoque de sistema de información geográfica en el análisis socioeconómico de las comunidades del humedal. En los mapas, se volcaron datos de censos de fuentes provinciales y nacionales y se integraron en una serie de índices de calidad de vida. El análisis resultante indica una alta heterogeneidad socioeconómica del área, con las peores situaciones en los departamentos vecinos de San Roque, Concepción y San Miguel. Muchos departamentos mostraron altos porcentajes de población con necesidades básicas insatisfechas (NBI) lo que podría constituir una amenaza especialmente para la vida de los residentes en los grupos más vulnerables, ya que las condiciones habitacionales y laborales, y la educación son los elementos básicos de calidad de vida. El análisis de los indicadores educacionales y habitacionales también mostró grandes diferencias entre las áreas rurales y urbanas y las poblaciones del humedal. El análisis mostró la necesidad de una mejor administración de la equidad interespacial dentro de la región, favoreciendo la mejora de las condiciones de vida básicas en el área del humedal. Es necesario satisfacer los requerimientos de vida fundamentales de corto plazo para asegurar un manejo sustentable de los recursos disponibles en el largo plazo.

El modelado y el análisis económico permitieron examinar la dependencia de las principales actividades económicas en relación con variables de recursos seleccionadas, y el impacto de las actividades económicas sobre los humedales considerando no solamente el uso de la tierra, el trabajo y el capital utilizado para la producción, sino también medidas de calidad ambiental. Se utilizaron dos medidas del estado del humedal, el nivel de agua basado en una serie de tiempo registrada en la Laguna Iberá y el área del humedal usando datos satelitales (AVHRR). La producción ganadera, arrocera y maderera, y el turismo son las principales actividades del área y todas están potencialmente afectadas por cambios en los niveles medios del agua. Pero mientras que los sectores de turismo y ganadero aparecen como independientes de los niveles medios de agua, la producción de arroz y (potencialmente) la maderera se mostraron como relacionados a los cambios hidrológicos. Los resultados de estos modelos permiten a los responsables de la toma de decisiones evaluar las consecuencias económicas de las actividades que producen un cambio en la calidad ambiental del humedal.

Indicadores e Instrumentos de Monitoreo

El desarrollo de herramientas de monitoreo fue el resultado de una estrecha cooperación entre todos los colaboradores. El enfoque adoptado fue el jerárquico, integrando los indicadores evaluados localmente y mediciones “*in situ*” a largo plazo con análisis a escala del humedal (basado en información satelital). Este enfoque combinado tiene la ventaja de promover una interacción continua entre las acciones de manejo y las funciones del ecosistema y la calidad (monitoreo local), y un enfoque regional para examinar las modificaciones a largo plazo en el humedal. Ambos enfoques de monitoreo incluyen actividades primarias que son consideradas fundamentales para el manejo de los recursos básicos del humedal y el funcionamiento ecológico, y actividades secundarias que deberían iniciarse en relación con los cambios en el nivel de utilización de los recursos del humedal.

Las actividades de monitoreo local incluyen la medición de las variables meteorológicas e hidrológicas usando las estaciones automatizadas que fueron instaladas y utilizadas durante el proyecto. Estas actividades continúan bajo la responsabilidad de la Universidad local (USVID). La información obtenida a la fecha ha mostrado la existencia de un patrón de comportamiento estacional importante en el humedal. La medición continua de estos parámetros clave ayudará a los actores locales y a los investigadores a examinar los efectos de la hidrología y de los cambios climáticos que sufra el Iberá.

Se continúa con un programa de monitoreo de calidad del agua y ecológico por parte de los guardafauna de la Reserva, basándose en la información recolectada en el proyecto. El monitoreo ecológico consiste en observaciones registradas sobre macro fauna particular y un censo mensual de avifauna. El censo de aves se realiza en un área designada de las lagunas estudiadas usando el concepto de Índice de Abundancia Kilométrica. Los datos del censo han mostrado cambios estacionales importantes en algunas especies de aves (UNISI, RomaTre) que fueron elegidas como indicadores de la calidad del agua y del hábitat. El censo mensual continuado mostrará modificaciones a largo plazo en la calidad del humedal y favorecerá una visión global del ecosistema.

Se diseñó un programa de monitoreo de calidad del agua más intensivo (UCADIZ), para monitorear los cambios en las condiciones tróficas en áreas de aguas abiertas del Iberá. El monitoreo a largo plazo toma en consideración diversas variables clave tales como la heterogeneidad temporal y espacial de las lagunas. La toma de muestras y las mediciones están organizadas con el objetivo de examinar los posibles efectos de las actividades humanas y económicas cambiantes en la calidad del agua del humedal, mediante la medición quincenal en tres áreas de cada laguna estudiada de las variables temperatura, pH (acidez), oxígeno disuelto, profundidad Secchi, clorofila a, nutrientes y fitoplancton.

Se desarrolló un biosensor (UAVR) utilizando un sistema de detección de comportamiento que percibe el estado de estrés de los peces y lo convierte en información digital. Esta información luego es enviada a un Controlador Lógico Programable (PLC) para decidir cuándo recolectar muestras de agua para análisis químicos adicionales. Se han recomendado análisis sobre metales y pesticidas, basándose en los resultados del proyecto y en los efectos ecotóxicos significativos que pudieran resultar de un eventual aumento de sus concentraciones en el humedal.

El uso de índices de calidad del agua basados en invertebrados fue investigado por UNLU (dependiente de UNICEN) para estudiar las variaciones temporales y espaciales de la calidad del agua del humedal. Se compararon cuatro índices para el monitoreo de la calidad del agua; BMWP', Knopp (pureza relativa), Pantle y Buck, Zelinka y Marvan (índice sapróbico). Los índices arrojaron resultados coherentes y se encontró que el índice BMWP' era el más apropiado para el monitoreo de la calidad del agua del humedal. La comparación entre el índice BMWP' y el número de taxa (número total de grupos de invertebrados identificados en cada muestra) muestra que éste puede ser usado directamente como indicador de calidad. Al comparar los índices con parámetros físicos y químicos se encontró una correlación positiva entre el número de taxa y la condición físico-química del agua.

Se encontró que el uso de información satelital (SAC-C y LANDSAT) era fundamental tanto para el estudio del humedal como para el monitoreo a largo plazo. La irradiancia emitida por el ecosistema y capturada en las bandas de ondas visibles e infrarrojas, permite el monitoreo

permanente del sistema Iberá, a través de un conjunto adecuado de algoritmos de análisis y de modelos. La colaboración con la CONAE permitió el desarrollo de nuevos enfoques para el estudio del humedal y la provisión de imágenes a los fines científicos del proyecto brinda oportunidad de continuar monitoreando la calidad del mismo. El proyecto de colaboración entre CONAE y los colaboradores UNISI, UNICEN y UCADIZ se describe en la página Web de la CONAE (<http://www.conae.gov.ar/sac-c/sustainable/sld001.htm>) así como en el sitio Web del proyecto. A la fecha, cuarenta imágenes del humedal desde 1986 hasta el 2002 han sido utilizadas para analizar la evolución espacial y estacional de las características físicas, químicas y ecológicas del humedal. Basándose en la adquisición de imágenes satelitales coincidentes con los estudios de campo del proyecto, se han creado una serie de modelos para determinar la calidad del agua (fitoplancton, material en suspensión, atenuación vertical, turbidez, transparencia y sustancias húmicas), calidad del hábitat, (humedad, calidad de la vegetación), morfología (rugosidad de la superficie, morfología de las lagunas) como también el uso de la tierra dentro y en los alrededores del humedal.

Se realizó un análisis de la principal actividad agrícola del área (producción de arroz) usando el concepto de emergía e indicadores basados en la información (IBI). Se llevó a cabo un estudio detallado (UNISI en colaboración con USVID) de las actividades desarrolladas por una de las instalaciones de producción de arroz más importante. Se analizó la totalidad de la energía, mano de obra, maquinarias y recursos naturales utilizados en un año de producción de arroz para calcular la cantidad de energía solar (emergía) empleada en el proceso de producción. Al comparar los costos ambientales con los procesos de producción de arroz en otras partes del mundo, se encontró que la carga y energía utilizadas en el medio ambiente del Iberá, eran mas bajas que para la producción de arroz en Italia pero similares a las de Asia. El análisis de exergía también fue utilizado para comparar la plantación de arroz con un área de vegetación flotante usando negentropía total (exergía). Ambos análisis, el de emergía y el de exergía, brindaron información interesante que podría ser revisada en el futuro para estudiar cambios en las prácticas de producción locales en relación con el uso de los recursos del humedal.

También se revisaron los indicadores económicos (UYORK), para examinar los cambios de tendencias en el uso del recurso y el crecimiento económico del área en estudio. La elección de los indicadores fue hecha para cubrir un mínimo de necesidades para el monitoreo del ecosistema del Iberá y sus alrededores. En efecto, el entorno conformado por áreas de amortiguación y bordes de la reserva deben ser tomados en cuenta por los administradores de las mismas y los decisores políticos. La serie de indicadores (24) tienen el objeto de permitir el análisis económico del ambiente del humedal en el futuro. Estos indicadores son calculados anualmente y abarcan los aspectos económicos, sociales y ambientales de uso del recurso.

| EL MANEJO SUSTENTABLE

El manejo de ecosistemas de humedales en el Mercosur requiere de un enfoque integrado basado en datos ambientales, ecológicos, sociales y económicos continuos y actualizados, y de la participación civil tanto en el ámbito regional como local. En este proyecto, los actores locales (propietarios y productores, operadores de turismo y líderes locales) y las agencias provinciales y nacionales estuvieron involucrados en la identificación de los usos presentes y potenciales de los recursos más importantes del humedal y de las amenazas al funcionamiento del mismo. Esta información fundamental se obtuvo en una serie de reuniones públicas organizadas en los primeros meses del proyecto de investigación. Estos encuentros permitieron identificar las actividades que tenían mayor probabilidad de modificar el funcionamiento y la calidad de los recursos del humedal:

- Producción agrícola, en particular cultivo intensivo del arroz.
- Actividades de cría de ganado en la periferia y dentro del humedal.
- Funcionamiento actual y construcciones futuras en la represa hidroeléctrica de Yacyretá.
- Actividades de turismo e impactos relativos sobre la población local, densidad y estilo de vida.
- Cosecha de fauna silvestre: peces, carpinchos y yacarés.
- Cambios en la población local y planeamiento territorial.

Basándose en esta información, los investigadores desarrollaron metodologías de análisis, de modelado y de definición de indicadores para determinar las características del funcionamiento del humedal e identificar los parámetros ecológicos y socio-económicos más importantes para el manejo sustentable del mismo.

Adicionalmente, se determinaron una serie de lineamientos para asegurar que los recursos del humedal sean utilizados de manera sustentable. Durante el último año de investigación se mantuvieron varios encuentros con instituciones locales, provinciales y nacionales para determinar el programa de manejo del humedal en su totalidad, como así también aspectos individuales del funcionamiento del sistema Iberá (ej. hidrología, turismo). El enfoque de manejo resultante integra el análisis del humedal junto con el uso de las tecnologías de monitoreo y modelado para obtener un mejor control de la calidad de los recursos, dentro de las características socio económicas y normativas del Mercosur.

Se realizó un análisis de los aspectos legales y normativos del manejo de los recursos del humedal tomando información de leyes nacionales y provinciales como también de acuerdos internacionales. Se realizó una revisión del marco normativo en el que se basa el desarrollo de las actividades económicas y productivas del sector privado local. Se encontró que las diferentes actividades económicas: cría de ganado, cultivo de arroz, forestación y ecoturismo, incluyendo la caza y pesca deportivas, no estaban reguladas de forma coherente.

Más importante aún, la Convención Ramsar, ratificada por la Argentina y que ahora incluye el humedal de los Esteros del Iberá, propone la creación de normas internas relacionadas con la conservación del sitio del humedal, una de las cuales es la creación de un plan de manejo del mismo que imponga restricciones para el uso de las áreas limítrofes del mismo.

PRODUCCIÓN AGRÍCOLA, EN PARTICULAR CULTIVO INTENSIVO DE ARROZ

El uso de pesticidas en la producción intensiva de arroz en la región de los Esteros fue estudiado de manera exhaustiva mediante la colaboración de varios grupos (UAVR, UNISI, UYORK) con diferentes objetivos. El uso de pesticidas en agricultura parece tener en la actualidad un efecto limitado, pero la presencia continua de agroquímicos en el ecosistema del humedal (luego de varios años de actividad agrícola reducida), resalta la importancia de un uso conservador y un manejo provincial de estos productos. Como en muchas zonas de humedales interiores del Mercosur, la tasa de recambio del agua es muy lenta, con el mayor volumen de agua proveniente de aportes pluviométricos y subterráneos. Por lo tanto, las sustancias que son incorporadas al humedal pueden tener un largo tiempo de permanencia.

Luego de una investigación sobre normativas de calidad de agua de diferentes países, se realizaron cálculos para derivar los valores máximos recomendables para varios de los pesticidas utilizados en esta región. Los cálculos se realizaron utilizando las ecuaciones siguientes:

Valores permitidos en agua para consumo: $GV_{DW} = \frac{RfD \times BW \times \%}{DWC}$	Valores permitidos para la protección de la vida acuática: $GV_{PAL} = 0.01 \times LC_{50}$, donde
LC50 – Concentración letal para la mitad de la población expuesta en un determinado período de tiempo. GVPAL – Valor permitido para la protección de la vida acuática. RfD – Dosis de referencia GVDW - Valor permitido para el agua de consumo BW – Peso corporal medio - 65 kg (EPA, 1997). % – Fracción de RfD asignada al agua de consumo – 10% (OMS, 1994). DWC – Consumo diario de agua potable - 2 L.d-1 (EPA; 1997).	

Tabla 2

Las concentraciones de nutrientes y de metales pesados en la columna de agua muestran patrones similares. En general, los nutrientes son reciclados rápidamente en la red trófica, excepto en las áreas del humedal que limitan con zonas agrícolas y que por ende poseen un estado trófico más alto y mayores concentraciones de plancton. Usando modelos basados en imágenes satelitales se encontró que este patrón se repetía en otras lagunas del sistema.

Se encontró también que algunas concentraciones de metales disueltos (cromo) eran más elevadas en las áreas que están conectadas con la actividad agrícola. Las concentraciones de metal medidas en las muestras de peces de las lagunas fueron bajas para la mayoría de los elementos seleccionados, pero más altas de las que se esperaba para un humedal localizado lejos de la actividad industrial o de centros de población grandes.

Las sustancias ecotóxicas no necesitan ser medidas en forma continua, sin embargo es importante un mejor conocimiento y control de las actividades agrícolas en los límites del humedal. Sobre la base de un monitoreo continuo de los usos del humedal y de las tierras de su entorno (a partir de datos satelitales e información de censos agrícolas regulares), el monitoreo futuro debería orientarse a evaluar los cambios en las prácticas agrícolas y el uso de la tierra (principalmente aumentos en las áreas de cultivo).

El uso de pesticidas debería ser controlado por la provincia como parte de un manejo continuo de los recursos del humedal. El uso de agroquímicos, tanto en calidad como en cantidad (kg/ha), debería ser incorporado al censo agrícola anual del área del Iberá realizado por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), desde sus estaciones locales.

La información georeferenciada, tanto de los datos de campo como de la información satelital utilizada, debe ser monitoreada anualmente. La colaboración continua con la Comisión Nacional de Actividades Espaciales facilitará el monitoreo de las extensiones de plantaciones de arroz en el área vecina al humedal.

Los análisis de agua a realizarse deberán detectar el uso de nuevos pesticidas y los resultados deberían correlacionarse con el uso futuro de estos materiales en las áreas limítrofes del humedal. Realizando y publicando los resultados de análisis de pesticidas, se logrará una estrategia de manejo más clara. El biosensor desarrollado en este proyecto podría ser usado para este propósito como un primer ensayo que indicaría la necesidad o no de realizar análisis específicos posteriores.

Un importante segundo método de monitoreo para medir los cambios en la calidad de agua a largo plazo es el uso de poblaciones de invertebrados. Esta metodología se encuentra ampliamente documentada, pudiéndose obtener de la bibliografía existente los índices utilizados en ríos que permiten detectar y comparar cambios en la estructura de población con posibles cambios en la calidad del agua (mayor carga orgánica, mayor frecuencia de condiciones anóxicas). En el estado actual del ecosistema, los índices derivados de las poblaciones de invertebrados pueden servir de referencia para comparar la respuesta del ecosistema a futuros cambios.

ACTIVIDADES DE CRÍA DE GANADO EN LOS BORDES Y DENTRO DEL HUMEDAL

Las actividades ganaderas son una actividad económica importante así como un medio de vida tradicional en las áreas de humedales del Mercosur. En el presente estudio, la investigación se orientó a analizar el impacto del manejo de animales domésticos en el hábitat natural y las

poblaciones de especies silvestres nativas. A este respecto, se hizo un análisis de la dieta compartida por las especies herbívoras mayores y el ganado local, y se la relacionó con estudios de vegetación. Se estudió la posibilidad de transmisión de enfermedades parasitarias y se realizó un estudio del hábitat disponible para las especies de macrofauna del humedal usando imágenes satelitales.

El estudio de la potencial transmisión de enfermedades parasitarias entre ganado vacuno, carpinchos y ciervos de los pantanos indicó que el estrecho contacto entre las especies domésticas y nativas probablemente incrementa las probabilidades de intercambio de enfermedades parasitarias (céstodos). Tal intercambio tiene consecuencias económicas directas para los propietarios del ganado, provoca un daño a la vida silvestre nativa y tiene consecuencias indirectas sobre las actividades relacionadas con el turismo. Los resultados del análisis mostraron una gran densidad de céstodos en el ciervo de los pantanos y el ganado durante el verano debido a las lluvias y las altas temperaturas (180 huevos/gr.). Se recomiendan prácticas de manejo especiales para reducir la posible transmisión entre el ganado y la fauna silvestre del humedal. Estas incluyen el control particular de los vacunos domésticos y la reducción en la densidad de ganado en las zonas de transición.

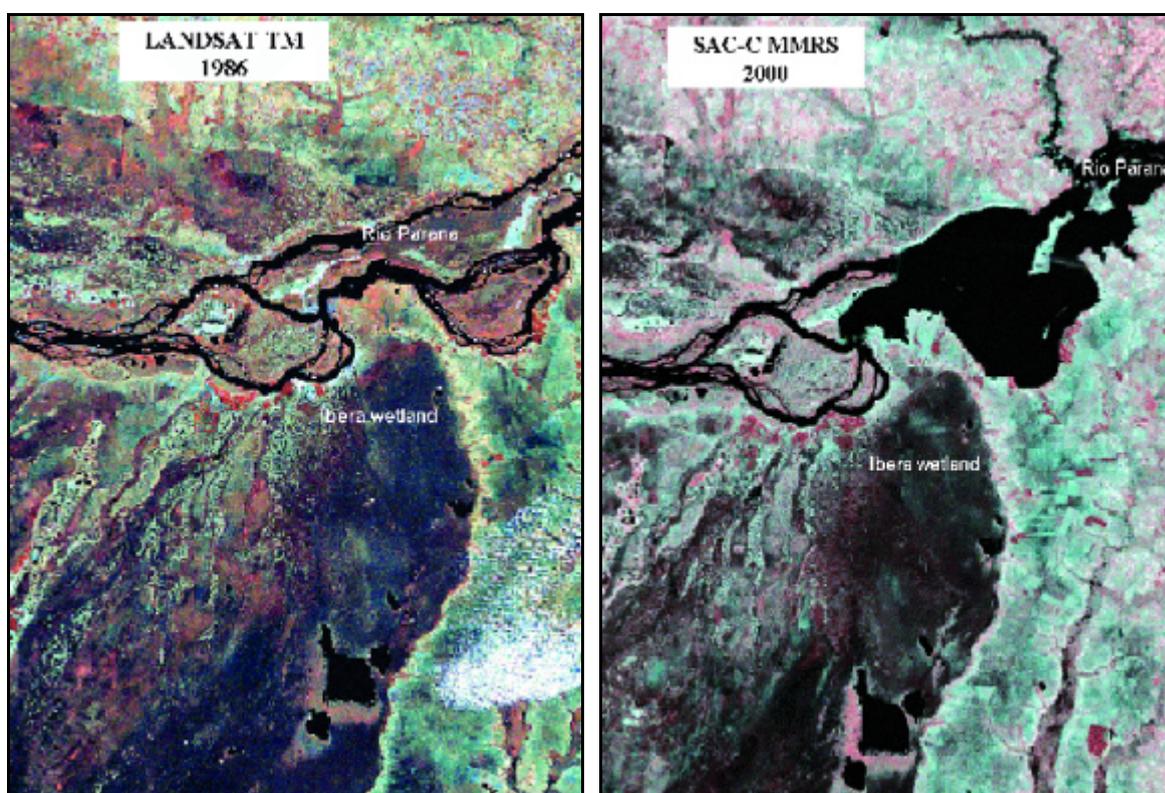
El estudio comparativo de dieta entre los animales herbívoros silvestres y domésticos, mostró que existe una importante superposición en invierno, cuando las preferencias de ambos, vacunos y ciervos de los pantanos, es similar y escasa, para evitar (en los meses de invierno) el sobrepastoreo de vacunos en las áreas de ciervos, se deberían reservar áreas específicas de pastoreo a lo largo del límite del humedal para alimentación exclusiva de los ciervos. Una solución alternativa sería reducir la densidad de vacunos en las áreas litorales del humedal en los meses de invierno, en particular para hembras preñadas que requieren un suministro de comida particularmente abundante.

Los resultados del estudio de la vegetación flotante del litoral del humedal muestran una variación significativa en biomasa emergente disponible (desde 233 g/m² en invierno a 1005.02 g/m² en verano) así como de nutrientes disponibles (nitrógeno y fósforo). Los valores más bajos para todos los parámetros analizados (biomasa, N y P) se alcanzan en el invierno, haciendo que el adecuado manejo de pastoreo sea particularmente importante. El análisis satelital de hábitat disponible debería hacerse anualmente para determinar si los cambios en las condiciones hidrológicas, climáticas (particularmente en eventos “El Niño”) o de sobrepastoreo han alterado significativamente los hábitats disponibles para las principales especies monitoreadas. El mapa de hábitats que fue creado como parte del trabajo de GIS da un índice de los principales tipos de hábitat del ciervo de los pantanos, probablemente la especie más importante tanto para el aspecto de conservación, ya que se encuentra en peligro de extinción, como para el de turismo ecológico.

El monitoreo de campos de pastura disponibles es también un indicador importante. Utilizando el mismo enfoque de clasificación desarrollado en el presente proyecto, es posible, para las instituciones locales, determinar la extensión de campos dedicados a pastura comparado con aquellos dedicados a la cosecha de arroz o a la forestación.

FUNCIONAMIENTO ACTUAL Y CONSTRUCCIONES FUTURAS EN LA REPRESA HIDROELÉCTRICA DE YACYRETÁ.

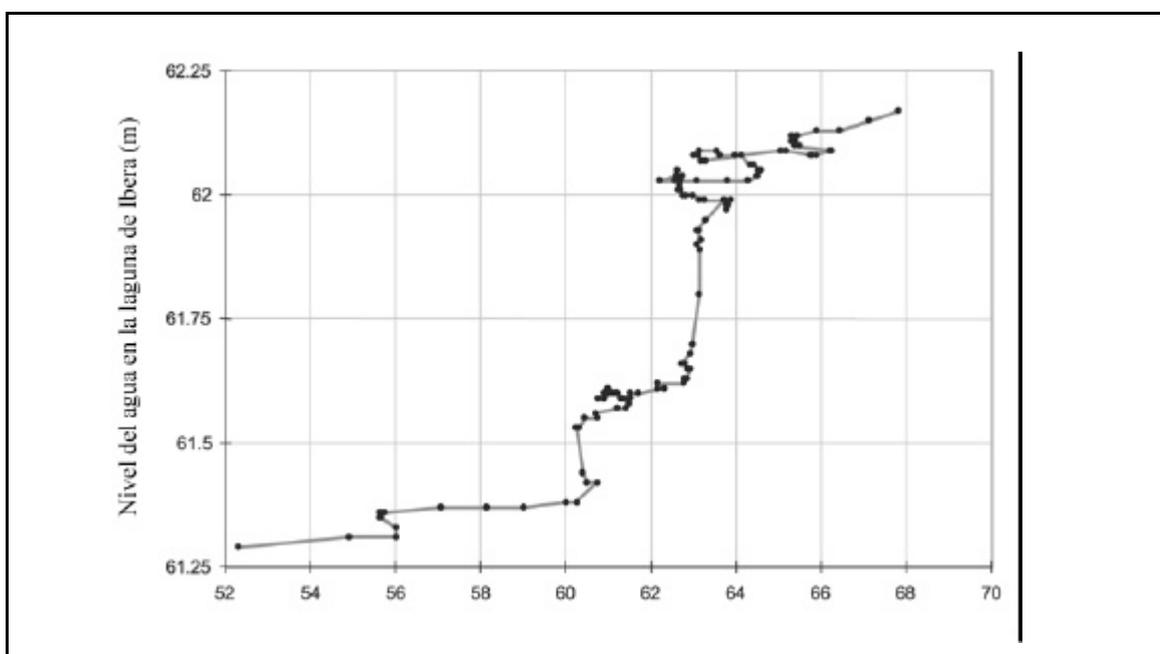
La construcción de las obras generadoras de energía hidroeléctrica en algunos de los sistemas hidrológicos más grandes del mundo, es un objetivo regional en el Mercosur. El generar energía de bajo costo para uso nacional y de exportación es un incentivo económico atractivo que ha resultado en una cantidad significativa de proyectos de producción energética en los ríos principales. Los potenciales efectos negativos directos de estos proyectos en el ambiente de la cuenca (humedales ribereños y ríos) son usualmente consideradas por los planificadores locales y nacionales, quienes deciden acerca de la construcción de la represa.



Imágenes satelitales en falso color del sector norte de los Esteros del Iberá, y el Río Paraná antes (izquierda) y después (derecha) de la construcción de la Represa de Yacyretá.

Sin embargo, los efectos sobre los humedales cercanos son escasamente entendidos, debido a la limitada información hidrológica existente de los mismos y al desconocimiento sobre las eventuales conexiones entre humedales y ríos. Cerca del ecosistema en estudio, a mediados de los ochenta y principios de los noventa se construyó la represa de Yacyretá, una gran obra hidroeléctrica binacional (AR y PY), cuyo reservorio o lago artificial resultante cubre un área muy importante (<http://www.eby.org.ar/>). El nivel de agua en el río Paraná, a la altura del reservorio de Yacyretá, fue elevado a 76 metros sobre el nivel del mar desde un nivel previo de agua que oscilaba alrededor de los 60 m.s.n.m. Más importante aún, se prevé un incremento adicional de siete metros, para optimizar el funcionamiento de la producción hidroeléctrica.

Los instrumentos de análisis y modelado hidrológico se desarrollaron sobre la base de un estudio de las condiciones geomorfológicas, meteorológicas e hidrológicas en el humedal durante los últimos treinta años. El análisis de las series de datos de nivel de agua en el lago del embalse y la laguna Iberá, muestra que el aumento del nivel del río medido *in situ* durante el período abril 1989 - diciembre 1990, durante la construcción de la represa, coincide con el período en el que se registró un incremento notable de los niveles de agua en la Laguna Iberá. La correlación entre las series de datos muestra una clara respuesta - exhibiendo un retardo muy breve - del nivel de la Laguna Iberá al incremento en el nivel del río Paraná. Esto indicaría la existencia de un importante proceso de transferencia que opaca el efecto de otros factores posibles durante estos pocos meses entre abril y noviembre de 1989. En la siguiente figura, es posible observar el incremento del nivel de agua en la Laguna Iberá en relación con el ascenso del nivel del Río Paraná a la altura del canal derivador. Desde entonces, el sistema del Iberá alcanzó un nuevo equilibrio y mantuvo un patrón donde las oscilaciones están ligadas a procesos atmosféricos.



Río Paraná. Nivel de agua (m)

Utilizando el modelo de balance hídrico, se planteó una hipótesis de ingreso subterráneo de agua desde el río Paraná en la cual se proponen cuatro etapas diferentes a partir de los datos hidrométricos registrados en el humedal. Una primera etapa, anterior a 1989, donde el sistema es regulado por los procesos que tienen lugar a nivel superficial, tales como precipitaciones, evapotranspiración y descarga a través del Río Corriente. Una segunda etapa, durante el intervalo 1989-1990, donde el sistema sería llevado a un nuevo equilibrio por la contribución de un importante ingreso de agua subterránea. Luego, una tercera etapa desde 1991 hasta 1994, con pulsos intermitentes que responderían a las variaciones observadas cada vez que el Río Paraná excedió los 65 m s.n.m. a la altura de la represa. Finalmente, la cuarta etapa, cuando el reservorio superó la cota de 72 m s.n.m., que es el nivel de agua en la cabecera del sistema del Iberá.

De modo que el incremento promedio de 80 cm en la altura del nivel de agua registrado en la laguna Iberá estaría relacionado con la construcción y operación de la represa de Yacyretá. De verificarse dicha hipótesis, los incrementos proyectados para optimizar la generación de energía podrían poner en peligro significativamente el funcionamiento del sistema, en particular el reciclado de nutrientes (un mayor flujo de agua modificaría la disponibilidad de algunos elementos), la calidad y cantidad de hábitat disponible y la calidad del agua.

Dentro del área de los Esteros del Iberá y en el entorno del humedal, la población local y las asociaciones de productores han reportado la pérdida de campos de pastoreo debido a la inundación. Los residentes del humedal reclaman que los niveles de agua han aumentado en los últimos diez años y que ha habido una pérdida en la disponibilidad de algunos recursos, en particular disponibilidad de pastura. La presión de las asociaciones y la población locales logró que quienes toman las decisiones en el ámbito provincial consideren los posibles efectos de la obra hidroeléctrica y apoyen la necesidad de realizar los estudios pertinentes para analizar impactos pasados y futuros en el territorio.

Este reclamo ha tenido también impacto a nivel nacional e internacional, por ser la obra hidroeléctrica un proyecto binacional entre Argentina y Paraguay. En este contexto, las hipótesis testeadas en el modelo hidrológico, los resultados obtenidos de éste y de los modelos ecológicos basados en el hábitat y las herramientas generadas han sido considerados por ONGs y por quienes toman las decisiones en el ámbito local y provincial. Recientemente (Octubre 2001), se ha organizado el Foro Iberá –Yacyretá reuniendo actores locales (ONGs, gobierno, productores y Universidades). Los investigadores del proyecto fueron invitados a participar.

El enfoque de modelado ecológico innovativo en las regiones de humedales, generalmente pobres en información, es de fundamental importancia para el entendimiento de los impactos de los grandes proyectos de infraestructura regional, y en particular de la construcción de represas hidroeléctricas.

ACTIVIDADES TURÍSTICAS E IMPACTOS RELATIVOS SOBRE LA POBLACIÓN LOCAL, DENSIDAD Y ESTILO DE VIDA.

El humedal estudiado ha comenzado recientemente a ser objeto de actividades turísticas, con la construcción de varias instalaciones pequeñas de turismo ecológico o de aventura que promueven excursiones para avistaje de fauna silvestre, pesca, y eventos culturales. El presente nivel de actividad turística es bastante bajo, pero muestra un crecimiento anual considerable. Para manejar apropiadamente el incremento de población y de actividades relacionadas al turismo en el humedal, es importante considerar los impactos potenciales sobre el Iberá y sobre la población local actual. Esto se hizo considerando el impacto que el incremento en desechos líquidos y sólidos tiene sobre la calidad de recursos florísticos y faunísticos.

El ecoturismo es una alternativa económica creciente en las remotas áreas de los humedales del Mercosur, usualmente caracterizados por una rica biodiversidad y un paisaje prístino. Actualmente se observa un incremento estacional de la población de alrededor del 8% debido al turismo. Un potencial impacto de esta actividad es la presencia de vehículos a motor que pueden afectar los diferentes componentes ambientales (agua, aire, suelo) y causar estrés en los animales silvestres debido al creciente nivel de ruido en áreas naturales. Menos visible, pero cierta-

mente significativo, puede ser el impacto de emisiones de hidrocarburos en el agua y el aire causadas por la circulación de vehículos acuáticos motorizados.

En el presente proyecto, se realizó un relevamiento del número de botes y personas que circulan en la laguna Iberá, basado en los registros tomados por los guardafauna de la Reserva. Estos registros incluyen botes usados por los guardafauna y botes privados. También incluyen una compilación de las principales áreas de observación de vida silvestre para estimar la distancia cubierta por los botes y su tiempo de permanencia en la laguna, y la caracterización de los diferentes vehículos acuáticos en términos de consumo y combustible utilizado. El nivel de tráfico de botes que tiene lugar en Laguna Iberá varía mensualmente, siguiendo estrechamente la presencia de turismo. No pudieron encontrarse, en el período del proyecto, efectos significativos sobre la calidad del aire o del agua. Sin embargo, el continuo crecimiento de las actividades turísticas indica que el uso de vehículos acuáticos debería seguir siendo monitoreado y registrado por los guardafauna locales.

Se determinó la población de los principales centros ubicados en inmediaciones de los Esteros, así como las tasas de efluentes, demanda biológica de oxígeno (BOD) y el número de organismos patogénicos (coliformes totales, TC) para dicha población. También se estimó la producción de desechos sólidos en estos poblados. Actualmente, las aguas de desecho se descargan directamente en las lagunas del sistema sin ningún tipo de tratamiento. El agua de las lagunas se utiliza para el suministro público, después de un simple tratamiento físico - químico, que incluye desinfección. La fracción orgánica de los residuos sólidos se utiliza como abono. Otras partes se queman a campo abierto o se desechan en los suelos o en las lagunas. Durante años, y antes de la existencia de suministro eléctrico, las baterías usadas para la producción de energía fueron también arrojadas en las lagunas. Debido a la baja densidad de población, ampliamente dispersa a lo largo de las áreas del humedal, parece no haber un alto impacto en la calidad del agua. Sin embargo, como estos pequeños centros de población están sujetos a cambios de densidad y estilo de vida, es altamente recomendable que se inicie un planeamiento de desechos sólidos residenciales y programas de tratamiento de agua, para evitar el deterioro de la calidad ambiental en estas áreas.

Utilizando el modelo cualitativo construido, se infirió que un crecimiento descontrolado del turismo podría llevar a impactos negativos en la carga de nutrientes en las lagunas y daños en las macrófitas. De acuerdo al modelo, los efectos de tales modificaciones tendrían impactos negativos en los valores tróficos y en la calidad (turbidez) del agua, alterando los valores propios del ecosistema y perjudicando finalmente la biodiversidad, principal atracción turística.

Un aumento del tráfico de botes de motor de gran tamaño puede favorecer la resuspensión de sedimentos e incrementar consecuentemente las concentraciones de fitoplancton y las poblaciones de peces. El aumento de turbidez resultante y la destrucción mecánica de la vegetación por el accionar de los motores reduciría la densidad de macrófitas. La presencia de áreas con vegetación es importante para las especies carismáticas, así como para la diversidad de las aves acuáticas. El agua limpia con vegetación es un factor importante en el mantenimiento de diversidad de pájaros en los sistemas de humedales. Por esta razón, debería propiciarse un monitoreo continuo de calidad del agua y de vegetación para identificar cambios en la estructura y el funcionamiento del ecosistema.

COSECHA DE FAUNA SILVESTRE: PECES, CARPINCHOS Y YACARÉS

La creación de una Reserva Provincial en el Iberá fue el resultado de un gran esfuerzo para detener la caza descontrolada de la fauna nativa. Esta presión de caza, junto a la imposibilidad de acceso por parte de los animales a las áreas de tierra firme, causó la extinción o casi extinción de un número de especies carismáticas importantes (yaguareté, yurumí, aguará guazú, ciervos de los pantanos) y fuertes reducciones en otras importantes poblaciones (yacarés, lobitos de río, anacondas amarillas).

La completa prohibición sobre la caza y cosecha de animales silvestres ha sido exitosa y muchas de las poblaciones amenazadas se están recuperando lentamente. Hay, obviamente, cierta reticencia en permitir nuevas actividades de cosecha dentro del humedal. Sin embargo, se está examinando una cosecha sustentable en la zona en estudio, como posible actividad económica alternativa, que podría ser cuidadosamente controlada y administrada. La presente investigación estuvo dedicada a examinar el uso de tres recursos faunísticos: yacaré, carpincho y peces.

La cría y cosecha de yacarés, caimanes o cocodrilos es una actividad comercial usual en humedales alrededor del mundo, incluyendo otros países del Mercosur. La recolección de huevos, seguida de incubación y cría en cautiverio, es la base para el método primario de cosecha de cocodrilos en el mundo entero. En una de las simulaciones propuestas, los cocodrilos nacidos son criados en cautiverio durante tres años, período después del cual la mayoría es sacrificada para aprovechar el cuero. Los animales que no son sacrificados (que representan un 5% del número de huevos recolectados) son liberados para mantener a la especie en estado natural. Se estima que este porcentaje compensa adecuadamente las pérdidas en la población ocasionadas por el reclutamiento. Las estimaciones indican que el 80% de los huevos recolectados producen crías y alrededor del 50% de las crías en cautiverio alcanzan la edad de tres años. En estado natural, la supervivencia hasta esa edad es mucho menor. La recolección de huevos permite un incremento de la población dado que disminuye considerablemente la tasa de mortalidad de individuos juveniles. Por otra parte, los yacarés de tres años en un establecimiento de cría alcanzan una longitud mucho mayor que los que viven en estado natural.

Si están bien alimentados, puede esperarse que los individuos liberados a esta edad tengan una tasa de supervivencia más alta, pero es extremadamente necesario un estudio completo acerca de la alimentación y el espacio adecuados en los establecimientos de cría. Aunque la cría en cautiverio parece ser un medio exitoso de manejo, es difícil analizar sus efectos en la población, ya que puede cambiar dramáticamente la tasa de supervivencia de los animales, para mejor o peor, dependiendo del cuidado en la crianza.

La caza de yacarés en el humedal es otra posible estrategia de cosecha. Esta estrategia requeriría menores costos de inversión pero podría tener impactos negativos sobre la estructura de la población.

Para analizar las estrategias de cosecha de yacarés, se utilizó el modelo poblacional creado para examinar los efectos generales de las opciones de cosecha. El programa de simulación para la caza del yacaré permite que el usuario modifique los tamaños mínimos permitidos, el número de individuos, o el porcentaje de animales de la población que serán cazados. El programa de simulación para la recolección de huevos de caimán permite que el usuario modifique el porcentaje de huevos que serán recolectados, el porcentaje de supervivientes de tres años que serán sacrificados, o el porcentaje de yacarés hembras liberados. Otros parámetros que pueden ser

modificados incluyen la opción de la variable profundidad del agua, la población total que puede sostener el hábitat y el número de clases de edades a considerar.

En los países del Mercosur, los carpinchos son principalmente cazados por su cuero y en cantidades limitadas por su carne. La piel de carpincho es de alta calidad y apropiada para guantes, cintos, zapatos, carteras, y otros artículos de cuero. También, su piel adiposa es fuente de grasa utilizada como pomada en la industria farmacéutica. Hay un creciente interés comercial por la carne y el cuero de carpincho en Argentina y el INTA Delta está desarrollando estudios sobre cría y comercialización de carpinchos. El modelo poblacional de carpinchos construido permite elegir la proporción de individuos dentro de cada una de cinco clases de edad que se cosechan en un intervalo de tiempo (estacional o anualmente). Diferentes escenarios de caza se estudiaron utilizando el modelo. Se encontró que la cosecha en diferentes etapas de crecimiento tiene diferentes efectos en la estabilidad de la población y en el rendimiento de la cosecha. Se desea elegir la estrategia de cosecha que sea sustentable y maximice alguna medida de rendimiento predeterminada. Una vez elegida, la sustentabilidad de la estrategia queda especificada en la información resultante. Todos los resultados indican que la cosecha de carpinchos de entre 3 y 18 meses de edad da el mayor rendimiento en números de individuos, sin afectar negativamente su dinámica de población. Las hembras de entre 19 y 36 meses de edad son importantes por su gran valor reproductivo. El diseño de una buena política de cosecha permitiría el uso sustentable de carpinchos como recurso para la región del Iberá.

Se realizó un estudio de los recursos ictícolas en las dos lagunas analizadas para determinar la estructura de la comunidad y la abundancia aproximada de peces. Esta información fue luego analizada para determinar el potencial de utilización de este recurso. Los datos sobre la abundancia aproximada de peces (CPUE) indicaron que las dos lagunas en estudio son significativamente diferentes y representan una productividad media y baja con respecto a otros cuerpos de agua en la región. Las especies identificadas en las dos lagunas estudiadas no tienen valor para la pesca deportiva, pero pueden ser explotadas en forma sustentable como potencial especialidad culinaria para el creciente negocio de ecoturismo local. Tal actividad patrocinaría el crecimiento de una nueva micro industria en el área, con mínimo impacto en la fauna y flora local. En la oferta presente de turismo, la ictiofauna local permanece poco explotada.

CAMBIOS EN LA POBLACIÓN LOCAL Y EN LA PLANIFICACIÓN TERRITORIAL

El impacto que la variación de los niveles económicos y demográficos de la población local tendría sobre la calidad de los recursos del humedal fue estudiado a través de los modelos que analizan la afectación que los desechos domésticos tienen sobre la calidad del agua. Se realizó un exhaustivo análisis de la variación temporal y espacial de las concentraciones de nutrientes disueltos y particulados. Se realizó una determinación de calidad de vida a través de índices adecuados para examinar las poblaciones del humedal y compararlas con los niveles a escala provincial y nacional. Los resultados indican que el presente flujo de población dado por la población local y el limitado aporte turístico, no afecta mayormente la calidad del agua. Sin embargo, el limitado planeamiento territorial actual, la inexistencia de tratamiento de los residuos sólidos (en particular de materiales tóxicos) y los crecientes niveles de consumo de la comunidad local, indican la necesidad de un mejor manejo de los desechos.

Los resultados de toda la investigación del presente proyecto se han reunido en un sitio web con información sobre el humedal <http://www.unisi.it/wetland> y un CD (preparado por LabRoma). Ambos contienen la metodología y los instrumentos que resultaron ser de mayor utilidad en el análisis del uso de recursos. Más de 160 páginas de información, metodología, información y personas de contacto del proyecto están dirigidas a brindar, a los decisores en el ámbito regional (autoridades, ONGs, planificadores) del Mercosur, una base sobre la cual se puedan tomar las decisiones relacionadas con el manejo de los recursos de los humedales.

COMENTARIO FINAL

La página web y el CD están también en evolución, con nueva información que se agrega constantemente. El valor de la disponibilidad de esta información, tanto para los lugareños como para la comunidad científica internacional, ha sido verificado a través de los contactos internacionales recibidos y de la atención regional dada al proyecto. Mientras que la información ecológica que contienen estos instrumentos es específica para el Iberá, la metodología, los instrumentos de modelado, indicadores y análisis son transferibles a otros humedales y otros programas de manejo de recursos de humedales. Integrando esta información en una fuente única, es posible consultar los avances del proyecto y contactar a los investigadores para futuras colaboraciones.

| CONCLUSION

El presente proyecto ha tenido un importante impacto sobre los procesos de toma de decisiones a nivel local y regional. Los instrumentos y metodologías desarrollados en el mismo ya están siendo usados y discutidos por organismos nacionales y provinciales. Ha habido una significativa difusión de las actividades y los resultados del proyecto, tanto en los medios (diarios nacionales, cobertura televisiva y radial), como en la comunidad internacional. Una gran cantidad de trabajos ya ha sido publicada o está en proceso de revisión. Durante el año 2003 se publicará una Edición Especial de la revista científica *“Ecological Modelling”*, completamente dedicada a los instrumentos y resultados del presente proyecto. El material impreso (publicaciones, informes) ha sido ampliamente citado en conferencias regionales. El sitio web del proyecto para el manejo del humedal ha captado un gran interés y generó un fluido intercambio de correspondencia.

Los resultados científicos han ido más allá del plan de trabajo original del proyecto. Esto es, en gran parte, debido a la estrecha colaboración recibida de instituciones externas que contribuyeron al mismo, en particular la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE), la ONG local Fundación Iberá y los guardafauna de la Reserva provincial del Iberá. Los datos históricos recopilados y la investigación de campo experimental han provisto a quienes toman las decisiones en el ámbito local, de una cantidad de información sobre las condiciones ecológicas y socioeconómicas del humedal en estudio, previamente no disponible. Los modelos resultaron ser fundamentales para el entendimiento del ecosistema y básicos para explorar el impacto de la implementación del uso de los recursos más importantes en el funcionamiento del ecosistema. Se espera que los estudios e índices desarrollados se continúen usando para monitorear el humedal en los años venideros.

Se ha formado una fuerte red de trabajo de investigación. Esta ha resultado de la participación cruzada de institutos de investigación en proyectos de investigación nacionales e internacionales, cursos científicos internacionales e intercambio de científicos en Europa y América Latina. La investigación conjunta continúa en el humedal de estudio, así como en otros humedales internacionales, usando la metodología desarrollada en el proyecto.

El proyecto puede considerarse exitoso desde el punto de vista del avance de tecnología de punta usada para el estudio de los humedales y el manejo de los recursos de los mismos. Las instituciones asociadas que participaron en el proyecto se beneficiaron del intercambio interdisciplinario e interregional. El gran número de publicaciones compartidas es un indicio del intercambio positivo entre las instituciones.

| INFORME DE ADMINISTRACIÓN

ORGANIZACIÓN DE LA COLABORACIÓN

Ya se mencionó que este proyecto de investigación INCO se caracterizó por una profunda colaboración entre los grupos participantes. Hubo un intenso intercambio de información, ideas y experiencias a lo largo del proyecto. La tecnología de comunicación (correo electrónico, FTP, páginas web) fue fundamental para mantener a los investigadores informados durante la evolución del mismo. Hubo también una cantidad de oportunidades de trabajar directamente en conjunto, tanto en los encuentros de proyecto como durante conferencias internacionales en las cuales participaban dos o más grupos de investigación.

La coordinación, análisis e integración de la información ambiental, ecológica, socioeconómica y geográfica que fue creada en el proyecto, requirió de la participación de cada grupo asociado. La colaboración por cada resultado y sub resultado del proyecto puede ser vista en la *Tabla 3*.

El mecanismo para una colaboración exitosa fue el frecuente contacto entre grupos asociados trabajando en aspectos relacionados de la investigación y la posibilidad de realizar actividades conjuntas (trabajo de campo o modelado). La investigación de campo se realizó usualmente en colaboración con uno o más asociados para reducir los costos de transporte y los problemas logísticos. Los encuentros científicos del proyecto fueron importantes oportunidades para intercambiar ideas y discutir la evolución del mismo (ver más abajo). Además, hubo gran cantidad de experiencias compartidas que facilitaron esta colaboración, incluyendo,

- El encuentro científico internacional “*Tempos in Science and Nature*” realizado en Siena, Italia, 1998, con participación de investigadores de UNISI, UNICEN.
- *Curso sobre Sensores Remotos*, organizado en la UNCPBA, Azul, Argentina 1998, con participación de investigadores de UNICEN, UNISI.
- *Congreso Nacional de Matematica Aplicada e Computacional*, Santos, Brasil, 1999, con participación de investigadores de UNICAMP, UFRGS, UNICEN.
- *Encuentro del proyecto CONAE SAC-C* en Buenos Aires 2000 con participación de investigadores de UNICEN, UNISI.
- *Encuentro sobre Análisis de Sistemas Complejos*, organizado por Universidad del Salvador en Ushuaia, Argentina 2000, con participación de investigadores USVID, UNISI

ESQUEMA DE COLABORACIONES		
Técnicas de Modelado	Modelo estructurado por edad y modelo epidemiológico para el carpincho	UNICEN, UNICAMP
	Modelos metapoblacionales con inclusión de calidad del hábitat	UNICEN, UNISI
	Modelo estructurado por edad para el yacaré	UFRGS, USVID
	Modelos de dispersión para contaminantes	UNICAMP, UAVR
	Modelos Hidrológicos	UNICEN, UNISI
	Modelos cualitativos	UNISI, UCADIZ, USVID, UNLU
	Modelo Ecológico-económico	UYORK, USVID
	Modelo de Energía	UNISI, UNICEN
Instrumentos de Monitoreo	Análisis Satelital a largo plazo	UNISI, UNICEN, UCADIZ, CONAE
	Monitoreo Ecológico	Guardafauna, UNISI, USVID
	Monitoreo de calidad de agua	UCADIZ, USVID, UAVR, UNISI
	Monitoreo de Hábitat	UNICEN, UNISI, CONAE
	Monitoreo Hidrológico	UNICEN, LabRoma, USVID
	Biosensor	UAVR, USVID
Instrumentos de Manejo	GIS	UNICEN, UNISI, UCADIZ, USVID
	Análisis Hidrológico	UNICEN, UNISI
	Análisis del uso de tierra	UYORK, USVID, UAVR
	Conservación de Hábitat	USVID, UNISI, UNICEN
	Análisis Legal y normativo	USVID
	Administración de turismo	UAVR, UYORK
	Cosecha de animales silvestres	USVID, UFRGS, UNICEN
	Página web de Administración	UNISI, TODOS
	CD de administración	UNISI, TODOS

Tabla 3: Esquema de colaboraciones

- *Quinto Curso Internacional sobre Ecología Matemática con Introducción a la Economía Ambiental*, organizado en el ITCP, Trieste, Italia, 2000, con participación de investigadores UNICEN, UNISI, UYORK, LabROMA, UFRGS.
- Intercambios de Profesores, 2000, UNICEN, UNICAMP
- *Millenium Wetland Event*, organizado en Québec, Canadá, 2000, con participación de investigadores UNICEN, UNISI.
- *Encuentro Latinoamericano de Ecología Matemática*, Campinas, Brasil, 2001, con participación de investigadores de UNICAMP, UNICEN, UFRGS.
- *Simposio Internacional sobre Sensores Remotos en la teleobservación del Ambiente*. (XXIX ISRSE), organizado por CONAE, Buenos Aires, 2002, con participación de investigadores de UNISI, UNICEN.
- *Taller Internacional de Ecología Teórica: Manejo de Recursos Naturales y Biología de la Conservación*, organizado en el ITCP, Trieste, Italia, 2002, con participación de investigadores UNICEN, UNISI, UYORK.

Las colaboraciones con institutos de investigación externos enriquecieron en gran medida el proyecto. Estas cooperaciones fueron organizadas individualmente por los investigadores para

beneficio de los otros grupos en el proyecto y del proyecto mismo. Varios de los más importantes se enumeran a continuación:

- Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) - Argentina
- Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente Humano (SERNAH), Subsecretaría de Recursos Hídricos - Argentina
- Instituto Clemente Estable, Montevideo, Uruguay, para el análisis de ADN relacionado a la genética de conservación del ciervo de los pantanos.
- Secretaría de Medio Ambiente, Gobernación del Departamento Central, Paraguay.
- Museo de Ciencias Naturales de La Plata, Argentina
- Instituto Correntino del Agua, Argentina
- EEA INTA Mercedes, Corrientes, Argentina

La colaboración que caracterizó a este proyecto continúa en otros a escala nacional e internacional. Estos proyectos incluyen la continuación de la colaboración de investigación con la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE), con la participación de varios de los grupos que colaboraron en la investigación (UNICEN, UNISI, UCADIZ, UNLU y LabRoma).

En el ámbito local, UNICEN y USVID están participando en una serie de paneles científicos que estudian impactos en los Esteros del Iberá. UNISI y UYORK están participando en otro proyecto INCO en humedales de Africa. UCADIZ y UNISI continúan su colaboración por medio del intercambio de científicos realizando trabajos de estudio de análisis de sensores remotos en los sistemas acuáticos. UNISI y UNICEN están intercambiando investigadores para continuar con el estudio de los cambios en el humedal, utilizando entre otras, técnicas de análisis de sensores remotos. UNICAMP y UNICEN están colaborando en intercambio de estudiantes y profesores.

ENCUENTROS CIENTÍFICOS

Las actividades del proyecto incluyeron tres encuentros científicos orientados a la investigación conjunta y a la discusión de los resultados obtenidos, como así también, a la difusión de las actividades y los resultados del proyecto. La primera reunión estuvo orientada hacia la organización e integración de las actividades del proyecto. La segunda se caracterizó por la discusión de los resultados parciales y las modificaciones en el plan de investigación, basándose en las experiencias de la primera mitad del proyecto. La tercera reunión tenía como objetivo la discusión y el perfeccionamiento de las metodologías desarrolladas y la determinación de futuras actividades de colaboración.

El primer encuentro entre los colaboradores del proyecto se llevó a cabo en varias comunidades en el Iberá en Febrero de 1999. Al mismo concurren representantes e investigadores de todas las instituciones del proyecto (con excepción de UYORK). El encuentro duró siete días y estuvo orientado al planeamiento, la administración del proyecto, el desarrollo de los métodos de investigación, el intercambio de experiencias, varias presentaciones públicas y reuniones con personalidades locales. Se llevaron a cabo talleres y reuniones acerca de los escenarios de

interés con dirigentes locales y con representantes provinciales, para discutir el uso de los recursos y el panorama futuro alternativo.

El segundo encuentro entre los colaboradores del proyecto se llevó a cabo en Buenos Aires, Gobernador Virasoro y Mercedes, Provincia de Corrientes, durante la primera semana de Junio de 2000. Al mismo concurren representantes e investigadores de cada grupo participante del proyecto, como también representantes de las asociaciones de productores locales y de los guardafauna. La reunión duró siete días y se abocó a la discusión de los resultados parciales de la investigación de campo y la recolección de datos históricos, la discusión científica para integrar el modelado y el trabajo de GIS, se establecieron las plataformas para los instrumentos finales y la difusión de actividades para conocimiento de las personalidades locales, regionales y nacionales.

El tercer encuentro científico se llevó a cabo a principios de Noviembre de 2001 en Buenos Aires, Colonia Pellegrini y Corrientes capital. El mismo estuvo orientado a la revisión final y al análisis de los resultados del proyecto, la discusión de los instrumentos desarrollados y su difusión en la comunidad regional e internacional, como también posibles oportunidades de continuidad de la colaboración entre los grupos. Mientras que los tres primeros días estuvieron dedicados a la discusión entre los científicos del proyecto, con la participación de científicos internacionales invitados, los últimos cuatro estuvieron dedicados a la difusión e interacción con los actores locales, regionales y provinciales interesados en el manejo de los recursos del humedal.

PUBLICACIONES Y TRABAJOS

El proyecto dio como resultado un número de publicaciones, ya aparecidas o aún bajo revisión en revistas científicas con referato (ver Lista de Publicaciones). Adicionalmente, la revista científica *Ecological Modelling* (Elsevier Publishers), editada por la *International Society for Ecological Modelling*, está preparando un número especial que contendrá contribuciones de cada grupo de investigación participante de este proyecto INCO.

El proyecto dio como resultado un número de títulos de postgrado, tanto Maestrías como Doctorados basados en la investigación realizada. Estos están listados por participante: UNISI (2 PhD y 3 Laureas), USVID (1 MSc), UCADIZ (1 PhD), UNICAMP (1MSc), UYORK (2 MSc), UFRGS (2 MSc), UNICEN (1 Ing), UAVR (1 MSc.).

Un investigador del grupo de USVID obtuvo un título de Magister en el Departamento de Medio Ambiente de UYORK, desarrollando su Tesis en relación con el trabajo realizado sobre el análisis económico del medio ambiente y el modelado de los recursos del humedal.

PROBLEMAS ENCONTRADOS

Varios problemas causaron una demora en la concreción de algunas etapas intermedias. Estuvieron mayormente relacionados con la falta de datos consistentes sobre las condiciones ambientales, ecológicas, sociales y económicas del Iberá. La dificultad en obtener series de datos suficientes en tiempo y forma sobre el área de estudio provocó que se tuvieran que realizar esfuerzos extra en la recopilación que no habían sido considerados en el programa original de trabajo. Sin embargo, la colaboración de individuos en el ámbito local, provincial y nacional, facilitaron en gran medida esta importante parte de la investigación.

Hubo cierta dificultad para organizar las series de datos históricos. Muy pocos de los datos históricos ambientales y socioeconómicos se encontraban localizados en un solo lugar. Con frecuencia, datos parciales estaban diseminados en una gran cantidad de oficinas e instituciones, locales y nacionales. Se dedicó mucho esfuerzo a la obtención de datos y al intercambio de la información que se iba encontrando. De todas formas, en algunas ocasiones el esfuerzo de diferentes colaboradores estuvo dedicado a la obtención de la misma información de diferentes fuentes. Esto se solucionó estableciendo fuentes y series de datos en Internet y con el intercambio frecuente de correo electrónico.

El intercambio de información y la colaboración entre los grupos asociados funcionó bien en el proyecto, pero en un principio hubo algunos problemas, identificados y corregidos a lo largo del primer año de investigación. Estos incluyeron dificultades en las transmisiones vía Internet para el personal de campo y algunas instituciones locales. Los sitios estudiados, como en la mayoría de los humedales del Mercosur, son áreas remotas y aisladas que no cuentan con infraestructura adecuada. Hubo numerosos problemas para coordinar las actividades de campo debido a la falta de medios de transporte y a la imposibilidad de contactar a las personas que se encontraban realizando trabajos en el campo. Para solucionar estos problemas se contactó a los productores locales que colaboraron con la logística y el apoyo para las actividades de medición. Además, estos productores se convirtieron en colaboradores valiosos para el proyecto por su conocimiento de los datos existentes y por los importantes aportes, tanto cualitativos como cuantitativos, de datos históricos.

Otro problema para las actividades de investigación estuvo relacionado con la inestabilidad económica y política de los países del Mercosur. Por un lado la producción de arroz, que era el cultivo de mayor importancia en el primer año del proyecto, se redujo significativamente en el segundo y tercer año debido a la devaluación del Real brasileño. En la actualidad, la producción está aumentado nuevamente después de la devaluación del Peso argentino. La participación oficial del Gobierno Provincial en el proyecto se vio obstaculizada por la inestabilidad política que ocasionó tres cambios de gobierno en tres años. Una vez más, la colaboración continua e individual de personas de la Provincia ayudó a superar dificultades debidas a los cambios de los representantes del gobierno oficial.

| LISTADO DE PUBLICACIONES

Artículos en revistas científicas y trabajos completos en Actas de Congresos con referato (publicados o aceptados)

1. Beccaceci, M. D. & T. Waller (2000). *Presence of the Giant Otter, Pteronura brasiliensis, in the Province of Corrientes, Argentina*. IUCN Otter Spec. Group Bull., **17(1)**:31-33.
2. Canziani, G.A., R. Ferrati, C. Rossi, D. Ruiz Moreno. *Climatic Change or Human Influence? The case of the Ibera Wetlands in Argentina*. Regional Environmental Change (Aceptado 2002)
3. Castro, M. L., Silva J. A L.& Justo, D. A. (2001). *Modelagem da População de Jacaré Negro dos Esteros de Ibera*. Tendências em Matemática Aplicada e Computacional **2**:53-62
4. Cózar A., Gálvez J.A., García C.M . *Analysis of plankton size spectra irregularities in two subtropical shallow lakes (Esteros del Iberá, Argentina)*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences (Aceptado 2002).
5. Diniz, G.L., Fernandes, J.F.R. y Meyer, J.F.C.A (2001). *Uma abordagem para a dispersão de poluentes num sistema ar-água*. Anales del Congresso Latino Americano de Biomatemáticas (X ALAB and V ELAEM), Campinas, Brasil. p.289-296.
6. Gori M., Carpaneto G. M., Ottino P. *Spatial distribution and diet of the Neotropical otter (Lontra longicaudis) in the Iberá Lake (Northern Argentina)*. Acta Theriologica (Aceptado 2002).
7. Falcucci F., V. Hull, S. Panella, G. M. Carpaneto, S. A. Loiselle e C. Rossi (2000). *Sviluppo sostenibile delle risorse naturali di zone umide nella Mesopotamia Argentina: un progetto di ricerca dell'Unione Europea* . Biologi Italiani **XXX (1)**:15 – 23.
8. Federico, P., G. A. Canziani (2000). *Population Dynamics through metapopulation models: When do cyclic patterns appear?*. Tendencias em Matemática Aplicada e Computacional **1(2)**:85-99. ISBN: 85-86883-02-06.
9. Ferrati, R., D. Ruiz Moreno, G.A. Canziani. (2000) *Modelos de balance hídrico para analizar el cambio de régimen en un humedal sujeto a perturbaciones antrópicas y climáticas*. Conferencia Internacional Electrónica sobre Economía del Agua, Sección Técnica IV: Agua,

- Energía y Medio Ambiente, España, Noviembre 2000. Publicado en CD y en (http://agua.rediris.es/conferencia_iberdrola_2000/conferencia/comunicaciones.htm).
10. Ferrati, R. Ruiz Moreno D., Aubone A., Canziani G. (2002). *Satellite Images as a Tool for Hydrodynamic Modelling*, Proceedings of the 29th International Symposium on Remote Sensing of Environment. (XXIX ISRSE), Buenos Aires. Publicado en CD Ref.4.11.
 11. Fortuna S., Carpaneto G. M., Gibertini G.. *The diet of the Neotropical Cormorant (Phalacrocorax olivaceus) in the Iberá Lake (North-Eastern Argentina)*. Studies on Neotropical Fauna and Environment (Aceptado 2002).
 12. Loiselle S.A., G. M. Carpaneto, V. Hull, T Waller, C. Rossi (2000). *Feedback analysis in reserve management: studying local myths using qualitative models*. Ecological Modelling **129**:25-37.
 13. Loiselle S.A., G. Canziani, G. Sabio, C. Rossi (2001). *The use of systems analysis methods in the sustainable management of wetlands*. Hydrobiologia **458**:191-200,
 14. Loiselle S.A, V. Hull, J. A. Galvez, C Rossi (2001). *Qualitative modelling tools for rural ecosystem management*. International Journal of Sustainable Development and World Ecology **8**:1-14.
 15. Loiselle S.A, L. Bracchini, C. Rossi (2001). *Modelling energy fluxes in remote wetland ecosystems with the help of remote sensing*. Ecological Modeling **145**:245-261.
 16. Loiselle S.A, L. Bracchini, A. Cozar, A. Cогnetta, C. Rossi (2002) *Determination of water optical parameters in a large wetland using TM bands*, Proceedings of the 29th International Symposium on Remote Sensing of Environment (XXIX ISRSE), Buenos Aires. Publicado en CD Ref.8.54.
 17. Loiselle S.A, C. Rossi. *Neotropical wetlands: new instruments in ecosystem management*. Wetlands Ecology and Management (Aceptado 2002).
 18. Loiselle S.A, V. Hull, E. Permingeat, M. Falcucci, C. Rossi (2002). *The Study of Potential Impacts of Development Alternatives on Wetland Ecosystem Integrity*. Web Ecology **3**:56-69
 19. Ruiz Moreno, D.; Federico, P.; Canziani, G. (2001) AC: *Simulación Espacial de la Dinámica de una Población Sujeta a Perturbaciones*. Anales de la IX Reunión de Trabajo en Procesamiento de la Información y Control, Santa Fé, Vol I, 240-245.
 20. Ruiz Moreno D., Federico P., Canziani G.A. (2002). *Population Dynamics Models Based on Cellular Automata that include Habitat Quality Indices defined through Remote Sensing*. Proceedings of the 29th International Symposium on Remote Sensing of Environment. (XXIX ISRSE), Buenos Aires, Publicado en CD Ref.8.53.
 21. Silva, C. and Boia, C. (2000). *Impacts of rice culture on the management of a wetland in Argentina: preliminary results*. In: Geophysical Research Abstracts. Volume 2, European Geophysical Society, ISN: 1029-7006.
 22. Silva, C.; Boia, C.; Borrego, C. (2001). *Uso de um Modelo Matemático na Previsão da Distribuição de Pesticidas num Sistema Orizícola do Mercosur*. Actas da 7ª Conferência Nacional sobre a Qualidade do Ambiente. p. 166 – 177. Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro.

23. Silva, C.; Valente, J.; Boia, C.; Borrego, C. (2002). *Contribution to Legal Criteria Definition for Sustainable Use of Pesticides on a Rice System in Argentina*. In Estudios de Contaminação Ambiental na Península Ibérica, Edições Piaget (en prensa).
24. Sossae, R.C, J.F.C.A. Meyer, S. A. Loiselle, C. Rossi (1999). *Mathematical Modeling and Numerical Simulation of Space-Dependant Multispecies Interactions*. In "Tempos in Science and Nature" Annals of the New York Academy of Sciences **879**:440 – 443.
25. Waller, T., M.D. Beccaceci & P.A. Micucci (2000). *Geographic Distribution: Acanthochelys spixii*. Herpetological Review, **31(2)**:110.
26. Waller, T. & M. D. Beccaceci. *Novedades Zoogeográficas: Scynax berthae Barrio, 1962 (Anura, Hylidae)*. Primera cita para la provincia de Corrientes, Argentina. Cuadernos de Herpetología, Asociación Herpetológica Argentina (en prensa).

Artículos para publicar en revistas científicas, en preparación:

1. Cattaneo, F. *Modelos ecológicos y económicos para el análisis de la sustentabilidad social y económica de los recursos naturales de los Esteros del Iberá*. En: de Mahieu, G.; Mazzola, J. y M.A. Echazú Agüero. Prácticas en métodos de valoración socio-económica para una gestión ambiental sostenible: su aplicación a algunos casos en Argentina. Editorial Ciudad Argentina (en prep.)
2. Federico P., G.A. Canziani. *Modelling the Population Dynamics of Capybara (Hydrochaeris hydrochaeris): First Step Towards a Management Plan*. Para enviar a Ecological Modelling
3. Ferrati R., G.A. Canziani. *Esteros del Iberá: Hydrometeorological and Hydrological Characterization*. Para enviar a Ecological Modelling
4. Ruiz Moreno D., G.A. Canziani. **Effects of habitat quality on the dynamics of spatially explicit metapopulation models**. Para enviar a Ecological Modelling
5. Simonit S., Perrings C. *Modelling groundwater externalities of dam development: the case of Esteros del Iberá*.
6. Waller, T. & M. D. Beccaceci. 2000. *Bothrops alternatus: Habitat*. Para enviar a Herpetological Review,
7. Waller, T. & M. D. Beccaceci. 2000. *Geographic Distribution: Anisolepis longicauda*. Para enviar a Herpetological Review.

Resúmenes publicados en eventos científicos:

1. Beccaceci, M. y M. Mas (2001). *Endoparásitos del ciervo de los pantanos, carpincho y ganado vacuno en la Reserva Natural del Iberá, Corrientes, Argentina*. Resúmenes XV Jornadas Argentinas de Mastozoología. Sociedad Argentina para el Estudio de los Mamíferos, p.36-37.
2. Canziani, G.A., Ferrati, R. (2001). *Cómo confrontar diferentes hipótesis con análisis de datos para inferir la predictibilidad de características ambientales: el caso del ecosistema Iberá*. Programa e Resumos Congresso Latino Americano de Biomatemática, Brasil, p.65.

3. Cózar A., Gálvez J.A., García C.M., S. Loiselle y Cognetta A. (2002). *Bio-regionalización del sistema lacustre de los humedales del Iberá (Argentina) basada en series temporales obtenidas por teledetección*. XI Congreso de la Asociación Española de Limnología y III Congreso Ibérico de Limnología, Madrid, 17-21 Junio 2002. Libro de Resúmenes p.71.
4. Gálvez, J.A., A. Cózar y C.M. García (2002). *Estudio limnológico de dos lagunas con distinto estado trófico del humedal subtropical argentino "Esteros del Iberá": Heterogeneidades espaciales y dinámica estacional*. XI Congreso de la Asociación Española de Limnología y III Congreso Ibérico de Limnología, Madrid, 17-21 Junio 2002. Libro de Resúmenes p. 45.
5. Gandini M.L., Canonica A.M, Federico P. (2000). *Landscapes definition for vertebrate modelling in a wetland*. Program with Abstracts Millenium Wetland Event p.410, Québec, Canada.
6. Gantes, P.; Sánchez Caro, A.; Casset, M. A.; Pérez, B. and F. Momo (2000). *Nutrientes en vegetación y sedimentos en la laguna Iberá (Corrientes)*. VII Jornadas de Ciencias Naturales del Litoral. Santa Fe.
7. Gantes, P.; M. A. Casset; A. Sánchez Caro; A. Torremorel y F. Momo (2001). *Nutrientes en vegetación y sedimentos en embalsados de Iberá (Corrientes)*. Actas del V Congreso Latinoamericano de Ecología.
8. Gernaert Willmar, S. and M.A. Echazú Agüero (1999). *Análisis de la articulación del sector privado dentro de la gestión de los Esteros del Iberá, Corrientes (Argentina)*. 13th Session Global Biodiversity Forum, San José de Costa Rica, May 7-9, Abstract Book p. 47-48.
9. Federico, P. (2000) *Análisis de modelos metapoblacionales desde la perspectiva analítica*, Resúmenes del IV Encuentro de Matemática: Mar y Sierras p.18, Tandil.
10. Federico, P.; Canziani, G.; Milano, F. (2001). *Análisis de dinámica poblacional del Carpincho: Primer paso hacia un plan de manejo*. Libro de Resúmenes de la I Reunión Binacional de Ecología, p.101, Bariloche.
11. Federico, P., Canziani, G.A. (2001). *Estudio de Estrategias de Cosecha para un Plan de Manejo de Hydrochaeris hydrochaeris*. Programa e Resumos Congresso Latino Americano de Biomatemática, Brasil, p.3.
12. Federico, P., Canziani, G.A. (2000). *Metapopulation Dynamics under Density Dependent Disturbances. I: An Analytical Approach*. Fifth Course on Mathematical Ecology with an Introduction to Environmental Economics, ICTP, Trieste, Italia.
13. Ferrati, R. Canziani G.A., C. Rossi (2000). *GIS-based object-oriented hydrological model as a tool for the analysis of population dynamics*. Program with Abstracts Millenium Wetland Event p.340, Québec, Canada.
14. Loiselle, S. *Instruments for monitoring and management of neotropical wetlands*, Program with Abstracts Millenium Wetland Event, Québec, Canada.
15. Márquez, A. González, S. Beccaceci, M.D. y J.E. Maldonado. (2000). *Problemática para la caracterización genética de la población de ciervo de los pantanos de los Esteros del Iberá utilizando muestras de ADN antiguo*. Resúmenes XV Jornadas Argentinas de Mastozoología. Sociedad Argentina para el Estudio de los Mamíferos, pp. 79-80.

16. Pregnotatto, S.A. y Meyer, J.F.C.A.. *Modelos clássicos e novas formulações: revendo epidemias ligadas a controle populacional*. Anales del ERMAC 2000, S. José dos Campos, SP, Brasil, Marzo 2000.
17. Pregnotatto, S.A. y Meyer, J.F.C.A. *Modelagem e simulação numérica do mal-das-cadeiras em capivaras*, parte I: dispersão espacial e dinâmica populacional e taxa periódica de infecção. Anales del 24° CNMAC – Congreso Nacional de Matemáticas Aplicadas y Computacionales, Belo Horizonte, MG, Brasil, Septiembre 2001.
18. Pregnotatto, S.A. y Meyer, J.F.C.A. *Modelagem e simulação numérica do mal-das-cadeiras em capivaras*, parte II: dispersão espacial e dinâmica populacional de capivaras e transmissores. Anales del 24° CNMAC – Congreso Nacional de Matemáticas Aplicadas y Computacionales, Belo Horizonte, MG, Brasil, Septiembre, 2001.
19. Pregnotatto, S.A. *Dinâmica populacional de uma população de capivaras doentes em Iberá*. Annals of the Joint Latin American Congress on Biomathematics (X ALAB y V ELAEM), Campinas, SP, Brasil, Noviembre 2001.
20. Pregnotatto, S.A. y Meyer, J.F.C.A. *Uma estratégia numérica para a simulação o comportamento evolutivo de um sistema de EDPs descriptivo do mal-das-cadeiras de capivaras – taxa periódica de infecção*. Anales del 25° CNMAC – Congreso Nacional de Matemáticas Aplicadas y Computacionales, N. Frigburgo, RJ, Brasil, Septiembre 2002.
21. Ruiz Moreno, D., Federico, P., Canziani G.A. (2000). *Metapopulation Dynamics under Density Dependent Disturbances*. I: A Cellular Automata Approach. Fifth Course on Mathematical Ecology with an Introduction to Environmental Economics, ICTP, Trieste, Italia.
22. Ruiz Moreno, D.; Federico, P. y Canziani, G. (2000). *Análisis de modelos metapoblacionales desde la perspectiva de autómatas celulares*. Resúmenes del IV Encuentro de Matemática: Mar y Sierras, p.17, Tandil.
23. Ruiz Moreno, D.; Federico, P.; Canziani, G. (2001). *Un camino para relacionar procesos a nivel local con dinámica a nivel paisaje: Autómatas Celulares*. Libro de Resúmenes de la I Reunión Binacional de Ecología, p.209, Bariloche.
24. Ruiz Moreno, D., Federico, P., Canziani G.A. (2001). *Un Autómata Celular para el Estudio de los Efectos de la Heterogeneidad Espacial en la Dinámica Poblacional*. Programa e Resumos do Congresso Latino Americano de Biomatemática, Brasil, p.36.
25. Ruiz Moreno D., Canziani, G.A., Federico P. (2002). *Including Habitat Quality and Density-dependent Migration in Spatially Explicit Metapopulation Models*. Abstracts of the International Conference on Mathematics and Biology, 2002 Annual Meeting of the SMB, USA.
26. Silva, C.; Boia, C.; Borrego, C. (2001). Pesticide risk assessment on a wetland in Argentina. 11th Annual Meeting of SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) Europe, from basic science to decision-making: “The Environmental Odyssey” Abstracts.
27. Silva, C.; Boia, C.; Borrego, C. (2001). *Definição de Critérios Legais que Garantam a Utilização Sustentável de Pesticidas num Sistema Orizícola no Mercosur*. Abstracts da 1ª Conferência Ibérica sobre Protecção Ambiental.

28. Sossae, R.C., Loiselle, S., Rossi, C. y Meyer, J.F.C.A. *Mathematical modelling and numerical simulation of space-dependent multispecies interactions*. Anales del 22° CNMAC – Congreso Nacional de Matemáticas Aplicadas y Computacionales, Santos, SP, Brasil, Septiembre 1999.
29. Sossae, R. y Meyer, J.F.C.A. *Impacto ambiental e dinâmicas populacionais interespecíficas*. Annals of the ERMAC 2000, S. José dos Campos, SP, Brasil, Marzo 2000.

Tesistas

1. Bernardes, M. 1998. Departamento de Matemática, Universidad Estadual de Campinas, Tesis de Maestrado.
2. Cattaneo F. 2000. *An analysis of the ecological consequences of the collapse of the market for rice in Argentina: the case of Lake Ibera*, Environment Department, University of York, Tesis de Master of Science.
3. de Castro, M. 2001. *O Efeito da Migração sobre a Homogeneidade em Metapopulações*. Postgraduação em Matemática Aplicada, Universidad Federal do Rio Grande do Sul, Tesis de Maestrado.
4. Cognetta, A. 1998. *Valorizzazione e mantenimento di un'area umida del Nordest Argentino*. Dipartimento Scienze e Tecnologie Chimiche, Università degli Studi di Siena, Tesis de Laurea Specialistica.
5. Cózar, A. 2002. *Estudio limnológico de los humedales del Iberá (Argentina): bases para la gestión*. Universidad de Cádiz, Tesis Doctoral.
6. Diniz, G.L., 2003. *Uma abordagem para a dispersão de poluentes num sistema ar-água* Departamento de Matemática, Universidad Estadual de Campinas, Tesis Doctoral.
7. Justo, D.A.R., 2001. Departamento de Computación, Universidad Federal do Rio Grande do Sul, Tesis de Maestrado.
8. Loiselle S. 2000. *The use of environmental physical chemistry in the modelling and analysis of aquatic ecosystems*, Dipartimento Scienze e Tecnologie Chimiche, Università degli Studi di Siena, Tesis Doctoral. Noviembre 2000.
9. Mazzuoli, Stefania, 2000. *Il ruolo delle sostanze umiche nelle dinamiche stagionali di un ecosistema acquatico*. Dipartimento Scienze e Tecnologie Chimiche, Università degli Studi di Siena, Tesis de Laurea Specialistica.
10. Olson, Barnaby. *Efectos ambientales transfronterizos del desarrollo económico de los Esteros del Iberá en el ámbito del Mercosur*. International Internship USAL-VRID-IMAE. Agosto-Diciembre 1999. Disertación.
11. Pizzi, Duccio, 1999. *Analisi termodinamica dell'ecosistema acquatico "Esteros del Ibera"*. Dipartimento Scienze e Tecnologie Chimiche, Università degli Studi di Siena, Tesis de Laurea Specialistica.
12. Pregnotatto, S.A., 2002. *Modelagem e simulação numérica do mal-das-cadeiras em capivaras*. Departamento de Matemática, Universidad Estadual de Campinas, Tesis Doctoral.

13. Ruiz Moreno, D., 2002. *Herramientas para el Manejo de Recursos Naturales: Modelos Metapoblacionales Espacialmente Explícitos en la Óptica de los Autómatas Celulares*. Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Tesis para el título de Ingeniero de Sistemas.
14. Simonit S. 2001. *The external effects of hydroelectric power generation: the impact of the Yacyreta Dam on the Ibera wetlands of North Eastern Argentina*, Environment Department, University of York, Tesis de Master of Science.
15. Silva, C.; 2001. Estudo do Impacte Ambiental do Uso de Pesticidas num Sistema Orizícola. Contribuição para a Definição de Critérios Técnicos e Legais para a Gestão Sustentável de uma Zona Húmida no Mercosur. Universidad de Aveiro, Tesis de Maestría.
16. Sossae, R.C., 2003. Departamento de Matemática, Universidad Estadual de Campinas, Tesis Doctoral.

Informes requeridos por instituciones gubernamentales y no-gubernamentales, e informes internos:

1. Canziani, G.A., *Informe de las conclusiones obtenidas de la investigación realizada en el proyecto INCO DC para el Panel de Expertos designado por la Entidad Binacional Yacyretá*, a pedido de la Directora del Instituto Correntino del Agua, Lic. Delia Acevedo. Agosto 2000.
2. Canziani, G.A., *Informe sobre el impacto ambiental de la represa de Yacyretá en los Esteros del Iberá*, solicitado por el Subsecretario de Desarrollo Sustentable y Política Ambiental Lic. Rubén Patruoilleanu, Ministerio de Acción Social y Medio Ambiente, Octubre 2000.
3. Canziani, G.A., *Informe sobre el impacto ambiental de la represa de Yacyretá en los Esteros del Iberá*, solicitado por el Defensor del Pueblo de la Nación al Rector de la UNCPBA, Abril 2001.
4. Canziani, G.A., Segundo Informe sobre el impacto ambiental de la represa de Yacyretá en los Esteros del Iberá, solicitado por el Defensor del Pueblo de la Nación al Rector de la UNCPBA, Febrero 2002.
5. Cattaneo F., Simonit S. and Perrings C.. *The Sustainable Management of Wetland Resources in Mercosur: the economic problem*. Environment Department, University of York, 2002.
6. de Mahieu, G. 2001. *El proyecto Iberá, un aporte a la Comunidad Sostenible Global*. Jornada de Reflexión sobre los Desafíos de la educación ambiental en Argentina. Secretaría de Desarrollo Sustentable y Política Ambiental, 21 de junio.

Presentaciones en reuniones científicas, talleres, paneles o mesas redondas (sin publicaciones):

1. Bracchini, Luca. *Variations in the chemical-physical characteristics of the wetland using Remote Sensing technology*, Taller, Universidad de Siena.

2. Canziani, G.A. y S. Loisel. *Mathematical Modelling of Complex Ecosystems: A case study*. Fifth Course on Mathematical Ecology with an Introduction to Environmental Economics, ICTP, Trieste, Italy, March 2000.
3. Canziani, G.A. *Analytic and Cellular Automata approaches to metapopulation dynamics*. The Third World Congress of Nonlinear Analysts (IFNA), Catania, Italia, Julio 2000.
4. Canziani, G.A., *El Proyecto INCO DC "The Sustainable Management of Wetland Resources in Mercosur"*. Taller "Impacto Ambiental de la Represa Yacyretá", organizado por la Secretaría de Desarrollo Sustentable y Política Ambiental, Ministerio de Acción Social y Medio Ambiente. Octubre 2000.
5. Canziani, G.A. *Impacto Ambiental de la represa de Yacyretá en los Esteros del Iberá*. Senado de la Nación, Argentina, Junio 2001.
6. Canziani, G.A. *El Problema del trasvase Yacyretá-Iberá. Consejo de la Fundación Vida Silvestre Argentina. Julio 2001*.
7. Canziani, G.A. *Mathematical Models in Wetland Studies*. Seminario de la Facultad de Matemáticas, Física y Ciencias Naturales, Universidad de Siena, Italia. Enero 2002.
8. Canziani, G.A.; R. Ferrati. *Conservation of a neotropical wetland ecosystem in a rapidly changing World*. Workshop on Theoretical Ecology: Natural Resource Management and Conservation Biology, ICTP, Trieste, Italia. Abril 2002.
9. Canziani, G.A., D. Ruiz Moreno, P. Federico. *Metapopulation dynamics in heterogeneous environments: a cellular automata approach*. Workshop on Theoretical Ecology: Natural Resource Management and Conservation Biology, ICTP, Trieste, Italia. Abril 2002.
10. Canziani, G.A. *Presentación por convocatoria de la Legislatura de la Provincia de Corrientes, para informar sobre los resultados del modelado hidrológico respecto del impacto de la Represa de Yacyretá sobre el ecosistema Iberá*. Corrientes, Marzo 2002.
11. Canziani, G.A. *Yacyretá: Impacto Socioeconómico y Ambiental. Jornada de Energía para el Desarrollo organizada por el Foro Correntino para el Desarrollo Productivo*, Universidad de la Cuenca Del Plata, Corrientes. Septiembre 2002.
12. de Mahieu., G. *Humedales del Mercosur*. Seminario Internacional sobre la Dimensión Federal del Mercosur. Panel Integración y Biodiversidad- El eje Amazonia-Patagonia. Gobierno de la Provincia de Buenos Aires, Embajada de la República Federativa del Brasil en Argentina y Universidad del Salvador. Buenos Aires. 3 de Abril 2001.
13. de Mahieu, G. 2001. *El proyecto Iberá y la cooperación Italo-Argentina*. II Foro de Cooperación Cultural Italo-Argentino. Panel de Cooperación Científica- Tema: Medio Ambiente. Ministerio de Relaciones Exteriores, Comercio Internacional y Culto, Buenos Aires, 15 de marzo.
14. Hull, V. A. *European Community project for the sustainable management of wetland resources in Mercosur*. International Workshop "Matemática Ambiente", Nápoles, Italia, 2001
15. Hull, V. *Qualitative ecological models for the Esteros del Iberá: an international project funded by the European Community*. Ecological Modelling Workshop, Universidad de Kochi, Japan, 2002.

16. Falcucci M., Hull V., Loisel S., Panella S. y Rossi C. (1999) *Le risorse naturali degli Esteros del Iberà* – Corrientes, Argentina, IX Congress of the Italian Society of Ecology, Lecce, Italia.
17. Loisel S. *The combination of remote sensing technology and in situ monitoring in wetland studies and management*. ECOSUMMIT 2000, Halifax, 2000.
18. Lucano, M.M. *Esquema normativo aplicable a la zona de los Esteros del Iberá*. Estudios de caso del IMAE, Agosto 2001.
19. Mazuoli, Stefania. *Seasonal variations in concentrations of humic acids in two shallow lakes in the Esteros del Ibera*, Taller, Universidad de Siena.
20. Ríos, A. y J. Mazzola 2002. *Esteros del Iberá: aplicación del Sistema de Información Geográfica (SIG) en el análisis de indicadores de la calidad de vida*. Taller de Capacitación en Métodos para la Evaluación de la Calidad de Vida. Proyecto GEO Ciudades-Ciudad de Buenos Aires. USAL-VRID-IMAE, 26 de agosto.
21. Rossi, C., *Approaches to ecosystem management*, Ushuaia Argentina
22. Rossi, C. *The use of satellite information in the sustainable management of wetland resources*, Seminario de Trabajo Morning Constellation (SAC-C, EO1, Terra & Landsat 7), celebrado en CONAE, Octubre 1999.
23. Ruiz Moreno, D. *Nuovi sviluppi nella modellistica ecologica attraverso dati satellitari*. Seminario de la Facultad de Matemáticas, Física y Ciencias Naturales, Universidad de Siena, Italia. Junio 2002.
24. ten Hoeve, A. y S. Agostino 2002. *Proyecto de Red de Eco Museos: una Propuesta para el Desarrollo Sustentable del Patrimonio Natural y Cultural de los Esteros del Iberá*. Colocación de la piedra fundamental del Museo Regional de los Esteros del Iberá “I Yará” (Declarado de interés Municipal y Provincial por el Gobierno de la Provincia de Corrientes), 15 de septiembre.

PARTE II

INFORMES DE TRABAJOS DE INVESTIGACION ESPECIFICOS

1. SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA Y SENSORES REMOTOS

Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires

Integrantes: Graciela Canziani¹, Rosana Ferrati, Paula Federico,
Diego Ruiz Moreno, Florencia Castets y Ana Canónica.
Colaboradores: Marcelo Gandini y Laura Moreno.

RESUMEN

El equipo de investigadores de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNICEN) participó de todas las fases de desarrollo de modelos matemáticos y de instrumentos del proyecto. El grupo de la UNICEN tomó el rol de coordinación de todo el trabajo de modelado y colaboró intensamente con UNISI y UCADIZ en el desarrollo de metodologías basadas en el uso de imágenes satelitales. También participó en el desarrollo de diferentes herramientas y modelos usados por otros grupos participantes del proyecto:

- Alimentación o puesta a punto de un Sistema de Información Geográfica (GIS) para organizar sistemáticamente los datos recopilados de estudios anteriores y presentes realizados sobre la región;
- Modelos Hidrológicos;
- Mapas Dinámicos de Vegetación;
- Modelos de Dinámica Poblacional para especies de macrovertebrados que son de relevancia para el manejo de recursos.

Estas herramientas están claramente interrelacionadas, tal como los trabajos sobre la hidrología y la vegetación que resultaron la base del GIS. A su vez, los modelos ecológicos se relacionan estrechamente con la hidrología y la vegetación.

SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Actividades y Metodología

Utilizando la información de las cartas topográficas del Instituto Geográfico Militar (IGM) se creó un Mapa Topográfico de la región. Para cubrir la región bajo estudio fueron utilizadas 19 cartas a escala 1:100000. La información planialtimétrica recuperada de dichas cartas se utilizó para poder determinar los límites de la cuenca usando la funcionalidad del Sistema de Información Geográfica (ERDAS 4.8). Para esto fue necesario digitalizar las curvas de nivel para luego utilizar las funciones del SIG que permitieron definir los límites de la cuenca.

¹ Grupo de Ecología Matemática, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Campus Paraje Arroyo Seco, (7000) Tandil, Argentina. Email: canziani@exa.unicen.edu.ar

La información provista por las cartas fue insuficiente debido a la falta de información batimétrica, dejando sin referencia altimétrica más del 80 % de la cuenca. Se realizó entonces una recopilación de todo el material existente: mapas de suelo desarrollados por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), mapas geomorfológicos, fitogeográficos y de flujos predominantes obtenidos del Estudio del Macrosistema Iberá (INCyTH, 1981), perfiles topobatimétricos realizados por ICA, imágenes satelitales clasificadas para vegetación y batimetrías de las principales lagunas del ecosistema realizadas en el marco de este proyecto por el Laboratorio Centrale di Idrologia di Roma (LabRoma). Como resultado final de este trabajo, se infirió la topografía emersa del sistema y toda la información resultante fue volcada en un único mapa topográfico de la región. Finalmente este último mapa fue digitalizado. Es necesario destacar que el mapa de información topográfica obtenido es aproximado y debe ser actualizado y mejorado realizando los estudios de campo pertinentes.

Modelo Digital de Elevación

Un Modelo Digital de Elevación (DEM) fue desarrollado realizando una interpolación bidimensional de los datos contenidos en el mapa topográfico digitalizado. Para poder ejecutar los procesos de delimitación de la cuenca fue necesario aplicar procesos de alisado al DEM (Figura 1). Una vez que la determinación de los límites de la cuenca finalizó, se utilizaron las funciones internas del SIG para poder crear un archivo vectorial que delimite la imagen de la cuenca obtenida (Figura 2).

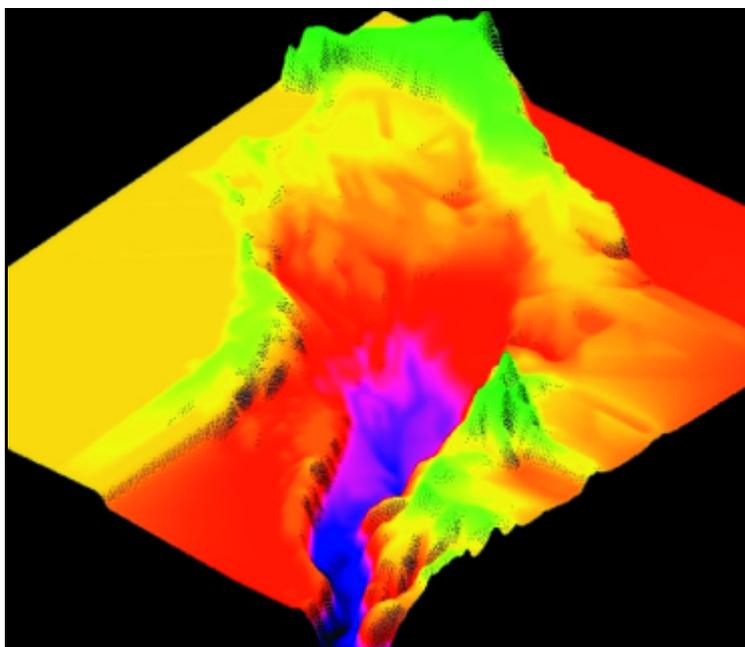


Figura 1: Modelo Digital de Elevación Suavizado.

Mapas dinámicos de vegetación e Índices de calidad de hábitat

UNICEN trabajó incorporando la tecnología que ofrecen los sensores remotos conjuntamente con UNIS,, dado que el uso de imágenes satelitales por parte del proyecto fue aprobado como parte de la reciente misión SAC-C. Esto permitió que los investigadores accedan a datos

satelitales, dando una ventaja valiosa en el estudio de un sistema tan vasto como el del Iberá.

Un proceso de registro y rectificación fue aplicado a las Curvas de Nivel y a todas las imágenes satelitales recibidas de CONAE. Luego, un proceso de clasificación fue utilizado sobre las imágenes para analizar la distribución de vegetación y crear un índice de Calidad de Hábitat que pudiera ser incorporado dentro de los modelos poblacionales para las distintas especies.

Junto con los investigadores de UNISI, se desarrolló una modificación a la transformación Tasseled Cap para estudiar diferencias en la reflectancia de la vegetación del humedal. Basados en la información de intensidad del Brillo del Suelo, Verdor y Humedad se determinaron diez tipos distintos de hábitat (Figura 2), que combinados con la información correspondiente a las preferencias ambientales de las especies permiten asignar un índice de Calidad de Hábitat a cada clase.

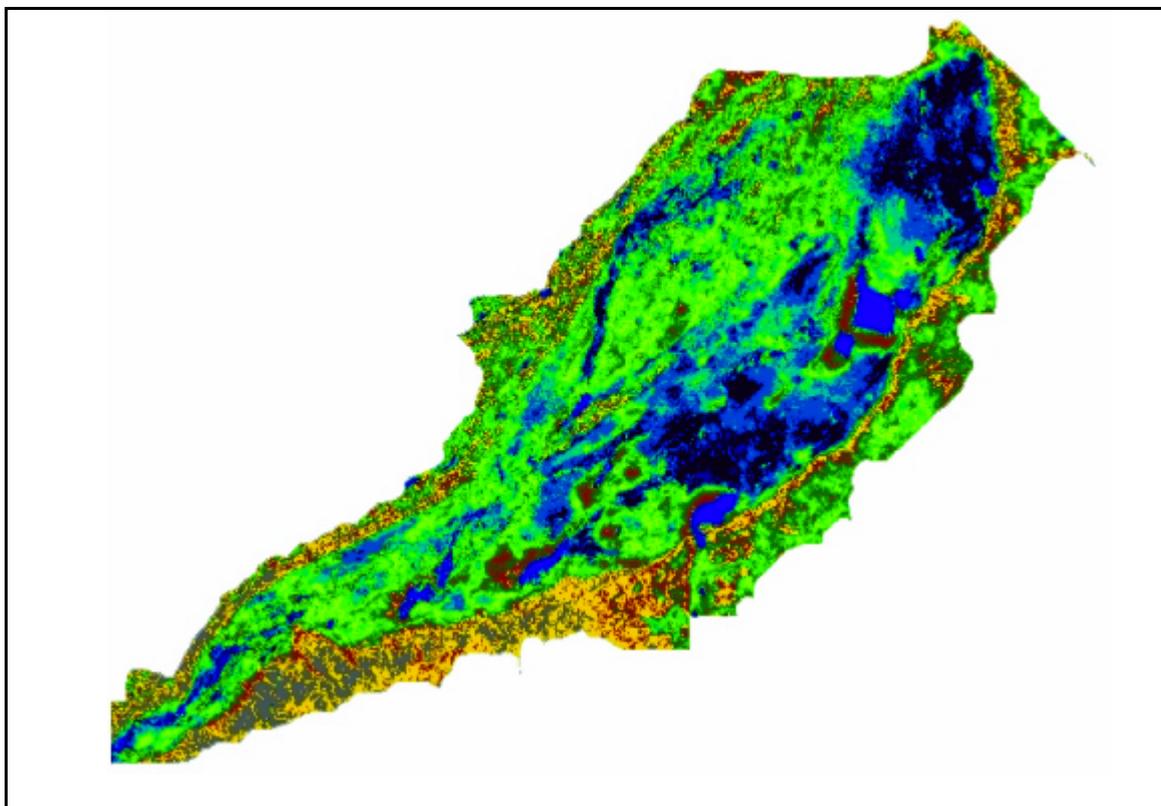


Figura 2: Imagen en falso color de un Mapa Clasificado Sintético sobre la cuenca delimitada.

Índice de rugosidad

Otro objetivo del proyecto era desarrollar algún tipo de índice que permita evaluar los parámetros de rugosidad de la vegetación que condicionan el flujo superficial para el modelado hidrológico. Primero fue necesario separar la parte interior de la cuenca de las imágenes. Para ello se utilizó el índice de intensidad de humedad (extraído de la transformación Tasseled Cap Modificada) junto con un valor umbral que corresponde a áreas con agua permanente. El mapa del interior de la cuenca fue procesado con la técnica de detección de agrupamientos espectrales ISODATA obteniéndose ocho clases de terreno con diferentes rugosidades (Figura 3).

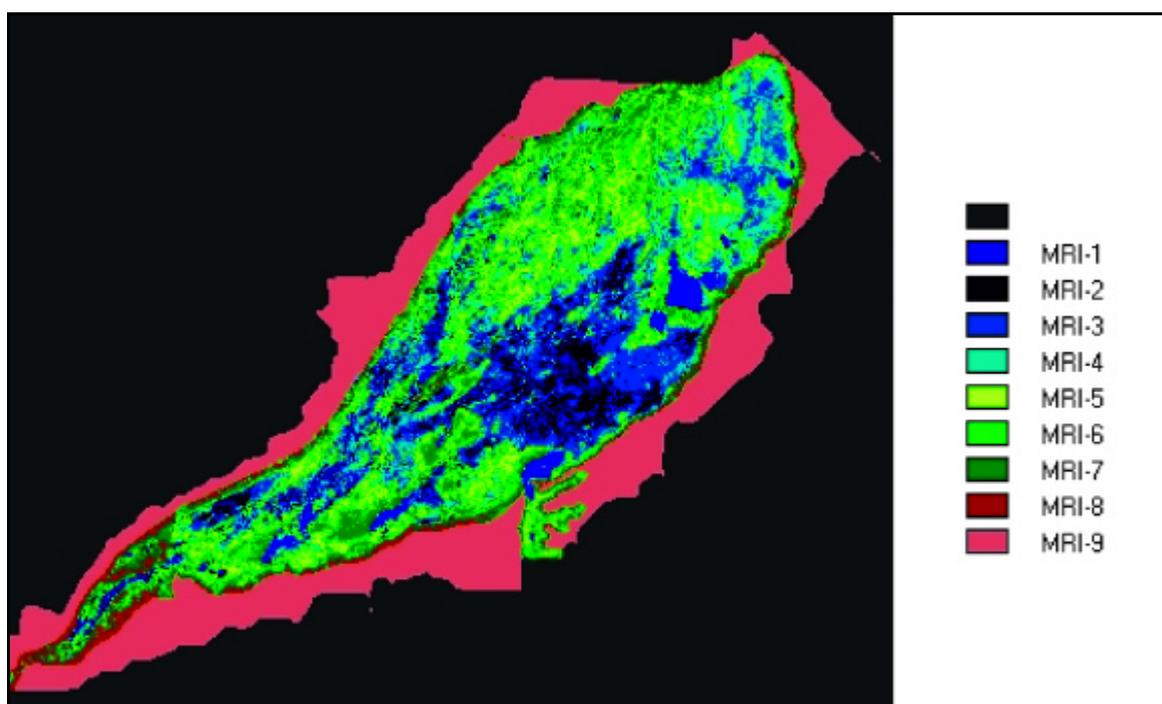


Figura 3: Índice de Rugosidad de Manning (utilizado para definir los parámetros de rugosidad de la vegetación)

RESULTADOS

Mediante el uso de toda la información presentada, fue posible crear series de Mapas Sintéticos Clasificados que permiten estudiar la dinámica de la calidad de hábitat para una especie dada, además de analizar las variaciones en la vegetación dinámicamente (Figura 4).

Además es posible filtrar dicha información clasificada y aislar alguna clase en particular, por ejemplo "Clase Agua". La "Clase Agua" puede ser obtenida desde las imágenes clasificadas seleccionando las clases que pertenezcan al conjunto de las todas las clases que "exhiben determinada presencia de agua". Utilizando las funciones apropiadas del SIG es posible entonces crear mapas que presenten las distancia a los cuerpos de agua libre o mapas de distancia al agua que pueden ser útiles a la hora de evaluar la calidad del hábitat para alguna de las especies que habitan los esteros. Estos mapas fueron utilizados luego en los Modelos Metapoblacionales Espacialmente Explícitos para evaluar la ocupación del paisaje por parte de una especie que sea de interés (Ver capítulo 12).

COLABORACIONES

El grupo de UNICEN llevó a cabo una importante colaboración con los investigadores de UNICAMP y UFRGS (Brasil). Esta incluyó visitas, relacionadas con el desarrollo de los modelos ecológicos así como con otras actividades académicas, de profesores entre instituciones. El Dr. Meyer (UNICAMP) visitó Tandil para organizar y compatibilizar las estructuras de los modelos matemáticos y para dictar un curso de postgrado sobre el Método de Elementos Finitos invitado por UNICEN. La Dra. Canziani visitó la UFRGS para analizar el desarrollo del modelo poblacional de Yacaré y para jurar la Tesis de Maestrado de Manuela de Castro, que participaba en el trabajo de modelización.

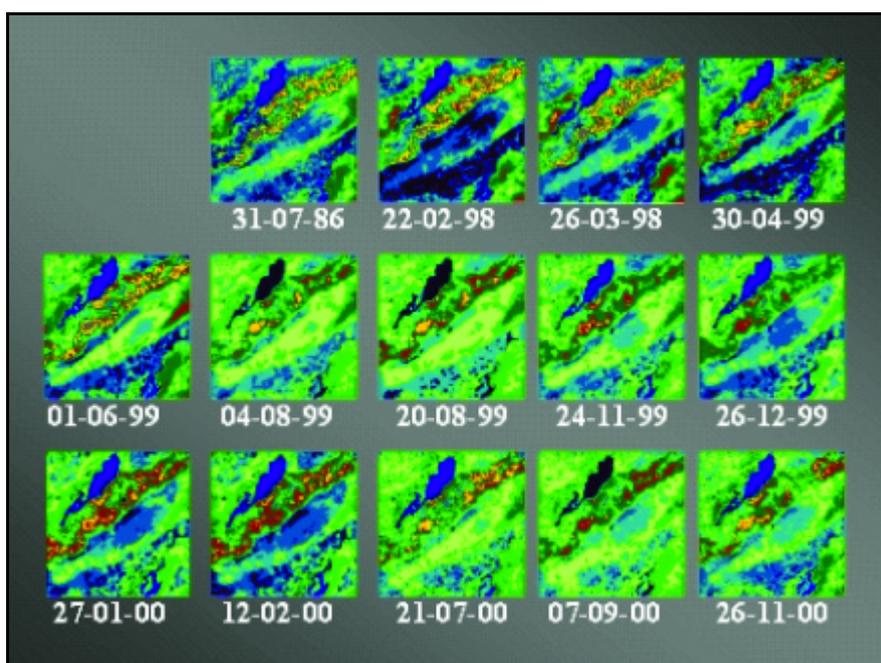


Figura 4: Dinámica de las condiciones del Hábitat alrededor de la Laguna Paraná

El grupo de UNICEN colaboró también en el intercambio de información con UYORK respecto del desarrollo del análisis ecológico y de los modelos. El análisis hidrológico hecho por UNICEN resultó fundamental para el desarrollo de los instrumentos económicos para los humedales.

UNICEN y UNISI colaboraron en el análisis de información satelital y en la formulación de nuevas metodologías para el análisis de ecosistemas de humedales a través de tecnologías de sensores remotos. Investigadores de UNISI participaron en un curso de UNICEN dedicado a metodologías de utilización de sensores remotos y se forjó una estrecha colaboración como resultado de la inclusión del proyecto entre los objetivos de la Misión SAC-C liderada por CONAE. UNICEN recibió apoyo constante del personal técnico de CONAE, tanto en lo que respecta a la entrega de imágenes satelitales como a la discusión de metodología apropiada para su análisis.

La cantidad de información provista sin cargo por diferentes instituciones y por particulares, que ofrecieron desinteresadamente datos y conocimientos, refleja la atención y la importancia que se le dio a este proyecto en Argentina.

2. CARACTERIZACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA E HIDROLÓGICA DEL SISTEMA IBERÁ

Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires

Integrantes: Rosana Ferrati², Graciela Canziani y Diego Ruiz Moreno.

Colaboradores: Aníbal Aubone y María del Carmen Romero.

OBJETIVO

Las componentes bióticas de los ecosistemas de humedales están regidas por la dinámica hídrica. El conocimiento de esta dinámica es fundamental para comprender el funcionamiento del humedal. Por ello se hizo necesario caracterizar hidro-meteorológicamente la región y analizar la dinámica por medio de modelos hidrológicos que luego servirían de base para otros modelos destinados al manejo de los recursos del humedal.

DESCRIPCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA

Los esteros del Iberá conforman una vasta cuenca palustre de sedimentación con características biogeográficas únicas y diferenciadas de las unidades que lo limitan, la Selva Misionera, por el norte; la Región Chaqueña, por el oeste y el Espinal por el sud-sudoeste. La compleja evolución geológica y los procesos externos condicionantes de su morfogénesis hacen que la geología, la morfología y la hidrografía de los esteros tengan una fuerte correlación.

Litoestratigráficamente, la sucesión en profundidad está dada por basaltos y cuarcitas pertenecientes a la Formación Solari seguidas de arcilitas y limonitas rojizas de la Formación Fray Bentos, arenas con intercalación de grava y limo-arcilla de la Formación Ituzaingó y arenas limosas de la Formación Yupoi. La formación arenosa comienza a formarse en el Holoceno, con acumulación de sedimentos Lujanenses que dificultan el flujo desde la depresión. En el Terciario, luego de la ingresión marina, soportó un régimen estépico con fuerte balance hídrico negativo que redujo los lagos, cambiándolos en ambientes lénticos y distróficos y conformando el sistema de lagunas y esteros que hoy se conoce. La rigurosidad del clima contribuyó también a formar una capa calcárea en superficie, causada por ascenso capilar de aguas subterráneas con alto contenido salino, la cual le confiere un alto índice de impermeabilidad y acumulación de agua en superficie (INCyTH, 1981).

Un fuerte control estructural en el origen, con los consiguientes corrimientos del cauce del río Paraná, seguidos de los procesos exógenos de erosión desde el terciario superior, moldearon el relieve que se observa en la actualidad: pendiente general NE-SW muy suave con dominancia de formas fluviales caracterizada por sistemas de lagunas y esteros, con líneas de flujo prefe-

² Grupo de Ecología Matemática, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Campus Paraje Arroyo Seco, 7000 Tandil, Argentina. Email: rferrati@exa.unicen.edu.ar, canziani@exa.unicen.edu.ar, druiz@exa.unicen.edu.ar.

renciales de diferente jerarquía sobre antiguos canales fluviales y morfología de lomadas emergentes provenientes de antiguas islas.

Los suelos desarrollados sobre estos sedimentos recientes son escasos en nutrientes, altamente lixiviados y se encuentran depositados sobre horizontes con drenaje deficiente. Presentan diferentes grados de hidromorfismo en función de los ciclos de anegamiento y pertenecen a los Grupos Entisoles y Alfisoles en la periferia del sistema e Histosoles dentro del mismo. Las características fisicoquímicas del agua, pH en el rango ácido (5,3-6,0), deficiencia de oxígeno, alto contenido de materia orgánica disuelta y baja disponibilidad de nitrógeno y fósforo en comparación con carbono, condicionan la formación de Histosoles con características únicas. Los mismos, denominados *embalsados*, son verdaderas islas flotantes de más de un metro de espesor, excepcionalmente hasta tres metros, conformadas por más de un 60 % por materia orgánica y capaces de sustentar especies arbóreas y fauna de gran porte sobre ellos.

El comportamiento funcional del sistema y la evolución observada en las últimas décadas, se encuentran fuertemente condicionados por la vegetación natural y el manejo que se ha hecho del ecosistema. La muy baja energía de relieve, las suaves variaciones hidrométricas, las condiciones climáticas favorables y la baja tasa de descomposición favorecen, en términos generales, la acumulación de materia orgánica y condicionan el escurrimiento superficial del sistema.

Los factores analizados permiten diferenciar tres sectores bien definidos dentro del ecosistema: el sector Oriental, estabilizado y con capacidad de amortiguación y evolución lenta; el sector Occidental, tendiente a formar planicie y redes semifluviales, ambos con retroalimentación negativa; y el sector Sudoeste de Transición, con tendencia a la erosión por retroalimentación positiva y con formación de una incipiente red fluvial en proceso de expansión. (INCyTH, 1981)

CARACTERIZACIÓN A ESCALA REGIONAL

Precipitación y Temperatura

Las características climáticas de la región Noreste de la Argentina se encuentran condicionadas por dos gradientes atmosféricos; un gradiente latitudinal de temperatura y radiación y un gradiente longitudinal del patrón de precipitaciones. El área se encuentra afectada por la circulación atmosférica de masas de aire cálidas y húmedas provenientes del anticiclón semipermanente del Atlántico Sur y por masas de aire fría y seca provenientes del anticiclón semipermanente del Pacífico Sur, lo cual origina lluvias abundantes y torrenciales por inestabilidad en la columna atmosférica e ingresos de frentes fríos.

Considerando las estaciones meteorológicas de Posadas y Corrientes pertenecientes al Servicio Meteorológico Nacional y la EEA Mercedes perteneciente al INTA, se caracterizó regionalmente el ecosistema Iberá (Tabla 1). El rango de temperatura anual media se encuentra entre 19.8 a 21.4°C, con valores medios mínimos entre 14 y 15°C y medios máximos entre 20 y 22°C y con valores absolutos de -2°C y 44°C. Los valores de precipitación anual varían entre 1200 y 1700 mm/año, con distribución estacional uniforme para primavera (27%), verano (27%) y otoño (29%) y estación seca en invierno (17%).

Numerosos autores analizaron las variaciones climáticas a largo plazo debidas al cambio climático global en la cuenca del Plata y aquellas ocasionadas por los eventos El Niño (ENSO) que afectaron el área. La circulación de masas de aire asociadas con el anticiclón del Atlántico sur sobre Paraguay,

Uruguay, Sur de Brasil y Noreste de Argentina se incrementaron desde 1954 (Hoffman *et al.*, 1987; Minetti and Sierra, 1989; Castañeda and Barros, 1996; Barros *et al.*, 1999). Las precipitaciones registradas en Brasil, Paraguay y Argentina muestran un incremento a largo plazo a partir de 1956, luego de un período seco que se extendió a lo largo de 25 años (Castañeda and Barros, 1996).

El análisis comparativo de las series 1931-1960 y 1961-1990 en las estaciones mencionadas anteriormente muestra una variación menor o igual a 0.2°C en los valores de temperaturas anuales medias y un incremento del 10 % en las precipitaciones anuales. El cálculo de medias móviles, realizado considerando once años, cinco hacia atrás y cinco hacia adelante del año considerado, refleja la tendencia en aumento a partir de la década del '70 en las estaciones, comportamiento que concuerda con lo que ocurre a nivel cuenca del Plata en general. La dispersión de precipitaciones anuales en la serie 1961-1990 se mantiene por debajo del 20 %, excepto en los años de máxima 1983 y 1986 y en el de mínima 1988 reflejando los eventos extraordinarios ocasionados por los eventos ENSO que afectaron la cuenca. Los valores extremos se registraron en el año 1986 (2233 mm), con un incremento de precipitación en los meses de primavera y otoño. Igual situación se repitió en el año ENSO 1998.

Evapotranspiración

Para evaluar las pérdidas anuales de evaporación y evapotranspiración se utilizó la formulación empírica propuesta por Thornthwaite (Thornthwaite, 1948). A partir de valores medios mensuales de temperatura, se calculó la evapotranspiración potencial corregida para las estaciones de Posadas, Mercedes y Corrientes. Los valores obtenidos se registran en la Tabla 1, con promedios simples de 77 % de agua evapotranspirada respecto del agua precipitada para la serie 1931-1960 y de 72 % para la serie 1961-1990, debido al incremento en las precipitaciones.

Variable	Período	Posadas	Mercedes	Corrientes
Temperatura Anual Media	1931 – 1960	21.2°C	19.8°C	21.1°C
	1961 - 1990	21.4°C	19.8°C	21.1°C
Precipitación Anual Media (mm)	1931 – 1960	1695	1285	1266
	1961 - 1990	1722	1460	1408
ET Anual Media (mm)	1931– 1960	1130 (67%)	1008 (78%)	1098 (87%)
	1961 - 1990	1130 (66%)	1026 (70%)	1111 (79%)
Excesos y Déficit Anuales Medios (mm)	1931– 1960	565	277	168
	1961 - 1990	592	434	297

Tabla 1: Valores medios de las variables atmosféricas a escala regional

Excesos y déficits

Para determinar los períodos de excesos y déficits a escala regional que afectaron el sistema Iberá se realizó un balance atmosférico entre precipitación (P) y evapotranspiración (ET) anuales, principales variables de entrada y salida atmosféricas del sistema, para los 60 años de registros.

Una vez obtenida la serie de promedios simples anuales de la diferencia (P – ET), se analizan las

tendencias y el efecto de superposición de años con excesos o déficits, memoria del sistema, a través de medias móviles. El mismo permite observar condiciones de exceso entre los años 1940 y 1950, un período de mantenimiento hasta el año 1960 y el inicio de un período francamente húmedo que eleva el promedio en más de 100 mm/año para la serie 1961-1990 (Figura 1).

La distribución mensual promedio comparativa entre ambas series muestra una disminución en la estacionalidad para el segundo trienio y diciembre como único mes con déficit (Figura 2).

El aporte atmosférico promedio mensual –excesos/déficits– al sistema muestra una distribución sensiblemente diferente a la distribución de precipitaciones. Consecuentemente, las fluctuaciones estacionales de almacenamiento del sistema resultantes de las principales variables de aporte atmosférico, precipitación y evapotranspiración y cuyo valor promedio se estimó en 340 mm para la serie 1931-1960 y en 440 mm para la serie 1961-1990, alcanzan sus valores mayores en primavera (34%) y otoño (35%), su promedio en invierno (26%) y decrecen en verano (5%) (Figura 3).

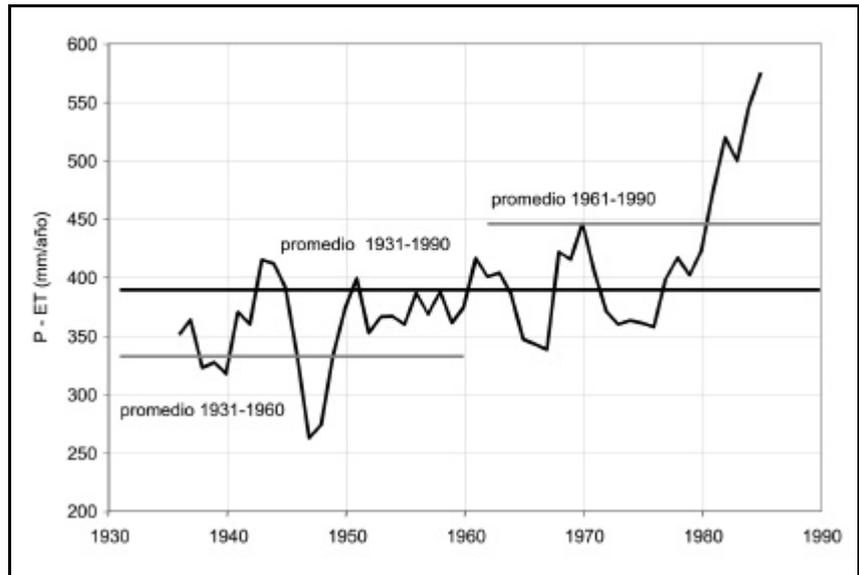


Figura 1. Medias móviles de excesos atmosféricos para la cuenca calculado con promedios simples en las estaciones de Posadas, Corrientes y Mercedes.

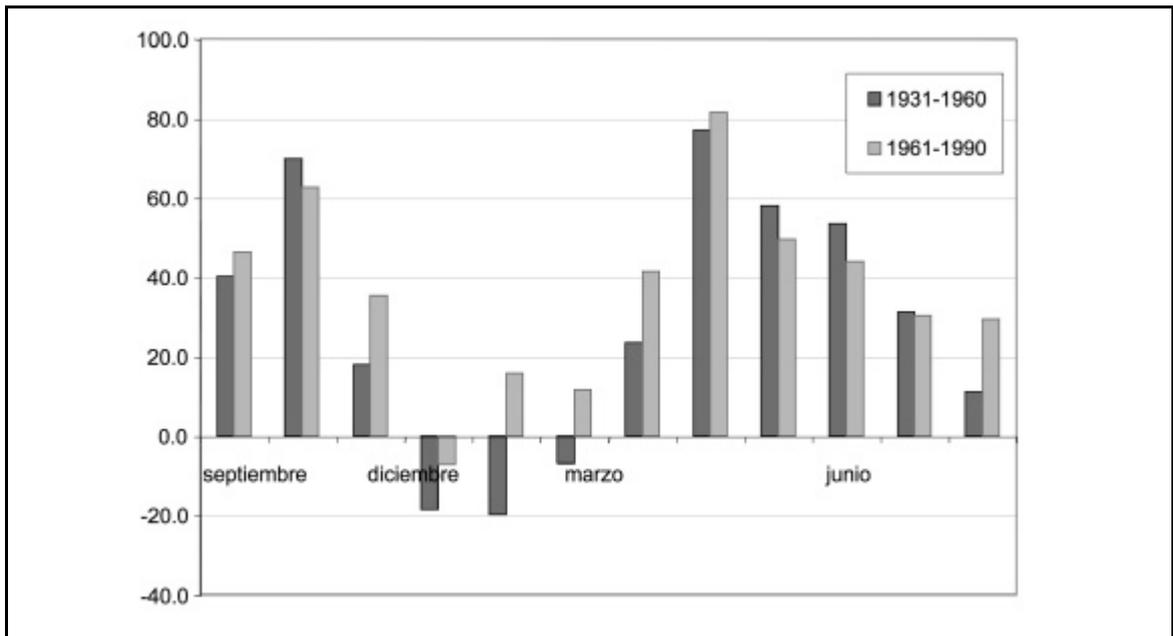


Figura 2. Distribución mensual media de excesos y déficits para las series 1931-1960 y 1961-1990 para la cuenca calculada con promedios simples en las estaciones de Posadas, Corrientes y Mercedes

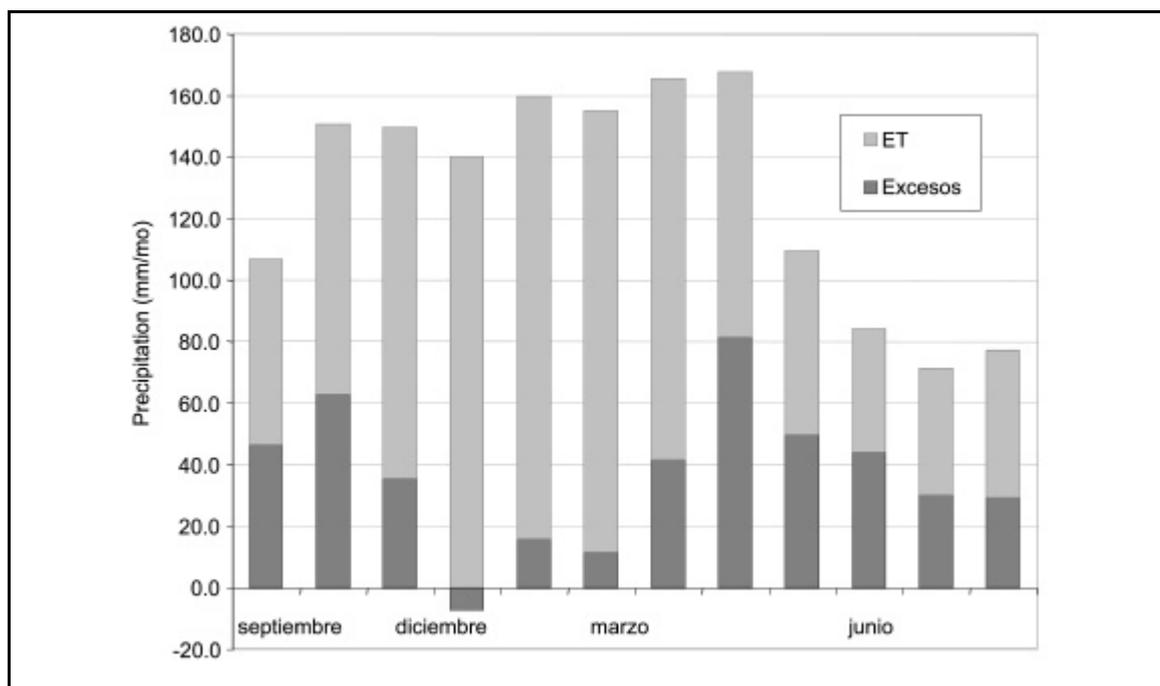


Figura 3. Distribución mensual media de: precipitación, evapotranspiración y excesos-déficits para la serie 1961-1990 para la cuenca calculadas con promedios simples en las estaciones de Posadas, Corrientes y Mercedes.

Escurrimiento

Las variaciones climáticas y los importantes cambios en las prácticas de manejo de la cuenca del Plata se reflejan en los volúmenes escurridos a través de sus cursos principales. El río Paraná, en la estación de aforo ubicada en Posadas, muestra un quiebre en la tendencia media a partir de 1970. El caudal medio del río, considerando los últimos 25 años, es próximo a los 20.000 m³/s (Figura 4). La superficie de la cuenca hasta dicha sección es de 1.925.250 km² y la distancia a la desembocadura es de 1.078 km. Entre los tributarios correntinos más importantes se mencionan el Santa Lucía y el Corrientes, que drena el sistema de los esteros y lagunas del Iberá (Goniadzki,2002).

Sumado a este efecto, los eventos ENSO ocurridos en 1982-1983, 1989, 1992 y 1998 arrojaron valores extremos de caudales (Nuñez & Vargas, 1998). Durante el ENSO 1982/83 se registraron fuertes crecidas sobre los ríos Paraná y Paraguay en territorio brasileño. Durante el ENSO 1991/92 las inundaciones más significativas se debieron a crecidas de los ríos Paraguay y Paraná en sus tramos medios en Paraguay y Brasil.

A diferencia de estos eventos anteriores, las inundaciones del 97/98 se debieron principalmente a las lluvias sobre territorio argentino y a la persistencia de alturas hidrométricas elevadas en la cuenca del Iguazú, estas últimas determinadas por el aporte de las lluvias producidas sobre territorio brasileño. La confluencia de estos factores ha determinado que se alcanzaran niveles iguales a los máximos históricos en casi todos los puertos de la ribera argentina del río Paraná, con permanencias locales extraordinarias en algunos de ellos. El río Paraná ocupó, al igual que en eventos anteriores, (1982/83 y 1991/92), todo el plano de expansión (Goniadzki, 2002).

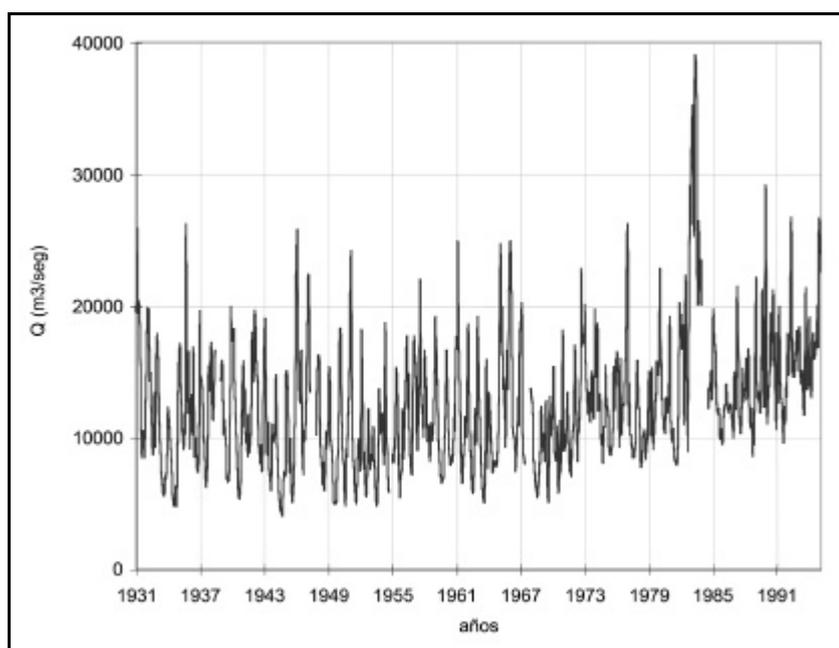


Figura 4. Caudales medios mensuales del río Paraná registrados en Posadas

CARACTERIZACIÓN A ESCALA LOCAL

Dinámica hídrica

La cuenca Iberana es un sistema de llanura de muy baja pendiente con cotas extremas entre 72 m.s.n.m. al norte y 50 m.s.n.m. en laguna Itatí. Al menos el 70% de su superficie se encuentra cubierta de agua en forma permanente o semipermanente, con suaves fluctuaciones en el nivel hidrométrico de bajo tirante.

Los límites superficiales del sistema, fijados con criterio hidrológico son: Al Norte, la divisoria entre el río Paraná y el macrosistema; al Este, la divisoria con los ríos Aguapey y Miriñay; al Sur, la continuación de la divisoria Este, separa al macrosistema de los afluentes de la margen derecha del Miriñay y al norte del Pay Ubre; al Oeste, el límite es difuso y lindante con otros sistemas de esteros y arroyos afluentes del Paraná. Los perímetros Norte y Oeste se caracterizan por presentar múltiples transfluencias, consecuencia de la presencia de cárcavas, en el primer caso y de depresiones lagunares pseudokársticas en el segundo. De todas maneras, el Iberá constituye un sistema hídrico de captación propia que responde rápidamente a los aportes pluviales recibidos.

Los límites subterráneos fueron parcialmente analizados durante los años 1978-1979 en el borde occidental del sistema, determinándose que la divisoria de aguas subterráneas coincide a grandes rasgos con los sectores de mayor relieve de la zona y determinándose un muy pequeño aporte hacia los esteros del Iberá que fue estimado en 9 hm³/año. Respecto del borde norte, y de acuerdo a los técnicos que realizaron los estudios del macrosistema en 1981 (INCyTH, 1981), el límite subterráneo coincidía con el albardón superficial. La divisoria del borde oriental y sur se determinó en dos estudios freaticométricos desde laguna Luna hasta el río Aguapey.

La dinámica hídrica del sistema se describe cualitativamente en el estudio realizado por INCyTH-ICA en 1981 en coincidencia con la sectorización descrita con anterioridad:

- El Subsistema Oriental, con escurrimiento lento y mantiforme, regulado fundamentalmen-

te por efectos bióticos sobre suelos predominantemente histosólicos. Las mayores profundidades se encuentran en el borde este del sector, en el que se ubican la mayor parte de las grandes lagunas permanentes (Conte, Luna, Galarza, Naranjito, Iberá, Fernández, Trin y Medina). Las mismas poseen una superficie libre que varía entre 3 y 80 km², están interconectadas con los esteros que las rodean y mantienen su forma debido a que poseen una mayor profundidad que el entorno y se encuentran bordeadas por embalsado flotante firme. Salvo excepciones, no se encuentran conectadas entre sí por cursos permanentes de agua.

– El Subsistema Occidental se encuentra separado del anterior por lomadas arenosas longitudinales con transfluencias superficiales debidas a la topografía de las mismas. Al norte se observan esteros que confluyen hacia el sur y son colectados finalmente por los arroyos Carambola-Carambolita, ambos actualmente inmersos en un complejo sistema de esteros y bañados interconectados que impiden la formación de una red de avenamiento claramente definida. Los bañados y malezales desarrollados sobre suelos entisólicos predominantes y anegamiento semi-permanente permiten la transfluencia dentro del subsistema.

– El Subsistema de Transición recibe los aportes de los dos subsistemas anteriores y muestra una tendencia a la erosión por retroalimentación positiva, con formación de una incipiente red fluvial en proceso de expansión. Al sur de la laguna Itatí se encuentran las nacientes del río Corrientes, cuyo valle de inundación se encuentra actualmente colmado.

Nivel de agua en laguna Iberá

La escala hidrométrica ubicada en la laguna Iberá es la única estación de medición de niveles hidrométricos al interior del sistema que se ha mantenido en funcionamiento desde su instalación en 1968 hasta el presente. El registro de la misma (Figura 5) muestra un importante incremento de nivel durante los años 1989 y 1990 que se mantiene hasta la actualidad elevando la media relativa de 1,24 m (61,87 msnm) para el período 1968-1988 a 2,05 m (62,68 m snm) para el período 1991-2000 (SERNAH, 2000).

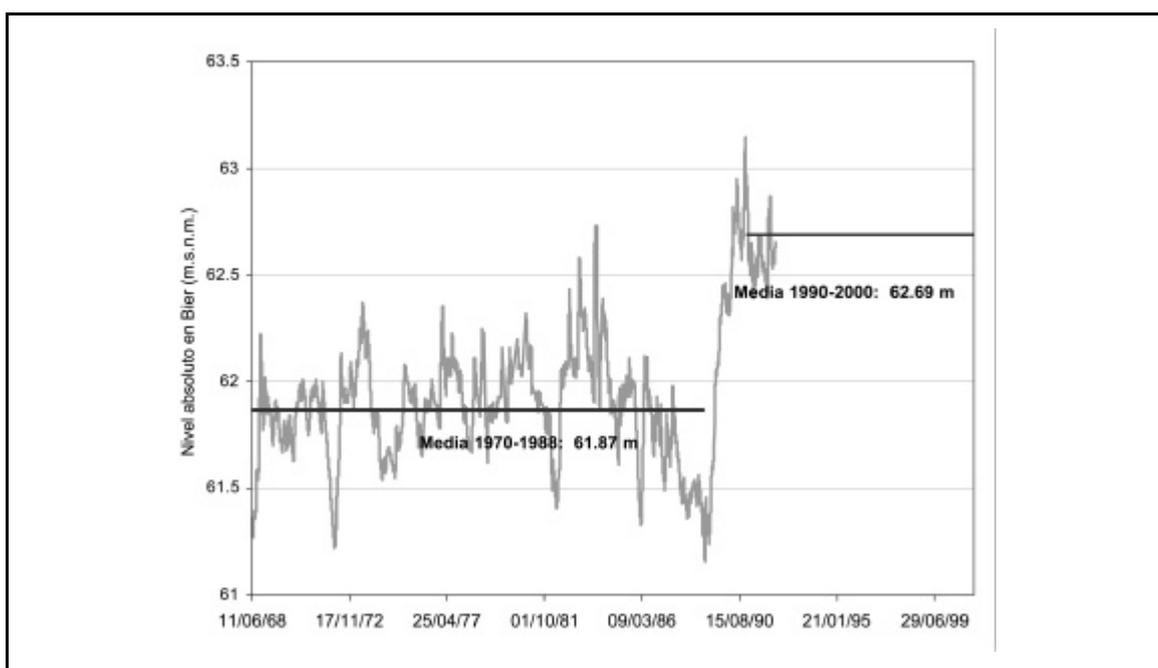


Figura 5. Niveles hidrométricos registrados en Laguna Iberá

Escurrimiento superficial

A partir de 1968 se tienen registro de caudales del río Corriente en Paso Lucero (Figura 6). En dicha estación se registran valores diarios de niveles hidrométricos y caudales, disponiéndose de un registro de 25 años con interrupciones importantes. A partir de 1975 se registran los valores de caudal en Los Laureles, estación de aforo ubicada aguas abajo de la anterior sobre el río Corriente, luego de recibir los aportes del arroyo Batel, desagüe natural del sistema de humedales Batel-Batelito ubicado al oeste del sistema Iberá. Del mismo se tienen registros desde 1987 hasta el presente. Los datos disponibles del río Corriente no muestran periodicidad estacional en los derrames y no se observan variaciones cíclicas de máximos y mínimos en la serie anual. Esto se debe a que los caudales medidos en paso Lucero resultan de la combinación de efectos ocasionados por los aportes y retardos del propio sistema, del arroyo Pay Ubre y del tramo del río Corriente comprendido entre laguna Itatí y Paso Lucero.

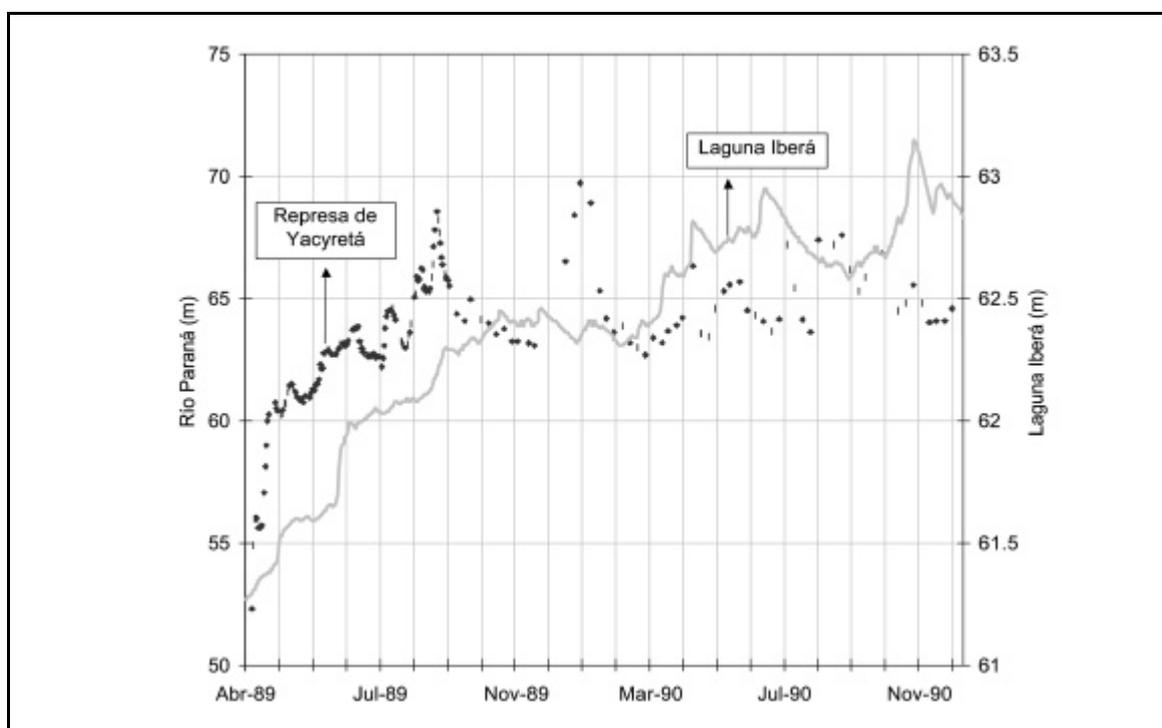


Figura 6. Registro de caudal erogado por el río Corriente en Paso Lucero (escala logarítmica).
Serie rellenada con datos de caudal medidos en Los Laureles.

La relación ente el almacenamiento del sistema y el escurrimiento a través del río Corriente es claramente diferente para los diferentes estados del sistema que se observan en las series 1968 a 1988 y 1990 a 2000 (Figura 7).

La serie de caudales utilizada, expresada como volumen erogado a través del río Corriente, fue la correspondiente a los valores calculados en Paso Lucero. La serie de caudales calculados en Los Laureles fue utilizada para rellenar la serie de los caudales calculados en Paso Lucero en los períodos en que la SRH carece de datos, es decir en los meses de Febrero, Mayo a Agosto y Diciembre de 1984, Enero 1985 a Octubre de 1987, Marzo de 1988 y Febrero a Julio y Octubre de 1989.

El ajuste de parámetros se realizó correlacionando ambas series (coeficiente de corre-

lación 0.93) resultando que, en promedio, un 75% del volumen erogado en Los Laureles es debido al volumen registrado en Paso Lucero.

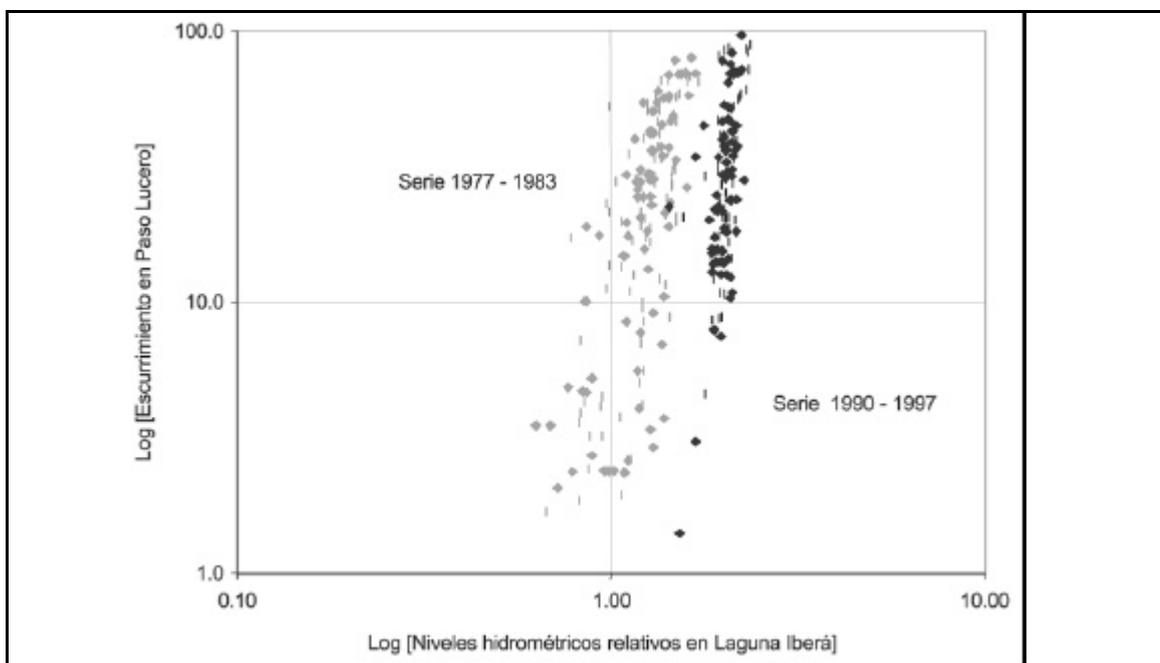


Figura 7. Valores de niveles hidrométricos en laguna Iberá y de caudales erogados en Paso Lucero (escala doble logarítmica)

No existen valores de caudales medios mensuales calculados en Los Laureles en los meses de Enero, Marzo a Abril, Setiembre a Noviembre de 1984, Noviembre de 1989 a Noviembre de 1990 y Marzo de 1993.

Precipitación

La recopilación de datos de precipitación dentro de los límites de la cuenca permitió obtener registros de diez estaciones pluviométricas a partir de 1968. Los mismos fueron suministrados por EVARSA (ex Agua y Energía Eléctrica) a través de la Secretaría de Recursos Hídricos de la Nación, por el Servicio Meteorológico Nacional, a través del servicio on-line de NOAA y por la Estación Experimental Mercedes del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).

Las series obtenidas difieren considerablemente en longitud y períodos de registro y su distribución espacial dentro del sistema no es homogénea. Considerando las estaciones con mayor confiabilidad, se realizaron análisis de doble-masa acumulada y fue posible rellenar series utilizando cuadrados mínimos para el ajuste de parámetros. Al sudoeste del sistema, la estación pluviométrica ubicada en Pay Ubre, dependiente de la EEA INTA Mercedes, fue contrastada con la estación Chavarría (coeficiente de correlación 0.93). Bajo un condicionamiento mínimo de tres estaciones por período analizado, representativas del gradiente regional de precipitaciones, se seleccionaron las estaciones y se calculó la ponderación areal utilizando el método de Thiessen como se muestra en la Tabla 2.

El análisis comparativo de precipitación para la cuenca obtenido a escalas regional y local por medio del método de doble acumulación evidenció valores inferiores para la escala local en un 5.5% respecto del valor de precipitación obtenido a escala regional.

Registro	Estaciones	Distribución espacial
Julio de 1968 a Diciembre de 1970	Concepción (38%) Chavarría (8%) Ituzaingó (15%) Galarza (39%)	
Enero de 1977 a Octubre de 1979	Pellegrini (48%) Chavarría (14%) Ituzaingó (38%)	
Agosto de 1986 a Diciembre de 1997	Pellegrini (56%) Chavarría y Pay Ubre (14%) Ituzaingó y Yacyreta (30%)	

Tabla 2. Ponderación areal de la precipitación para las estaciones y los períodos considerados

Evapotranspiración

Debido a la falta de información al interior del sistema, las pérdidas mensuales por evapotranspiración, para los años 1969-1990 y 1994-1998, fueron calculadas utilizando el método de Thornthwaite (1948). La distribución anual se realizó ponderando el sistema según la distribución de las isotermas anuales obtenidas de las estaciones de Posadas, Mercedes, Goya, Paso de los Libres, Bella Vista y Corrientes. Para los años faltantes, 1991-1993, se utilizaron las medias de la serie completa.

MODELO DE BALANCE HÍDRICO

Con los datos obtenidos fue posible calcular el balance de ingresos y egresos mensuales al sistema en el almacenamiento superficial del mismo.

Bajo la hipótesis de que el sistema en su conjunto se comporta como una función de respuesta cuya característica principal es el almacenamiento, las variables de entrada principales son la precipitación y la demanda de evapotranspiración y la variable de salida superficial es el derrame del río Corriente. Se desconoce la relación existente entre aguas subterráneas, pudiendo las mismas comportarse como entrada o salida del sistema en lugares y tiempos diferentes. En una primera aproximación se la considera como variable de estado del sistema en el almacenamiento.

La ecuación de balance de masa aplicada sobre intervalos de tiempo mensual y anual, manteniendo la hipótesis de sistema cerrado es

$$(P - E) * A - V + \Delta S = 0 \quad [\text{hm}^3],$$

donde P es la precipitación neta por unidad de área; E es la evapotranspiración neta por unidad de área; ΔS es la variación volumétrica en el almacenamiento del sistema; A es el área efectiva y V es el volumen erogado a través del río Corriente.

Siendo las alturas registradas en laguna Iberá las únicas con un registro de años adecuados, se grafican conjuntamente con el balance (Figura 8) observándose fluctuaciones ajustadas entre ambos. Esto nos permite deducir que el balance efectuado es una buena primera aproximación del comportamiento del sistema

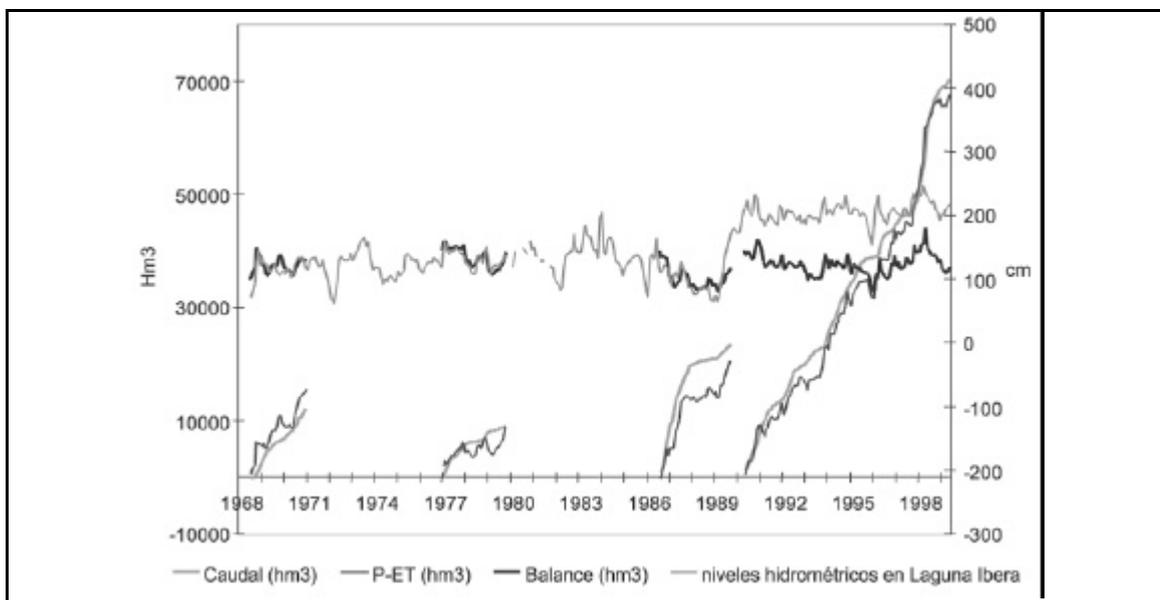


Figura 8. Valores relativos de niveles hidrométricos en laguna Iberá (cm en eje secundario) contrastados con valores obtenidos de caudal, precipitación – evapotranspiración y balance (hm³ en eje principal)

La ausencia de datos en el período de interés 1989-1990 indujo a buscar herramientas de análisis alternativas. Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, se propone rellenar la serie de caudales erogados, variable desconocida en el período de interés, con la menor relación lluvia-escurrimiento promedio, es decir 10 %, lo cual se traduciría, a escala de sistema, en las peores condiciones de evacuación (Figura 9).

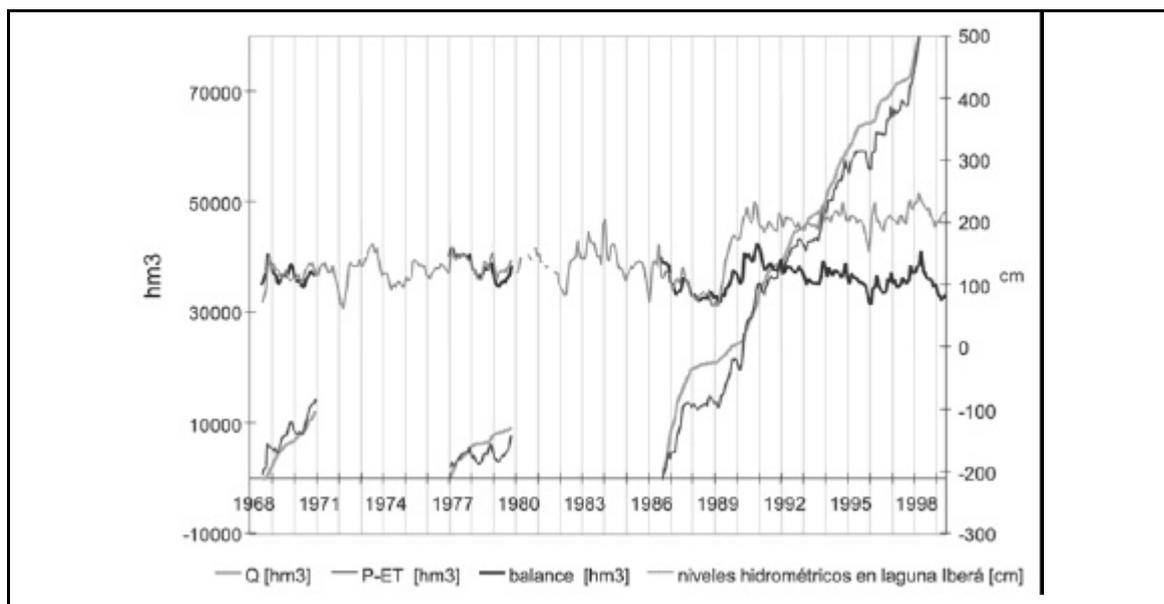


Figura 9. Valores relativos de niveles hidrométricos en laguna Iberá (cm en eje secundario) contrastados con valores obtenidos de caudal, precipitación – evapotranspiración y balance con rellenamiento de valores faltantes de caudal (hm3 en eje principal)

RESULTADOS

El balance atmosférico anual permite cuantificar, a escala regional, los valores de precipitación y evapotranspiración potenciales medios ponderados para la cuenca (Tabla 2) para las series 1931-1960 y 1961-1990. La evapotranspiración corresponde a valores del 74 % de la precipitación para la primera serie y a 69 % para la segunda, confirmando la predominancia vertical propuesta. Los excesos promedios resultan en 385 mm/año y 491 mm/año respectivamente.

En principio se testeó la posibilidad de que las precipitaciones ocurridas en la década precedente, 1981-1990, fueran la causa del incremento observado. En la siguiente tabla se observan los valores anuales de las variables consideradas y la respuesta del sistema a los mismos:

Año	Precipitación (mm)	P – ET (mm)	Almacenamiento (hm ³)	IBERA (cm)	Diferencia Ibera	Caudal (hm ³)
1981	1387	255	-1084	125.46		4622.4
1982	1798	661	5611	125.71	0.25	3572.1
1983	2043	1000	2509	158.86	33.15	11389.4
1984	1828	729	2384	145.04	-13.82	7608.0
1985	1681	530	-1807	124.78	-20.26	9171.5
1986	2233	1071	-5495	120.03	-4.75	20382.5
1987	1954	852	253	103.45	-16.58	11590.0
1988	1165	96	178	80.52	-22.93	1159.8
1989	1639	579	3628	129.63	49.11	3338.2
1990	1880	746	309	205.46	75.83	8995.3
Media	1760	651				8183

Tabla 3. Análisis de respuesta del sistema a precipitaciones extremas registradas con anterioridad a 1990

El año de mayor precipitación de la década fue 1986, alcanzando un incremento del 27% respecto del promedio de la década. Consecuentemente, el sistema evacuó el máximo caudal a través del río Corriente, equivalente a un volumen de 20383 hm³ y a una lámina de 146 cm si se considera el área total de la cuenca. El exceso atmosférico calculado fue de 107 cm, resultando en un decrecimiento de -39 cm del nivel dentro del sistema respecto del año precedente. La diferencia observada promedio en laguna Iberá respecto del año anterior fue de -5 cm.

Durante el período húmedo 1983-1984 las precipitaciones alcanzaron valores un 16% y un 4% por encima de la media de la década. El volumen erogado fue de 11389 y 7608 hm³ respectivamente, equivalentes a láminas de 82 y 56 cm si se considera el área total la cuenca. Considerando los excesos atmosféricos de 100 y 73 cm, el balance indica un incremento de nivel en 1983 de +18 cm y un decrecimiento en 1984 de -17 cm. El nivel de agua alcanzó los valores máximos de la serie 1968-1988, incrementándose 33 cm en 1983 y decreciendo -13.8 cm en 1984.

El año 1989 muestra un incremento de nivel medio del sistema de 49 cm respecto del año anterior. El balance anual, calculado en las condiciones anteriores y considerando el área total de aporte, arroja un exceso de 21 cm. Sin embargo, el nivel de agua registrado en laguna Iberá ascendió de 65 cm en febrero a 179 cm en noviembre, es decir 114 cm.

La precipitación del año 1990 supera nuevamente la media en un 7%. El volumen erogado fue de 8995 hm³ (respetando el rellenamiento de la serie con volúmenes mínimos), equivalente a una lámina de 65 cm si se considera el área total la cuenca. El exceso atmosférico fue de 75 cm, lo cual permite calcular un incremento de 10 cm. Sin embargo, el incremento del nivel del sistema fue en realidad de 76 cm. Sumado el anterior aumento en el año 1989, se superaron los dos metros, situación que no se revirtió hasta el presente, alcanzando el sistema un nuevo equilibrio en una media de 2.05 m, 80 cm por encima de la media anterior.

Por lo tanto, los valores totales y parciales analizados demuestran que las variaciones climáticas observadas en la región no explican el salto observado entre los años 1989 y 1990.

Como segunda alternativa, se analizó la posibilidad de una conexión subterránea entre el río Paraná y los esteros, lo cual se traduciría en un cambio de la hipótesis de cuenca hidrológicamente aislada. La Figura 10, la que se grafica el caudal del río Paraná medido en Posadas y las alturas hidrométricas en la laguna Iberá, muestra que tal alternativa tiene sentido. Es decir que Iberá responde no sólo a las variaciones de precipitación dentro de su cuenca sino que muestra una correlación con el patrón de caudales del Paraná que resume las variaciones climáticas en la cuenca alta del Paraná. Esta correlación es la que explica que en 1986, año de mayor precipitación (aún mayor que el 1998), el nivel del Iberá no haya aumentado sino que disminuyó porque el río Paraná se mantuvo por debajo de su caudal medio.

Contándose con datos de nivel del río Paraná en inmediaciones de Ituzaingó para el período considerado y observando que dicho aumento coincide con la derivación del cauce principal del río Paraná a través del canal de navegación a partir de abril de 1989 (Clarín, 12/05/89), que se mantuvo hasta la finalización de las obras de cierre de la presa principal aumentando los niveles de cota del río Paraná en 4 metros, se realizó un análisis entre los niveles del sistema y del río para los meses considerados.

La Figura 11 muestra la primera evidencia de sincronismo entre los incrementos.

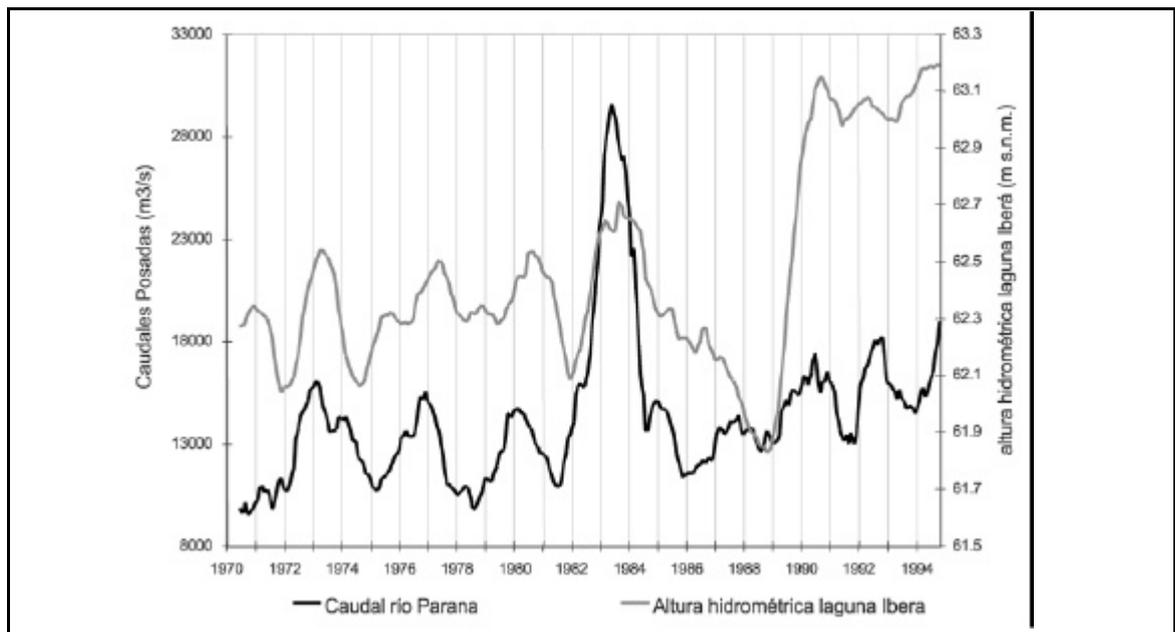


Figura 10. Caudales del río Paraná registrados en Posadas y alturas hidrométricas registrados en laguna Iberá

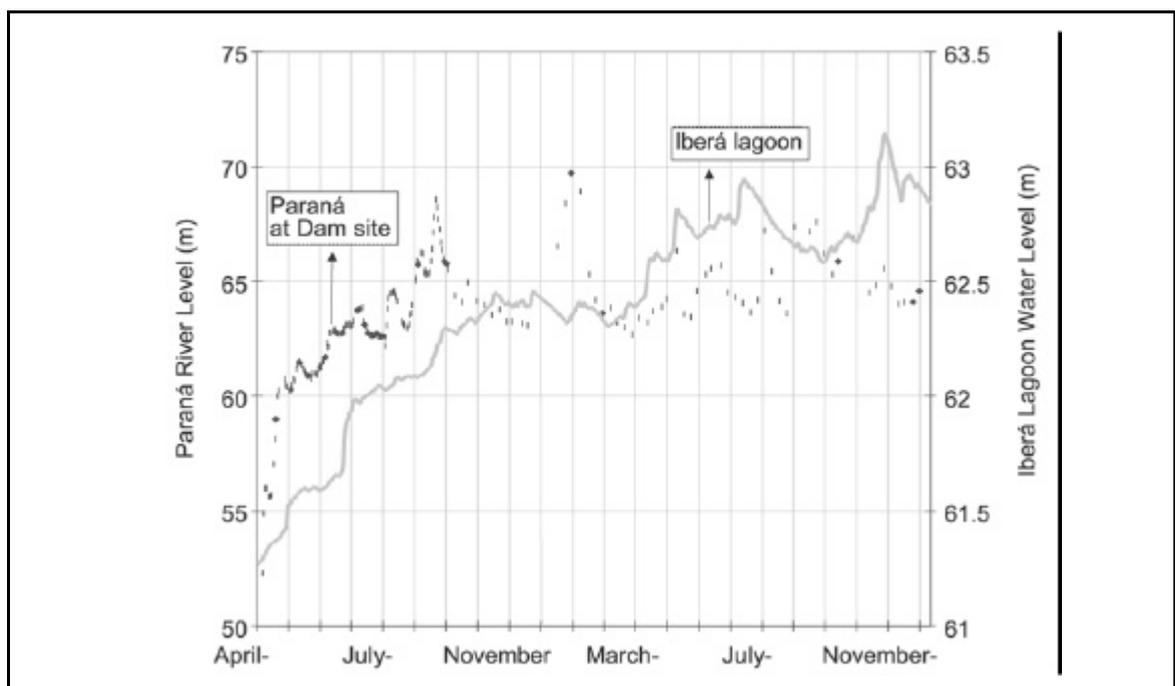


Figura 11. Alturas hidrométricas registradas en la represa de Yacyretá y en laguna Iberá

En la Figura 12.a. se observa un salto en laguna Iberá cuando la cota del río supera los 60 m. s.n.m. primero y cuando alcanza los 63 m. s.n.m. después, haciendo evidente la no linealidad de la respuesta del sistema y permitiendo la suposición de ingreso subterráneo a través de diaclasas en basalto en contraposición a la versión de ingreso a través de sedimentos. Dos niveles umbrales más han sido considerados en el balance hídrico para responder cualitativamente a los niveles registrados en laguna Iberá (Figura 12.b.); un primer valor arbitrario de 65 m. s.n.m. y un valor de 72 m. s.n.m., que coincide con la cota de la cabecera del sistema Iberá.

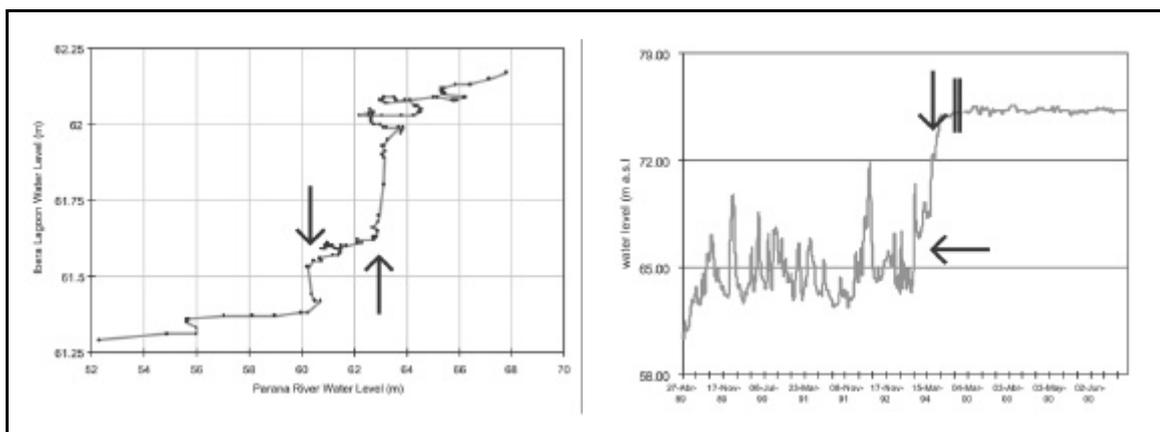


Figura 12. a. Alturas hidrométricas registradas en Yacyretá y en laguna Iberá. b. Niveles hidrométricos en la represa y en el embalse de Yacyretá

Considerando que el modelo agregado construido en escala volumétrica puede visualizarse **cuantitativamente** en términos de balance de láminas precipitadas, evapotranspiradas y erogadas, se procedió a analizar las diferencias observadas bajo las simplificaciones que el modelo tiene. La incertidumbre en las técnicas de separación de agua y tierra firme dentro de los sistemas de humedales que se reconoce actualmente utilizando imágenes satelitales, hizo imposible, dentro de los límites del proyecto, cuantificar el área cubierta por agua dentro de la cuenca. Por esta razón, y en una primera aproximación, se trabajó con un área igual al área total de la cuenca. Los resultados obtenidos permitieron identificar cualitativamente cuatro etapas de alteración del balance respecto a las hipótesis sobre las cuales fue construido.

El resultado del modelo de balance hídrico, desagregando ahora el balance subterráneo del almacenamiento y **considerando el ingreso adicional** que responda a los valores observados puede verse en la Figura 13.

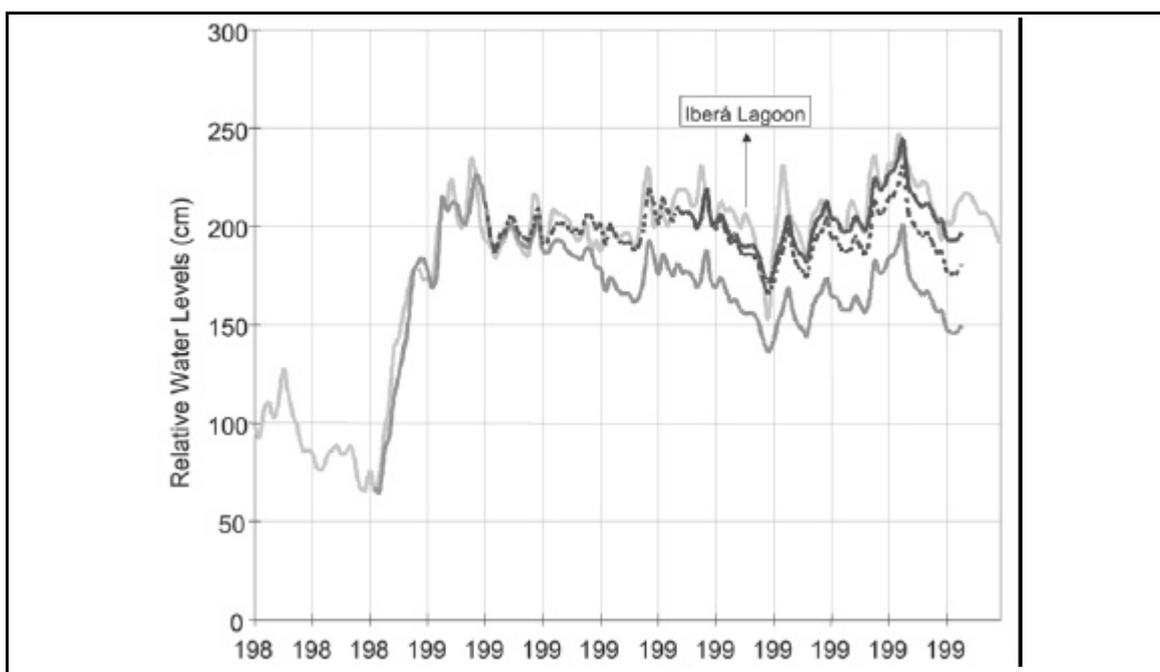


Figura 13. Valores relativos de niveles hidrométricos en laguna Iberá contrastados con valores obtenidos del balance expresado como lámina almacenada y con los ingresos subterráneos considerados

Para salvar la simplificación que impuso el desconocimiento del área cubierta por agua, se propuso un análisis minucioso entre los años 1989 y 1990. Considerando: el período 5/89 al 4/90, que engloba los dos niveles medios observados en laguna Iberá (1.09 cm y 2.11 cm respectivamente) y caudal calculado en función de la precipitación según se explicó en los meses sin datos, 10/89 al 4/90, los resultados arrojan una acumulación de agua precipitada de 1819 mm, de agua evapotranspirada de 1017 mm (56% del agua precipitada) y un volumen erogado de 3706 hm³. Con estos valores se procedió a evaluar las variaciones en el nivel hidrométrico calculadas, proponiendo un valor inicial mínimo de 7000 km² para el área efectiva de aporte (50% del área total) para el mes 5/89 y un valor máximo final de 14000 km² (total del área) para el mes 4/90. El incremento de nivel calculado, debido a las variables consideradas fue de 30 cm, considerando una duplicación del área de aporte, mientras que el incremento de nivel registrado en laguna Iberá fue de 102 cm.

Si bien el anterior análisis no puede cuantificar los ingresos detectados, es clarificador respecto de la afectación que la variación del área cubierta puede tener sobre los cálculos efectuados.

CONCLUSIONES

El análisis conjunto de las alturas hidrométricas medidas en la Laguna Iberá y del balance mensual calculado, refleja un buen ajuste en las fluctuaciones, aún considerando las simplificaciones del modelo y la utilización de datos no contrastados debidos a la falta de información sistemática en el sistema.

Sin lugar a dudas, un importante ingreso de agua no explicitado en el modelo ocurre en el año 1989 y se mantiene hasta la actualidad. Considerando que el nuevo valor de alturas hidrométricas promedio a partir de 1990 se encuentra 0.80 m por encima del valor promedio 1970-1988 y teniendo en cuenta las simplificaciones del modelo, el sistema Iberá estaría actuando como reservorio de un volumen de agua aumentado en el orden de 10⁴ hm³ respecto de su almacenamiento anterior.

Las consecuencias manifiestas de este ascenso del nivel de las aguas se traducen en cuantiosas pérdidas de tierras productivas en los bordes occidental y norte del sistema. Las consecuencias dentro del sistema en lo que se refiere al aumento de las velocidades de flujo y arrastre de sedimentos, la dinámica vegetacional y la calidad de hábitats naturales, así como al grado de impacto que estos cambios ocasionarán en la calidad del ambiente y en las especies vegetales y animales nativas son absolutamente desconocidas. Por un lado, el sistema Iberá ha logrado mantener su equilibrio mediante mecanismos hidrobiológicos de regulación favorecidos por el comportamiento hidráulico que determinan los “embalsados” y la morfología submersa. Por otra parte, los geosistemas del tipo del Iberá se caracterizan por un largo tiempo de respuesta ecológica apreciable. Ambas apreciaciones hacen suponer que aún no se han manifestado totalmente las consecuencias del primer aumento de niveles hidrométricos.

MODELO HIDROLÓGICO DISTRIBUIDO

La construcción de un modelo hidrológico distribuido en los Esteros del Iberá es de fundamental importancia, debido a que permite conocer los niveles de agua del sistema en cada uno de los puntos del mismo, como así también simular posibles escenarios pasados y futuros que afectaron o pueden afectar al ecosistema.

El modelo propuesto está basado en las ecuaciones de Saint Venant simplificadas para onda cinemática y aproximación de Manning, con escurrimiento bidimensional (Beven y Wood, 1993):

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial A}{\partial t} &= -\frac{\partial F}{\partial x} + q \\ F &= AR^{2/3}G^{1/2} / M \end{aligned} \right|$$

donde A es el área de la sección de flujo, F es el flujo de agua entre celdas, q es el ingreso o egreso de flujo lateral, R es el radio hidráulico, G es el gradiente de energía y M es el coeficiente de rugosidad de Manning.

Sobre la escala bidimensional seleccionada (180x180m, correspondiente a un pixel de imagen satelital SAC-C), y dada la extensión de la cuenca, se realizó una aproximación discreta (Voinov *et al*, 1998) a las ecuaciones de conservación de masa y de movimiento en cada celda:

$$\begin{aligned} D_i(t + \Delta t) &= D_i(t) + (F_{i-1}(t))\Delta t / S \\ F &= \text{sgn}(H_i - H_{i+1})\sqrt{|H_i - H_{i+1}|}D^{5/3}\sqrt{S} / M \end{aligned}$$

donde S es el área de la celda, D es la altura de agua en la celda, E es la elevación sobre el nivel del mar y H es la altura de agua absoluta (D+E).

El esquema computacional utilizado fue explícito, con paso de tiempo diario sobre una unidad espacial (celda) con homogeneidad física e hidrológica.

La base espacial para la simulación del modelo fue la matriz obtenida del DEM construido sobre la cuenca delimitada por el GIS utilizado (ERDAS 8.4). La matriz de base posee 1245 x 1205 celdas. Sobre ésta, se trabajó con matrices de coeficientes de rugosidad para cada celda, obtenidas de imágenes satelitales SAC-C clasificadas según técnica Tasseled Cap Modificada (ver capítulo sobre SIG y Sensores Remotos) y con parámetros iniciales tomados de la literatura.

La condición de borde se consideró de flujo nulo en el entorno de la cuenca excepto en las celdas correspondientes al río Corriente, donde se consideró una descarga histórica media para la primera etapa de llenado y descargas medias diarias del período considerado.

Sobre una condición inicial homogéneamente distribuida del nivel de agua, se adicionó un input constante a cada pixel, alcanzando el nivel observado al inicio de la corrida. Los cuatro pixeles donde se ubican las estaciones con datos diarios históricos fueron utilizados en esta primera etapa para ajustar los parámetros de la matriz de rugosidad. Cuando la optimización alcanza sus valores mínimos, el modelo entrega la condición inicial para la segunda etapa, con inicio en enero de 1977. Para este período, se consideraron los balances atmosféricos ponderados con polígonos de Thiessen como input en cada celda y se utilizó la serie de caudales diarios en Paso Lucero. La corrida del modelo se realizó hasta agosto de 1977

Esta aproximación metodológica se adoptó para poder producir un modelo hidrológico distribuido cuando se cuenta con escasos datos y discontinuidades en los mismos. El objetivo final es disponer de una herramienta que pueda responder a una variedad de preguntas relacionadas con el impacto de actividades humanas, desarrolladas en la periferia del sistema, desde la cons-

trucción de represas hasta la extracción de agua para agricultura. Dado que la hidrogeología del sistema Iberá es desconocida, esta herramienta puede ayudar a simular escenarios para comprender el efecto de perturbaciones pasadas, en particular su localización, o futuras.

Hasta el momento, se ha completado el primer paso que es el “llenado” de la cuenca y se están testeando y ajustando los parámetros. Se están analizando las oscilaciones numéricas originadas en la elección de las escalas temporal y espacial. En una segunda etapa, con condiciones iniciales ajustadas a la realidad, el modelo se utilizará para ajustar los niveles en las celdas para las que se cuenta con datos. Una vez obtenido el modelo estabilizado, se procederá a las simulaciones de efectos de perturbaciones.

COLABORACIONES

Las imágenes utilizadas fueron provistas por CONAE, a través de la misión satelital SAC-C.

En grupo de UNICEN contó para el desarrollo de estos análisis y modelos con la colaboración permanente de otros grupos participantes, destacándose particularmente los fructíferos intercambios científicos con UNISI y UNICAMP.

REFERENCIAS

- Barros, V., Castañeda M.E and Doyle M., 1999. *Recent precipitation trends in South America to the east of the Andes: an indication of climatic variability*. In: Southern Hemisphere Paleo and Neoclimates: Concepts and Problems [Volheimer, W. And Smolka P. (eds.)]. Springer-Verlag, Berlin and Heidelberg, Germany.
- Beven K. Wood E.F. (1993) *Flow Routing and the Hydrological response of Channel Networks*. In: Beven, K., Kirkby, M.J. (Eds.), *Channel Network Hydrology*. John Wiley, Chichester.
- Branfireun, B.A. and Roulet, N.T., 1998. *The baseflow and stormflow hydrology of a Precambrian Shield headwater peatland*. *Hydrological Processes*, 12: 57-72.
- Castañeda, M.E. and Barros V., 1996. *Sobre las causas de las tendencias de precipitación en el cono sur al este de los Andes*. Reporte 26, Center for Ocean and Atmospheric Studies, (en Español).
- Crawford, H.S., 1983. *Root survival in flooded soils*. In: *Ecosystems of the world, 4ª, Mires: Swamp, Bog, Fen and Moor*. General Studies [Gore, A.J.P. (ed.)]. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, The Netherlands; Oxford, United Kingdom; and New York, NY, USA, pp 257-283.
- Devito, K.J., Hill, A.R. and Roulet N.T., 1996. *Groundwater-surface water interactions in headwater forested wetlands of the Canadian Shield*. *Journal of Hydrology*, 181: 127-147.
- EVAR S.A., 2000. *Estadística Hidrológica del Siglo XX. República Argentina*. Presidencia de la Nación. Ministerio de Infraestructura y Vivienda. Subsecretaría de Recursos Hídricos, Buenos Aires.
- Goniadzki, D., Carballo S.M. y Hartmann T.. 2002. *Uso de la información espacial para la confección de cartografía de vulnerabilidad por inundaciones en la Cuenca del Plata*.

Hoffman, J.A.J. Gomez T.A. and Nuñez S.E., 1987. *Los campos medios anuales de algunos fenómenos meteorológicos*. In : II Congreso de Meteorología. CAM, AMS, SBM, OMMAC, and SOCOLMET, Buenos Aires, Argentina (en Español).

Ingram, H.A.P., 1983. *Hydrology*. In: Ecosystems of the World, 4B, Mires: Swamp, Bog, Fen and Moor. Regional Studies [Gore, A.J.P. (ed.)]. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, pp. 67-158.

IPCC, 2001. *Climate Change 2001 – Impacts, Adaptations and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press, Cambridge.

Minetti, J.L. and Sierra E.M., 1989. *The influence of general circulation patterns on humid and dry years in the Cuyo Andean region of Argentina*. International Journal of Climatology, 9: 55-69.

Nuñez, M.N. and Vargas, W.M., 1998. *El Niño 1997-1998: un factor económico y social*. Techint, Technical Paper 295.

SERNAH, 2000. *Estadística hidrológica de la República Argentina*. Ministerio de Obras públicas.

Siegel, D.I. and Glaser, P.H., 1987. *Groundwater flow in a bog-fen complex*, Lost River Peatland, Northern Minnesota. Journal of Ecology, 75: 743-754.

Siegel, D.I., Reeve, A.S., Glaser, P.H. and Romanowicz E.A., 1995. *Climate-driven flushing of pore water in peatlands*. Nature, 374: 531-533.

Tallis, J.H., 1983. *Changes in wetland communities*. In: *Ecosystems of the world, 4ª*, Mires: Swamp, Bog, Fen and Moor. General Studies [Gore, A.J.P. (ed.)]. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, The Netherlands; Oxford, United Kingdom; and New York, NY, USA, pp 311-347.

Voinov A.A., Fitz C.H. and Costanza R. (1998) *Surface Water Flow in Landscape Models: 1. Everglades Case Study*. Ecological Modeling 108, 131-144.

Woo, M.K., Rowsell, R.D. and Clark R. G., 1993. *Hydrological classification of canadian prairie wetlands and prediction of wetland inundation in response to climatic variability*. Canadian Wildlife Service, Environment Canada, Ottawa, ON, Canada.

3. CALIDAD DE AGUA, MONITOREO, Y DESARROLLO DE INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD

Università degli Studi di Siena

Consorzio Interuniversitario per lo Sviluppo dei Sistemi a Grande Interfase

Coordinador Científico: Claudio Rossi¹

Investigadores: Steven Loiselle, Luca Bracchini, Simone Bastianoni, Fabio Brogi, Alessandro Donati, Stefania Mazzuoli y Andrea Cognetta

**Laboratorio Centrale di Idrobiologia,
Ministero delle Politiche Agricole e Forestali - Roma**

Investigadores: Vincent Hull², Margherita Falcucci, Sergio Panella, Stefano Marcellini y Valerio Vallucci.

Dipartimento di Biologia, Università degli Studi di RomaTre - Roma

Investigadores: Giuseppe M. Carpaneto³, Serena Fortuna, Michela Gori, Daniele Macale, Luca Facchinelli y Laura Valerio.

RESUMEN

Los objetivos de las actividades científicas de UNISI estuvieron relacionados con el desarrollo de modelos ecológicos y de recursos, un análisis de las modificaciones espaciales de los parámetros clave del ecosistema en relación con el uso y manejo de los recursos, la implementación de un plan de monitoreo a largo plazo utilizando tanto mediciones "in situ" así como datos satelitales, el desarrollo de un plan de manejo y de una base de datos sobre la cual basar las decisiones.

ACTIVIDADES

La unidad de investigación de UNISI realizó varias funciones tanto en el análisis ecológico, como en el modelado del ecosistema y en la preparación de los instrumentos finales. Durante los treinta y ocho meses de investigación, las actividades científicas de los investigadores de UNISI estuvieron principalmente dedicadas a:

- El análisis de las muestras y datos sobre la calidad del agua en los dos sitios en estudio escogidos,
- El análisis del régimen de luz en las aguas del humedal y de su relación con la calidad del agua,
- La utilización de sensores remotos y el desarrollo de modelos basados en información satelital para el monitoreo de la calidad del agua,
- El desarrollo de un modelo sobre el funcionamiento del ecosistema basado en energía,

¹ Consorzio per lo Sviluppo dei Grande Interfase, Dept. de Ciencias y Tecnología Químicas y de Biosistemas, Università degli Studi di Siena, Via Aldo Moro, (53100) Siena, Italia. Email: rossi@unisi.it

² Email: hull@www.inea.it

³ Email: carpanet@uniroma3.it

- El desarrollo de modelos cualitativos para el análisis de cambios en el uso de los recursos,
- El análisis de tecnologías de indicadores sustentables potenciales,
- El desarrollo de lineamientos para un plan de manejo para el uso sustentable de los recursos del humedal con la colaboración de los productores locales y con las autoridades provinciales, y
- El desarrollo de una página web sobre el manejo del humedal.

Los investigadores del Laboratorio Centrale di Idrobiologia (LabRoma) trabajaron en colaboración con los investigadores locales (Alejandra Norniella y Carlos Taboada, USVID) en la implementación, manejo y análisis de datos de las estaciones hidrológicas y meteorológicas, así como en el desarrollo de un CD-ROM de difusión. Los investigadores del Departamento de Biología de la Università degli Studi di RomaTre (RomaTre) realizaron investigaciones ecológicas en los sitios estudiados.

RESULTADOS

Los bloques de tareas en los que el grupo de investigadores de la UNISI tuvo participación han sido:

- Adquisición experimental de datos y base de información
- Modelado Ecológico y Económico
- Análisis y monitoreo de la sustentabilidad

Los colaboradores dependientes de la UNISI, el Laboratorio di Idrobiologia di Roma (LabRoma) y el Departamento de Biología de la Università degli Studi di RomaTre, se abocaron a las tareas siguientes:

- Análisis meteorológico-climatológico e hidroquímico
- Análisis trófico

Adquisición experimental de datos y base de información

En el *primer bloque de tareas*, los investigadores de UNISI tuvieron activa participación en la creación de una base de datos ecológicos y de utilización de los recursos, en colaboración con UCADIZ y USVID. En especial, las actividades de UNISI estuvieron orientadas a la determinación de las variaciones espaciales y temporales de la calidad del agua del humedal, y de la relación de la calidad del agua con la utilización de los recursos (actividades agrícolas y cambios en las condiciones hidrológicas). Se encontraron importantes relaciones entre los cambios naturales y aquéllos inducidos por el hombre en la comunidad biológica y la calidad óptica del agua. La heterogeneidad espacial es característica del humedal estudiado.

Se examinaron las variaciones temporales características por medio de las mediciones continuas de las variables hidrológicas, hidrométricas y meteorológicas, utilizando las estaciones automatizadas localizadas en el humedal. Estas estaciones continuarán operando y siendo mantenidas por la universidad local (USVID), luego de la conclusión del proyecto. La información resultante fue utilizada en los modelos ecológicos y energéticos en el bloque de tareas B y en el desarrollo de una base de información y de un programa de monitoreo para el monitoreo de la calidad de los recursos del humedal. El análisis temporal de las características hidrológicas de los

dos sitios estudiados demostró variaciones significativas en la calidad del agua (pH, oxígeno disuelto) que parecen estar relacionadas con la productividad de la laguna. Las variaciones estacionales y las consideraciones espaciales también demostraron la relación entre la productividad y la calidad del agua. Las variaciones diarias en pH y conductividad de una laguna a otra en diferentes estaciones muestra diferencias en la calidad del agua, en ambientes acuáticos interconectados (Figura 1).

Se realizaron muestreos en los sitios de estudio en colaboración con los asociados UCADIZ, UNLU y USVID, para examinar las variaciones temporales y espaciales en los parámetros ópticos del agua que afectan la utilización de la energía solar dentro de los cuerpos de agua libre del humedal. Durante Noviembre de 2000, Abril y Octubre de 2001, se analizaron 40 sitios por períodos de 5 días, en una serie de transectas. En cada sitio se obtuvieron muestras para la medición de materia orgánica disuelta, ácido húmico, clorofila-a, turbidez, profundidad de Secchi y atenuación vertical (Kd) de radiación ultravioleta (UV) y fotosintética (PAR) disponibles usando un espectro-radiómetro.

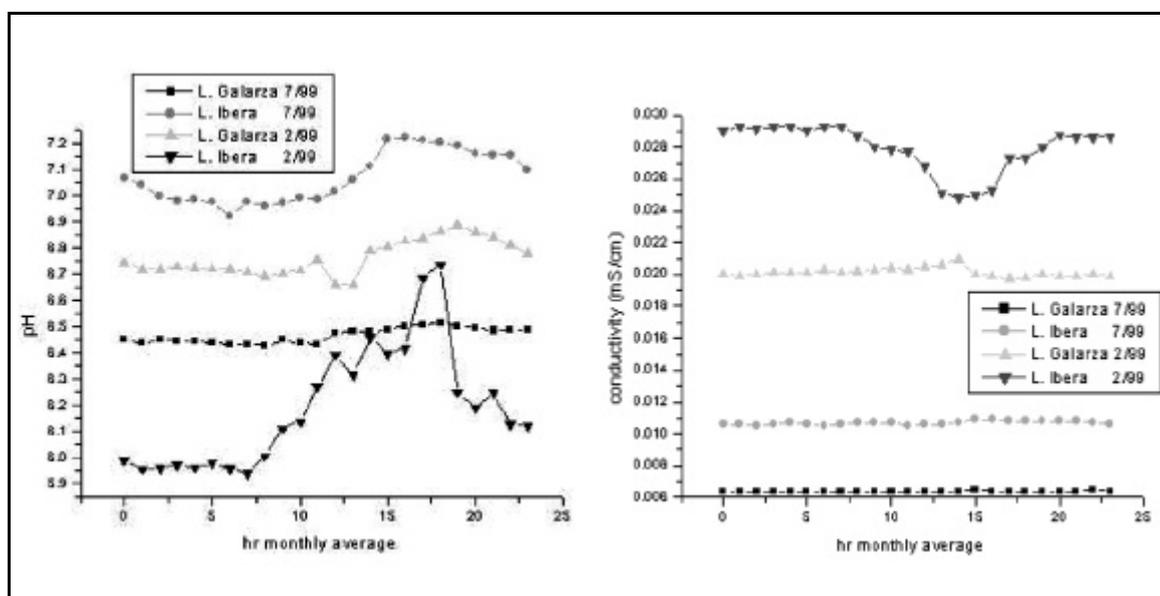


Figura 1: Izquierda: Promedio horario mensual de pH. Derecha: Promedio horario mensual de la conductividad (mS/cm)

Los resultados del análisis muestran que la presencia de materia orgánica disuelta y especialmente de sustancias húmicas disueltas influyen fuertemente la atenuación tanto de la radiación activa fotosintética como de la radiación ultravioleta. De esta forma, en áreas donde persistían altas concentraciones de sustancias húmicas, había significativamente menos PAR disponible para el proceso fotosintético. En estas mismas áreas, la radiación UV se vio atenuada hasta cinco veces, reduciendo el daño potencial a la vida acuática (ver Figura 2). De hecho, los resultados de la investigación de otros grupos de investigadores en diferentes compartimentos demuestran una relación similar, en particular las mediciones de plancton realizadas por UCADIZ y las mediciones de peces realizadas por USVID. La heterogeneidad espacial de las áreas estudiadas sería especialmente importante para mantener la biodiversidad del sistema. Como las condiciones hidrológicas son las que dominan el tiempo de permanencia de las sustancias húmicas, las variaciones en el flujo de agua podrían reducir la variabilidad espacial del sistema y por lo tanto alterar la biodiversidad.

En colaboración con UAVR, se llevó a cabo el análisis temporal y espacial de las concentraciones de metales disueltos seleccionados para examinar la relación entre los parámetros de calidad de agua, el uso de los recursos y las concentraciones de metales pesados. El análisis de muestras de agua con un espectroscopio de absorción molecular demostró que la distribución de algunos elementos (Cu y Mn) se correlaciona con la distribución de materia orgánica disuelta. Esto lleva a la hipótesis de que estos elementos serían alóctonos y por lo tanto serían influenciados por la naturaleza cíclica de la vegetación y las actividades de la fauna del humedal. Por otro lado, se encontró que la distribución de cromo (Cr) era predominante en las secciones de la laguna que estaban conectadas a las áreas agrícolas, indicando que este elemento está relacionado con la actividad humana en las áreas limítrofes de la laguna.

Modelado Ecológico y Económico

En el trabajo de modelado correspondiente al *segundo bloque de tareas*, UNISI trabajó en el desarrollo de modelos ecológicos cualitativos y de un modelo de flujo de energía. El primero fue utilizado para examinar las relaciones entre los usos del recurso y la estabilidad del ecosistema de humedal, mientras que el segundo describe las variaciones diarias en los flujos de energía del humedal. Los tres trabajos se integraron en el estudio de cambios potenciales en el uso de los recursos y en la hidrología del humedal, y en las posibles consecuencias para el ecosistema. Estos estudios resultaron en cuatro publicaciones en revistas científicas.

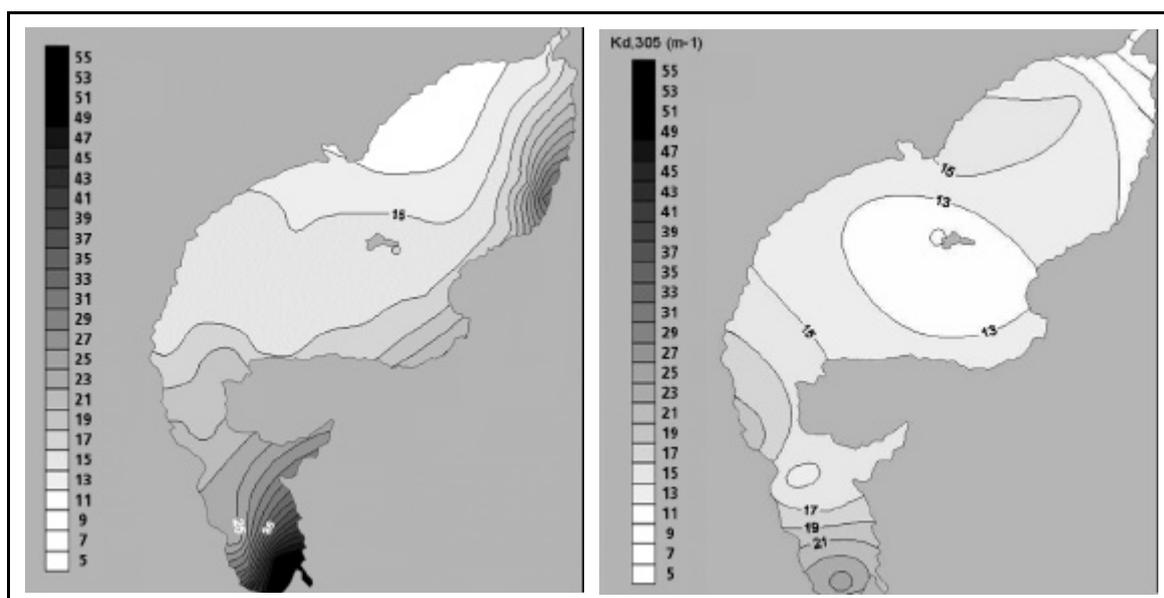


Figura 2. Medición del coeficiente de atenuación (m^{-1}) de radiación UV ($\lambda=305$ nm) en la Laguna Iberá en Mayo y Octubre de 2001. Son evidentes tanto las variaciones espaciales significativas, como las variaciones estacionales en la parte sur de la laguna.

Los dos modelos cualitativos se construyeron utilizando diagramas de signos y se presentan a continuación. El enfoque de modelado utilizado fue el de análisis de lazos (loop analysis) usando grafos. Este enfoque utiliza las relaciones entre las variables del ecosistema para determinar las rutas de retro-alimentación partiendo de una acción directa sobre una variable y los otros elementos del modelo. Los componentes bióticos y abióticos estudiados son aquellos considerados de mayor importancia para el funcionamiento y la estabilidad del ecosistema y aquellos afectados por cambios en la utilización de los recursos. El primer modelo (Figura 3) examina

los posibles efectos secundarios de la reciente prohibición de caza del caimán, que ha demostrado ser exitosa. El segundo modelo (Figura 4) estudia los impactos potenciales del creciente desarrollo económico regional sobre la calidad del agua y la biodiversidad del humedal. Los resultados indican dónde es más probable que ocurran cambios ecológicos y donde debería centrarse una investigación adicional en los compartimentos clave, bióticos y abióticos, del ecosistema.

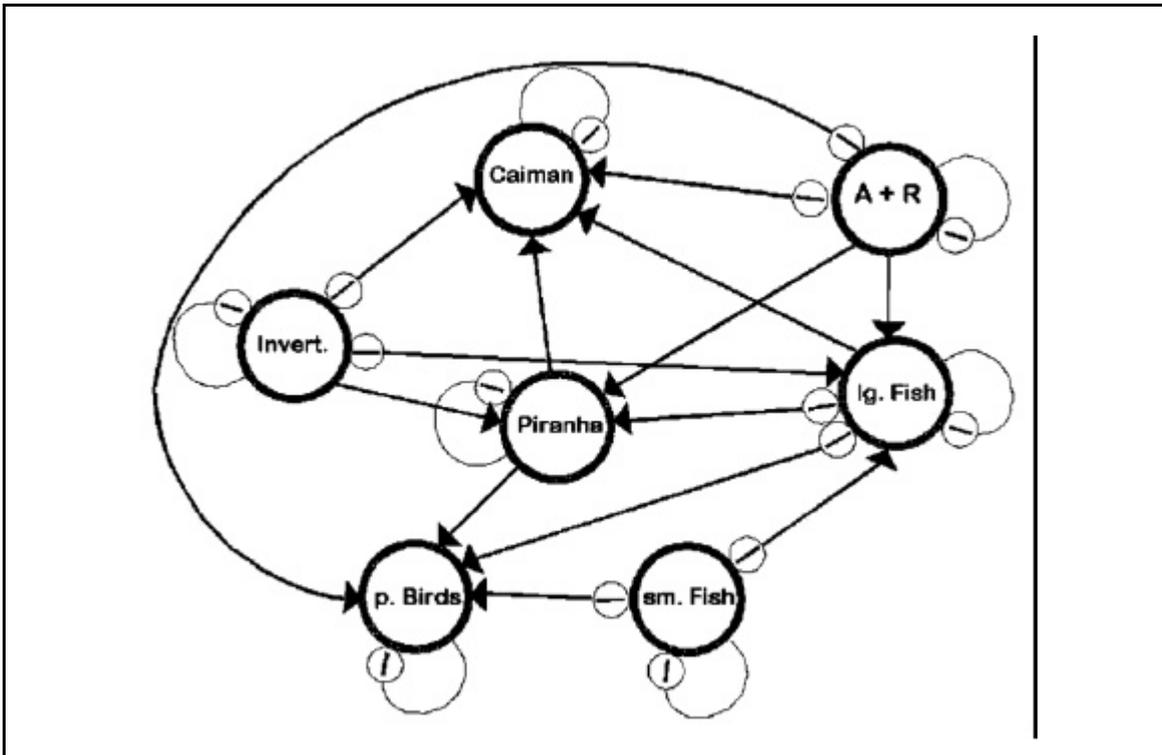


Figura 3. Grafo de relaciones de la fauna íctica con sus depredadores y presas.

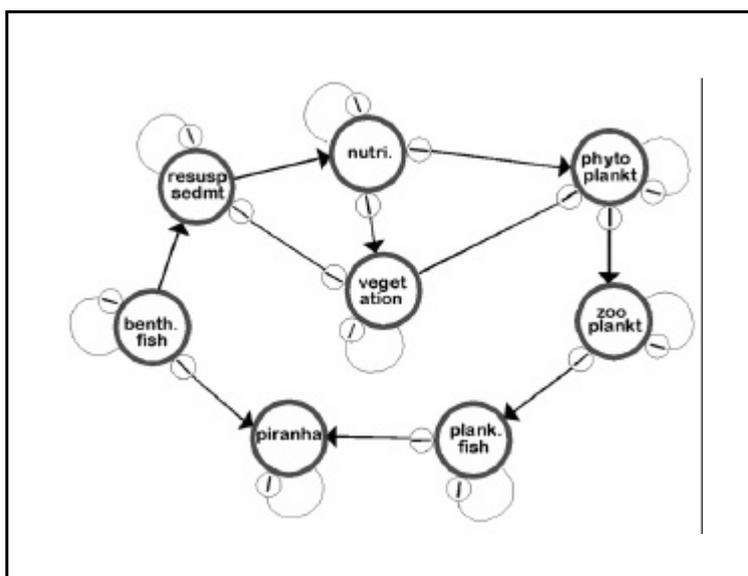


Figura 4. Grafo de relaciones para estudiar cambios en la red trófica de plancton y en las macrófitas acuáticas.

El resultado de los dos modelos muestra que algunas poblaciones específicas (aves acuáticas piscívoras) y compartimentos (macrófitas acuáticas del litoral) son especialmente sensibles a las modificaciones potenciales en el ecosistema (Loiselle *et al.* 2000, 2001a, 2001b). Este es el resultado de varios mecanismos de retro-alimentación que transfieren el efecto del manejo y de las prácticas de utilización de los recursos a estos compartimentos. Basándose en dichas observaciones, se modificó el estudio de las características de la calidad del agua y de la densidad de la ictiofauna para crear una base de información inicial para el monitoreo continuo del ecosistema.

El modelo de flujo de energía fue creado y utilizado para examinar cómo los cambios en el medio ambiente local o global podrían impactar en el comportamiento del ecosistema del humedal. El modelo se basa en los datos hidrológicos y meteorológicos del proyecto provenientes de las estaciones *in situ*. Las observaciones de campo y las imágenes satelitales también fueron importantes para la construcción del mismo. Se examinó la utilización de la energía solar dentro del compartimento agua para estudiar las diferencias entre las diferentes calidades de agua observadas en el humedal.

El modelo utiliza un enfoque de balance energético del humedal en una escala de tiempo horaria dada por

$$DH = S_t - S_p - S_r - L_u + L_d + F_i + F_o + F_r - P_i + P_o - IE_l - IE_v - C - G,$$

donde DH es el cambio de entalpía del agua quieta de la laguna, S_t es la radiación solar total que abarca tanto la radiación directa como la difusa, S_p es la radiación solar reflejada desde las superficies del humedal, S_r es la radiación de longitud de onda corta (re)emitida desde el cuerpo de agua, L_u es la radiación terrestre o de onda larga emitida desde el cuerpo de la laguna, L_d es la radiación proveniente de la atmósfera, F_i y F_o son los flujos de calor advectados hacia y desde el agua de las lagunas, F_r es la energía proveniente de las precipitaciones, P_i y P_o son las energías absorbidas y liberadas por fotosíntesis y respiración, IE_l es la evaporación del cuerpo de agua libre, IE_v es la evapotranspiración de la vegetación del borde (embalsados y bañados), C es la pérdida en calor sensible por convección, y G es el término de conducción relativo al flujo de calor a los sedimentos de la laguna.

La información resultante del modelo es el cambio de entalpía de la laguna en cada sección (H). Una vez que se determina el cambio total de entalpía para el paso de tiempo horario previo, el cambio en la temperatura del agua de la laguna se puede calcular dividiendo H por el calor específico del agua y el volumen. Como la laguna está separada en tres secciones, cada sección está conectada a las otras por un flujo advectivo único. Los cambios horarios de temperatura del agua de la laguna pueden ser graficados.

Se encontró que el modelo (Loiselle *et al.* 2001c) se aproximaba bien a las tendencias diarias y estacionales (ver Figura 5) sobre los cambios en la temperatura del agua. Las diferencias entre la resultante del modelo y las mediciones de temperatura del agua estaban limitadas a los días con picos más altos de temperatura. El modelo tiene un coeficiente de correlación alto (0.8863) con las mediciones y puede ser utilizado para predecir con una exactitud razonable las variaciones de temperatura esperables dentro del sistema de la laguna. Los resultados indican que el rol dominante de intercambio radiativo y calor latente son más importantes en el verano, mientras que en el invierno son además importantes el albedo y la convección.

Análisis y monitoreo de la sustentabilidad

En el tercer bloque de tareas, los investigadores de UNISI tuvieron activa participación en el desarrollo del monitoreo y de los indicadores a largo plazo. Se realizaron trabajos en colaboración con investigadores de UNICEN y UCADIZ para combinar los datos satelitales con mediciones periódicas en el sitio para modelar la distribución de la energía solar ingresante dentro del medio acuático y para determinar los algoritmos que se utilizan para caracterizar el medio ambiente acuático. Se obtuvo información satelital sobre irradiancia de las bandas infrarrojas y del espectro visible correspondiente al satélite SAC-C de la Comisión Nacional de Actividades Espaciales de la República Argentina (CONAE) en un trabajo de colaboración continuo que hizo que los datos satelitales estuvieran a disposición de los investigadores del proyecto. Se analizaron un total de cuarenta imágenes satelitales tomadas de 1997 a 2001.

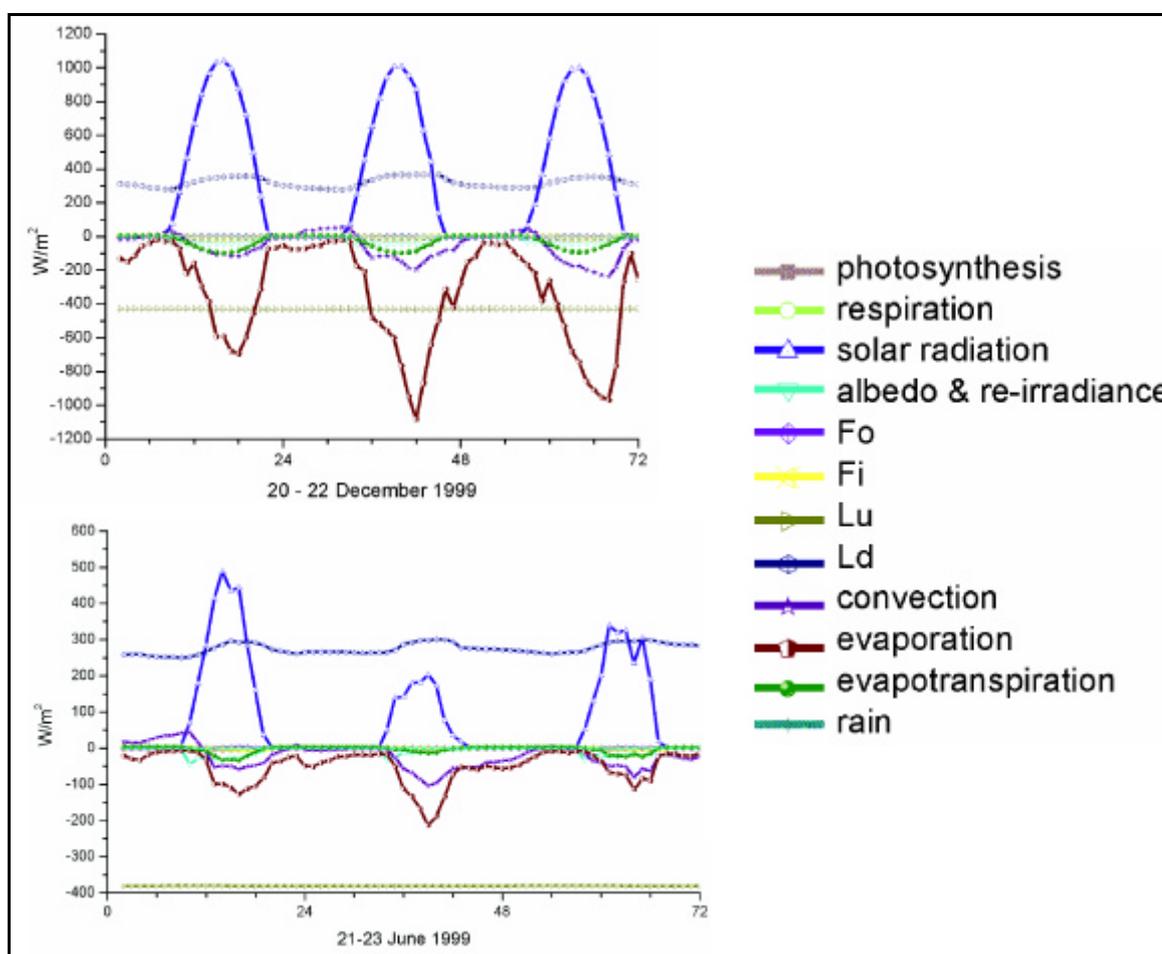


Figura 5. Flujos de energía de las principales variables de pérdidas y ganancias de energía en las lagunas estudiadas durante tres días de verano y de invierno (fotosíntesis, respiración, radiación solar, albedo y re-irradiación, F_o , F_i , L_u , L_d , convección, evaporación, evapotranspiración, lluvia).

Se utilizó radiación visible re-emitada, captada por los sensores del satélite para estudiar las variaciones temporales y espaciales de la absorción y dispersión (scattering) de la radiación solar disponible en el medio acuático. Por medio de la estimación del total de la radiación re-emitada desde imágenes corregidas (efectos atmosféricos), se determinó un balance de radiación para el rango de radiación visible. Este flujo de energía varió estacionalmente y espacialmente dentro de un mismo cuerpo de agua y se determinó a través de los componentes que mayor can-

tividad de luz absorben del medio acuático. Estos últimos se dividen principalmente en organismos que contienen clorofila a (y partículas), sustancias húmicas y sólidos en suspensión. Cada uno fue examinado localmente por medio de mediciones puntuales *in situ* y, en una escala más amplia, por medio de la determinación de algoritmos que relacionan las concentraciones medidas con irradiaciones captadas por sensores remotos.

Se encontró que las sustancias húmicas disueltas tienen un impacto importante en la distribución de la energía solar dentro del medio acuático. En aquellas áreas donde se encuentran sustancias húmicas en concentraciones altas, hay una reducción significativa en la radiación solar re-emitida que refleja una disponibilidad muy reducida de la radiación visible en el medio acuático. También se utilizó una técnica de estimación para aproximar el coeficiente de atenuación debido a la presencia de organismos que contienen clorofila dentro del cuerpo de agua. El resultado muestra variaciones importantes tanto a escala temporal (más baja en invierno) como a escala espacial, ya que diferentes áreas en la misma laguna muestran una atenuación diferente. Esta información luego fue utilizada para crear un modelo de energía absorbida por los componentes de fitoplancton en el cuerpo de agua y la conversión de energía por medio de la fotosíntesis. Esto permitió a los investigadores determinar el almacenamiento de energía y estudiar las variaciones sobre la base de una discriminación espacial, abarcando todas las lagunas estudiadas (ver Figura 6).

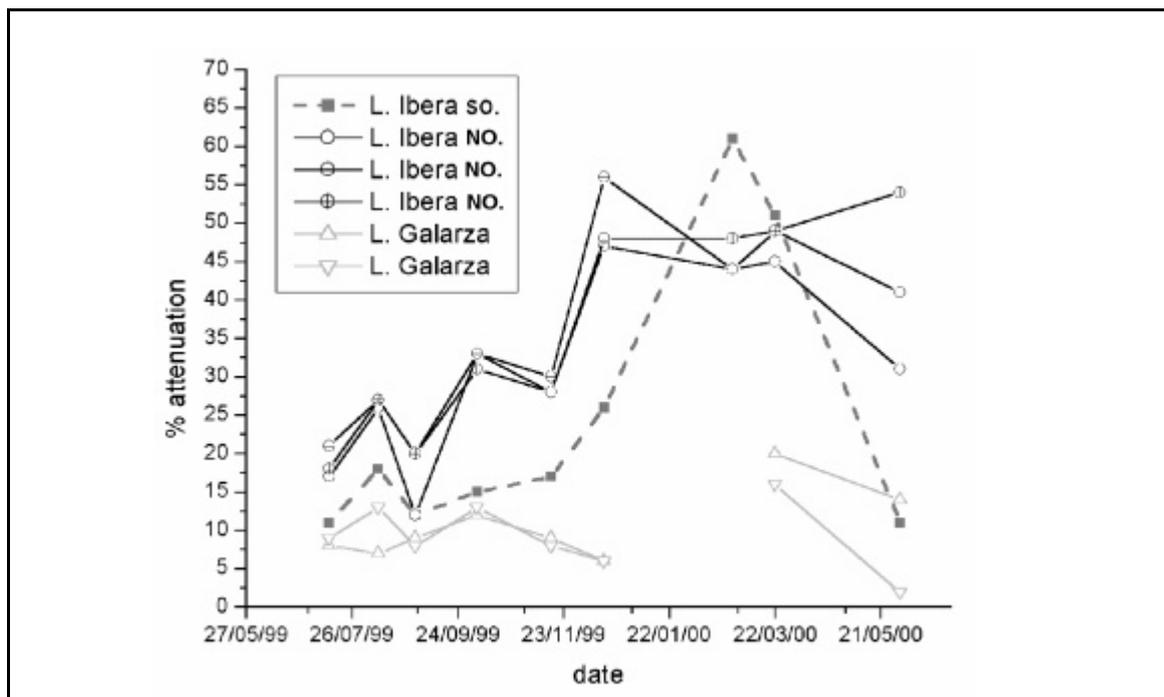


Figura 6. Estimación de la contribución del fitoplancton a la atenuación vertical total abarcando todo el período de medición (1999 – 2000) en las dos lagunas estudiadas.

Se utilizaron imágenes satelitales para modelar la distribución espacial de las calidades ópticas de las lagunas estudiadas. Se crearon modelos para examinar la distribución temporal y espacial del coeficiente de atenuación de la radiación fotosintética activa (PAR), la profundidad de Secchi, fluorescencia roja de clorofila a, turbidez y concentraciones de sustancias húmicas. Los modelos y los algoritmos se desarrollaron relacionando las mediciones realizadas *in situ* con la reflectancia medida por satélite determinadas en dos períodos en el año 2001. Los componen-

tes principales de las seis bandas, visibles e infrarrojas, también fueron utilizados para examinar las correlaciones entre las concentraciones medidas y los datos satelitales.

El análisis resultante, extendido a una serie de imágenes (provistas por CONAE) demostró una alta variabilidad espacial que parece estar influida tanto por las condiciones hidrológicas y meteorológicas como por la proximidad a las áreas agrícolas y a los centros de población. Es interesante destacar que ambos factores están sufriendo cambios en la actualidad. El primero está relacionado con las modificaciones en la utilización de la tierra en el área, del pastoreo tradicional para el ganado y pequeñas granjas agrícolas y establecimientos de gran escala así como el crecimiento de los centros de población local debido al aumento del turismo. Se presume que las variaciones hidrológicas están relacionadas con los cambios en la tasa de flujo del agua subterránea inducidos por la construcción de la represa hidroeléctrica Yacyretá en el río Paraná y los subsiguientes incrementos en la presión hidrostática acuífera que es compartida por el humedal y por el reservorio artificial formado por la represa.

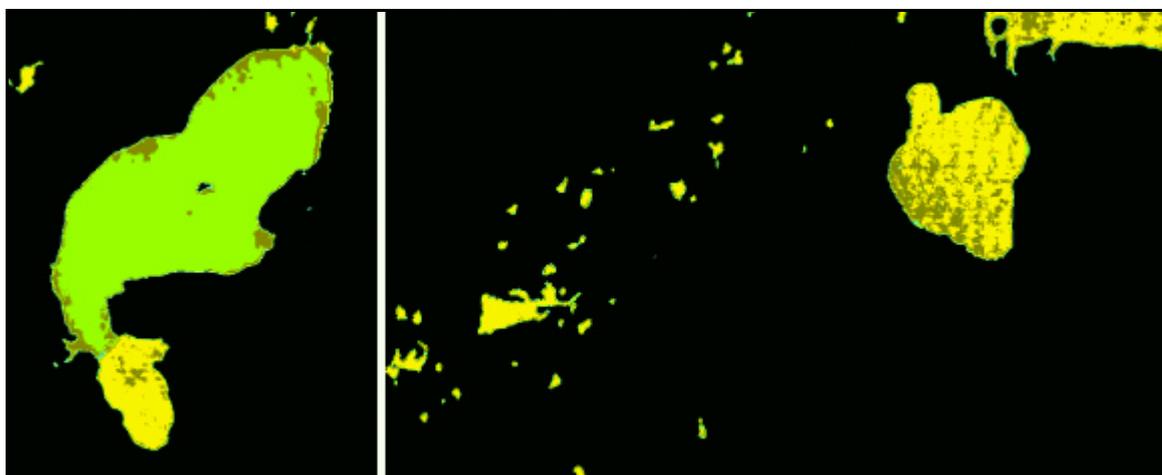


Figura 7: Variación espacial de parámetros de calidad óptica del agua basado en algoritmos basados en la reflectancia (ETM) para una sola fecha en Noviembre 2001. La laguna estudiada es la Laguna Iberá (izquierda) y el área por debajo la Laguna Luna (derecha). Las áreas en celeste se caracterizan por alta transparencia y baja fluorescencia de clorofila, las áreas en marrón claro tienen alta atenuación y materia orgánica disuelta, las áreas en marrón oscuro están dominadas por baja turbidez y la mayor concentración de materia orgánica disuelta, las áreas verdes están dominadas por alta turbidez y fluorescencia de clorofila. Las áreas del humedal con vegetación y las agrícolas han sido separadas.

Finalmente, se utilizó una clasificación automática para estudiar de manera cualitativa los otros cuerpos de agua libre del humedal. Tales resultados cualitativos han ayudado a los investigadores a adquirir conocimientos básicos sobre estas lagunas de difícil acceso y a realizar observaciones generales sobre las posibles influencias de la actividad agrícola en la calidad del agua. Una vez más, parece haber una correlación entre las propiedades ópticas de los cuerpos de agua libre y su posición geográfica en relación con las áreas agrícolas limítrofes. Las lagunas localizadas en zonas lejanas en el interior del humedal y rodeadas de áreas de esteros se caracterizan por una alta transparencia y por altas concentraciones de ácido húmico. Las lagunas que se encuentran ubicadas en los bordes del humedal, con actividad agrícola o de forestación muestran una concentración de clorofila más alta y una turbidez también mayor (y menor transparencia). Varias lagunas mostraron características que las hacen únicas y no fue posible determinar la causa de esta anomalía (ver Figura 7).

Los algoritmos desarrollados en el análisis precedente están en la actualidad siendo aplicados a una serie de cuarenta imágenes del Iberá en colaboración con la CONAE y UCADIZ. Se espe-

ra que este trabajo esté terminado en el próximo año (2003). La constante colaboración con la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) y con los dos grupos participantes que utilizan datos satelitales (UNICEN y UCADIZ) continúa con el monitoreo a largo plazo del ecosistema de los Esteros del Iberá y con la investigación de algoritmos basados en datos satelitales para el análisis del humedal.

El análisis de la principal actividad agrícola del área (producción de arroz) se realizó utilizando indicadores basados en información y energía. Se llevó a cabo una encuesta (en colaboración con USVID) sobre las actividades productivas de las instalaciones de uno de los mayores productores de arroz.

Estudiando la energía total, mano de obra, maquinarias y recursos naturales utilizados en un año de producción de arroz, y calculando la energía solar ingresante (emergía) empleada para el proceso productivo, fue posible comparar los costos ambientales de la producción de arroz con la misma actividad en otras partes del mundo. Se constató que la carga y energía ambientales utilizadas eran más bajas que las utilizadas en Italia para la misma actividad y bastante similares a las de Asia.

También se comparó un análisis del contenido de la información del monocultivo con el área de vegetación flotante, para determinar la diferencia en la negentropía total (exergía) en el medio ambiente modificado respecto de la del ecosistema natural. Se observó una diferencia significativa. La Figura 8 presenta el desglose de la exergía y la emergía

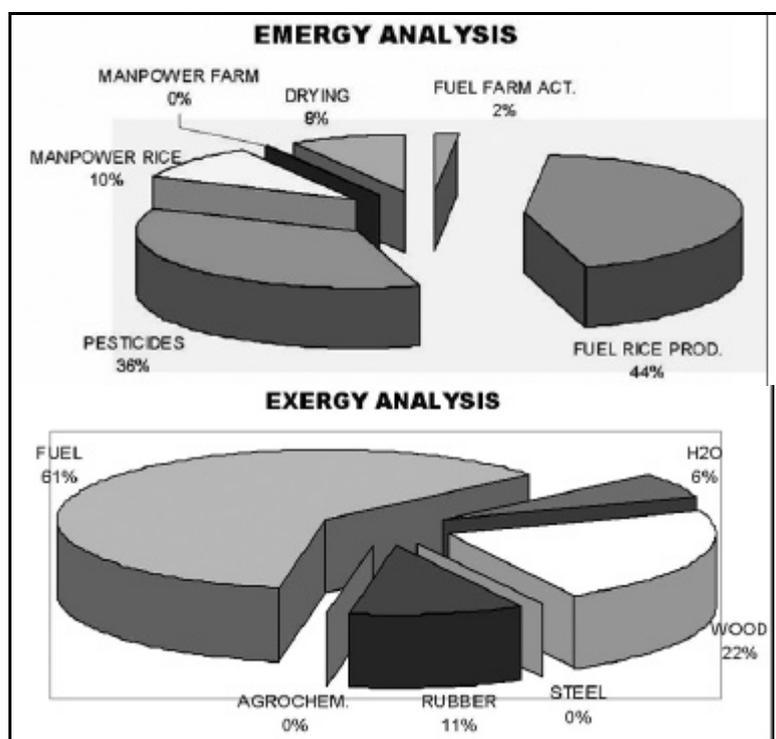


Figura 8. Análisis de los requerimientos de energía solar (emergía) y los contenidos de información de un productor de arroz a gran escala en Corrientes, Argentina, en el área limítrofe del Iberá. En el gráfico superior se muestran pesticidas, mano de obra arroz, mano de obra en granjas, secado, combustible activ. granja y combustible prod. arroz, mientras que en el inferior se muestran combustible, agroquímicos, goma, acero, madera y agua. Son evidentes tanto las variaciones espaciales significativas, como las variaciones estacionales en la parte sur de la laguna.

Análisis climatológico e hidroquímico

El Laboratorio Centrale di Idrobiologia di Roma, colaborador dependiente de UNISI, tuvo activa participación en la implementación, mantenimiento y entrenamiento relacionado con las estaciones meteorológicas, hidrológicas e hidrométricas que se encuentran operando en la actualidad y que están siendo utilizadas por la Universidad USVID. Las Figuras 9 y 10 muestran algunas características hidroquímicas y climáticas de importancia del sitio estudiado.

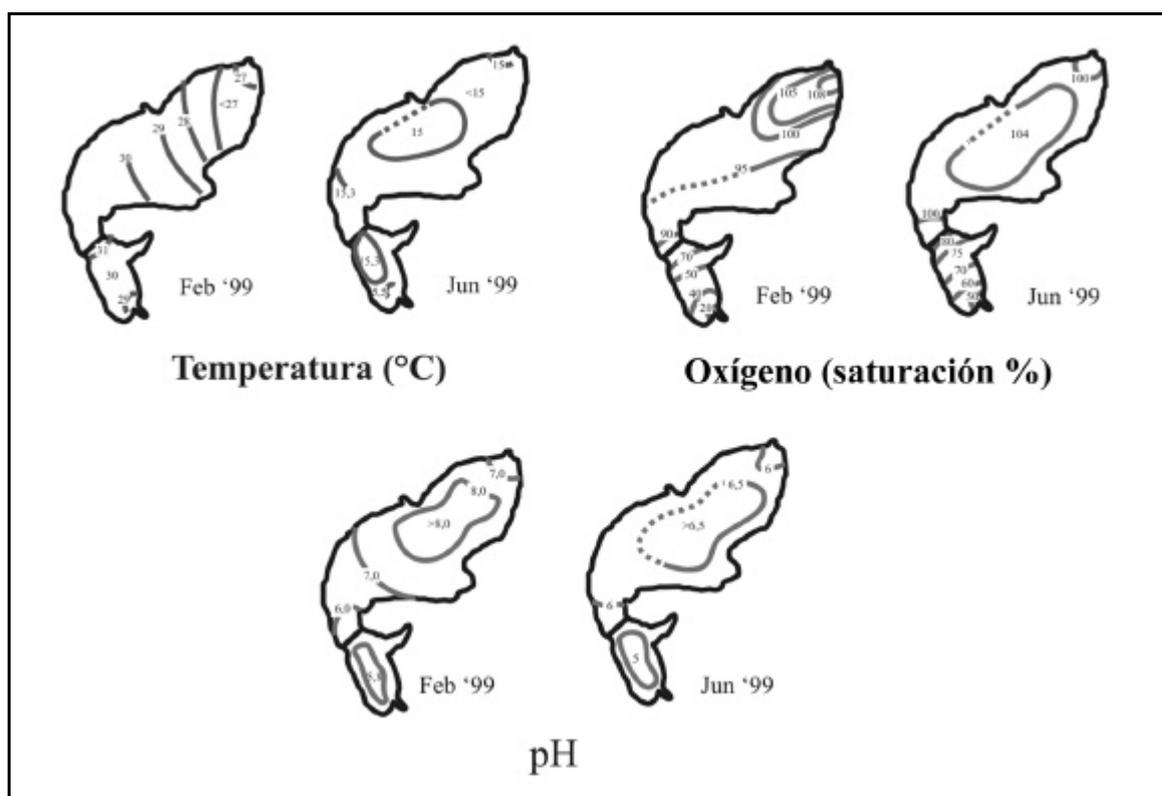


Figura 9. Variaciones estacionales de temperatura, oxígeno y pH medidas en la Laguna Iberá.

Se crearon una serie de modelos tomando como base las condiciones climáticas e hidrológicas para analizar los cambios estacionales en las características del humedal. Los mismos fueron utilizados en los modelos con base ecológica y energética producidos por UNISI así como por otros grupos asociados.

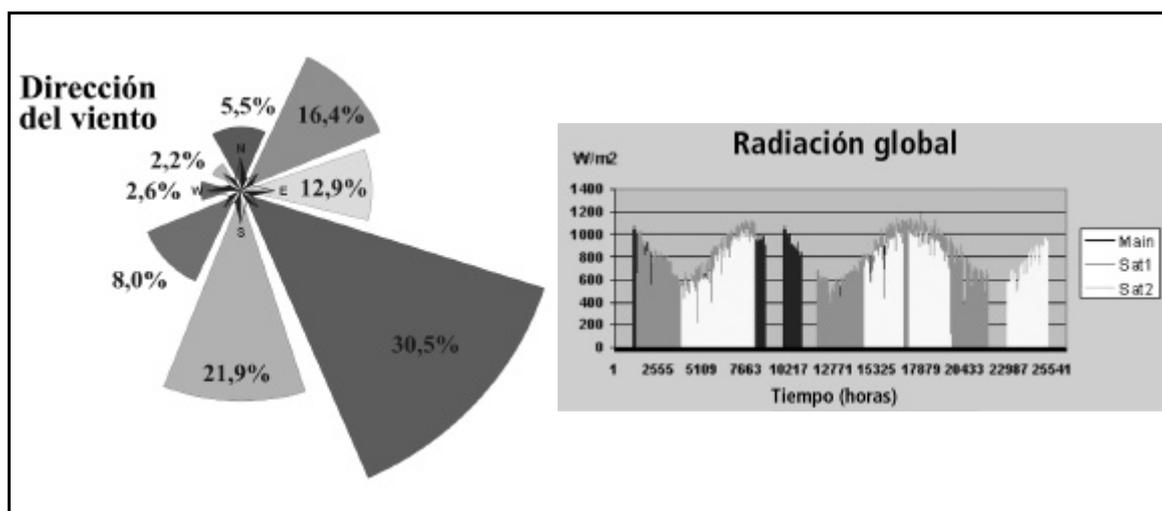


Figura 10. Rosa de los vientos predominantes (izq.) y registro de la radiación global medida en las tres estaciones meteorológicas (Col. Pellegrini-Main, Galarza-Sat1 y Concepción-Sat2)

Además, LabRoma realizó un estudio batimétrico completo en las Lagunas Iberá, Galarza y Luna (Figura 11).

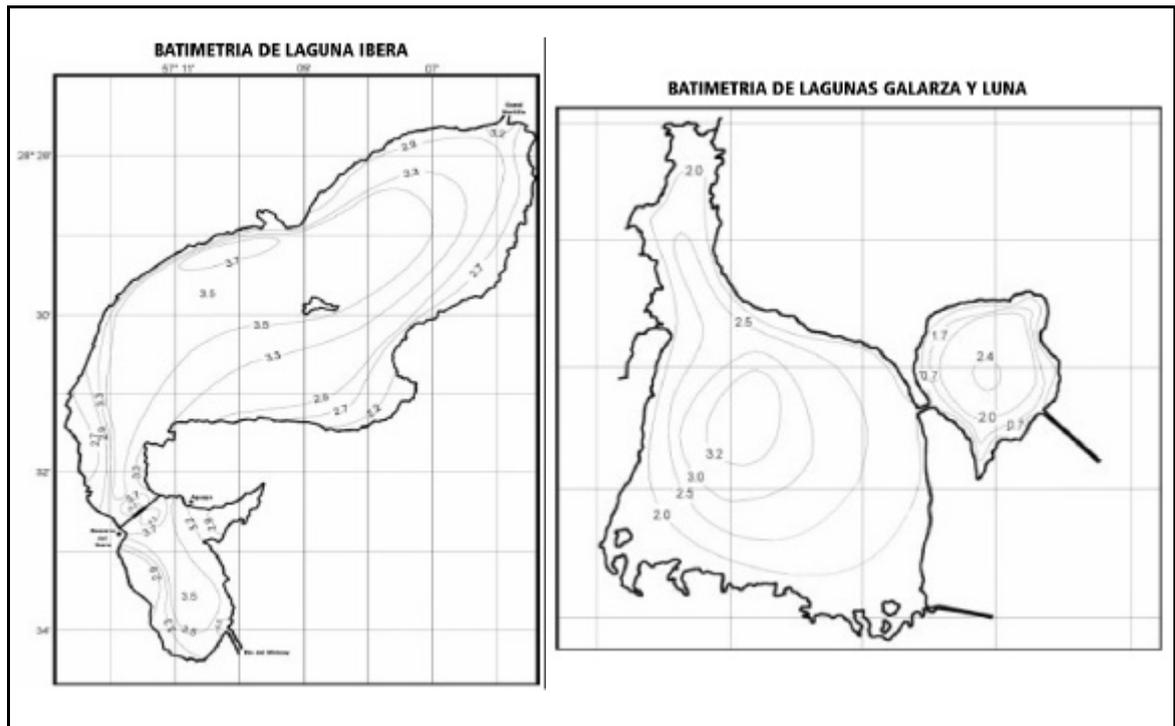


Figura 11. Batimetrías de las lagunas estudiadas.

Análisis Trófico

El Departamento de Biología de la Universidad de Roma Tre, colaborador dependiente de UNISI, realizó una serie de análisis sobre el rol de la fauna acuática en el reciclado de los nutrientes del ecosistema y en la red trófica. En la Laguna Iberá se llevó a cabo una investigación ecológica de la población del Lobito de Río (*Lontra longicaudis*) o nutria neotropical. El objetivo era estudiar la dieta y la distribución espacial de la especie, incluyendo sus cambios estacionales. La cantidad de indicios se correlacionó con los parámetros ambientales para probar su influencia sobre la presencia y movimientos de las nutrias. El detalle del estudio se encuentra en el informe 9.

El estudio del Biguá (*Phalacrocorax olivaceus*) o cormorán neotropical, se focalizó en la dieta, búsqueda de alimentos y movimientos estacionales. El mismo se llevó a cabo en la Reserva Natural 'Laguna Iberá' (53 Km², Sitio Ramsar No. 1162). Este estudio también demostró que la presencia de áreas de descanso del biguá tiene influencia sobre la concentración de nutrientes disponibles en el ecosistema acuático.

Un análisis de la red trófica llevó a la producción de los modelos cualitativos descriptos precedentemente y fue utilizado por los investigadores del proyecto para el modelado y análisis posteriores. RomaTre también organizó y manejó (con UNISI) un censo mensual de avifauna específica en colaboración con los guardafauna de la Reserva. El censo de aves es parte del programa de monitoreo ecológico del proyecto que continua luego de la finalización del mismo. Los datos del censo han mostrado importantes cambios estacionales en especies de aves específicas (UNISI, RomaTre) que fueron seleccionadas como indicadores de la calidad del hábitat y del agua. (Hoyer y Canfield, 1994). La continuidad del censo mensual utilizando un Índice de Abundancia Kilométrica modificado demostrará las modificaciones a largo plazo en la calidad del humedal y favorecerá un acercamiento al ecosistema para examinar el éxito del manejo.

PROBLEMAS ENCONTRADOS

Los resultados obtenidos por UNISI excedieron los objetivos científicos previstos. Este éxito se debió a la estrecha colaboración dentro del proyecto y a las colaboraciones externas de los productores locales y la CONAE (relativa a la disponibilidad de datos satelitales).

Sin embargo, varios problemas causaron algunas dificultades en el aspecto científico del proyecto. Un problema grave estuvo relacionado con la inestabilidad política y económica de la región. Por una parte la producción de arroz, que era un cultivo de mucha importancia en el primer año del proyecto, se redujo de forma significativa en el segundo y tercer año debido a la devaluación del Real brasileño, y recién ahora está aumentando nuevamente luego de la devaluación del Peso argentino. La participación del Gobierno Provincial fue dificultosa debido a la inestabilidad política que ocasionó tres cambios en el ámbito provincial durante la duración del proyecto.

Otro problema fue la falta de disponibilidad de datos históricos cuantitativos del humedal, siendo ésta una característica común a todos los humedales del Mercosur que se superó utilizando métodos basados en datos limitados.

CONCLUSIONES

La investigación llevada a cabo por el equipo de investigación de UNISI y los investigadores de LabRoma y RomaTre produjo un bagaje importante de información para el proyecto que fue integrada al programa de manejo y monitoreo.

Los resultados demuestran que el humedal es particularmente sensible a los cambios en la hidrología y en la calidad del agua. Los modelos también indican que los sistemas de lagunas poco profundas son fuertemente influenciados por las condiciones ambientales y por los cambios climáticos locales. Los análisis de datos satelitales demuestran que las lagunas del humedal tienen una alta variabilidad espacial que parece estar influenciada por las condiciones hidrológicas y meteorológicas, como también por la proximidad a las áreas agrícolas y a los centros de población. Esto es particularmente importante en vista de los cambios crecientes en las actividades económicas en las zonas de entorno del humedal y los impactos hidrológicos potenciales de la represa hidroeléctrica cercana sobre el río Paraná.

La experiencia y el conocimiento obtenidos por los investigadores de UNISI han contribuido a la capacidad investigativa del grupo y de cada uno de sus miembros. Esto es particularmente cierto para el estudio de los ecosistemas de humedal en Italia, donde en la actualidad se están probando varios de los enfoques desarrollados para el proyecto, en particular metodologías de análisis de datos satelitales. Los miembros del equipo de investigación presentaron trabajos relacionados con el proyecto en varias conferencias internacionales en forma individual y participaron de una larga serie de encuentros públicos en Argentina y en Italia, relacionados con los resultados del proyecto y con las actividades de investigación.

El proyecto se caracterizó por un alto grado de colaboración entre los investigadores de UNISI y sus colegas en otras unidades de investigación. Los científicos colaboraron en toda la investigación y hubo un intercambio constante de experiencias. Esto queda también demostrado por el alto número de publicaciones realizadas por miembros de varias unidades de investigación. Esta colaboración continúa con la presencia de un científico visitante de UCADIZ en Siena

durante los meses de marzo y abril de 2002, y con la presencia de un científico de UNICEN durante los meses de mayo y junio de 2002. También continúan los trabajos de colaboración con los investigadores de UYORK, tanto en proyectos europeos como en proyectos italianos locales. Los intercambios con el grupo de USVID continúan a través del mantenimiento de las estaciones de monitoreo fijas y el desarrollo del sitio web de manejo del humedal. Las colaboraciones externas nacidas del proyecto también han probado ser científicamente beneficiosas para los investigadores de UNISI, particularmente con la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE), en la que el grupo de investigación de UNISI participa de dos proyectos de investigación dirigidos al estudio de los ecosistemas del humedal por medio de datos del satélite Argentino SAC-C. Otras colaboraciones de importancia fueron las obtenidas de las organizaciones no gubernamentales provinciales y nacionales, las que facilitaron en gran medida las actividades del proyecto y contribuyeron a la valoración de los resultados del mismo a escala local.

Se puede afirmar que el proyecto fue un éxito desde el punto de vista de los adelantos de última generación para el estudio de humedales y para el manejo de recursos de los mismos.

| 4. LIMNOLOGÍA DE LAS LAGUNAS IBERÁ Y GALARZA

Universidad de Cádiz

Integrantes: Andrés Cózar¹, Carlos M. García y
José Angel Gálvez (coordinador científico)

OBJETIVOS

Los objetivos de la Universidad de Cádiz (UCADIZ) se han centrado en el estudio limnológico de las lagunas del macrosistema Iberá. Se ha puesto especial énfasis en la descripción de la comunidad planctónica y en la caracterización trófica de las lagunas mediante la determinación de las características físico-químicas del agua. La vasta extensión del humedal y las dificultades de accesibilidad determinaron que los trabajos de campo se concentraran en dos lagunas del margen oriental del macrosistema, concretamente en las Lagunas Iberá y Galarza. A orillas de Laguna Iberá se sitúa un núcleo de población relativamente grande en el contexto del macrosistema, Colonia Pellegrini (600 hab.). Laguna Galarza se encuentra más aislada de las actividades humanas. Ambas lagunas se vieron afectadas por el periodo de auge de las arroceras en Esteros del Iberá, aunque Laguna Iberá pareció soportar una mayor presión por esta actividad. Estas características, con las lógicas reservas, nos pueden ayudar a valorar la fragilidad del ecosistema mediante la comparación del estado de ambas lagunas como representativas de una distinta presión antrópica.

Los apartados en los que se divide este informe son los siguientes:

- Estrategia de muestreo
- Hidrodinámica y características físico-químicas de las lagunas
- Comunidad planctónica
 - Red trófica microbiana
 - Fitoplancton
 - Zooplancton
- Variabilidad espacial
- Variabilidad temporal
- Programa de seguimiento a largo plazo

¹ Departamento de Biología Vegetal, Animal y Ecología, Área de Ecología, Universidad de Cádiz, C.A.S.E.M. Puerto Real, 11510 Cádiz, España. Email: andres.cozar@uca.es , joseangel.galvez@uca.es

METODOLOGÍA Y RESULTADOS

Estrategia de muestreo

La laguna Galarza, de forma más o menos circular, tiene una superficie de 16.5 km² y una profundidad media de 1.9 metros (Figura 1). La laguna Iberá, de morfología más alargada, está dividida en una cuenca norte y una cuenca sur por un estrechamiento en su tercio meridional. Sobre este estrechamiento existe un puente que limita aún más el intercambio entre ambas cuencas. Posee una superficie de 58 km² y una profundidad media de 3.2 metros. Como hemos comentado, las lagunas están alimentadas por arroyos que se originan en las enormes áreas de esteros que se extienden en su entorno. Laguna Galarza está alimentada por el Arroyo Yacaré, que recorre los esteros situados al este. Existe además un canal, habitualmente de salida y que conecta con la Laguna Luna, llamado canal Isirí. Por otra parte, Laguna Iberá está alimentada al sur por los esteros del Río Miriñay y al norte por el Canal Noreste.

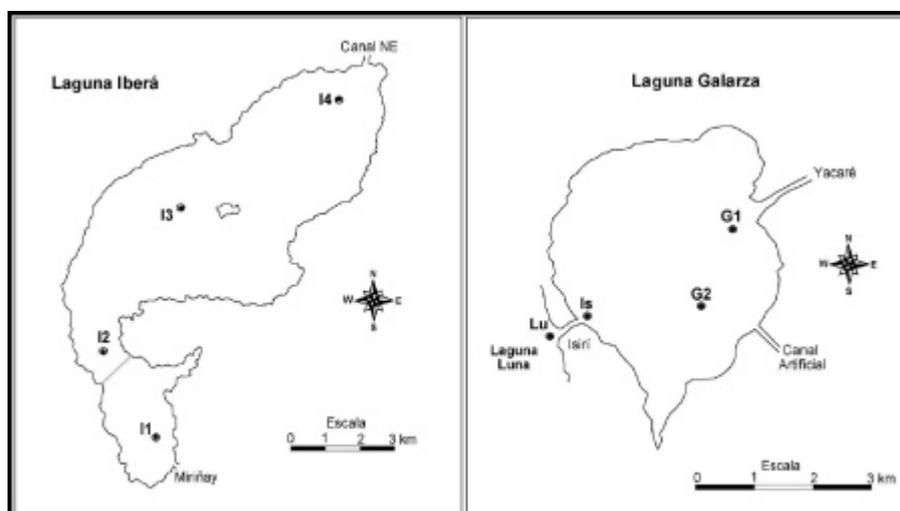


Figura 1: Estaciones de muestreo en Laguna Iberá y Laguna Galarza.

Se establecieron 4 estaciones de muestreo en Laguna Iberá (I1, I2, I3 y I4) y 2 estaciones en Laguna Galarza (G1 y G2). En esta última laguna se tomaron muestras adicionales en 2 estaciones (Is y Lu) situadas en el canal Isirí (Figura 1). La estrategia de muestreo se esquematiza en la Figura 2. Antes de cada muestreo se realizaban perfiles verticales de temperatura, pH y oxígeno disuelto (OD) en cada estación de muestreo. Se utilizaron sensores de campo para tomar medidas a lo largo de la columna de agua con un intervalo de separación de 0.5 metros. La transparencia del agua también fue estimada mediante el disco de Secchi. En cada estación se tomaron muestras de agua a 0.5 m bajo la superficie y a un nivel más profundo (1.5 o 2.5 m) de acuerdo con la batimetría en cada estación. Las muestras de agua se utilizaron para determinar las siguientes variables:

a) físico-químicas:

- nutrientes inorgánicos disueltos (fósforo soluble reactivo, nitrato, nitrito, amonio, silicato)
- carbono orgánico disuelto
- estequiometría del material particulado

b) biológicas:

- pigmentos fotosintéticos: clorofila *a* y feopigmentos
- bacterioplancton
- fitoplancton
- zooplancton.

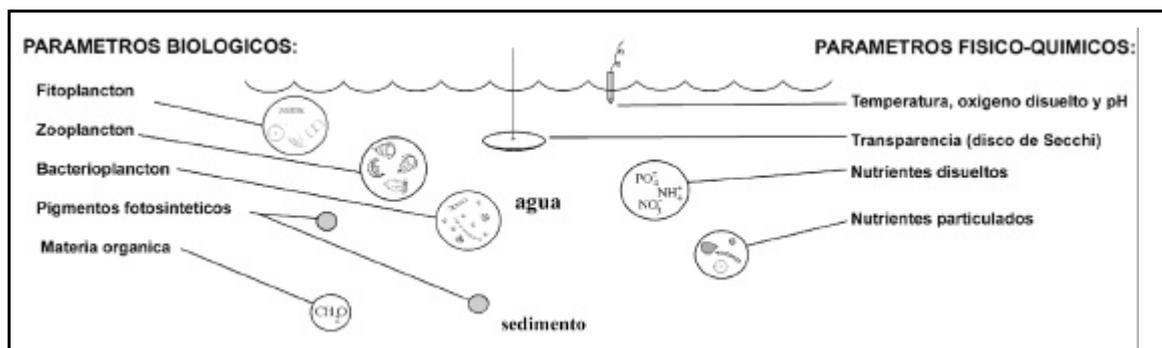


Figura 2: Esquema simplificado de la estrategia de muestreo durante el ciclo estacional junio 1999 a julio 2000 en las Lagunas Iberá y Galarza.

Se tomaron además muestras de sedimentos en cada estación de muestreo para el análisis de clorofila *a*, contenido de materia orgánica y caracterización de la comunidad fitobentónica.

Debido a la aparente heterogeneidad espacial de las lagunas y con objeto de obtener información adicional de una mayor resolución espacial, se llevaron a cabo además muestreos extensivos en verano e invierno (tabla 1). Se empleó una malla de 40 puntos de muestreo en Laguna Iberá y 24 puntos de muestreo en Laguna Galarza. Las variables analizadas fueron la concentración de pigmentos y las diversas características físico-químicas.

	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	FEB	MAR	JUN
Iberá:	13/07/99	10/08/99	31/08/99	05/10/99	16/11/99	16/12/99	29/02/00	22/03/00	22/06/00
Galarza:	15/07/99	12/08/99	02/09/99	18/10/99	23/11/99	15/12/99	-	09/03/00	26/06/00
Extensivo:							27/02/00	09/03/00	23 y 27/06/00

Tabla 1: Fechas de los muestreos para Laguna Iberá y Laguna Galarza. Se realizaron además 2 muestreos extensivos para cada laguna, uno representativo de las condiciones verano y otro de las de invierno (27/02/00 y 23/06/00 en Laguna Iberá; 09/03/00 y 27/06/00 en Laguna Galarza).

Hidrodinámica y características físico-químicas

Hidrodinámica

La variación del nivel del agua de las Lagunas Iberá y Galarza fueron muy similares. Durante el periodo de estudio las variaciones estacionales del nivel fueron relativamente pequeñas, 0.4 m como máximo. La fase de menor nivel de agua se corresponde con el periodo noviembre-marzo (primavera-verano). Los aumentos bruscos de nivel son debidos a los eventos de lluvias y las consecuentes descargas a las lagunas. El prolongado tiempo de retraso registrado entre los máximos de lluvia y los máximos de descarga (> 4 días) da idea de la lentitud del escurrimiento del humedal. Esta ralentización es consecuencia de la enorme masa de vegetación y materia orgánica acumulada. Este hecho debe tener también consecuencias en el transporte de sustancias durante el escurrimiento.

Se realizó una estimación de los tiempos de renovación de las distintas cuencas estudiadas en función de los flujos de descarga desde los arroyos que alimentaban las lagunas y las pérdidas por evaporación. Los flujos de descarga fueron estimados en función de las variaciones de nivel de agua de los arroyos y las lagunas mediante el método de pendiente-área y la ecuación de Manning. El flujo anual promedio para Arroyo Yacaré se estimó en 21000 m³/h, para Río Miriñay 29200 m³/h y para Canal Noreste 21500 m³/h. Se obtuvo una estimación simple de la evaporación en cada cuenca a partir de la ecuación de Thornthwaite. Se obtuvo una tasa de evaporación de 1168 mm/año, con un valor mínimo de 27 mm/mes para junio y un valor máximo de 160 mm/mes para febrero. Estos datos se traducen en un tiempo de renovación de 69 días para Laguna Galarza (~ 5 renovaciones/año), 36 días para la cuenca sur de Iberá (~ 10 renovaciones/año) y 154 días para la cuenca norte de Iberá (~ 2.5 renovaciones/año). El conjunto de Laguna Iberá tendría un tiempo de renovación medio de 180 días (~ 2 renovaciones/año).



Figura 3: Imagen Landsat-5 de falso color (24 de Abril de 2000) representando el efecto de la entrada de agua desde la cuenca sur a la cuenca norte de Laguna Iberá. La zona del estrechamiento se presenta como una zona de mezcla del agua de ambas cuencas.

Temperatura del agua, pH y oxígeno disuelto

La evolución temporal de los perfiles de temperatura mostró una aparente estratificación térmica durante Diciembre. Esta micro-estratificación apareció en ambas lagunas, aunque más débilmente en Galarza. La termoclina más marcada se registró en el estrechamiento entre ambas cuencas de Iberá (estación I2), un área protegida de los oleajes inducidos por viento (Figura 4). No obstante, esta estratificación térmica no fue estable. En los lagos someros la micro-estratificación térmica suele ocurrir en los días soleados, desapareciendo normalmente por la noche. Al mediodía, la capa superficial de la estación I2

presentó una temperatura 1.3° C superior a la capa profunda. Al caer la noche, la temperatura de la capa superficial (registrada por la estación hidrológica) llegó a descender 2.5° C.

Se utilizaron los perfiles de temperatura para discriminar los distintos cuerpos de agua en las lagunas. Se promediaron los perfiles de temperatura para la capa superficial y la capa profunda. El límite entre ambas capas se fijó en 1.25 m, profundidad de la micro-termoclina de verano en ambas lagunas. El resultado del análisis *de cluster* muestra como las capas superficial y profunda siempre aparecen agrupadas en cada estación. La escasa profundidad de las lagunas permite considerar a toda la columna de agua como un único compartimiento. En cuanto a la zonación horizontal, toda la Laguna Galarza y el Canal Isirí aparecen agrupados en el mismo *cluster*. En cambio, la morfología de Laguna Iberá determina 3 regiones, una cuenca sur (asociada al Río Miriñay), una cuenca norte y una zona intermedia en el estrechamiento central.

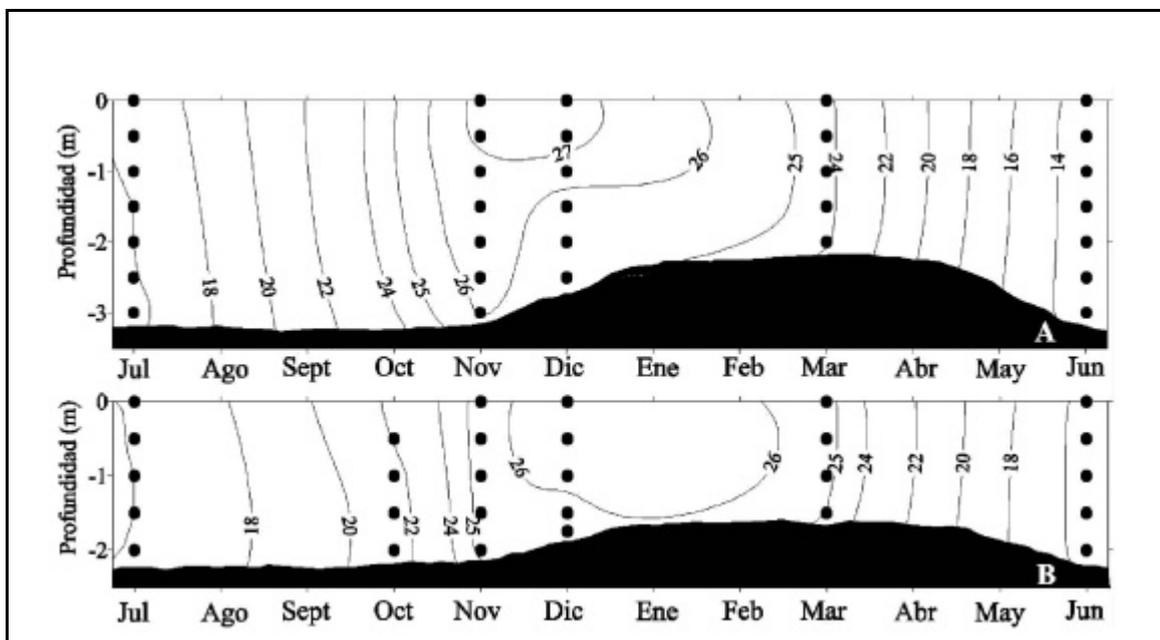


Figura 4: Evolución temporal de los perfiles de temperatura en las estaciones I2 (A) y G2 (B), las cuales mostraron las mayores diferencias de temperatura en la columna de agua. La profundidad está representada con referencia a la superficie de las lagunas, de manera que las fluctuaciones de nivel se reflejan en franja negra de la base de los respectivos gráficos, que representa de forma aproximada la posición del fondo.

El análisis *de cluster* sobre los datos de oxígeno disuelto y pH mostró nuevamente resultados similares. La cuenca sur de Iberá presentó características diferentes a la cuenca norte. El agua de la cuenca sur fue más ácida y mostró una menor concentración de oxígeno disuelto (OD), consecuencia de las descargas del Río Miriñay (Figura 5). El valor medio de pH registrado durante los muestreos fue 5.9 ± 0.4 en la cuenca sur de Iberá y 6.7 ± 1.4 en la cuenca norte. Laguna Galarza presentó valores de pH similares a la cuenca sur (5.7 ± 0.7). La acidez de las aguas está relacionada con los altos aportes de materia orgánica desde el entorno de las lagunas. No se registró anoxia o hipoxia en la columna de agua en ninguna de las estaciones de muestreo. El valor medio de OD (% de saturación) durante los muestreos fue 80 ± 19 en la cuenca sur de Iberá y 99 ± 7 en la cuenca norte. Laguna Galarza presentó un valor medio de 93 ± 12 .

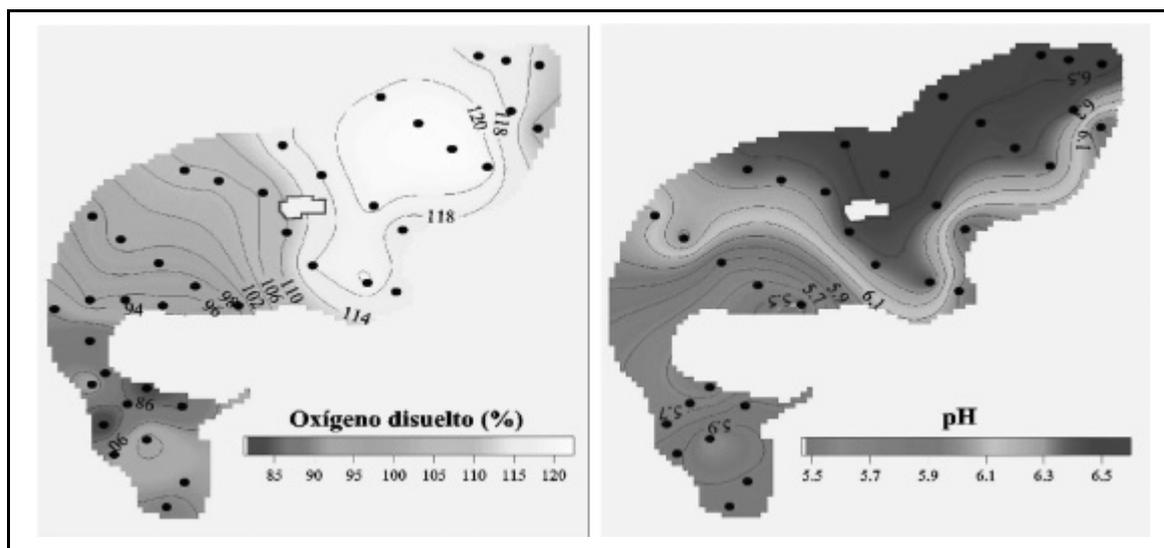


Figura 5: Distribución espacial de OD (izda.) y pH (dcha.) el 23 de Junio de 2000 en Laguna Iberá.

Atenuación de la luz: profundidad del disco de Secchi

Este es un método simple y relativamente robusto para la caracterización de las propiedades ópticas de un cuerpo de agua. Al ser una estimación de la transparencia del agua, puede ser considerada también como una variable importante desde el punto de vista estético del lago.

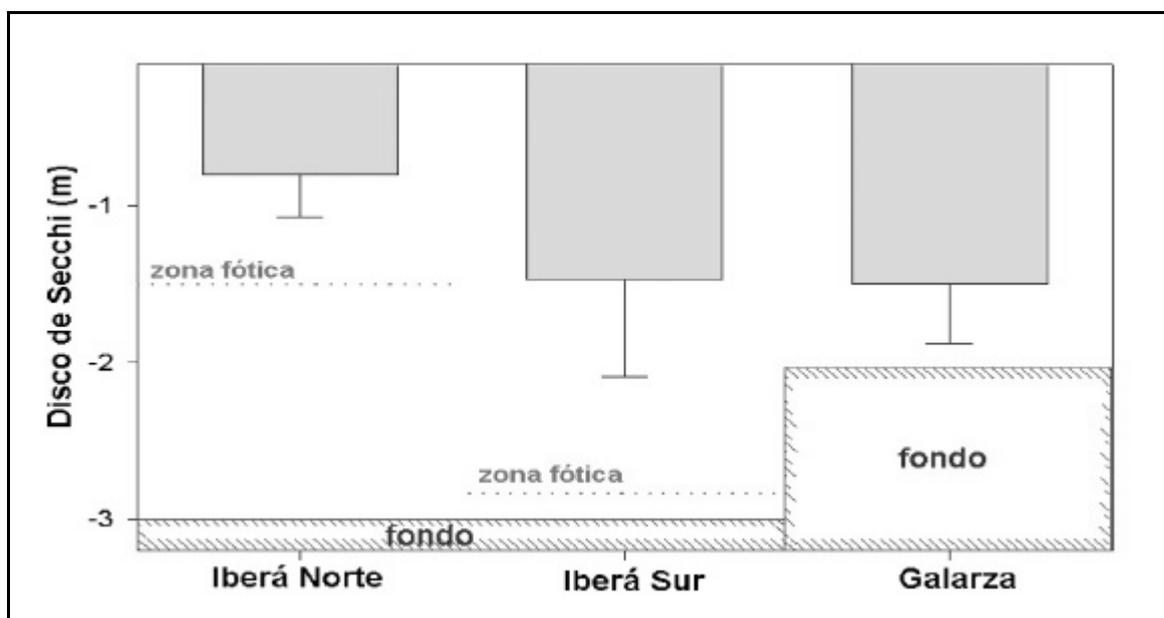


Figura 6: Profundidad promedio del disco de Secchi en la cuenca norte (I2, I3, I4) y cuenca sur (I1) de Iberá, y en Laguna Galarza (G1 y G2). Las barras indican la desviación estándar del ciclo estacional.

El resultado del análisis *de cluster* sobre la profundidad del disco de Secchi (S_d) es idéntico a la zonación realizada sobre los datos de clorofila. Existe una zona de menor transparencia (cuenca norte de Iberá) y dos zonas de aguas más claras (cuenca sur y Galarza). Existió una correlación lineal estadísticamente significativa (ANOVA; $P < 0.01$) entre S_d y clorofila a (chl_a) en Laguna Iberá. La chl_a explicó el 58% de la variabilidad de S_d en la cuenca norte y el 41%

en la cuenca sur. En Laguna Galarza, la *chl a* únicamente explicó 18% de la variabilidad de S_d . La transparencia relativa promedio en Galarza fue similar a la de la cuenca sur de Iberá, aunque la variación estacional de esta última fue más marcada. Todas las estaciones de muestreo mostraron una fase de mayor turbidez durante primavera-verano y una fase de mayor relativa transparencia durante otoño-invierno. La profundidad del disco de Secchi es considerada como la mitad de la profundidad de la zona fótica. Basándonos en esta consideración, el fondo de Galarza y cuenca sur de Iberá dispondría de luz suficiente para realizar la fotosíntesis neta durante la mayoría de los meses muestreados (Figura 6). Este hecho permitiría *a priori* el desarrollo de vegetación en el fondo de estas cuencas.

Material disuelto y particulado

En este apartado nos centraremos en las sustancias disueltas primordiales para el crecimiento de productores primarios (nutrientes inorgánicos) y bacterias heterótrofas (materia orgánica disuelta). En general, la limitación de la producción primaria se establece en relación con el nitrógeno inorgánico disuelto (NID = nitrito + nitrato + amonio) y el fósforo soluble reactivo (FSR). Las concentraciones de estos nutrientes inorgánicos disueltos fueron bajas y estables tanto en Laguna Iberá como Laguna Galarza, no encontrándose variaciones significativas durante el periodo de estudio (Figura 7). Únicamente se registraron algunos pulsos de nutrientes, ligados a episodios de lluvia, en las estaciones cercanas a los arroyos o a Colonia Pellegrini (I1, I2, G1 y G2). Probablemente, el tiempo de residencia de los nutrientes en las lagunas es muy bajo, una vez que aparecen en la columna de agua son rápidamente asimilados por los productores primarios. La entrada de nutrientes disueltos debería producirse de una forma lenta y continua, presumiblemente el progresivo reciclado de nutrientes del sedimento sea la principal fuente de nutrientes para la laguna. En los lagos someros es habitual que el sedimento juegue este papel en el ecosistema (ej. Scheffer 1998, Carignan y Vaithyanathan 1999). En condiciones anóxicas del sedimento, el amonio que se produce en las primeras etapas de la descomposición de la materia orgánica, fluye del sedimento al agua. La proporción de amonio fue muy alta en todas las estaciones, representando en promedio el 84% del NID. No obstante serían necesarios estudios específicos para validar la hipótesis de que la principal fuente de nutrientes en el ecosistema sea el sedimento.

Los muestreos espaciales de nutrientes en Laguna Iberá mostraron un cierto aumento de la concentración de nitrito y nitrato en la costa de Colonia Pellegrini. Las distribuciones espaciales de amonio y FSR no parecieron estar influidas por este asentamiento humano. El incremento más evidente fue el de nitrito. No obstante, este presumible incremento fue muy leve (ΔNO_2 0.07 μM). Los incrementos de nitrato fueron del orden de 3 veces menor que los generados por otras causas naturales como las regurgitaciones y heces de los dormideros de aves piscícolas. Sin embargo, lo realmente preocupante es el hecho de que los nutrientes procedentes de Colonia Pellegrini supongan una entrada neta a la laguna de nutrientes externos. Así por ejemplo, el principal recurso trófico de los dormideros de aves es la laguna. Por lo tanto, su actividad únicamente supone un reciclado de nutrientes de la propia laguna. De cualquier modo, el estado trófico de Laguna Iberá y la evidente tendencia de desarrollo de la zona aconsejan la puesta en marcha de medidas para la gestión de los efluentes de Colonia Pellegrini

Los principales factores que suelen limitar el crecimiento fitoplanctónico en los ecosistemas acuáticos son la luz y/o los nutrientes. Estudios específicos de fertilización han determinado al nitrógeno como nutriente limitante en la comunidad fitoplanctónica de ecosistemas similares como las lagunas de la llanura de inundación del Paraná (Carignan y Planas 1994) o lagos someros de los Everglades de Florida (ej. Carrick *et al.* 1994). Debido a las escasas concentraciones de nutrientes disueltos en el agua y la escasa profundidad de las lagunas en principio no parece que la dinámica fitoplanctónica de las lagunas de estudio esté limitada por la luz. La luz podría ser transitoriamente limitante durante eventos intermitentes de resuspensión de sedimento (Carignan y Planas 1994) o durante los máximos de concentración de células en Laguna Iberá ($150 \text{ mg chl a m}^{-2}$). No obstante, durante este periodo de máximas concentraciones de plancton tampoco se registraron concentraciones de nutrientes disueltos “en exceso”, éstas permanecieron siempre bajas y estables.

Partiendo de este razonamiento, realizamos una comparación de los nutrientes disueltos (NID y FSR) para determinar qué elemento posee un factor de concentración menor y podría actuar como limitante del crecimiento. Obviamente a lo largo de un ciclo estacional la naturaleza del nutriente limitante puede cambiar temporalmente. No obstante, en general el conjunto de datos de nutrientes disueltos en agua durante todo el ciclo estacional sugirió un déficit de nitrógeno (Figura 8). Únicamente apareció déficit de fósforo en el agua cuando la concentración de fósforo fue inferior a $0.15 \mu\text{M}$. La aparente limitación por N podría tener su origen en la enorme vegetación del entorno de las lagunas. Bonetto *et al.* (1994) y Carignan y Neiff (1992) encontraron limitación por nitrógeno en la vegetación acuática de la cuenca del Paraná. Estudios llevados a cabo por la Universidad de Luján, dentro del marco del proyecto, encontraron relaciones N:P en los tejidos de la vegetación acuática de Laguna Iberá que indicaron una limitación por nitrógeno durante todo el ciclo estacional (ver informe Nutrientes en Vegetación y Sedimentos de la Laguna Iberá).

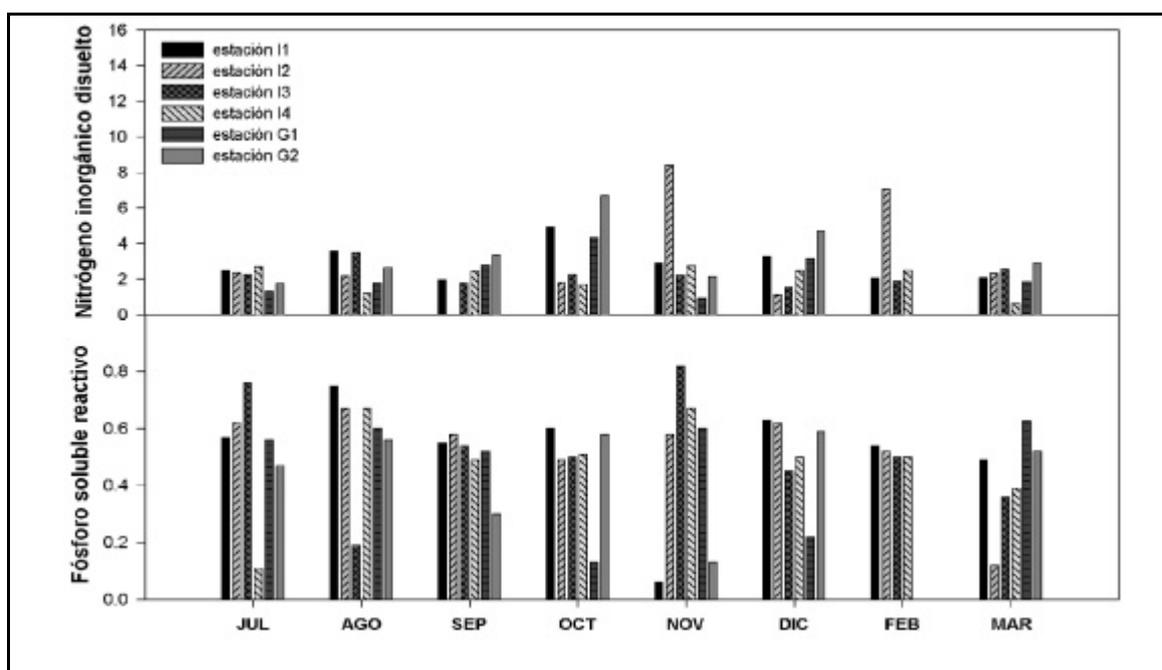


Figura 7: Evolución temporal durante el periodo de estudio de la concentración de nitrógeno inorgánico disuelto (nitrito + nitrito + amonio) y fósforo soluble reactivo (mM).

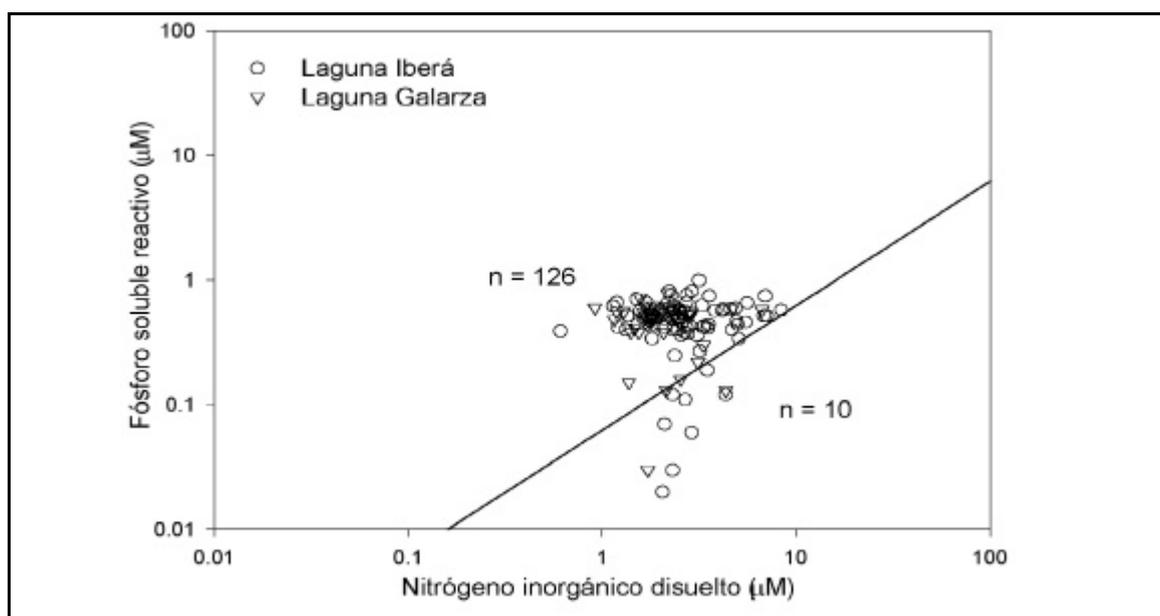


Figura 8: Relación de la concentración de nitrógeno inorgánico disuelto (nitrito + nitrato + amonio) y fósforo soluble reactivo en agua durante el periodo de estudio, con una línea se indica la relación N : P de Redfield. Se indican también el número de datos por encima y por debajo de la proporción de Redfield.

En general, los valores de carbono orgánico disuelto (COD) fueron relativamente altos, entre 5 y 10 mg/L. Estos valores son esperables en virtud de la enorme cantidad de materia orgánica que rodea las lagunas. Durante los muestreos extensivos, se identificaron incrementos significativos de COD influenciados por episodios de resuspensión por viento, los cuales remobilizan gran cantidad de materia orgánica poco consolidada del fondo. Los embalsados se presentaron como otra fuente de sustancias orgánicas, como consecuencia de la lenta descomposición anaerobia de la materia orgánica acumulada en éstos. Durante los muestreos fue observable a simple vista como desde los embalsados menos consolidados se producía a menudo una liberación de materia orgánica que confería un color negruzco a las aguas que los rodeaban. Consecuentemente los riachos y antiguos canales de irrigación que cortan a los esteros presentaron también concentraciones significativamente superiores de sustancias húmicas disueltas.

A raíz de las bajas concentraciones de nutrientes disueltos registradas, un cálculo interesante es la estimación de la proporción de N que se encuentra contenido en partículas respecto al N total en la columna de agua. Con todos los resultados de N_{part} y NID disponibles, se obtuvo que el porcentaje de N_{part} respecto al total ($N_{part} + NID$) fue del 68% en Laguna Galarza, del 78% en la cuenca sur de Iberá y del 91% en la cuenca norte. Lo que indica como los nutrientes se encuentran mayoritariamente contenidos en el plancton o ligados al material particulado no vivo (tripton). Estos porcentajes parecen estar relacionados con el estado trófico de las diferentes cuencas.

Concentración de clorofila

La concentración de clorofila en agua puede ser usada como un estimador de la biomasa de productores primarios en suspensión. Se han utilizado los datos de clorofila para obtener información sobre el estado trófico siguiendo la clasificación de Vollenweider y Kerekes (1982). Es posible afirmar que tanto la cuenca norte como la cuenca sur de Iberá muestran signos de eutrofización (Figura 9). No obstante la cuenca sur presentó una concentración media menor

además de una estacionalidad más marcada. Laguna Galarza mostró un estado oligo-mesotrófico. La eutrofia normalmente implica una reducción del atractivo del lago, pudiendo llegar a generar problemas ambientales y económicos.

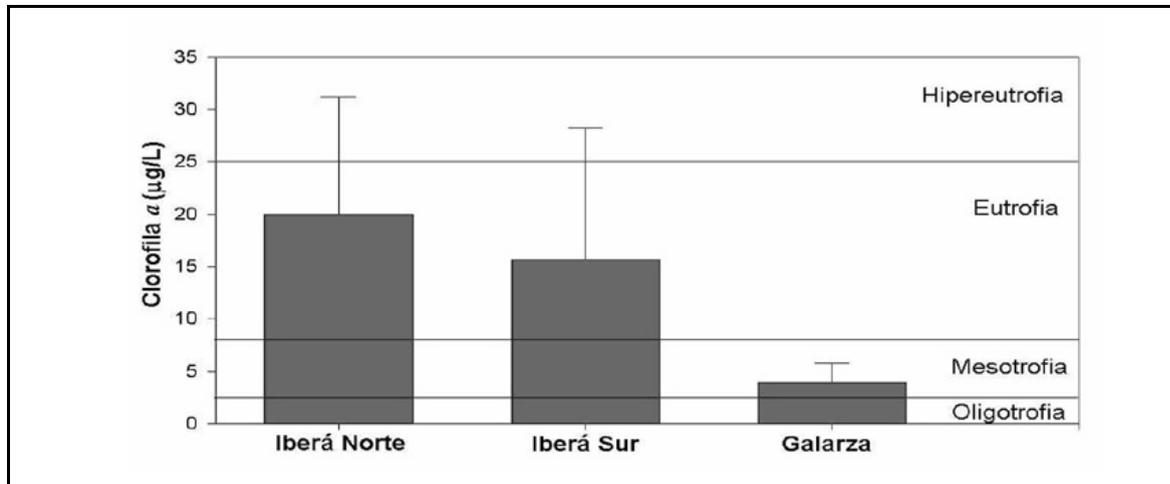


Figura 9: Clasificación de Galarza e Iberá en función de las concentraciones de chl a en agua (Vollenweider and Kerekes, 1982). Las barras indican la variabilidad del ciclo estacional.

La evolución de clorofila presentó el clásico *bloom* primaveral. Este patrón general fue registrado en Galarza e Iberá, dándose además en toda la columna de agua. Como comentamos en el análisis estacional del S_b el fitoplancton controla en gran parte la transparencia de las lagunas. Las máximas concentraciones de clorofila en la cuenca norte se alcanzan en diciembre, mientras en la cuenca sur el máximo se retrasa hasta febrero (Figura 10a y 10b). La dinámica de la cuenca sur de Iberá presenta una evolución temporal más parecida a Laguna Galarza. No obstante, Laguna Galarza presenta una estacionalidad menos marcada.

Utilizamos la concentración de clorofila *a* en sedimento (chl_{sed}) como variable para estimar cuantitativamente la biomasa fitobentónica. Destaca la correlación inversa que mantienen la concentración de clorofila en agua y en sedimento (Figura 10c). Esta relación es más evidente en Laguna Iberá, probablemente debido al mayor desarrollo de las comunidades fitobentónica y fitoplanctónica en esta laguna. La floración primaveral del fitoplancton parece limitar tanto la luz que llega al sedimento como la producción del bentos. En Laguna Iberá existe un claro periodo de alta turbidez en el cual las altas concentraciones de células evitan que la luz llegue a alcanzar el fondo. La atenuación de la luz también explica que las mayores concentraciones de chl_{sed} en Laguna Iberá siempre se registren en la cuenca sur, donde las concentraciones de $chl a$ en la columna de agua a menudo están por debajo de los 10 mg/L. En Laguna Galarza no existe una estacionalidad de la $chl a$ en agua tan marcada. Las concentraciones de chl_{sed} normalmente son menores que en Laguna Iberá. Es en junio, al final de la fase de alta biomasa en la columna de agua, donde se miden las mayores concentraciones de chl_{sed} . Generalmente las mayores concentraciones de chl_{sed} coinciden también con el periodo de altas concentraciones de materia orgánica en sedimento (Figura 10d). De hecho, la principal ventaja competitiva de las células que desarrollan parte de su ciclo de vida en el fondo es el mejor aprovechamiento de la liberación de nutrientes desde el sedimento (ej. Carrick *et al.* 1993). Las mayores concentraciones de MO_{sed} en Laguna Iberá probablemente también intervengan en el desarrollo de una mayor comunidad fitobentónica.

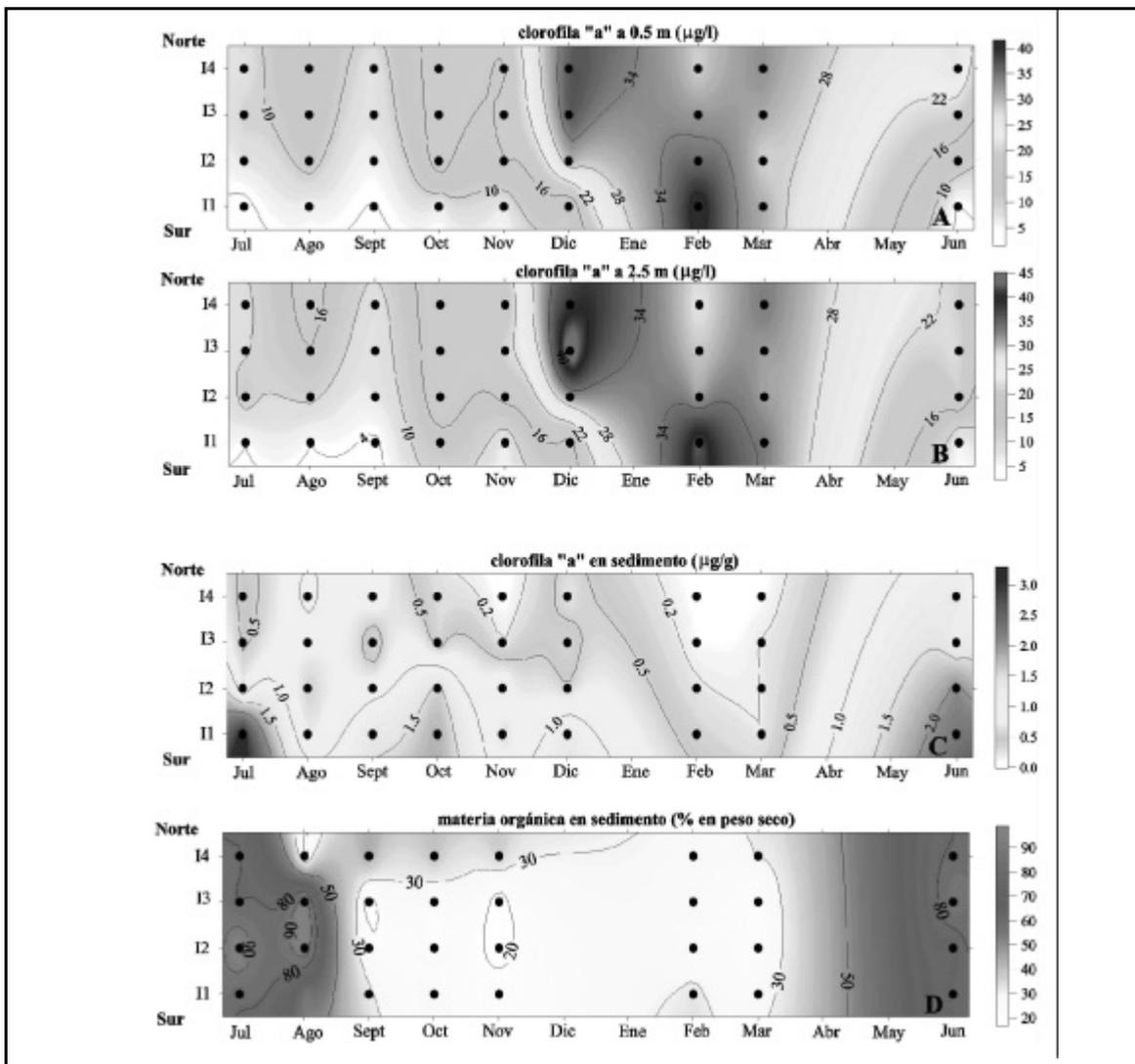


Figura 10: Variación temporal (eje de abscisa - meses de muestreo) y espacial (eje de ordenadas - estaciones de muestreo) en Laguna Iberá. Parte superior: clorofila a en 0.5 m (A) y 2.5 m (B) de profundidad en la columna de agua. Parte inferior: clorofila a (C) y contenido de materia orgánica (D) en el sedimento.

La comunidad planctónica

El empleo de tres técnicas de análisis diferentes (citometría de flujo, microscopía invertida y lupas estereoscópicas) permitió la construcción de amplios espectros de tamaños de la comunidad del plancton (*sensu* Platt y Denman 1977). Esta técnica de análisis permite un análisis sinóptico de toda la comunidad planctónica, incluyéndose organismos desde 0.4 a 800 μm de diámetro esférico equivalente (DEE). Este rango equivale a 10 órdenes de magnitud en tamaño, desde las bacterias a los grandes crustáceos zooplanctónicos. Con objeto de simplificar las intrincadas relaciones estructurales de la red trófica, presentamos los límites de los grupos funcionales del plancton a lo largo del gradiente de tamaños mediante el cálculo de la relación aproximada entre autótrofos y heterótrofos (ver Figura 11).

Las clases de tamaños con una mayor dominancia heterotrófica se encuentran localizadas en los límites inferior y superior del espectro. Estas clases de tamaño incluyen a las bacterias heterótrofas y a los crustáceos (cládoceros y copépodos) respectivamente. La totalidad de los

autótrofos limnéticos se encuentran confinados entre estos límites. La transición entre autótrofos y zooplancton metazoico presenta un estrecho solapamiento, soportando el esquema de organización de la cadena trófica pelágica en niveles discretos relacionados con el tamaño (ej. Boudreau *et al.* 1991). Sin embargo, otros heterótrofos (ciliados y rotíferos) caen dentro del rango de tamaños del fitoplancton de gran tamaño, mostrando una relación tamaño-posición trófica más difusa. Existe también una clara dominancia de heterótrofos en las clases nanoplanctónicas, debido principalmente a los flagelados heterótrofos. En resumen, la Figura 11 nos muestra tanto el rango de tamaños de los grupos funcionales como una interpretación simplificada del flujo de energía intrínseco al espectro de tamaños del plancton.

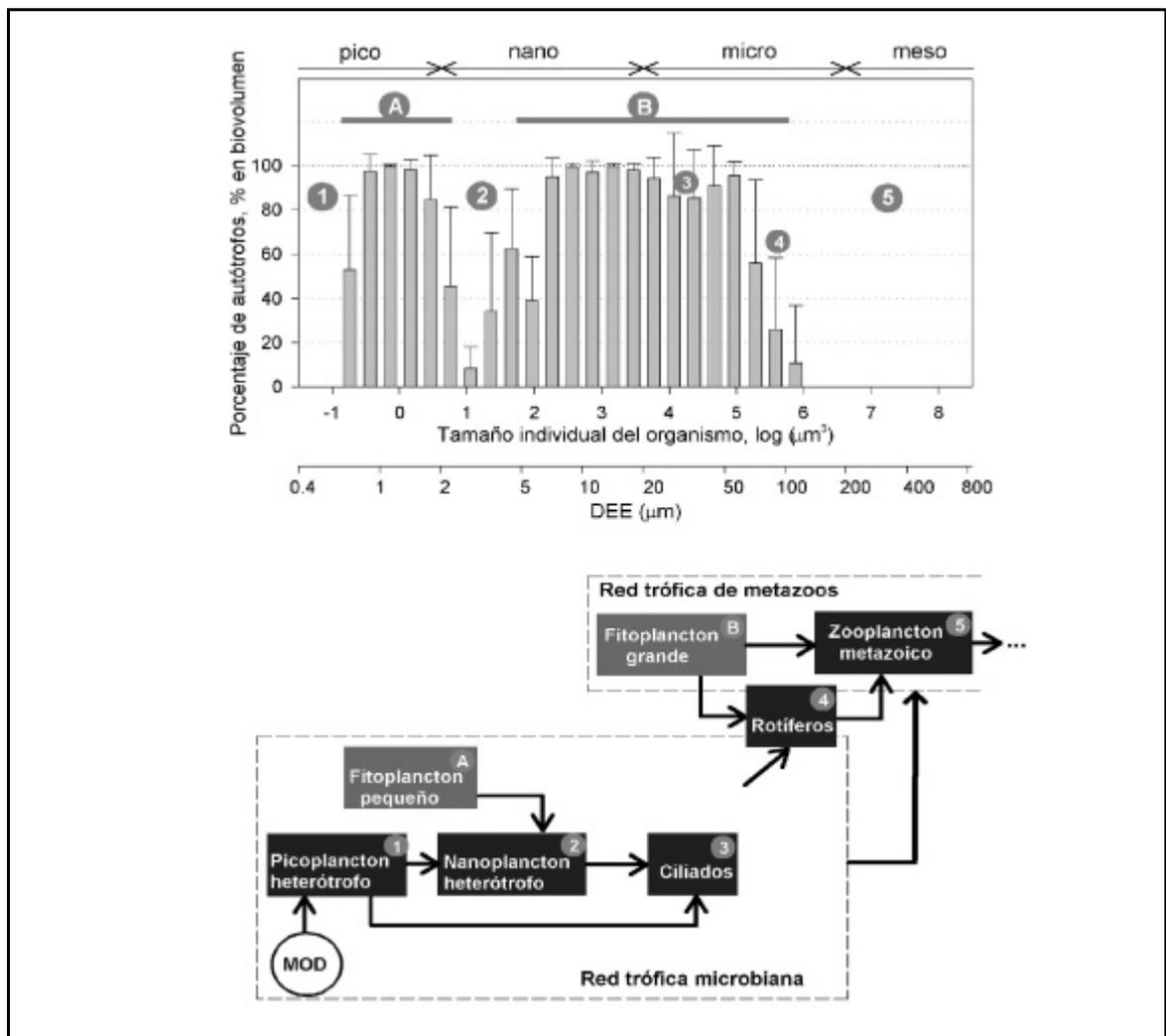


Figura 11: Espectro trófico de tamaños. Porcentaje medio de autótrofos en todos los espectros de tamaños realizados durante el estudio en Laguna Iberá y Laguna Galarza. Se muestran las desviaciones estándar de cada clase de tamaño. El diagrama conceptual inferior representa la correspondencia entre los componentes de la red trófica y las ventanas del espectro trófico. Las letras (A y B) indican los rangos de tamaño donde se ubican el fitoplancton pequeño y de gran tamaño. Los números (1, 2, 3, 4 y 5) indican los componentes responsables de las ventanas heterotróficas.

Red trófica microbiana

Las bacterias menores de $0.5 \mu\text{m}^3$ ($< 1 \mu\text{m}$ DEE) fueron contadas y medidas mediante citometría de flujo de acuerdo al protocolo de del Giorgio (1996). En Laguna Iberá los máximos

de bacterias coincidieron con los máximos de *chl a* en la columna de agua. A pesar de las altas concentraciones de COD durante todo el periodo de estudio, la dinámica estacional superficial se encuentra ligada a la dinámica de autótrofos, reconocidos comúnmente como principal fuente de materia orgánica para bacterias planctónicas (ej. Cotner *et al.* 2000). Las áreas profundas y la zona del estrechamiento de la Laguna Iberá presentan concentraciones menores y más estables.

La influencia de fuentes de COD distintas a la de origen algal parece ser más importante en Laguna Galarza. De hecho la biomasa fitoplanctónica en esta laguna es del orden de cinco veces menor que en Laguna Iberá. La menor profundidad de Laguna Galarza confiere además unas condiciones favorables para la resuspensión. La producción heterotrófica parece estar estimulada además de por la materia orgánica disuelta alóctona, por los episodios de resuspensión de sedimento. Estos hechos parecen impedir la observación de un patrón estacional claro con la periodicidad de muestreo del estudio. La dinámica de la comunidad bacteriana responde a ciclos más cortos. Cotner *et al.* (2000) describió como la resuspensión de sedimento llegó a generar un intenso *bloom* bacteriano en invierno en el litoral del Lago Michigan, incluso con bajas temperaturas del agua (2° C o menos).

La red trófica microbiana además de las bacterias consumidoras de MOD involucra a una serie de organismos de mayor tamaño y diversas características tróficas. Incluye tanto a organismos autótrofos como heterótrofos con diversas tamaños y formas (flagelados, ciliados). Los organismos heterótrofos presentaron distribuciones espaciales y dinámicas similares a las bacterias pequeñas (< 1 μm DEE). Los patrones horizontales en las lagunas se caracterizaron por mos-

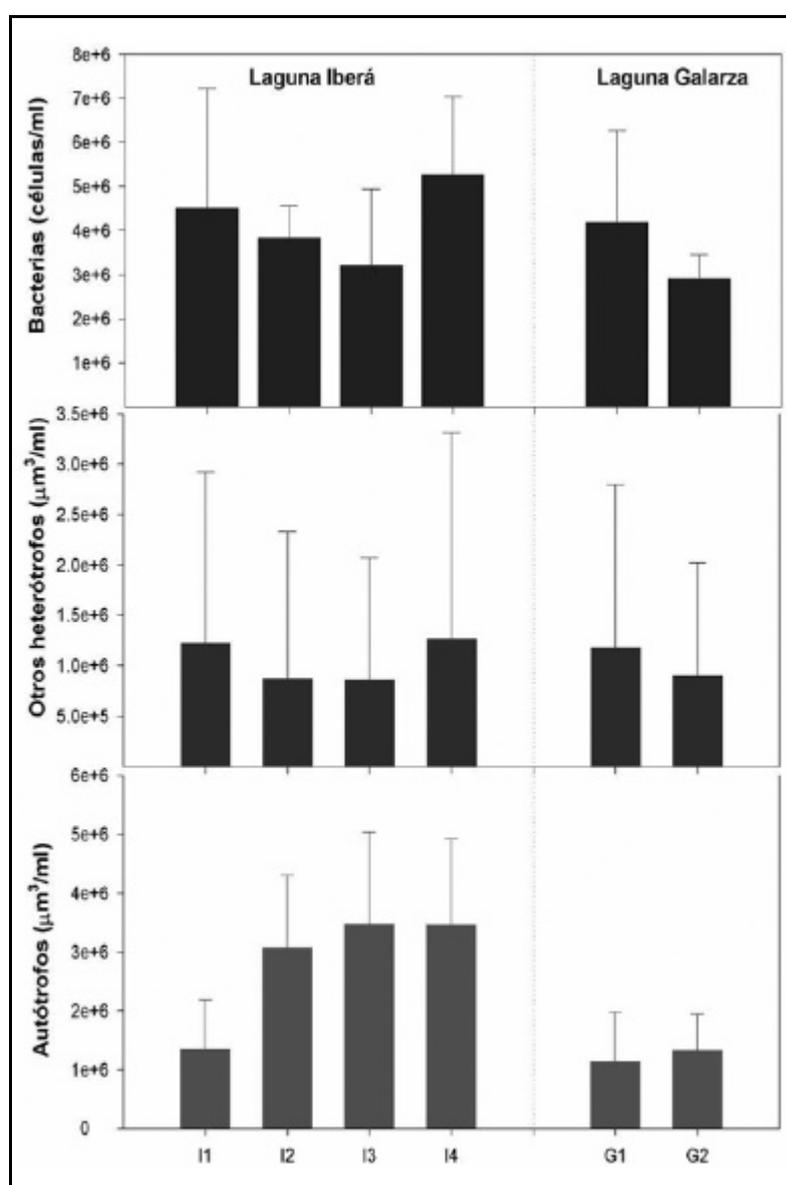


Figura 12: Características tróficas del bucle microbiano. Se presentan las concentraciones medias y desviación estándar de distintos componentes durante el ciclo estacional en las distintas estaciones de muestreo. De arriba hacia abajo: bacterias < 1mm DEE, otros heterótrofos entre 1 y 10 mm DEE y autótrofos < 10 mm DEE.

trar mayores concentraciones en las estaciones localizadas en las desembocaduras de los ríos y arroyos, es decir, en las estaciones I1 (próxima al Río Miriñay), I4 (en la influencia del Canal Noreste) y G1 (próxima a Arroyo Yacaré) (Figura 12). Estos resultados podrían estar relacionados con la naturaleza de los aportes desde los esteros.

Ya comentamos que las sustancias contenidas en las descargas de los arroyos se encontraban principalmente disueltas y parecen ser básicamente de naturaleza orgánica. Las sustancias disueltas inorgánicas son normalmente secuestradas por la vegetación del entorno de las lagunas durante el lento escurrimiento de los esteros. Por otra parte, diversos autores han descrito como en las áreas de esteros del macrosistema Iberá y de otros humedales próximos es habitual encontrar elevadas concentraciones de flagelados y otros organismos planctónicos propios de aguas con elevada MOD (Varela *et al.* 1979; Zalocar 1981; Corrales y Frutos 1981). El mayor flujo de Río Miriñay y el mayor confinamiento de la cuenca sur hacen que la influencia lítica en la cuenca sur sea mayor. La dispersión y mezcla de las descargas del Canal Noreste y Arroyo Yacaré se produce más fácilmente. Las máximas concentraciones de ciliados (medidas con microscopía) fueron claramente superiores en la cuenca sur de Iberá. Concretamente, 2 veces superiores a las encontradas en la cuenca norte y 7 veces superiores a las encontradas en Laguna Galarza. En cambio, los organismos autótrofos mostraron diferentes patrones espaciales, más relacionadas con la producción autótrofa general de cada cuenca. Las estaciones de la cuenca norte, la más eutrófica, presentaron las mayores concentraciones de organismos autótrofos de pequeño tamaño.

El fitoplancton

La biomasa de la comunidad fitoplanctónica fue estimada mediante el uso de microscopía invertida en conexión a un equipo de análisis de imagen. La otra técnica complementaria para el estudio del nanoplancton de pequeño tamaño ($< 10 \mu\text{m DEE}$) fue, como comentamos en el apartado anterior, la citometría de flujo. La combinación de ambas técnicas permitió el análisis de prácticamente toda la comunidad fitoplanctónica en un amplio rango de tamaños. Apareció una correlación lineal significativa entre el biovolumen fitoplanctónico y la clorofila *a*: $\text{Chl } a (\mu\text{g/L}) = 810^{-12} \text{ Biovolumenfito } (\mu\text{m}^3/\text{L})$; ANOVA, $P < 0.01$, $R = 0.9632$.

Laguna Iberá

La evolución temporal de la concentración de clorofila en la cuenca norte de Laguna Iberá se explicó casi exclusivamente en función de las cianobacterias (Cyanophyceae). La dominancia de filamentos de cianobacterias está típicamente asociada a condiciones eutróficas. En general son difícilmente digeribles por el zooplancton, altamente tolerantes al sombreado y a las altas temperaturas y presentan preferencias por relaciones bajas de N : P (ej. Scheffer, 1998). Concretamente las floraciones primaverales fueron debidas casi exclusivamente a *Lynghya limnetica* (Figura 13). *Lynghya contorta* contribuyó con un 10% en biovolumen. Otras especies abundantes de cianobacterias son *Raphidiopsis curvata* y *Microcystis aeruginosa*. Zalocar (1981) citó en Laguna Iberá floraciones similares de cianobacterias dominadas en este caso por *Raphidiopsis* aunque acompañadas por una presencia importante de *L. contorta* y *L. limnetica*. Las clases subdominantes en la cuenca norte fueron clorofíceas y diatomeas. Las primeras estu-

vieron representadas por numerosas familias, principalmente Desmidiaceae, Scenedesmaceae y Zygnemataceae. Entre las desmidiáceas los géneros más representados fueron *Closterium*, *Cosmarium*, *Staurastrum* y *Stauroidesmus*. Las scenedesmáceas estuvieron dominadas por *Actinastrum hantzschii*, *Coelastrum reticulatum* y *Scenedesmus spp.*, y las zygnemataceas por *Mougeotia sp.* Otras especies abundantes fueron *Ankistrodemus bibraianum* (fam. Oocystaceae), *Golenkinia sp.* (fam. Micractiniaceae) y *Dictyosphaerium pulchellum* (fam. Dictyosphaeriaceae). En cuanto a las diatomeas, estuvieron integradas casi exclusivamente por *Aulacoseira italica*. Las diatomeas pennadas representaron una proporción menor del biovolumen, y estuvieron integradas principalmente por especies planctónicas de los géneros *Rhizosolenia* y *Nitzschia*.

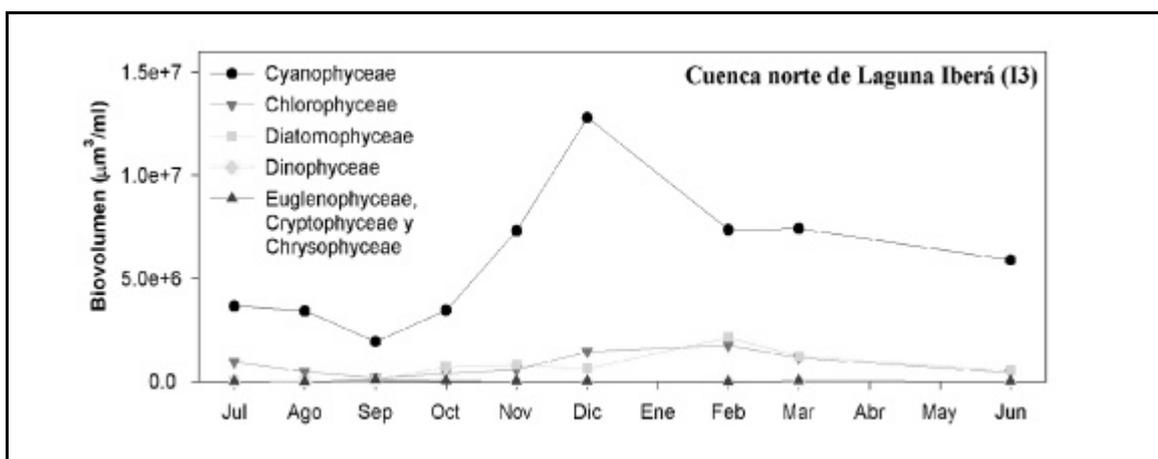


Figura 13: Evolución estacional del fitoplancton en la cuenca norte de Laguna Iberá (estación I3).

La cuenca sur presentó una mayor diversidad de clases que la cuenca norte de Iberá. Predominaron clorofíceas (*Micrasterias*, *Staurastrum*, *Stauroidesmus*, *Coelastrum* y *Scenedesmus*), cianobacterias (*Lyngbya spp.*) y diatomeas (*Aulacoseira italica*). Las aguas más ácidas de la cuenca sur de Iberá podrían facilitar la existencia de una mayor proporción de clorofíceas, y principalmente desmidiáceas, las cuales son características de aguas de pH bajo. Las cianobacterias parecen estar poco favorecidas en condiciones de aguas ácidas (Cole 1988). El hecho de que se haya registrado una menor proporción de cianobacterias puede estar también relacionado con la mayor renovación de esta cuenca. La dominancia de cianobacterias es altamente sensible a la tasa de renovación de la cuenca (Scheffer 1998). Las cianobacterias poseen tasas de productividad relativamente bajas aunque usualmente esto es compensado con bajas tasas de pérdida (ej. *grazing*, sedimentación). Consecuentemente, el impacto relativo de las pérdidas extras por renovación del agua es mayor en organismos de crecimiento lento como las cianobacterias. Así el efecto de una mayor renovación tiende a seleccionar especies más r-estrategas, como es el caso de las algas verdes o las diatomeas.

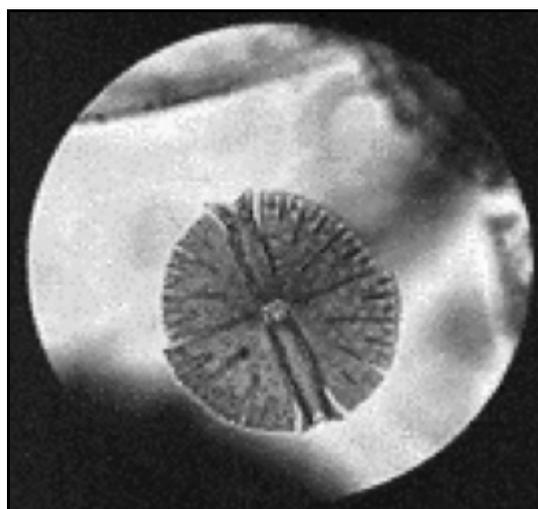


Figura 14: Fotografía en vivo de microscopía óptica de la desmidiácea *Micrasterias sol* (Primera cita en Esteros del Iberá).

Laguna Galarza

La dominancia de clases presentó distintos cambios a lo largo del año (Figura 15). Las cianobacterias también dominaron en esta laguna los máximos de verano, periodo de máximas temperaturas. Las diatomeas llegaron a dominar la estructura fitoplanctónica a finales de primavera. Las clorofíceas fueron la clase dominante en el mes de noviembre, y registraron además máximos secundarios de biomasa en verano. Los dinoflagelados también llegaron a integrar una parte mayoritaria de la biomasa durante el invierno. Esta dinámica hizo que esta laguna presentase una mayor diversidad fitoplanctónica.

La composición de las cianobacterias difirió en gran medida de la composición registrada en Laguna Iberá. La diversidad de cianobacterias fue mucho mayor y por otro lado, las colonias globulares de *Microcystis* (principalmente *M. aeruginosa*) fueron la morfología dominante. En Laguna Iberá dominaron los largos filamentos de *Lyngbya*. Al igual que las cianobacterias filamentosas son características de lagos eutróficos, en lagos de aguas cálidas y polimícticos se favorece la presencia de *Microcystis*, la cual no suele llegar a depositarse en el fondo permaneciendo en suspensión a lo largo de casi todo el año (Nalewajko y Murphy 1998). Es también destacable la presencia de *Anabaena* (durante periodos de baja biomasa), *Raphidiopsis* y *Merismopedia*.

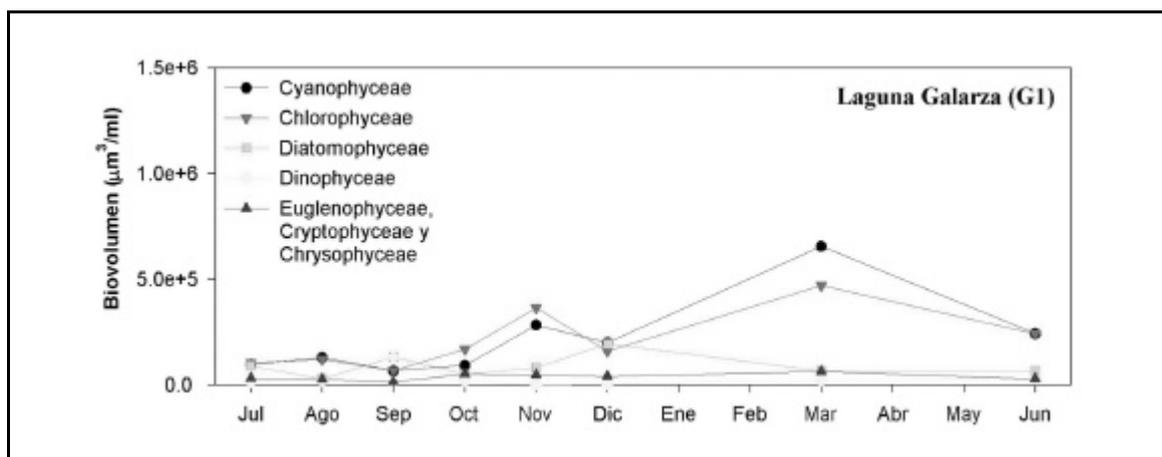


Figura 15: Evolución estacional del fitoplancton en Laguna Galarza (estación G1).

Las especies dominantes de clorofíceas fueron *Pleurotaenium minutum* (fam. Desmidiaceae), *Mougeotia sp.* (fam. Zygnemataceae), *Crucigenia tetrapedia*, *Coelastrum sphaericum* (fam. Scenedesmeaceae), *Golenkinia sp.* (fam. Micractiniaceae) y *Tetraedron sp.* (fam. Chlorococcaceae). Respecto a las diatomeas, al contrario que en Iberá, dominaron las grandes diatomeas pennadas como *Synedra*, *Surirella* (*S. linearis var. constricta*), *Navicula* o *Eunotia*. Entre las diatomeas céntricas de nuevo destacó *Aulacoseira italica*, aunque también fue abundante *Cyclotella sp.* Los dinoflagelados están representados fundamentalmente por *Gymnodinium*. La presencia de *Dinobryon divergens* (Chrysophyceae) también fue relevante en esta laguna.

El zooplancton

En este apartado realizamos una descripción de la distribución, biovolumen y composición de la comunidad zooplanctónica. Se han representado gráficamente los tres principales grupos

zooplanctónicos. Los rotíferos son los consumidores metazoos de menor tamaño y la base de la alimentación de la mayoría de larvas de peces. Los crustáceos (copépodos y cladóceros) son la fuente de alimento de los planctívoros de mayor tamaño además de importantes consumidores del fitoplancton.

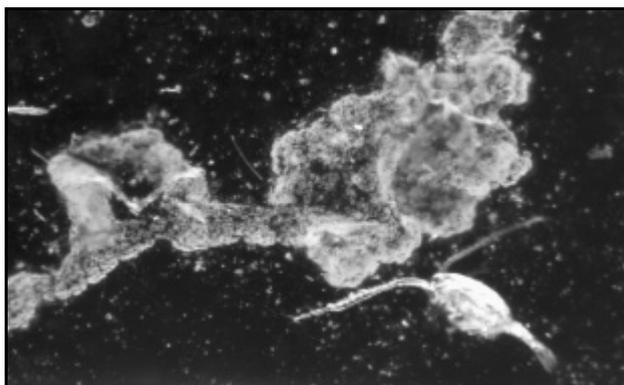


Figura 16: Copépodo calanoide frente a una colonia de Microcystis visible a simple vista (en vivo).

Se observaron considerables diferencias entre la biomasa promedio correspondiente a cada laguna (Figura 17). El zoo-

plancton en Laguna Galarza fue cinco veces superior respecto a Laguna Iberá. Estas diferencias se debieron principalmente a la alta densidad de copépodos, los cuales representaron el mayor porcentaje de biomasa. En cambio en Laguna Iberá los rotíferos fueron el grupo mayoritario.

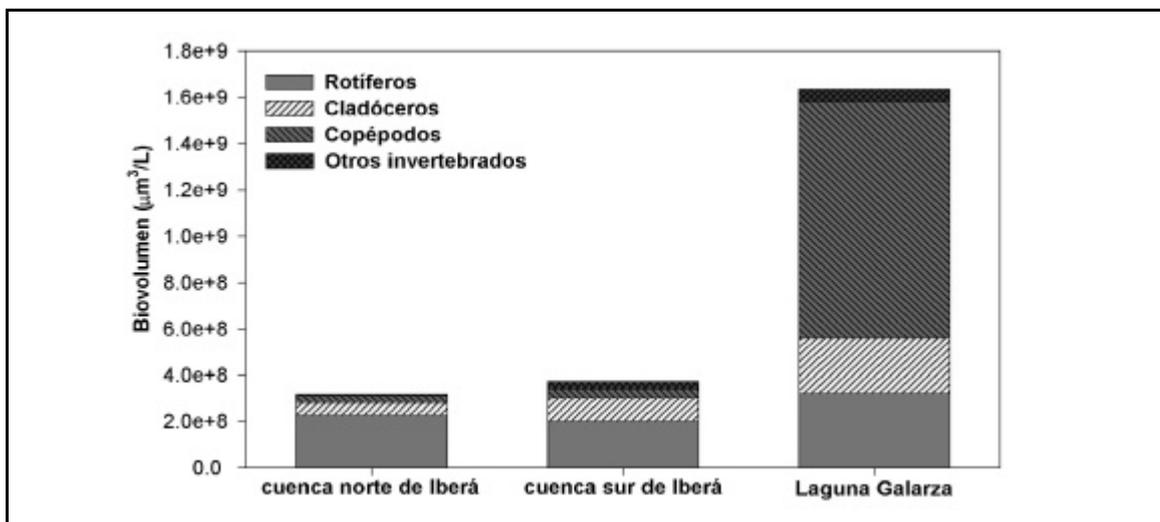


Figura 17: Biovolumen anual promedio durante el ciclo estacional de muestreos.

Se observaron además marcadas diferencias estacionales. En los muestreos de primavera-verano se alcanzaron las mayores concentraciones, mientras en otoño se registraron concentraciones muy reducidas (Figura 18). Los distintos grupos presentaron las mayores diferencias en primavera. Una gran proliferación de copépodos calanoides de gran tamaño dominó la composición primaveral de Laguna Galarza. Simultáneamente, la cuenca sur de Laguna Iberá también presentó una clara proliferación de crustáceos, aunque de menor magnitud y compuestas por cladóceros de menor tamaño, principalmente *Bosmina longirostris*. Al igual que el bajo pH del agua de la cuenca sur parece influenciar la composición de la comunidad fitoplanctónica, *B. longirostris* es considerada una especie típicamente tolerante a las aguas ácidas (Locke y Sprules, 2000). En general, las proliferaciones primaverales de zooplancton han sido interpretadas como una estrategia para evitar su depredación a principios de verano (Hairston, 1987).

Los rotíferos en Laguna Iberá estuvieron dominados por distintas especies de *Keratella* y *Euchlanis*. Otros rotíferos que resultaron frecuentes fueron *Brachiounus falcatus*, *Conochilus*

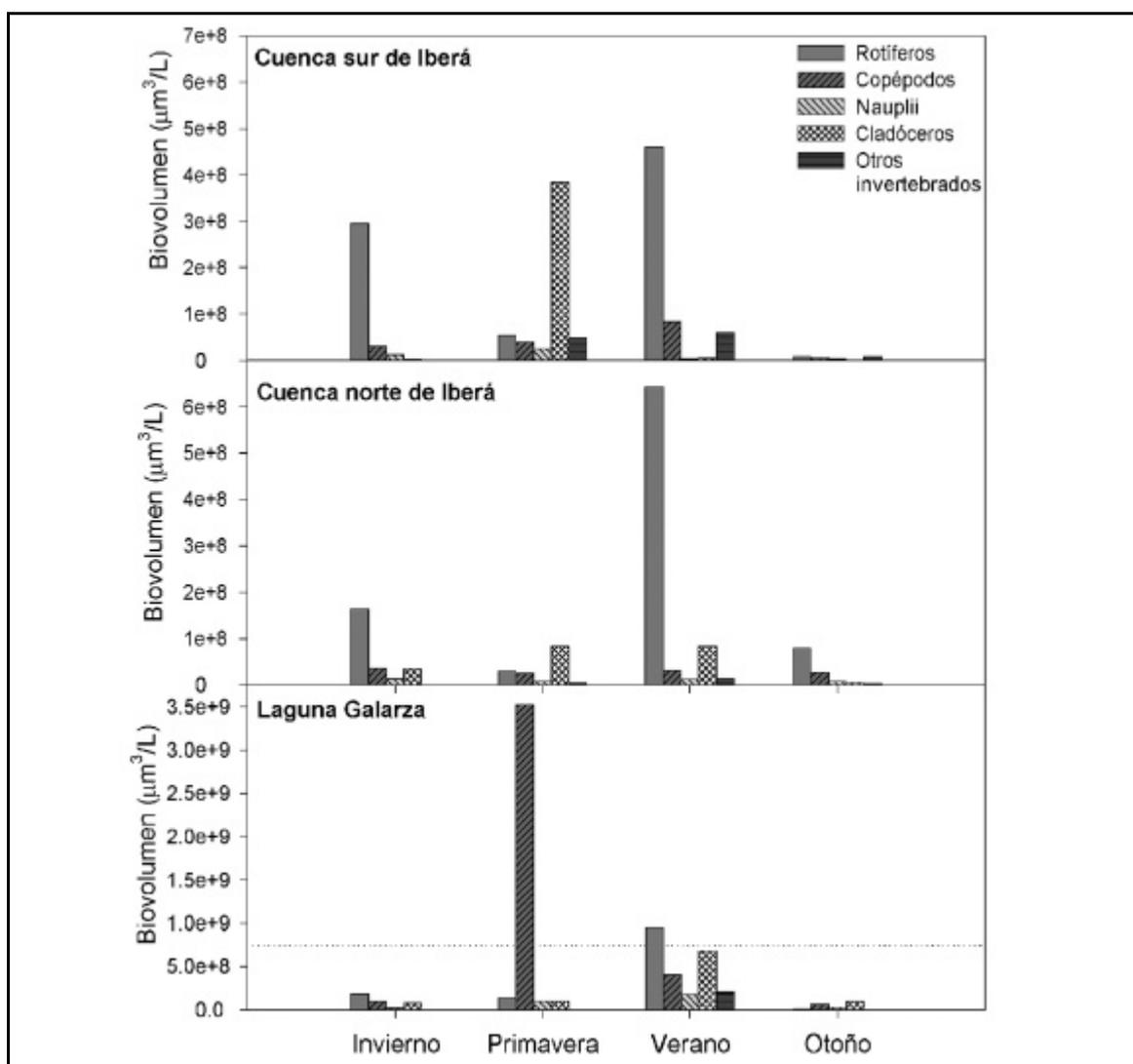


Figura 18: Biovolumen anual promedio de los principales grupos de zooplancton observados durante el ciclo estacional de muestreos. Se representa también la biomasa de las larvas de copépodos (nauplii). Debe tenerse en cuenta la distinta escala de biovolumen utilizada en Laguna Galarza. Con la línea punteada se marca el nivel superior de la escala empleada en las cuencas norte y sur de Laguna Iberá.

unicornis y *Hexarthra intermedia*, los cuales aparecieron principalmente en la cuenca sur. En Laguna Galarza destacaron *Collotheca sp.*, *Brachiounus falcatus* y *Keratella spp.*. Entre los copépodos se diferenciaron principalmente calanoides (70% en L. Galarza, 63% en Iberá Sur y 53% en Iberá Norte). El porcentaje de copépodos ciclopoideos no superó el 15% en ninguna de las tres cuencas. Entre los calanoides destaca el género *Notodiaptomus* y entre los ciclopoideos *Mesocyclops*. Con respecto a los cladóceros, en ambas lagunas dominó la familia Bosminidae, principalmente *Bosmina longirostris* y en menor medida *Bosminiopsis deitersi*. En Laguna Galarza también apareció con relativa frecuencia *Diaphanosoma brachyurum* y en la cuenca sur de Iberá *Chydorus sphaericus*.

En la categoría de “otros invertebrados” hemos agrupado principalmente al resto de organismos medidos en el rango de tamaños estudiado. Fueron básicamente insectos, destacaron los colémbolos, tricópteros, efemerópteros y dípteros quironómidos. En Laguna Iberá, también fueron especialmente abundante las larvas cercarias (cuarto estado de desarrollo de tremató-

dos), las cuales son de natación libre hasta parasitar a un invertebrado (normalmente un artrópodo) o un vertebrado (normalmente un pez). Otros organismos que también aparecieron ocasionalmente fueron peritricos o urceolarias, fundamentalmente en Laguna Galarza.

Consideraciones finales

A raíz de estudios específicos sobre los espectros de tamaño del plancton (Cózar *et al.*, en rev.) han emergido una serie de hipótesis sobre el control trófico de las lagunas. Sugerimos la existencia de un mayor control *top-down* de la estructura y estado trófico de Laguna Iberá. El consumo zooplanctónico debería ser un proceso importante en Laguna Iberá. Sin embargo la transferencia de la biomasa fitoplanctónica acumulada hacia organismos mayores es bastante ineficiente. Este hecho sería debido a un forzamiento trófico desde los organismos mayores hacia los más pequeños ("cascada trófica"). Es decir, un sobre-consumo en el rango de tamaños del zooplancton por parte de los peces parece favorecer la acumulación de algas en Laguna Iberá. Comparando la red trófica de Laguna Iberá con la estructura más equilibrada de Laguna Galarza, encontramos 5 veces más biomasa de autótrofos en Iberá mientras 15 veces más biomasa de crustáceos en Laguna Galarza. De las pescas cuantitativas que se han llevado a cabo se deduce que el *stock* de peces es, en cambio, sobre 6 veces superior en Laguna Iberá (W. Jacobo, ACUICOR, com. pers.). Si atendemos a las diferencias en las poblaciones de un depredador superior como el caimán (T. Waller, com. pers.), éstas muestran una densidad 5 veces superior en Laguna Galarza (Figura 19).

Las hipótesis emergidas de este estudio plantean la necesidad de un análisis más detallado de las relaciones tróficas del ecosistema con objeto de determinar el origen y las causas de las llamativas diferencias entre las estructuras de ambas lagunas. Es necesario prestar especial atención a las especies singulares como las cianobacterias filamentosas o los depredadores superiores. Otra especie que por su abundancia y peculiaridades fisiológicas parece ser una especie clave en el ecosistema es la palometa o piraña (*Serrasalmus spp.*). Actualmente, con todos los resultados recolectados se está llevando a cabo, en colaboración con otros grupos del proyecto, la construcción de un modelo trófico y estructural cuantitativo de las lagunas.

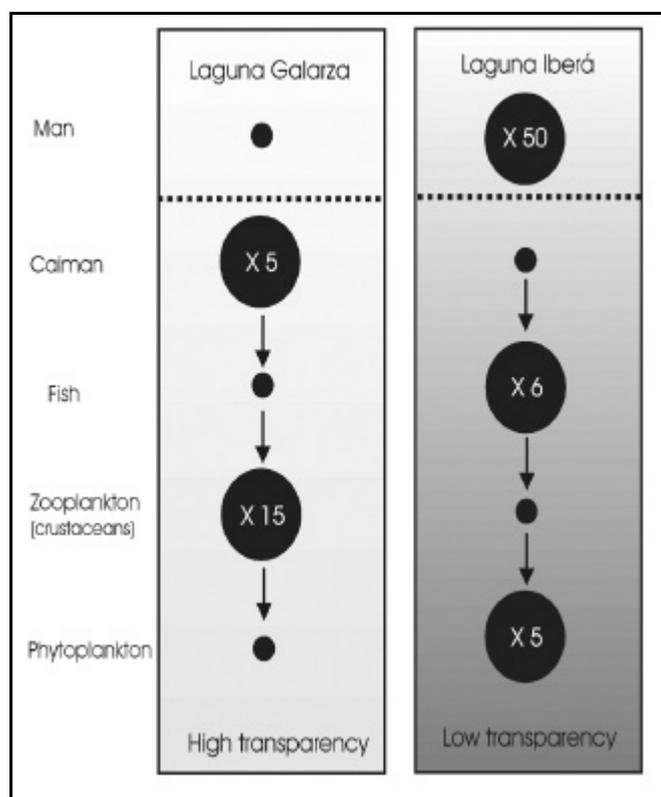


Figura 19: Comparación horizontal simplificada de los niveles tróficos de Laguna Iberá y Laguna Galarza. Los números indican las veces que cada nivel trófico de una laguna es mayor que su equivalente en la otra laguna.

Variabilidad espacial

La marcada heterogeneidad espacial de las lagunas ha quedado de manifiesto en los muestreos extensivos de las distintas variables limnológicas. Esta característica parece lógica si atendemos a las proporciones de la lámina de agua de las lagunas, con un delgado espesor y una gran extensión horizontal. La variabilidad espacial se podría considerar una característica general de los lagos someros. A partir del análisis de la amplia serie de mapas obtenidos se identificaron dos procesos físicos como principales causantes de heterogeneidad espacial: los aportes de agua desde los arroyos y el forzamiento del viento sobre la superficie de las lagunas. El efecto de los principales factores de heterogeneidad ha sido ilustrado en la Figura 20. Se han clasificado además algunas causas secundarias de heterogeneidad espacial, las cuales se exponen al final del apartado.

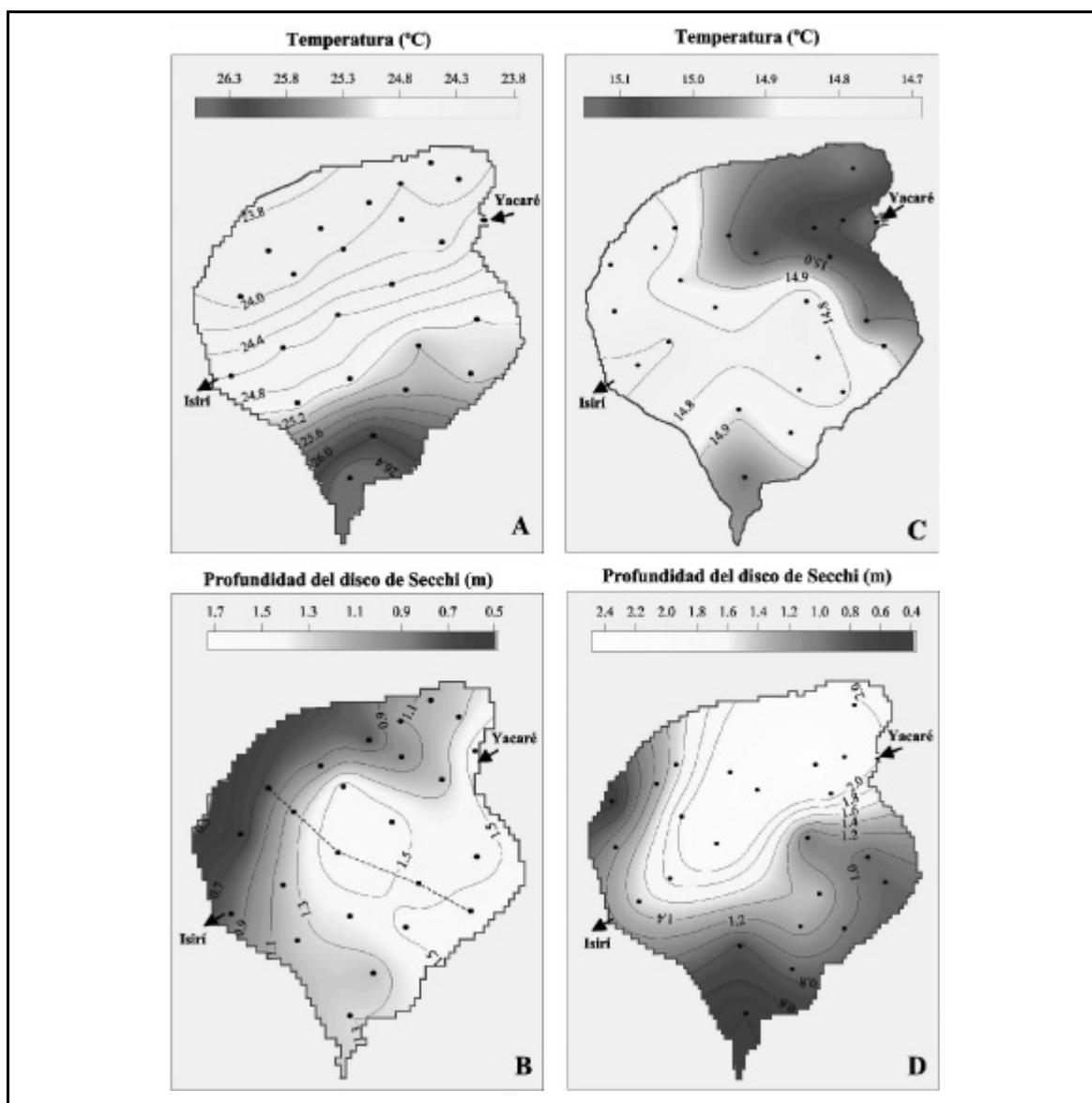


Figura 20: Principales causas de heterogeneidad espacial ilustradas mediante las distribuciones espaciales de temperatura y profundidad del disco de Secchi en Laguna Galarza. Los gráficos de la columna de la izquierda corresponden al 9 de mayo de 2000, durante un episodio de resuspensión por viento del sudeste (A y B). Los gráficos de la columna de la derecha corresponden al 27 de junio de 2000, durante un episodio de entrada de agua considerable desde el Arroyo Yacaré. (C y D). Nótese las distintas escalas de color.

Aportes de agua desde los arroyos

En general los aportes desde los arroyos y canales presentaron aguas más ácidas, menos oxigenadas, pobres en nutrientes inorgánicos y ricas en materia orgánica disuelta, principalmente ácidos húmicos. Estas son las características usuales del agua que cubre los esteros (Neiff, 1981a). En estos ambientes, los procesos de descomposición gobiernan las relaciones tróficas. Evidencias de la existencia de una desarrollada red trófica microbiana en los esteros fueron visibles en el análisis de los componentes microbianos heterótrofos de las estaciones localizadas en las bocas de los arroyos (Figura 12). Estas estaciones presentaron las máximas concentraciones de bacterias, flagelados heterótrofos y ciliados. Las concentraciones de fitoplancton en los nuevos aportes de agua fueron relativamente más bajas que las existentes en las lagunas

Basándonos en los resultados obtenidos podríamos decir que la principal repercusión de los aportes desde los arroyos sobre la comunidad fitoplanctónica estaría relacionada con el efecto de dilución (Figura 21). El origen de las bajas concentraciones de nutrientes inorgánicos disueltos de los arroyos parece estar en la enorme masa de vegetación que rodea a las lagunas, la cual actúa como trampa de retención para los nutrientes (Bonetto, 1981b). Aunque éste pueda ser el patrón general, parece también lógico pensar que debido al intenso proceso de regeneración de nutrientes que se da en los esteros eventualmente y asociado a episodios fuertes de lluvias puedan darse pulsos de nutrientes en las lagunas. Teóricamente, estos procesos estarían favorecidos en periodos de aguas bajas donde el rápido lavado de los esteros descubiertos impidiese una eficiente asimilación de nutrientes por la vegetación. Pulsos de nutrientes de esta naturaleza fueron registrados en verano.

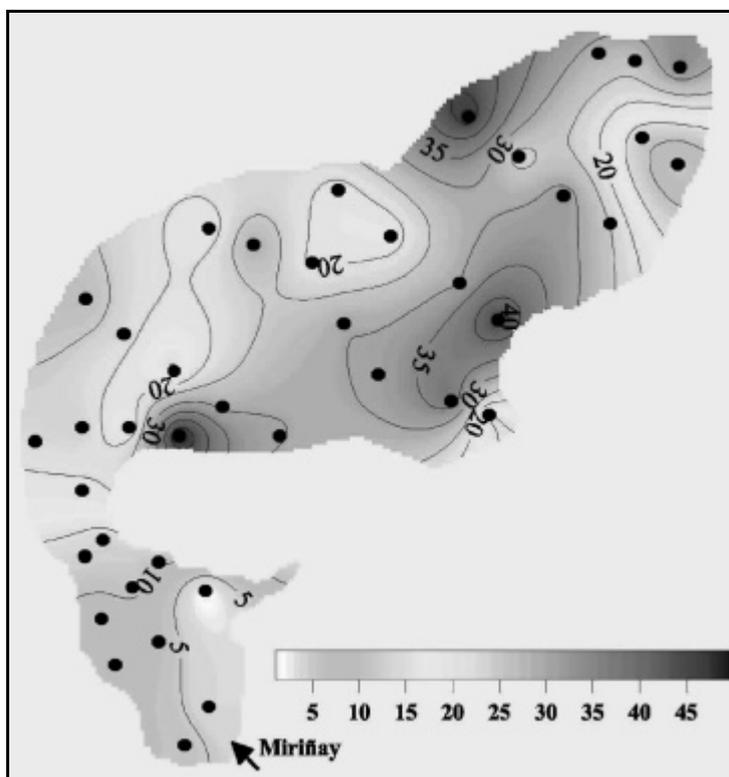


Figura 21: Distribución espacial de chl a (mg / L) durante el 27 de junio de 2000. (ver Figura 5 para condiciones físico-químicas).

Forzamiento del viento sobre las lagunas

En los apartados anteriores se fueron introduciendo algunos de los efectos de la resuspensión en las propiedades del agua de las lagunas, mostrándose como uno de los procesos fundamentales en los cuerpos de agua del macrosistema. Con las evidencias existentes en la bibliografía, se puede afirmar que los episodios de resuspensión implican la puesta en circulación en la columna de agua de un espectro tan amplio de sustancias que tienen la potencialidad de alterar las condiciones de todos los componentes de la comunidad planctónica.

La resuspensión genera bruscos aumentos de las concentraciones de prácticamente todas las sustancias en el medio acuático. Sin embargo los incrementos de los contenidos de nutrientes o incluso contaminantes generalmente están relacionados con el material particulado (ej. Nagid *et al.* 2001), el cual a menudo es difícilmente asimilable para la mayoría de los organismos y permanece poco tiempo en la columna de agua. De hecho, las velocidades de sedimentación medidas para el material resuspendido del fondo fueron de 12.4 ± 0.9 m/día para la materia inorgánica y de 6.5 ± 0.7 m/día para la materia orgánica. Por otro lado, aunque las cantidades de material removilizado son muy altas, éste suele ser relativamente pobre, presentando relaciones C:N generalmente altas. Más interesante y mucho más desconocido resulta el análisis de la cantidad de nutrientes disueltos inoculados en la columna de agua.

Ya comentamos cómo la concentración de sustancias orgánicas disueltas parece aumentar como consecuencia de la resuspensión. Existen indicios también de que estos incrementos podrían regular parte de la producción bacteriana heterótrofa, principalmente en Laguna Galarza. La estimulación de la producción como consecuencia de los episodios de resuspensión ya ha sido descrita recientemente en otros ecosistemas (Wainright y Hopkinson 1997, Cotner *et al.* 2000). En cuanto a los patrones de liberación de nutrientes inorgánicos asociados a los episodios de resuspensión no están aún claros siendo a menudo variables (ej. Ogilvie y Mitchell 1998), probablemente debido a la fuerte dependencia de las condiciones específicas del sedimento. En los episodios de resuspensión en los que se analizaron concentraciones de nutrientes inorgánicos disueltos no se observaron incrementos considerables en la concentración de fósforo soluble reactivo ni nitrito. En cambio, sí se observaron aparentes incrementos en las concentraciones de nitrato (ΔNO_3 $2.2 \mu\text{M}$) y principalmente amonio (ΔNH_4 $10.1 \mu\text{M}$). Estos incrementos no fueron tan claramente extensibles a toda la zona de resuspensión como el resto de variables. Únicamente fueron significativos en las áreas de mayor resuspensión, concretamente en los puntos donde se superaron los 35 g/m^2 .

Parece existir un estrecho límite de profundidad, apenas milímetros, bajo el cual se produce una liberación “masiva” de moléculas de nitrógeno inorgánico disuelto. No obstante, la resuspensión no parece incrementar la cantidad de nitrógeno inorgánico exportado a la columna de agua sino que afectaría al ritmo de liberación de los compuestos (Blackburn 1997). Es decir, la resuspensión provocaría liberaciones bruscas de nitrógeno, pero sin episodios de resuspensión éste se liberaría gradualmente por difusión. De este modo, teóricamente la resuspensión no afectaría significativamente a la producción primaria estacional pero sí a su evolución temporal, lo cual podría tener efectos indirectos en el ecosistema. No obstante un estudio específico con muestreos más continuos y de una mayor resolución espacial sería necesario para aclarar las hipótesis emergidas de este estudio.

Los episodios de resuspensión en las Lagunas Iberá y Galarza también condicionaron la distribución de pigmentos fotosintéticos (Figura 22). Tanto en Laguna Iberá como en Galarza las proporciones de los organismos de naturaleza bentónica o meroplanctónica contribuyeron significativamente a la biomasa del ciclo estacional (>15% en biovolumen). La inoculación directa de organismos desde el fondo capaces de aprovechar esta removilización para desarrollar parte de su ciclo de vida en la columna de agua parece ser un mecanismo frecuente en lagos someros (Carrick *et al.* 1993).

La interacción fitoplancton-fitobentos adquiere, si cabe, más interés a la vista de la alternancia de los patrones estacionales de ambos compartimentos. Estos patrones de interacción fito-

plancton-fitobentos también implican una alteración de la estructura de tamaños y la diversidad del fitoplancton (Carrick *et al.* 1993, Nalewajko y Murphy 1998). Las cianobacterias dominantes del ecosistema limnético caen mayoritariamente en el rango nanoplanctónico, mientras las diatomeas del bentos, tanto céntricas como pennadas, pertenecen al rango de tamaños microplanctónico. El efecto de la resuspensión en la estructura de tamaños del plancton se ha tratado específicamente en otras publicaciones (Cózar *et al.* en rev). A partir de la base de datos obtenida se ha construido también un modelo espacial cuantitativo de resuspensión por viento (Cózar *et al.*, en prep.). Según este modelo el aumento de nivel de agua registrado en el macrosistema Iberá haría tender a las comunidades planctónicas hacia una menor diversidad de tamaños y especies, aumentando las proporciones de especies de pequeño tamaño (principalmente cianobacterias: *Lyngbya*, *Microcystis*,...). De igual modo disminuirían las cantidades de material particulado inerte. De acuerdo a los registros de viento obtenidos durante los años 1999-2000 y el modelo de resuspensión es posible obtener una estimación del número de episodios de resuspensión al año. Considerando por ejemplo únicamente los episodios que llegan a resuspender más de 5 mg/L de partículas (peso seco) en el área central de Galarza, ocurrirían 63 episodios de resuspensión al año y 90 episodios con un nivel de agua 1 m menor.

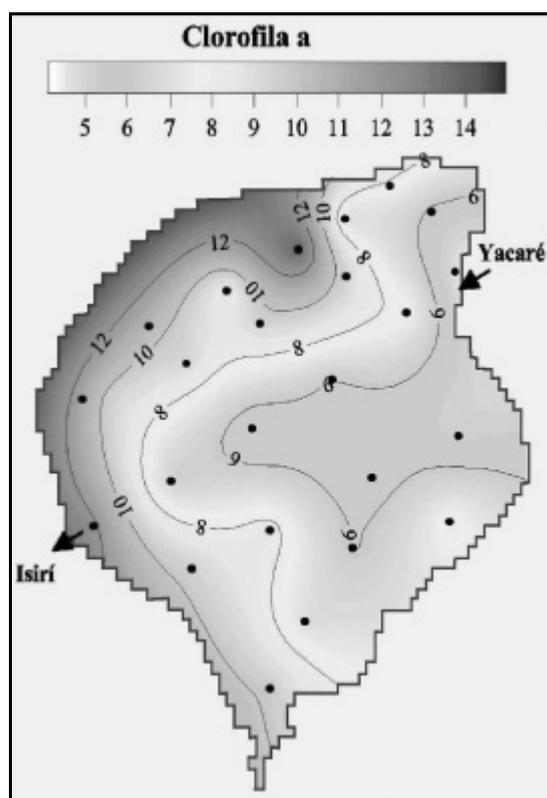


Figura 22: Distribución espacial de chl a (mg / L) durante el episodio de resuspensión con viento del SE en Laguna Galarza (9 de marzo de 2000).

Variabilidad temporal

Con objeto de sintetizar los estudios referentes a la dinámica estacional se ha propuesto un modelo conceptual general que describe la estacionalidad en las lagunas del macrosistema Iberá. Se propone una alternancia de dos etapas para simplificar la sucesión de estados durante un ciclo estacional.

Durante **primavera-verano**, la producción máxima aparece ligada al fitoplancton (fase de turbidez). Disminuye la importancia del fitobentos debido al sombreado, especialmente en verano (< 2% de la biomasa total de microalgas). La regeneración basada en la materia orgánica disuelta producida por las floraciones fitoplanctónicas también es importante en esta fase. Este proceso se lleva a cabo principalmente en la columna de agua, registrándose la mayor biomasa de bacterias planctónicas.

Durante **otoño-invierno**, se produce una reducción de los aportes de nutrientes y la sedimentación del fitoplancton. La columna de agua se aclara (fase de transparencia). La deposición de res-

tos de macrófitos acuáticos y plantas terrestres explicaría el rápido aumento de la materia orgánica en el fondo de las lagunas durante el otoño. Aumenta la importancia del fitobentos (26% de la biomasa de microalgas), llegando en ocasiones a ser el compartimiento de microalgas más importante del lago. Este resultado probablemente es debido a la más ventajosa competencia del fitobentos por los nutrientes, ya que el sedimento se convertiría en la principal fuente.

El descenso del contenido de materia orgánica en el sedimento (MO_{sed}) determinaría el final de la fase de transparencia. Probablemente la disminución de los aportes de materia orgánica a las lagunas y el incremento de la actividad detritívora debida a la activación térmica a principios de primavera determina este cambio en la composición del sedimento. Durante el periodo en el que se produjo el decremento de MO_{sed} se registró un aumento de la temperatura del agua desde los 14.6° C de julio hasta los 19.8° C de septiembre. Este aumento de temperatura supone un incremento general en la actividad de la rica comunidad de organismos detritívoros (bacterias, coríxidos, larvas de quironómidos, etc). Concretamente, supone un incremento del 30% en las tasas de respiración de organismos unicelulares e invertebrados (Robinson *et al.* 1983). Alcanzada la etapa de primavera-verano continúa el incremento térmico hasta el mes de febrero (28.4° C), llegando a doblarse la actividad respiratoria de los organismos bentónicos respecto a junio ($\Delta 100\%$, Robinson *et al.* 1983). En esta fase de aguas bajas y lluvias aumentan los pulsos alóctonos de nutrientes a la columna de agua. Este hecho unido al incremento de la tasa de liberación de nutrientes del sedimento de las lagunas desemboca en la inducción de las floraciones fitoplanctónicas y el sombreado del fondo (fase de turbidez).

PROGRAMA DE SEGUIMIENTO A LARGO PLAZO

Sobre la base de los conocimientos adquiridos en cuanto a la variabilidad espacial y temporal de las lagunas se ha propuesto un plan de seguimiento a largo plazo. Este plan forma parte de un plan de seguimiento de todo el ecosistema construido en colaboración con otros grupos y coordinado por la Universidad de Siena. Teniendo en cuenta la disponibilidad de recursos económicos y humanos, se han seleccionado diversas variables clave que podrían ser utilizadas como indicadores ambientales. Por otra parte, la puesta en marcha de un plan de seguimiento podría contribuir a la calibración de sensores remotos (ej. SAC-C) y a la validación de los modelos ecológicos.

De manera esquemática el plan propuesto es el siguiente:

Estaciones de muestreo		Variables seleccionadas	Periodicidad de muestreo
Laguna Iberá	Laguna Galarza		
cuenca sur (I1)	centro (G2)	pH	semanal
estación hidrológica (I2)	próximo a Isirí	oxígeno disuelto	semanal
cuenca norte (I3)		disco de Secchi	semanal
		clorofila <i>a</i>	quincenal
		nutrientes	mensual
		fitoplancton	mensual

Figura 23

REFERENCIAS

- BLACKBURN, T.H. 1997. *Release of nitrogen compounds following resuspension of sediment: Model predictions*. J. Mar. Systems 11: 343-352.
- BONETTO, A.A. (ed.) 1981. *Estudio del Macrosistema Iberá*. Informe del convenio de colaboración ICA-CECOAL, Corrientes.
- BONETTO, C., L. DE CABO, N. GABELLONE, A. VINOCUR, J. DONADELLI Y F. UNREIN 1994. *Nutrient dynamics in the floodplain of the Lower Paraná River*. Arch. Hydrobiol. 131 (3): 277-295.
- BOUDREAU, P.R., DICKIE, L.M. Y KERR, S.R. 1991. *Body-size spectra of production and biomass as system-level indicators of ecological dynamics*. J. Theor. Biol. 152: 329-339.
- CARIGNAN, R. Y D. PLANAS 1994. *Recognition of nutrient and light limitation in turbid mixed layers: Three approaches compared in the Paraná floodplain (Argentina)*. Limnol. Oceanogr. 39: 580-596.
- CARIGNAN, R. Y J.J. NEIFF 1992. *Nutrient dynamics in the floodplain ponds of the Paraná River (Argentina) dominated by the water hyacinth Eichhornia crassipes*. Biogeochemistry 17: 85-121.
- CARIGNAN, R. Y P. VAITHIYANATHAN, 1999. *Phosphorous availability in the Paraná floodplain lakes (Argentina): Influence of pH and phosphate buffering by fluvial sediments*. Limnol. Oceanogr. 44(6): 1540-1548.
- CARRICK, H.F., F.J. ALDRIDGE Y C.L. SCHELSKE 1993. *Wind influences phytoplankton biomass and composition in a shallow, productive lake*. Limnol. Oceanogr. 37: 232-247.
- COLE, G.A. 1988. *Textbook of limnology*. Waveland Press, Inc. Illinois, USA.
- CORRALES, M.A. Y S.M. FRUTOS 1981. *Zooplankton del macrosistema de Iberá*. En Estudio del Macrosistema Iberá. Editado por A.A. Bonetto. ICA-CECOAL, Corrientes. Tomo V (Ecología), 1: 65-74.
- COTNER, J.B., T.H. JOHNGEN Y B.A. BIDDANDA 2000. *Intense winter heterotrophic production stimulated by benthic resuspension*. Limnol. Oceanogr. 45(7): 1672-1676.
- CÓZAR, A., C.M. GARCÍA Y J.A. GÁLVEZ, en revisión. *Analysis of plankton size spectra irregularities in two subtropical shallow lakes (Esteros del Iberá, Argentina)*.
- DEL GIORGIO, P.A., BIRD, D.F., PRAIRIE, Y.T. Y PLANAS, D. 1996. *Flow cytometric determination of bacterial abundance in lake plankton with green nucleid acid stain SYTO 13*. Limnol. Oceanogr. 41: 783-789.
- HAIRSTON, N.G.J. 1987. *Diapause as a predator-avoidance adaptation*. En *Predation, Direct and Indirect Impacts on Aquatic Communities*. Editado por W.C. Kerfoot y A. Sih. University Press of New England, Hannover, pp. 281-290.
- LOCKE, A. Y W.G. SPRULES 2000. *Effects of acidic pH and phytoplankton composition on survival and condition of Bosmina longirostris y Daphnia pulex*. Hydrob. 437: 187-196.

- NAGID, E.J.; D.E. CANFIELD Y M.V. HOYER 2001. *Wind-induced increases in trophic state characteristics of a large (27 km²), shallow (1.5 mean depth) Florida lake*. *Hydrob.* 455: 97-110.
- NALEWAJKO, C. Y T.P. MURPHY. 1998. *A bioassay to asses the potential effects of sediment resuspension on phytoplankton community composition*. *J. Appl. Phycol.* 10: 341-348.
- NEIFF, J. J. 1981. *Tipificación de los ambientes acuáticos y de interfase del macrosistema Iberá*. En *Estudio del Macrosistema Iberá*. Editado por A.A. Bonetto. ICA-CECOAL, Corrientes. Tomo V (Ecología), 1: 14-43.
- OGLVIE, B.G. Y S.F. MITCHELL 1998. *Does sediment resuspension have persistent effects on phytoplankton?* Experimental studies in three shallow lakes. *Fresh. Biol.*, 40: 51-63.
- PLATT, T. AND DENMAN, K. 1977. *Organization in the pelagic ecosystem*. *Helgol. Wiss. Meeresunters.* 30:575-581.
- ROBINSON, W.R., R.H. PETERS Y J. ZIMMERMAN 1983. *The effects of body size and temperature on metabolic rate of organisms*. *Can. J. Zool.* 61: 281-288.
- SCHEFFER, M. 1998. *The Ecology of Shallow Lakes*, Chapman & Hall, London.
- VARELA, M.E. Y J.A. BECHARA, 1981. *Bentos del macrosistema de Iberá*. En *Estudio del Macrosistema Iberá*. Editado por A.A. Bonetto. ICA-CECOAL, Corrientes. Tomo V (Ecología), 1: 75-85.
- VOLLENWEIDER, K., Y J. KEREKES 1982. *Eutrophication of waters, monitoring assessment, control*. OECD, Paris.
- WAINRIGHT, S.C. Y C.S. HOPKINSON JR. 1997. *Effects of sediment resuspension on organic matter processing in coastal environments: a simulation model*. *J. Mar. Systems* 11: 353-368.
- ZALOCAR, Y. 1981. *Fitoplancton del macrosistema de Iberá*. En *Estudio del Macrosistema Iberá*. Editado por A.A. Bonetto. ICA-CECOAL, Corrientes. Tomo V (Ecología), 1: 53-64.

5. NUTRIENTES EN VEGETACIÓN Y SEDIMENTOS DE LA LAGUNA IBERÁ

Universidad Nacional de Luján

Integrantes: Patricia Gantes¹, Aníbal Sánchez Caro, María Andrea Casset y Ana María Torremorrel

RESUMEN

Se describen los cambios ocurridos a lo largo del año de estudio, en el contenido de nitrógeno y fósforo de la vegetación aérea y el sedimento de los embalsados que circundan la laguna Iberá. Se realizaron muestreos bimensuales para determinar la biomasa aérea y su contenido de nitrógeno total y fósforo total. En los sedimentos, compartimento que incluía raíces y rizomas vivos así como materia orgánica en descomposición y material inorgánico, se determinó el nitrógeno total y el fósforo biodisponible.

La biomasa varió entre 233,21 g.m⁻² en julio y 1005,02 g.m⁻² en febrero. *Cyperus giganteus*; *Rynchospora corymbosa*; *Thalia multiflora* y *Schoenoplectus californicus* fueron las especies dominantes. La concentración media de nitrógeno total de la vegetación de embalsados fue 0,97%, con un incremento desde 2,13 g.m⁻² en julio hasta 10,33 g.m⁻² en febrero. La concentración media de fósforo fue de 0,182%, con un incremento desde 0,441 g.m⁻² en julio a 1,542 g.m⁻² en febrero. Los sedimentos de embalsado mostraron un alto contenido de materia orgánica (76,95% en promedio), que declinó con la profundidad ($p < 0,05$). La misma tendencia se observó para el fósforo biodisponible y en menor medida para el nitrógeno total.

INTRODUCCIÓN

El sistema Iberá es una turbera tropical (Neiff, 1999), caracterizada por la acumulación de materia orgánica en sus suelos y la presencia de plantas vasculares como productores primarios. Hasta el presente, si bien se han realizado trabajos exhaustivos sobre las comunidades vegetales del sistema (Neiff, 1981), se carece de datos acerca de la dinámica de los nutrientes en el mismo. Este tema ha recibido gran atención en los humedales situados en latitudes altas del hemisferio norte, pero ha sido escasamente estudiado en zonas tropicales o subtropicales que difieren tanto en la vegetación dominante como en la dinámica de los nutrientes (Craft & Richardson, 1993; Craft *et al.*, 1997; Nogueira & Esteves, 1993; Nogueira *et al.*, 1996; Feller *et al.*, 1999; Richardson *et al.*, 1999, da Silva *et al.*, 2000; Guimaraes *et al.*, 2000).

Extensas superficies del sistema Iberá comprenden suelos flotantes o “embalsados”, que se originan

¹ Programa de Ecología Acuática, Depto. de Ciencias Básicas, Universidad Nacional de Luján, B6700 ZAB Luján, Argentina.
Email: ecologia@mail.unlu.edu.ar

por el entrelazamiento denso de raíces y rizomas de plantas acuáticas emergentes y flotantes, donde se van acumulando detritos vegetales (Neiff, 1981). Resulta de interés para su conservación, estudiar la dinámica de los nutrientes en los embalsados y en la vegetación que crece sobre ellos.

En este trabajo, se describen los cambios en el contenido de fósforo y nitrógeno de la vegetación y el sedimento de los embalsados que rodean la laguna Iberá, así como de la vegetación acuática y los sedimentos del fondo de dicha laguna a lo largo del año.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los muestreos se realizaron sobre embalsados que rodean la laguna Iberá, situada en la porción sudeste del sistema (57°11'W – 57°04'W; 28°27'S - 34°24'S). Se muestreó bimensualmente, en 4 estaciones de la cuenca sur de la laguna. En cada una de ellas se tomaron 4 muestras de vegetación y sedimentos. Para el muestreo de vegetación se extrajo la biomasa aérea presente en cuadrados de 2500 cm². Las muestras de sedimentos se tomaron con un *corer* de 8 cm de diámetro y 50 cm de largo. En las mismas 4 estaciones se tomaron en la laguna, a escasos metros de la costa, dos muestras de vegetación acuática y dos de sedimentos, utilizando en este último caso una draga Ponnar.

En el laboratorio, las muestras de vegetación fueron separadas por especie y se determinó su peso seco a 80° C. Se midió el contenido de fósforo total (Jackson, 1964) y el nitrógeno total (Bremner y Mulvaney, 1982) sobre el conjunto de especies en cada muestra, dada la ausencia de especies marcadamente dominantes en todas las estaciones.

Las muestras de sedimentos de embalsado fueron cortadas en fragmentos de 10 cm, y en cada uno se determinó el contenido de materia orgánica (por calcinación a 500°C), el fósforo bio-disponible (Bray & Kurtz) (Jackson, 1964) y el nitrógeno total (Kjeldhal) (Bremner y Mulvaney, 1982).

Las diferencias en las concentraciones de nutrientes entre profundidades del sedimento fueron analizadas por un análisis de varianza de un factor fijo, y las diferencias en el contenido de materia orgánica por la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.

Se realizaron balances aproximados de nitrógeno y fósforo para el embalsado. Para calcular el contenido de nitrógeno y fósforo de la biomasa aérea se multiplicó la concentración de cada nutriente por la biomasa, y para calcular el contenido en los sedimentos se multiplicaron las concentraciones de cada nutriente por el peso seco de los *corers* en julio y febrero.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Biomasa aérea en los embalsados

En los embalsados, la biomasa varió entre 233,21 g.m⁻² en julio y 1005,02 g.m⁻² en febrero (Figura 1).

Los embalsados presentan una alta diversidad, siendo las especies dominantes *Cyperus giganteus* (26,3% de la biomasa promedio anual); *Rynchospora corymbosa* (22,88%); *Thalia multiflora* (18,32%) y *Schoenoplectus californicus* (6,8%). Aunque todas perennes, *T. multiflora*, tiene una marcada estacionalidad en su biomasa aérea, con un máximo en diciembre de 332,58 g.m⁻², en cambio, las otras especies no muestran una época de crecimiento tan definida (Figura 2).

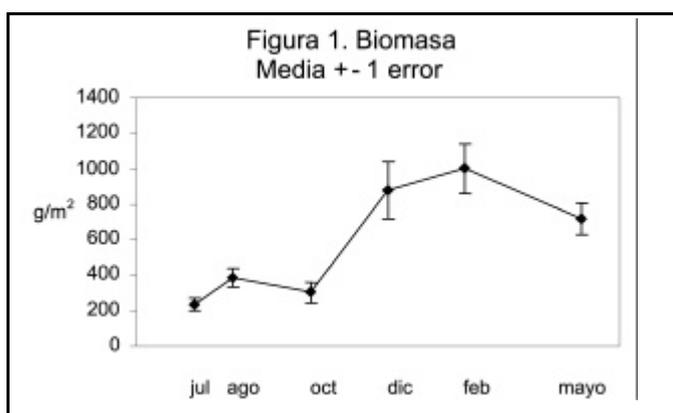


Figura 1

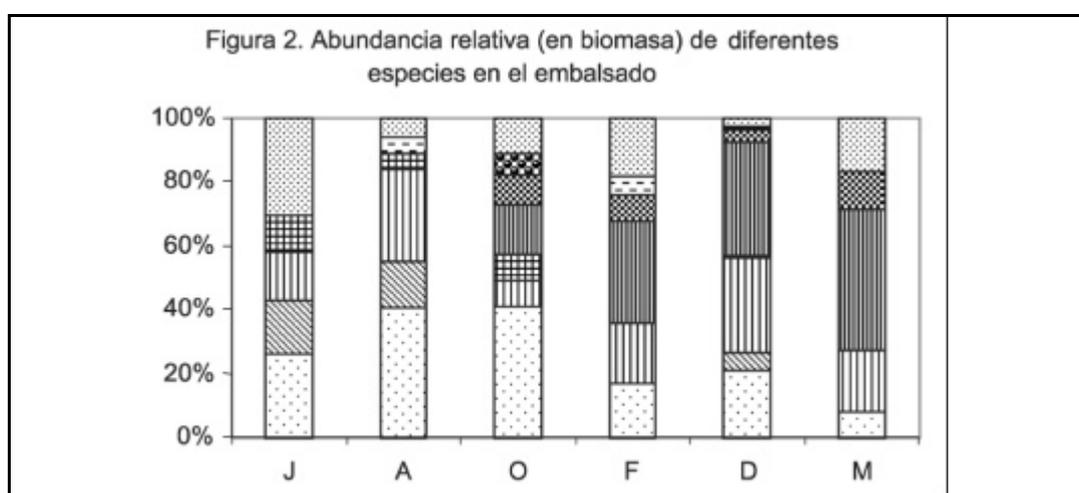


Figura 2

Nutrientes en la vegetación de embalsados

La concentración promedio de nitrógeno en la parte aérea de la vegetación fue de 0,970%, con máximo a comienzos de la primavera (Figura 3).

Si se considera el nitrógeno contenido en la biomasa aérea, se observa un aumento en los meses de verano con respecto al resto del año, variando desde 2,13g.m⁻² en julio hasta 10,33g.m⁻² en febrero (Figura 4). Puesto que el nitrógeno contenido en la vegetación por unidad de área aumenta durante el verano pero no se observa una marcada disminución en la concentración de nitrógeno, puede suponerse un aumento, o bien en la captación de este nutriente desde el sedimento, o bien una translocación desde la biomasa subterránea.

La concentración de fósforo en la parte aérea fue en promedio de 0,182%, con un máximo en octubre de 0,252% y un mínimo en febrero de 0,117% (Figura 5).

El fósforo contenido en la biomasa aumenta desde 0,441g.m⁻² en julio, hasta diciembre, cuando mostró un máximo de 1,542g.m⁻² (Figura 6). Se observa, al igual que para el nitrógeno, un aumento de la concentración en primavera, luego aumenta la biomasa y la concentración comienza a disminuir, lo que se evidencia en febrero como una leve disminución del contenido de fósforo por unidad de área en la biomasa. A diferencia de lo observado para el nitrógeno, la concentración durante el máximo de biomasa disminuye.

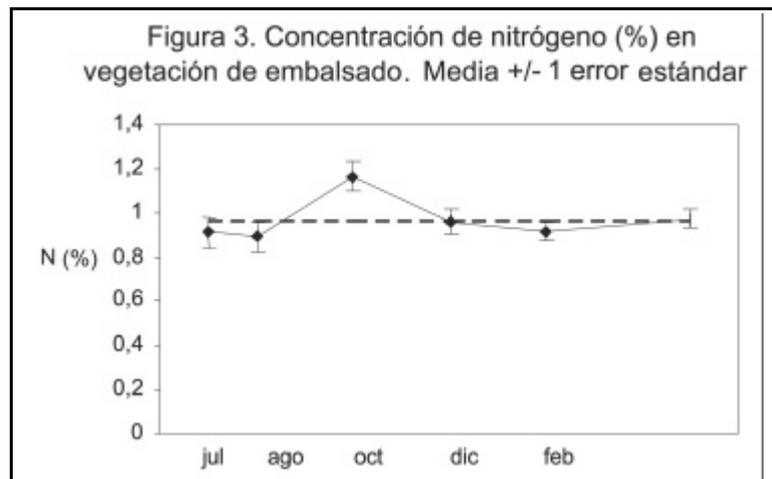


Figura 3

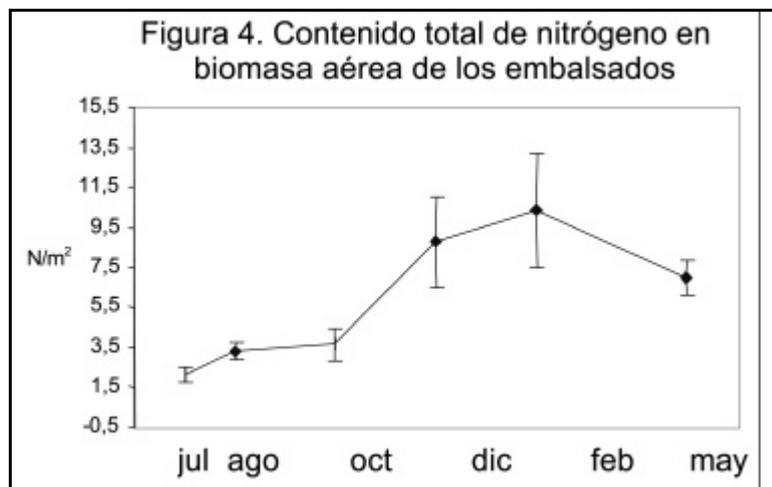


Figura 4

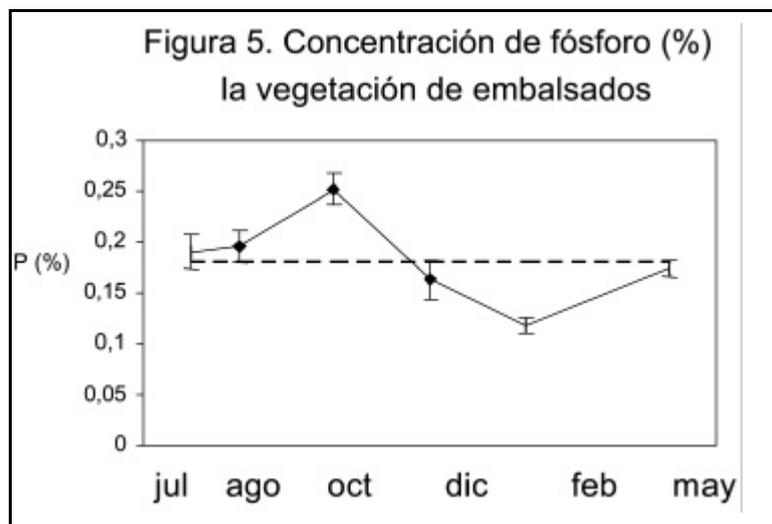


Figura 5

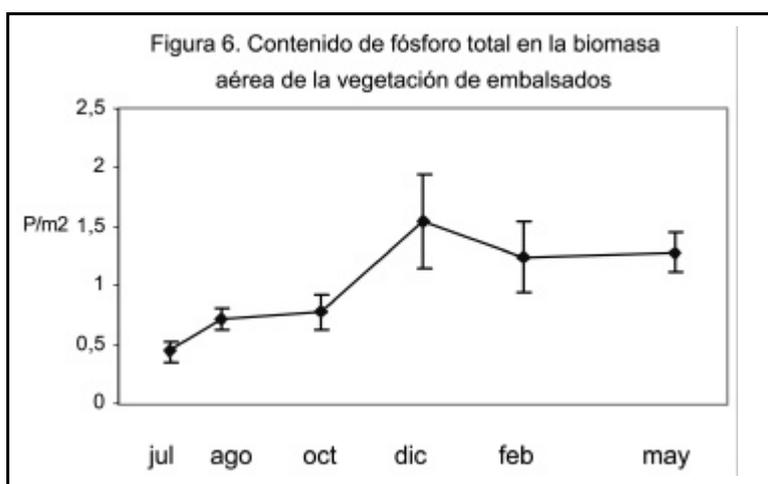


Figura 6

Nutrientes en la vegetación acuática

En la laguna, la vegetación se dispone en manchones cercanos a los embalsados. Dentro de los diferentes tipos biológicos las especies dominantes fueron: con hojas erectas emergentes *Schoenoplectus californicus* (19.92%), *Cyperus giganteus* (11.71%) y *Zizaniopsis bonariensis* (7.09%); con hojas flotantes: *Eicchornia azurea* (28.96%); *Hydrocleis nymphoides*; y *Nymphoides indica* (2.07%) y *Nymphaea* sp. (3.92%); y totalmente sumergidas: *Egeria densa* (24.52%); *Cabomba australis* (1.68%) y *Utricularia spp.* (0.1%).

Se observó una concentración promedio más alta en el contenido de ambos nutrientes de la vegetación de laguna que en la vegetación de embalsados. La concentración de nitrógeno promedio fue de 1,57%, con un mínimo de 1.295% en julio y un máximo de 2.077% en febrero (Figura 7).

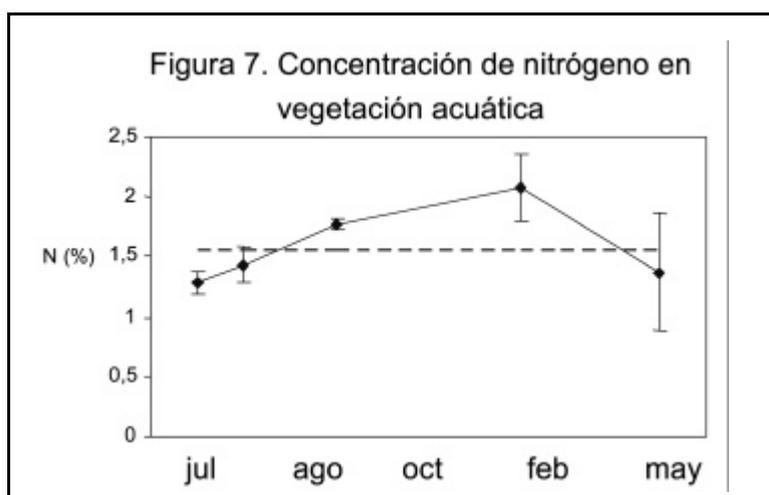


Figura 7

Para el fósforo, el promedio fue de 0,24%, se observó una declinación a lo largo del período de muestreo, con máximo de 0.287% en julio y mínimo de 0.170% en mayo, aunque con un desvío importante en mayo (Figura 8).

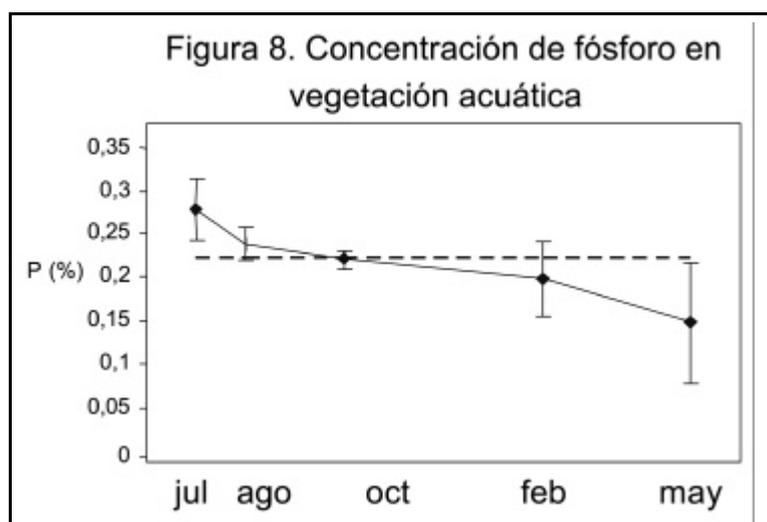


Figura 8

Relación N:P (nitrógeno, fósforo)

La relación N:P siempre mostró una deficiencia de nitrógeno, siendo en promedio más alta para las macrofitas acuáticas, variando a lo largo del año entre 4,611 y 7,981 en el embalsado y entre 4,846 y 10,774 en la vegetación acuática (Tabla 1).

	vegetación de embalsado		vegetación acuática	
	media	desv. est.	media	desv. est.
julio	5,168	1,559	4,846	0,952
agosto	4,611	0,611	5,577	1,848
octubre	4,692	0,705	7,790	1,701
febrero	7,981	1,375	10,774	2,520
mayo	5,731	1,113	7,950	2,172

Tabla 1. Relación N:P en la vegetación de embalsados y acuática

Puesto que la relación N:P está siempre por debajo de 14, el nitrógeno parece limitar la producción (Verhoeven *et al.*, 1996; Richardson, 1999). Aún en su mínima concentración, en febrero, el fósforo se encuentra en exceso, lo que hace suponer que no aumente su captación desde el sedimento o las partes subterráneas al aumentar la biomasa aérea.

Los valores de nitrógeno en la biomasa aérea no se alejan de los encontrados en la bibliografía (Tabla 2), excepto para *P. chordata*, que es una especie con marcadas características de hidrófita. Los valores de fósforo son inferiores a los señalados para los Everglades (Florida, EEUU) y similares a los encontrados en la cuenca del Paraná en Argentina y Brasil. La limitación por nitrógeno coincide con otros trabajos realizados en la cuenca del Paraná, donde se encontraron experimentalmente deficiencias en nitrógeno: en *E. crassipes* en Corrientes (Carignan *et al.*, 1992) y en *Schoenoplectus californicus* en la cuenca inferior del Paraná (Bonetto *et al.*, 1994).

Nitrógeno total (%)	Fósforo total (%)	Localización	Especie	Fuente
0,97	0,19	Iberá	varias	esta investigación
	0,0225- 0,0240	Everglades	<i>Cladium jamaicense</i> (hojas)	Steward & Ornes (1975) en Richardson et al. (1999)
0,43	0,0149	Everglades	<i>Cladium jamaicense</i> (hojas)	Richardson et al. (1999)
1 -1,5		Subártic	graminoides	Aerts et al. (1999)
1,97	0,29	Temperated wetlands in EEUU	hierbas	Bedford et al. (1999)
1,25 - 3,26		Brasil	<i>Pontederia chordata</i>	Nogueira et al. (1996)
0,98		Brasil	<i>Typha dominguensis</i>	Nogueira et al. (1996)
0,8 - 1,4		Brasil	<i>Scirpus cubensis</i>	Nogueira et al. (1996)
0,7 - 1,5	0,06 - 0,22	Brasil	<i>Scirpus cubensis</i>	Esteves y Nogueira (1993)
1,15	0,27	Paraná	<i>Schoenoplectus californicus</i>	Bonetto et al. (1994)
0,56	0,13	Paraná	<i>Schoenoplectus californicus</i>	Bonetto et al. (1994)

Tabla 2. Nitrogeno total y fósforo total en especies de vegetación emergente a partir de diferentes fuentes bibliográficas

Nutrientes en los sedimentos de embalsado

En los sedimentos del embalsado, el pH varió entre 4,54 y 6,77 y el oxígeno entre 0 y 6,87. La concentración de nitrógeno disminuyó de 2.146% en julio a 1,258% en febrero (Figura 9)

El fósforo biodisponible disminuyó desde 218,43 ppm en julio a 30,06 ppm en febrero (Figura 10).

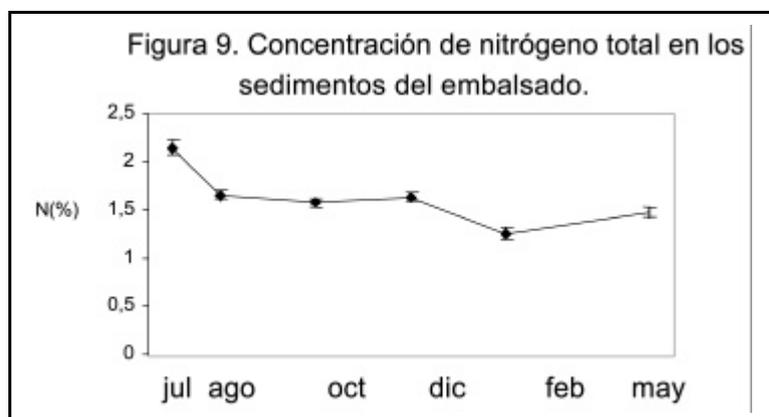


Figura 9

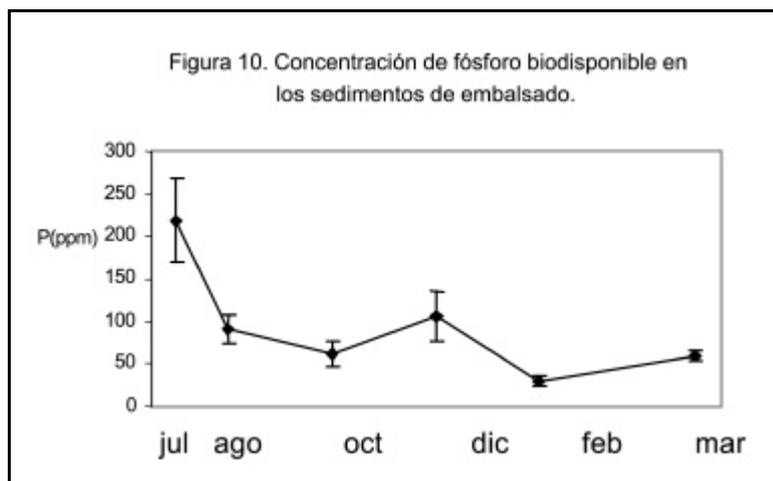


Figura 10

Los sedimentos del embalsado, incluyendo raíces y rizomas vivos, presentan un alto contenido de materia orgánica (76,95% en promedio), por lo que este sistema puede considerarse una turbera tropical (Neiff,1999). El contenido de materia orgánica disminuye significativamente con la profundidad (Figura 11). Lo mismo para el fósforo biodisponible, que disminuye significativamente entre el primer y segundo estrato. El nitrógeno en cambio, no presenta una tendencia tan clara. En forma similar, en matas flotantes de *Typha*, Hoog & Wein (1987) encuentran una disminución en el contenido de materia orgánica por debajo de los 30 cm de profundidad.

La disminución de materia orgánica y nutrientes con el aumento de la profundidad puede deberse a la menor abundancia de raíces y rizomas en los estratos más alejados de la superficie, como a un lavado de las fracciones solubles o particuladas hacia la laguna.

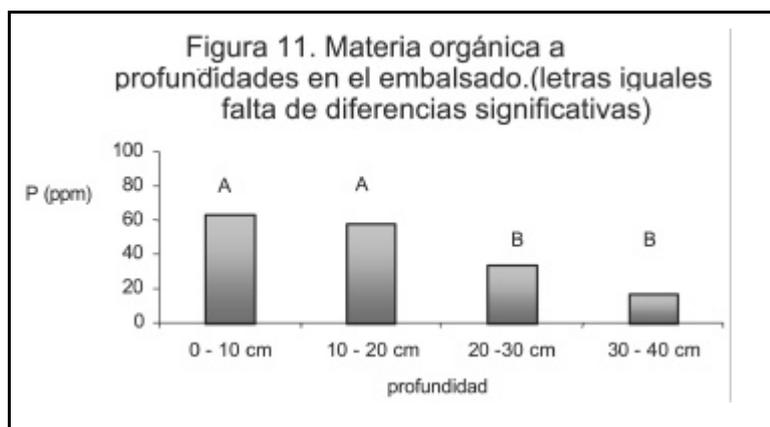


Figura 11

Sedimentos de la laguna

En los sedimentos de la laguna, el contenido medio de materia orgánica es de 27.63%, siendo espacialmente muy variable, en la costa varió entre 1.45 % y 85.08%, y en la parte central de la laguna, más homogénea, varió entre 18.23% y 42.01%. La concentración media de nitrógeno fue 0.77% y del fósforo biodisponible 41.01 ppm.

Balances aproximados de nitrógeno y fósforo

A partir de los datos encontrados pueden construirse balances preliminares para el nitrógeno y el fósforo en los embalsados. En el caso del nitrógeno, el aumento de su contenido en la biomasa entre agosto y febrero puede atribuirse a una captación desde los sedimentos, sin embargo, gran parte del nitrógeno de este compartimento ni pasa a la biomasa aérea ni permanece en los sedimentos. Posibles vías no cuantificadas serían la biomasa aérea consumida por herbívoros; el incremento en la biomasa subterránea, el lavado hacia la laguna y la pérdida por denitrificación hacia la atmósfera (Figura 12).

Para el fósforo, los posibles destinos no medidos del fósforo contenido en los sedimentos son la biomasa aérea consumida por herbívoros, el incremento en la biomasa subterránea y el lavado hacia la laguna. Pero además debe tenerse en cuenta que, como el fósforo biodisponible es la fracción medida en los sedimentos, no puede determinarse cuál es la parte que pasa a la biomasa aérea, donde el contenido de fósforo se mide como fósforo total (Figura 13).

Estos resultados permiten afirmar de manera preliminar, que los nutrientes del suelo del embalsado son suficientes para las demandas de la biomasa aérea que es producida en la estación de crecimiento, por lo cual el embalsado no incorporaría nutrientes desde el agua de la laguna. A su vez, la laguna podría ser uno de los posibles destinos de los nutrientes que no pasan a formar parte de la biomasa aérea.

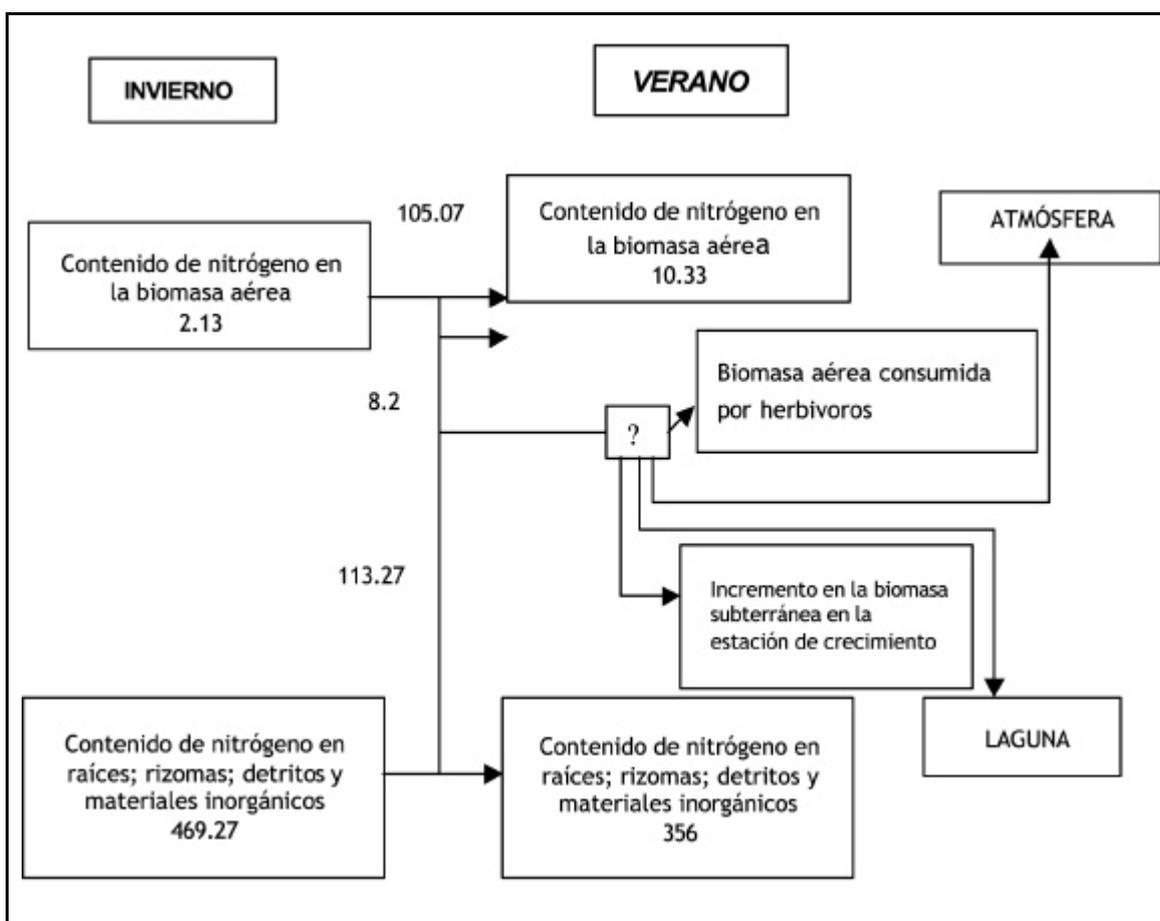


Figura 12. Balance de nitrógeno en el embalsado. Los valores numéricos indican el contenido de N en la biomasa aérea y los sedimentos (g.m²) en invierno (agosto) y verano (febrero).

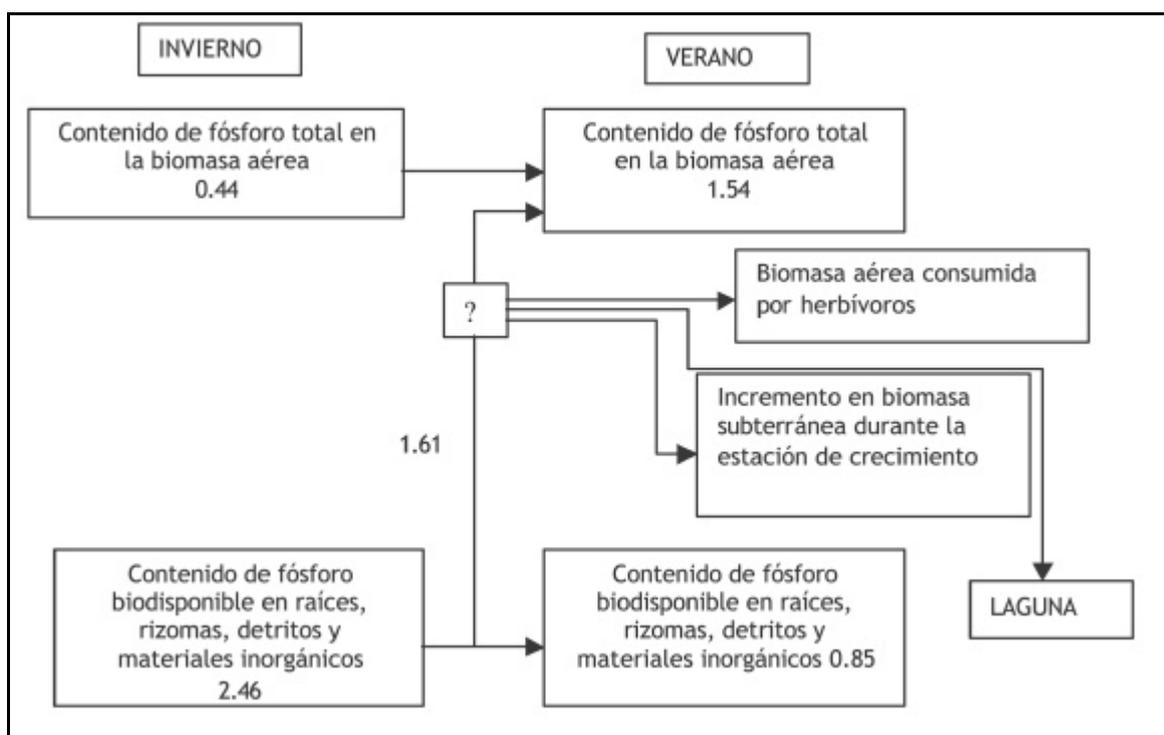


Figura 13. Balance de fósforo en el embalsado. Los valores numéricos indican el contenido de fósforo total en la biomasa aérea y fósforo biodisponible en los sedimentos (g.m^2) en invierno (agosto) y verano (febrero).

REFERENCIAS

- Aerts, R.; J. Verhoeven y D. Whigham. (1999). *Plant mediated controls on nutrient cycling in temperate fens and bogs*. Ecology 80 (7): 2170-2181.
- Bedford, B. L.; M. Walbridge y A. Aldous. (1999). *Patterns in nutrient availability and plant diversity of temperate north american wetlands*. Ecology 80 (7): 2151-2169.
- Bonetto, A. A. y S. Hurtado, (1998). *Cuenca del Plata*. en Los humedales de la Argentina. P. Canevari y otros eds.: 33-72.
- Bonetto, C.; L. de Cabo; N. Gabellone; A. Vinocur; J. Donadelli & F. Unrein. (1994). *Nutrient dynamics in the floodplain of the Lower Paraná River*. Arch. Hydrobiol. 131 (3): 277-295.
- Bremner, J. M. y Mulvaney, C. S. (1982). *Nitrogen total*. En Methods of soil analys. Part 2. 2nd. ed. Page et al. eds., Am. Soc. of Agron., Madison.
- Carignan, R. & J. J. Neiff. (1992). *Nutrient dynamics in the floodplain ponds of the Paraná River (Argentina) dominated by the water hyacinth *Eichornia crassipes**. Biogeochemistry 17: 85-121.
- Craft, C. y C. Richardson, (1993). *Peat accretion and N, P, and organic C accumulation in nutrient-enriched and unenriched Everglades peatlands*. Ecological Applications 3 (3): 446-458.
- Craft, C. y C. Richardson, (1997). *Relationships between soil nutrients and plant species composition in Everglades peatlands*. Journal of Environmental Quality. 26 (1): 224-232.

- da Silva, M. P.; Mauro, R.; Mourao, G.; Coutinho, M. (2000). *Distribution and quantification of vegetation classes by aerial survey in the Brazilian Pantanal*. Revista Brasileira de Botanica.. 23(2):143-152.
- Feller, I. C.; D. F. Whigham; J. P. O'Neil y K. McKee. (1999). *Effects of nutrient enrichment on within stand cycling in a mangrove forest*. Ecology 80 (7): 2193-2205.
- Guimaraes, J. R. D.; Meili, M.; Hylander, L. D.; de Castro e Silva, E.; Roulet, M.; Mauro, J. B. Narvaez; de Lemos, R. A. (2000). *Mercury net methylation in five tropical flood plain regions of Brazil: High in the root zone of floating macrophyte mats but low in surface sediments and flooded soils*. Science of the Total Environment 261(1-3):99-107.
- Hoog, E. H. y R. W. Wein. (1987). *Growth dynamics of floating Typha mats: seasonal translocation and internal deposition of organic material*. Oikos 50: 197-205.
- Jackson, M. (1964). *Análisis químico de suelos*. ed. Omega.
- Mitsch, W. J. y J. G. Gosselink. (1993). *Wetlands*, 2nd. ed. 448 pág.
- Neiff, J. J. (1981). *Vegetación acuática y anfibia del Iberá, Corrientes I: Características estructurales y distribución; II: Dinámica*. En: Investigaciones ecológicas en el macrosistema Iberá. ICA-CECOAL, Informe final.
- Neiff, J. J. (1999). *El régimen de pulsos en ríos y grandes humedales de Sudamérica. En Tópicos sobre humedales subtropicales y templados de Sudamérica*. A. I. Malvárez, ed.: 97-146. UNESCO-ORCYT-MAB, Montevideo.
- Nogueira, F.; F. Esteves y A. Prast. (1996). *Nitrogen and phosphorus concentration of different structures of the aquatic macrophytes Eicchornia azurea Kunth and Scirpus cubensis Poepp & Kunth in relation to water level variation in Lagoa Infernao (Sao Paulo, Brazil)*. Hydrobiologia 328: 199-205.
- Nogueira F. y F. Esteves. (1993). *Changes in nutritional value of Scirpus cubensis during growth and decomposition*. International Journal of Ecology and Environmental Sciences 19: 205-212.
- Richardson, C. J.; G. Ferrell & P. Vaithyanathan. (1999). *Nutrient effects on stand structure, resorption efficiency, and secondary compounds in Everglades sawgrass*. Ecology 80 (7): 2182 - 2192.
- Verhoeven, J.T.A.; W. Koerselman & A. Meuleman. (1996). *Nitrogen- or phosphorus- limited growth in herbaceous, wet vegetation: relations with atmospheric inputs and management regimes*. Trends in ecology and evolution 11 (12): 494-496.

6. INVERTEBRADOS Y CALIDAD DEL AGUA

Universidad Nacional de Luján

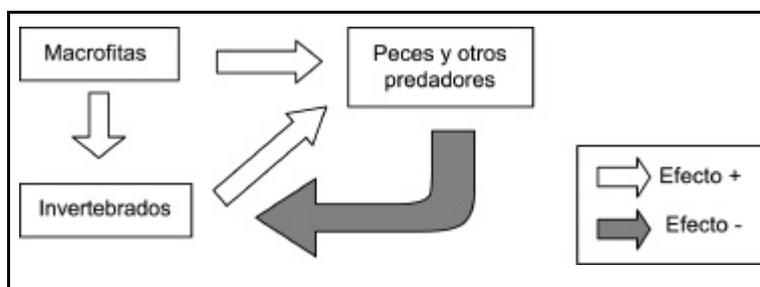
Integrantes: Fernando Momo¹, Patricia Gantes,
María Andrea Casset y Ana M. Torremorell

RESUMEN

El uso de índices de calidad biológica en ecosistemas acuáticos es una herramienta útil para el diagnóstico y el monitoreo ambiental. Sin embargo su uso en humedales no está probado aún. Se realizó un ensayo preliminar en la laguna Iberá tomando muestras de macroinvertebrados asociados a la vegetación acuática en ocho estaciones de muestreo. Se aplicó el índice BMWP¹, con algunas modificaciones para incluir grupos taxonómicos locales no considerados en su versión original. Los resultados muestran que la composición de la taxocenosis de macroinvertebrados está influenciada por una serie muy compleja de factores (material particulado en suspensión, condiciones hidrológicas, vegetación presente, lluvias recientes) y el cálculo del índice no arroja resultados unívocos ni fácilmente interpretables. La transposición mecánica de índices de calidad propuestos para otros ambientes podría no funcionar en este caso y la interpretación de los resultados requiere de mucha información adicional, lo que relativiza la utilidad de esta metodología, al menos en el caso estudiado.

¿POR QUÉ ESTE ESTUDIO?

La vegetación acuática puede influenciar a las comunidades de invertebrados de varias maneras. En una primera aproximación, la vegetación tiene un efecto positivo sobre los invertebrados porque les ofrece refugio y alimento a los detritívoros, herbívoros y, de manera indirecta, a los "deposit feeders". Por otro lado, la vegetación también da refugio a los depredadores, fundamentalmente peces, que pueden cambiar la diversidad y la densidad de los invertebrados que viven asociados a la vegetación acuática. Es claro que estos efectos están relacionados a la arquitectura de las plantas, y por lo tanto son característicos de las especies. Estos conceptos pueden resumirse en el Esquema 1.



Esquema 1

¹ Programa de Ecología Acuática, Depto. de Ciencias Básicas, Universidad Nacional de Luján, B6700 ZAB Luján, Argentina.
Email: ecologia@mail.unlu.edu.ar

TOMA DE MUESTRAS Y MÉTODOS UTILIZADOS

Teniendo en cuenta la presencia de macrófitas y qué especies estaban representadas, se eligieron ocho puntos de muestreo en los cuales se realizaron relevamientos de la fauna de invertebrados desde noviembre de 2000 hasta septiembre de 2001. En cada punto se registraron las especies de plantas acuáticas dominantes y se midió el pH, el oxígeno disuelto y la temperatura del agua.

Las muestras se tomaron con una red de 180 μm de abertura de poro. Se realizó una identificación preliminar de los organismos a simple vista y luego se conservaron en formol al 5%. En el laboratorio se identificaron hasta el nivel taxonómico de familia.

El objetivo de esa identificación fue el cálculo de algunos índices de calidad del agua. En particular, se trabajó con el índice BMWP' que fue calculado para cada muestra. Dado que ese índice fue pensado para ríos y arroyos y se aplica a otras regiones geográficas, fue necesario modificarlo para incluir algunos grupos de organismos que no figuran en el índice original. El propósito de ese índice es darle a la presencia de cada grupo taxonómico un puntaje, calcular un puntaje total por muestra y entonces clasificar el lugar de acuerdo a ese puntaje (S) en una de cinco categorías posibles: *extremadamente contaminado* ($S < 15$), *muy contaminado* ($16 < S < 35$), *moderadamente contaminado* ($36 < S < 59$), *eutrófico* ($60 < S < 100$), *no contaminado o de buena calidad* ($100 < S$).

Además del índice BMWP, y a fines comparativos, se calcularon otros índices ecológicos (Tabla 1).

Índice	Descripción y cálculo
BMWP'	Cada familia o grupo taxonómico tiene asignado un puntaje de acuerdo a su tolerancia a la contaminación. Un puntaje más alto indica que el organismo prefiere un ambiente más "limpio". El puntaje de la muestra se obtiene como la suma de los puntajes de todos los grupos presentes en ella.
Índice de Knopp (pureza relativa)	Los grupos de organismos se clasifican en cuatro categorías: α : oligosaprobios, β : β -mesosaprobios, α : α -mesosaprobios, ρ : polisaprobios. El puntaje de la muestra se calcula como: $I = \frac{(o+b)}{(o+b+a+p)}$
Índice de Pantle y Buck (índice de saprobiedad)	A las categorías del índice anterior se les asigna un puntaje numérico s , llamado grado de saprobiedad, s varía entre 1 y 4 ($\alpha = 1$, $\rho = 4$); la abundancia relativa de cada organismo h tiene también un puntaje (raro = 1, frecuente = 3, abundante = 5). Entonces el valor del índice se calcula como: $I_s = \frac{\sum sh}{\sum h}$
Índice de Zelinka y Marvan	Los grupos de organismos se clasifican en cinco clases sapróbicas (de 0 a 4), esa valencia sapróbica se simboliza como a ; la abundancia relativa h se puntúa como en el índice anterior; por último, se da un puntaje al "valor indicador" del grupo g entre 1 y 5, siendo 5 el mayor valor como indicador. El valor del índice se calcula como: $I_z = \frac{\sum a \cdot h \cdot g}{\sum h \cdot g}$

Tabla 1

RESULTADOS

Se identificaron 56 grupos. 10 familias de efemerópteros, 11 de dípteros, 5 grupos de crustáceos, 3 familias de moluscos, 2 plecópteros, 2 odonatos, 7 heterópteros, 8 tricópteros, 3 coleópteros, 1 ácaro, 1 platelminto, 2 anélidos y 1 nematodo.

Comparando los cuatro índices aplicados para la muestra de noviembre de 2000, se observa que los resultados de los distintos índices son coherentes entre sí y, en principio, se podría usar cualquiera de ellos para caracterizar el estado ecológico de las muestras. Sin embargo, la relación entre el BMWP' y el índice de Zelinka es no lineal y la relación entre el BMWP' y el índice de Knopp no resulta clara (Figura 1).

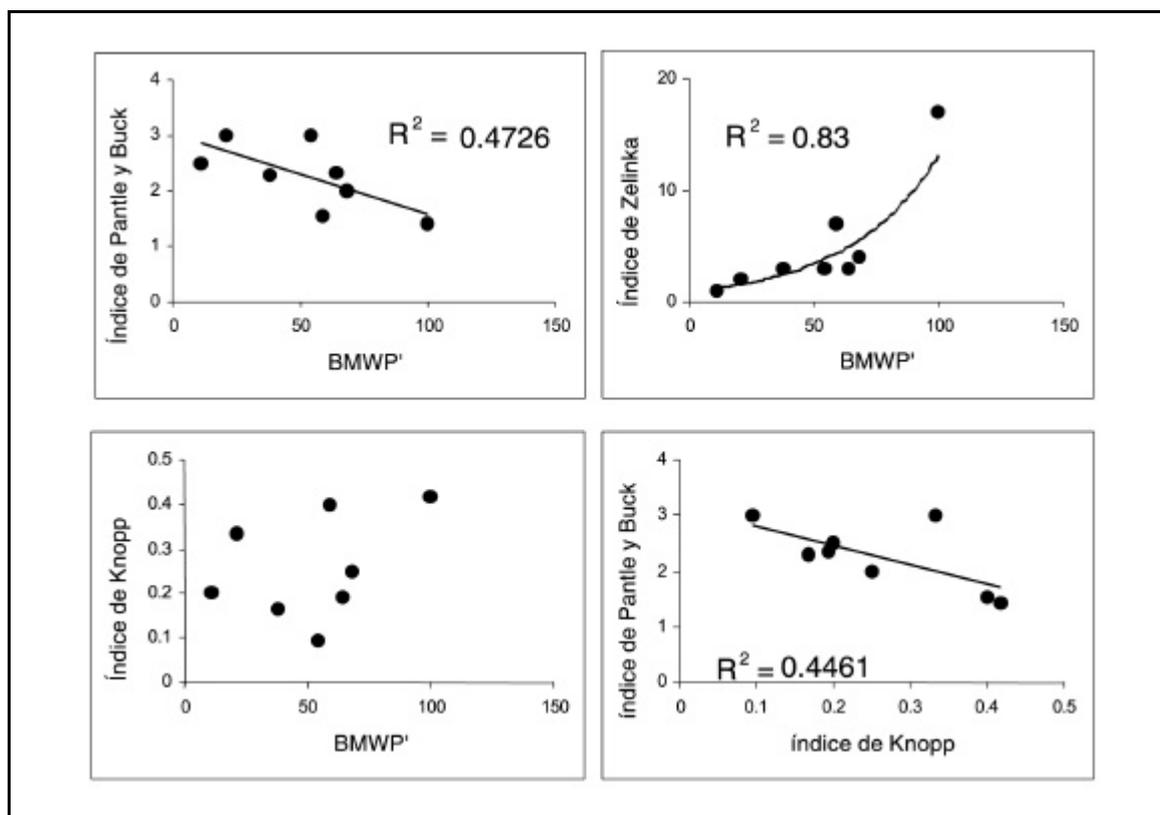


Figura 1: relación entre los valores de diferentes índices de calidad en la laguna Iberá.

La correlación entre el número total de grupos identificados en cada muestra y el índice BMWP es positiva y bastante alta ($R = 0.8925$) (Figura 2).

No hay una relación clara entre el número de grupos y las variables ambientales medidas (pH, temperatura y oxígeno disuelto) como se ve en la Figura 3. Sin embargo, cuando calculamos el promedio del índice por fecha de muestreo incluyendo todos los puntos, hay una correlación positiva entre el número de grupos y la temperatura (Figura 4) y una clara tendencia descendente en el número de grupos y el BMWP' a lo largo del período de muestreo (Figura 5).

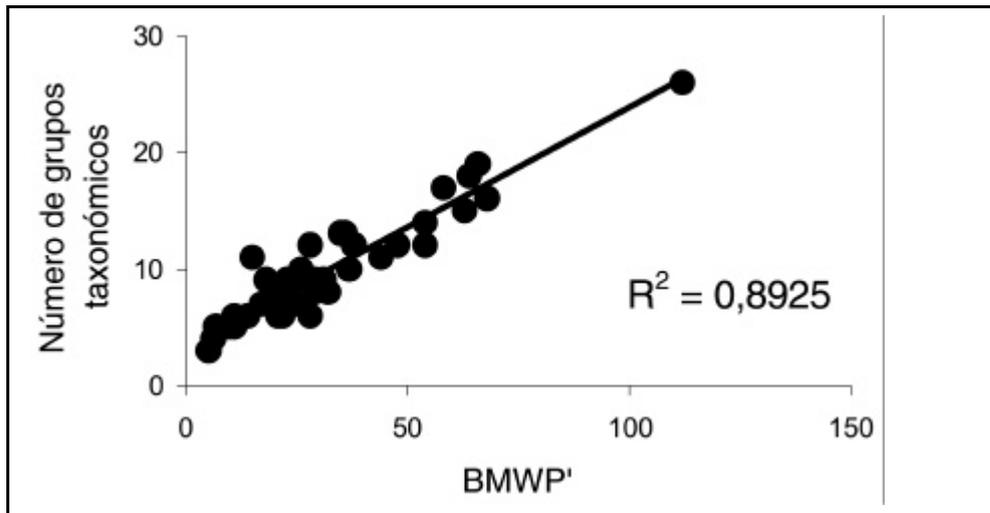


Figura 2: Relación entre número de grupos taxonómicos y BMWP'

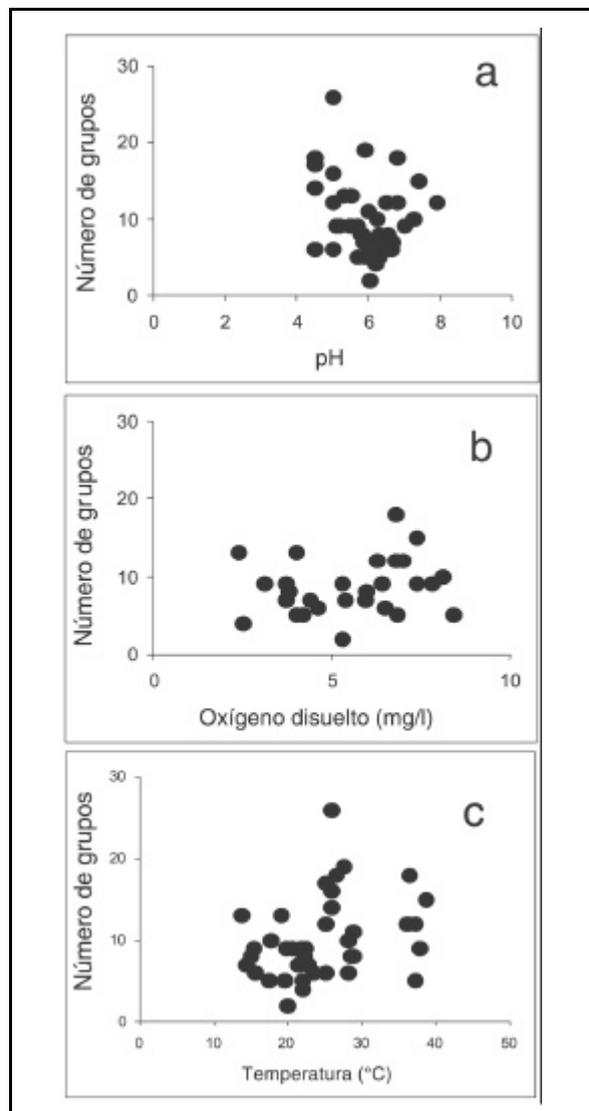


Figura 3: Relación entre número de grupos taxonómicos y variables ambientales.

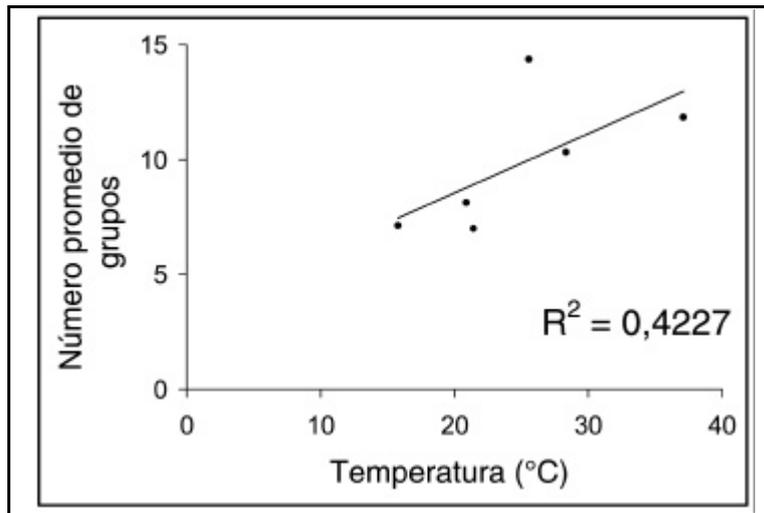


Figura 4: Relación entre el número de grupos taxonómicos promedio con la temperatura.

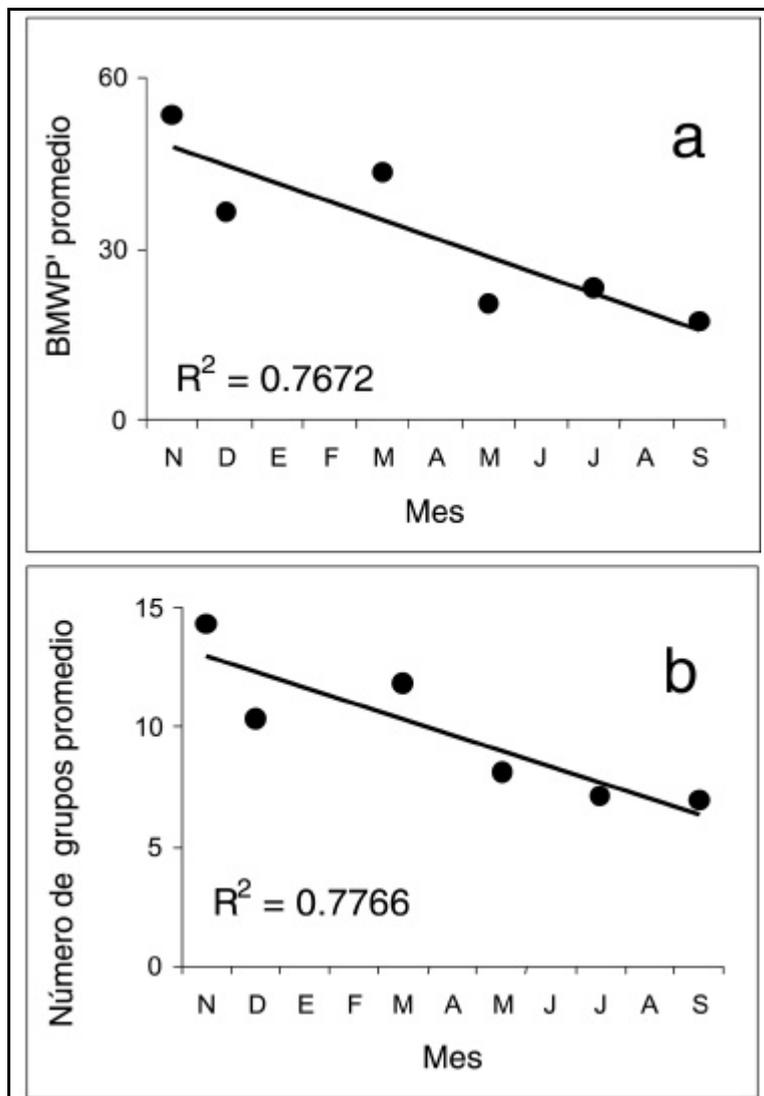


Figura 5: Relación entre el número de grupos taxonómicos y el BMWP' con la fecha de muestreo.

CONCLUSIONES

Las comunidades de invertebrados asociadas a macrófitas pueden utilizarse como indicadoras al caracterizar la calidad ecológica del sistema estudiado, pero es necesario hacer un muestreo multi-hábitat y promediar los valores de todos los puntos.

La relación entre invertebrados y vegetación acuática es compleja y además las comunidades de invertebrados varían a lo largo del año. Para monitoreos a largo plazo es necesario obtener promedios anuales de los índices y seguir entonces su variación en períodos más prolongados ya que la variación estacional no es despreciable.

El número de familias encontradas puede usarse como un índice rápido de calidad ecológica sin recurrir a cálculos más complejos.

| 7. ESTUDIOS DE FAUNA

Universidad del Salvador y Università Degli Studi Roma Tre

Integrantes¹: Tomás Waller, Marcelo D. Beccaceci y Giuseppe Carpanetto

Colaborador: Walter Jacobo (ACUICOR)

MACROFAUNA

Actividades y metodología

Las actividades relacionadas con la macrofauna más importante en el humedal fueron llevadas a cabo en colaboración con asociados de la Universidad de RomaTre (sub contratante de CSGI). Los muestreos y análisis de campo fueron hechos desde Diciembre de 1998 hasta Abril de 2001, centrados en las siguientes áreas:

- a) Estudio sobre Ciervo de los Pantanos, (*Blastoceros dichotomus*). Relación parásitos-dieta entre las poblaciones del ciervo de los pantanos, carpincho y ganado en el Iberá.
- b) Estado genético de las diferentes sub-poblaciones de ciervos de los pantanos del Iberá.
- c) Monitoreo de la densidad poblacional del Yacaré Negro (*Caimán yacaré*).
- d) Caracterización termal del hábitat del Yacaré Negro (*C. yacaré*) y monitoreo termal del nido.
- e) Patrones de actividad y uso de hábitat en Anacondas amarillas (*Eunectes notaeus*).
- f) Reconocimiento de la diversidad de la fauna: Herpetología y Mastozoología.

Estudio de Ciervo de los Pantanos

El estudio de la ecología del mamífero de mayor tamaño que habita el ecosistema del humedal fue el objetivo fundamental de las actividades de campo. Los resultados son particularmente importantes para la administración de los humedales en los países del Mercosur ya que con frecuencia grandes superficies se caracterizan por áreas temporalmente inundadas y alternadas con pastizales que son cada vez más utilizadas como pastura para el ganado bovino. En realidad, la principal actividad en las estancias que bordean o incluyen partes de los esteros del Iberá es la cría de vacunos. Se decidió entonces examinar la dieta comparativa entre los dos herbívoros más grandes del humedal (ciervo de los pantanos y carpincho) y el ganado local.

¹ Vicerectorado de Investigación, Universidad del Salvador, Rodríguez Peña 770 - 2°Piso, 1020 Buenos Aires, Argentina.
Email: twaller@fibertel.com.ar , mdb@wamani.apc.org , carpanet@uniroma3.it

Se pudo observar que las gramíneas son las especies más importantes para el ganado y los ciervos, pero especialmente para éstos últimos. Durante el invierno, el ciervo de los pantanos se alimenta principalmente de esta clase de vegetación mientras que el ganado se alimenta de árboles y arbustos. En el verano, los ciervos se alimentan predominantemente de árboles y arbustos mientras que la dieta del ganado se basa principalmente en pastos. En invierno, cuando decrece la disponibilidad de comida, es cuando la superposición de dietas entre las dos especies es más alta y el ciervo de los pantanos se alimenta (en orden de importancia) de: *Panicum elephantipes*, *Eleocharis minima* y *Leandra australis*, mientras el ganado se alimenta (en orden de importancia) de: *Eleocharis minima*, *Panicum elephantipes* y *Oplismenopsis najada*. Para evitar el sobre pastoreo de ganado en áreas de ciervos, se deberían reservar áreas específicas de pasto a lo largo del límite del humedal en los meses de invierno para la alimentación del ciervo de los pantanos. Una solución alternativa sería reducir la densidad del ganado vacuno en las áreas del litoral del humedal para los meses del invierno, especialmente de vacas preñadas que requieren un suministro de comida particularmente abundante.

Del mismo modo, el contacto cercano entre animales domésticos y especies silvestres incrementa las posibilidades de transmisión interespecífica de enfermedades parasitarias. Tal intercambio tiene consecuencias económicas directas para los criadores de ganado, así como el daño a la vida silvestre local y por lo tanto un impacto directo en actividades relacionadas con el turismo. Con el propósito de encarar la importancia de la propagación e incidencia de endoparásitos en las tres especies, se llevó a cabo una investigación en dos áreas diferentes de la zona limítrofe del Iberá. Los resultados demuestran una gran densidad de *céstodos* en ciervos de los pantanos y el ganado durante el verano debido a las lluvias y altas temperaturas (180 huevos/gramo). Esto indica que se debería realizar un manejo especial para reducir la transmisión entre el ganado y la fauna silvestre. Esto incluye control de ganado bovino y reducciones en la densidad de ganado en las zonas de transición del humedal.

Genética de la Población de Ciervo de los Pantanos

Se inició un estudio a largo plazo del estado genético en la población de ciervo de los pantanos en Iberá. Los resultados preliminares indican que las poblaciones del Iberá son más cercanas a las poblaciones del Pantanal Brasileiro que a la de los climas más templados en Argentina, demostrando la cercana relación entre los humedales en la Cuenca del Plata. Este trabajo se realizó con la colaboración de investigadores de la Universidad de la República, Uruguay.

Reconocimiento del Yacaré Negro (Caiman yacare).

Existen dos clases de caimanes en Argentina, el caimán de hocico ancho o Yacaré Overo (*Caiman latirostris*), y el caimán común o Yacaré Negro (*Caiman yacare*). Ambas especies fueron explotadas durante el siglo pasado para utilizar sus pieles en la industria del cuero. Desde 1940 hasta 1990, miles de pieles fueron ilegalmente obtenidas y exportadas desde Argentina, en su mayoría de caimanes procedentes de hábitats pantanosos de la provincia de Corrientes.

Como parte del análisis y modelado ecológico para el presente proyecto, los investigadores estudiaron la población actual de *Caiman yacare* en el humedal del Iberá y la compararon con información del pasado (CITES) para determinar las tendencias poblacionales y ecología del yacaré. Los humedales del Iberá comprenden dos tercios del hábitat total de humedal disponible para esta especie en la provincia de Corrientes. Evaluando la tendencia de población en esta área, los investigadores determinaron información valiosa para posibles alternativas de manejo a través del modelado de cosechas.

Desde 1999 a 2001, las densidades de caimanes fueron monitoreadas en tres sectores del humedal en estudio. Los hábitats examinados hacen un total de 90.7 km de riberas de lagos y 10.6 km de surcos de agua (caletas y canales). Las actuales poblaciones de caimanes mostraron un incremento notable tanto en caletas como en lagos, multiplicando su abundancia por un factor de 2.5 en comparación con el censo 1991/92 realizado por el autor (46.2 c/km vs. 17.7 c/km para caletas y 14.8 c/km. vs. 6.4 c/km. para lagos) (Waller y Micucci, 1993). Esto parece ser resultado directo de la completa cesación de cacería de caimanes en Argentina desde 1990 en adelante. Sin embargo, otros parámetros (como el ascenso de nivel de agua detectado desde 1990, que generó un mayor perímetro de costa) podría eventualmente explicar parte de este incremento de la población de caimanes en el Iberá.

Registro de datos de temperatura en hábitat y nidos del Yacaré

Los datos de temperatura fueron utilizados para tener un mejor entendimiento de los factores limitantes de la población del caimán en proyecciones con modelos de dinámica poblacional y estudios de ecología termal. Las bajas temperaturas actúan como cuello de botella para el crecimiento de la población, limitando la velocidad de crecimiento somático, matando individuos por congelamiento directo, y posiblemente afectando los porcentajes de género de los recién nacidos criados en nidos incubados naturalmente. Esta información fue compartida con los equipos responsables de modelado (UNICEN, UFRGS) y contribuyó al desarrollo de la descripción climática del ecosistema (ver informes sobre modelos matemáticos). Los datos de las estaciones meteorológicas e hidrológicas se combinaron para estudiar el efecto de la radiación, precipitaciones, temperatura agua/aire y viento, sobre la temperatura de los nidos.

ESTUDIOS HERPETOLÓGICOS

Los ejemplares fueron recolectados, registrados, etiquetados y preservados en formaldehído y fueron ingresados a la Colección Herpetológica del Museo Argentino de Ciencias Naturales "Bernardino Rivadavia" (MACN). En total, se contaron más de 300 ejemplares pertenecientes a 45 especies. Dentro de los hallazgos significativos cabe mencionar el hallazgo de una nueva especie de anfibio para la provincia de Corrientes: *Scynax berthae* (Hylidae) proveniente de Colonia Pellegrini. Este hallazgo ha sido aceptado para su publicación en los Cuadernos de Herpetología de la Asociación Herpetológica Argentina.

Así mismo fue publicado un nuevo registro de localidad y extensión de rango de distribución para la *Acanthochelys spixii* en la provincia de Corrientes (fuera del sistema Iberá).

Una rara lagartija de la familia polychrotidae *Anisolepis longicauda* fue encontrada por primera vez en Iberá, representando también el segundo registro concreto para esta especie en la provincia de Corrientes.

Un espécimen hembra post-parturienta de *Bothrops alternatus* fue encontrado habitando esteros de vegetación flotante dentro del pantano, confirmando así la presencia de poblaciones reproductivas de este crotárido dentro de los humedales de Iberá.

Uso de hábitat y patrones de actividad de la Anaconda Amarilla o Curiyú (Eunectes notaeus)

La Anaconda Amarilla *Eunectes notaeus*, es uno de los mayores carnívoros que habitan el humedal del Iberá y la especie más grande de ofidio en la Argentina. Mientras que la longitud de un

adulto medio ronda los 2 m, las hembras más viejas pueden llegar a un tamaño máximo de casi 4 m y un peso de 30 kg. Junto con los caimanes ellas depredan sobre una amplia variedad de vertebrados contribuyendo así a dar forma a la comunidad en la cual viven.

Como parte del presente proyecto de investigación dirigido hacia el manejo continuo de los recursos del humedal, en Junio de 2000 se inició un estudio a largo plazo de seguimiento radial para incrementar el conocimiento sobre la historia natural de la anaconda amarilla en relación con los cambios en la tierra del humedal y la administración de recursos, con el objetivo final de proveer de herramientas científicas para el establecimiento de políticas de manejo tendientes a su efectiva conservación.

El estudio se orientó a tres tópicos principales directamente relacionados al entendimiento de los requerimientos ecológicos de la Anaconda Amarilla: a) patrones de uso espacial, b) ecología termal y, c) biología general. Los patrones de uso de espacio son el resultado de necesidades alimentarias, estructura del hábitat, relaciones intra e inter específicas, así como condiciones ambientales (lluvia y temperatura). La ecología de las serpientes es directa o indirectamente afectada por la combinación de ectotermia, ambientes termo-variables, y la dependencia termal de los procesos biológicos. El estudio de relaciones de temperatura es por lo tanto crítico para completar el entendimiento de requerimientos de hábitat y patrones de uso espacial de las anacondas amarillas, especialmente, considerando que las poblaciones del Iberá están en el límite sur de su área de distribución. La tecnología utilizada dio una oportunidad única de investigar otros tópicos biológicos básicos como el comportamiento y hábitos alimentarios, crecimiento somático, comportamiento de cortejo y apareamiento, frecuencia reproductiva y fecundidad entre otros aspectos.

RECURSOS ICTIOLÓGICOS DEL HUMEDAL (ACUICOR)

La abundante ictiofauna que abitan en los lagos someros que se presentan en el sistema de humedal de los esteros representan un recurso de pesca potencial que aún tiene que ser desarrollado significativamente. Con la excepción de varios de los cuerpos de agua más chicos en el área sur de los esteros que tiene un creciente comercio de turismo para la pesca deportiva, la pesca no resulta una actividad significativa en ninguno de los cuerpos de agua libre del centro y del norte. La posibilidad de utilizar este recurso de manera continua es uno de los escenarios de desarrollo posibles que fueron investigados en el presente estudio. Como hay muy poca información disponible acerca de la ictiofauna local y el potencial para su utilización, se realizó un estudio de un año en dos de las lagunas: Ibera y Galarza.

Se condujeron una serie de cinco campañas donde se usaron diversas técnicas de captura y se midió simultáneamente las condiciones del agua. Se consiguió valiosa información sobre la población de peces (densidad, productividad, reproducción) y red alimentaria. Esta información se obtuvo en colaboración con otros grupos de investigación (UNISI, RomaTre, UCADIZ, UAVR) para el desarrollo de herramientas de modelado y análisis.

Un análisis cualitativo identificó un total de 43 especies en las dos lagunas de estudio, dominados por especies más pequeñas no migratorias, en particular las pirañas (*Serrasalmus spilopleura*) y corvinas (*Pachirus bonariensis*). En las dos lagunas estudiadas no se encontraron espe-

cies migratorias como sábalo (*Prochilodus lineatus*), pacú (*Piaractus mesopotamicus*) y dorado (*Salminus maxillosus*). Estas sí están presentes en el río Corriente y en las lagunas del sur cerca de la ensenada del río.

Los datos sobre la abundancia aproximada de peces (CPUE) indicaron que las dos lagunas estudiadas son significativamente diferentes en productividad, con la L. Iberá teniendo una productividad de 194kg./ha comparada con la L. Galarza de 35kg/ha. Estas cantidades representan una productividad media y baja con respecto a otros cuerpos de agua en la región.

Las especies identificadas en las dos lagunas de estudio no tienen un gran valor para pesca deportiva, pero pueden ser explotadas en forma sostenida como un potencial de especialidad culinaria para el crecimiento del comercio de turismo ecológico local. Tal actividad podría patrocinar el crecimiento de una nueva micro industria en el área del humedal, con un mínimo impacto sobre la fauna y flora local. En la presente oferta turística, la ictiofauna local permanece completamente subdesarrollada.

MICROMAMÍFEROS

Se llevó a cabo un reconocimiento de micromamíferos en la estancia San Juan Poriahú con la asistencia del Museo de Ciencias Naturales de La Plata. Los resultados de la investigación demuestran una significativa variedad de micromamíferos en las áreas del humedal.

AVIFAUNA

Con la colaboración de los guardafauna de la Reserva Provincial del Iberá, Roma Tre y UNISI implementaron un protocolo de observación de aves. El objetivo fue el de establecer un censo permanente para detectar variaciones en la presencia o abundancia de las especies nativas de aves que permita evaluar cambios en la biodiversidad así como en la utilización del hábitat y, eventualmente, identificar deterioros en éste. A partir de estos censos mensuales fue posible establecer la existencia de marcadas variaciones estacionales. El trabajo de censo se ha convertido en una actividad habitual de los guardafauna, y la información que se recoge resulta de enorme valor para los científicos interesados en el ecosistema del Iberá.

8. LA ALIMENTACIÓN DEL BIGUÁ (*Phalacrocorax olivaceus*) EN LA LAGUNA IBERÁ

Università Degli Studi Roma Tre

Integrantes¹: Serena Fortuna, Giuseppe M. Carpaneto
y Giancarlo Gibertini.

INTRODUCCIÓN

El biguá, *Phalacrocorax olivaceus*, Humboldt 1805, es una de las aves ictiófagas más comunes de toda Sudamérica. El rol de esta especie, en ambientes de agua dulce y de mar, ha sido estudiado por muchos científicos a lo largo de los años (Bò, 1950; De la Peña, 1980; Casaux, 2000). En algunas ocasiones este ave ha sido perseguida por los pescadores y por los piscicultores con la excusa que causara un fuerte impacto negativo sobre las poblaciones de peces de importancia deportiva o económica. Sin embargo, aunque los piscicultores lo consideren un voraz depredador, algunos autores demostraron que esta hipótesis no es totalmente verdadera. Tras haber realizado una serie de experiencias, se ha demostrado que *Phalacrocorax olivaceus* necesita solamente alrededor de 300 gr de pescado por día (Belzter, 1987; Regidor, y Terroba, 2000). Su dieta es variable y por ello tiene que ser investigada. Por esta razón se debe evaluar cómo el comportamiento del biguá puede influir de modo negativo en las poblaciones de peces del ambiente en el que actúa. Además la información disponible sobre la dieta del Biguá en el territorio argentino, está limitada a algunas zonas. En relación con la Laguna Iberá no se había realizado ningún tipo de investigación sobre la ecología de esta especie.

Los Esteros del Iberá representan uno de los ecosistemas acuáticos más importantes de Sudamérica. Se encuentran ubicados en la Provincia de Corrientes, en la región noroeste de Argentina, y se extienden sobre más de 13,000 km². Más dell 70% de esta área está permanentemente inundada. Este ecosistema tan complejo, está formado por lagunas, arroyos y canales, circundado por pantanos en áreas de tierra firme y por fragmentos de florestas subtropicales. En la costa de la mayor parte de estas lagunas se encuentran los “embalsados”, islas flotantes formadas por material orgánico y vegetación acuática. Este ambiente ofrece un hábitat favorable para una rica comunidad biológica, gracias a los cambios de niveles de inundación de las costas de las lagunas y la zona húmeda de los alrededores; y también gracias a la coexistencia de tres fases distintas: (acuática, terrestre y de interfase). En la Laguna Iberá se encuentran algunos vertebrados de gran importancia desde el punto de vista de la conservación, como la Boa Curiyú (*Eunectes notaeus*), dos especies de Yacaré (*Caiman yacare* y *C. latirostris*), el Carpincho (*Hydrochaeris hydrochaeris*) y el Ciervo de los Pantanos (*Blastoceros dichotomus*).

¹ Dipartimento di Biologia, Università degli Studi "Roma Tre", Viale G. Marconi 446- 00146 Roma
Email: carpanet@uniroma3.it; gibertini@uniroma3.it

La laguna Iberá, lugar en el que se ha desarrollado esta investigación, es una de las mayores lagunas que se encuentran en el sistema. Su superficie es de 53 km² y su profundidad media corresponde a 3 metros, llegando a un máximo de 4 metros.

La finalidad de este trabajo ha sido la de investigar los aspectos eco-etológicos del biguá en la zona de estudio. Concretamente, el objetivo fundamental de la investigación ha sido el estudio de la dieta de esta especie, incluyendo sus cambios estacionales, y la distribución espacial del ave en la Laguna Iberá.

METODOLOGÍA

Observaciones eco-etológicas

En el periodo de desarrollo de esta investigación (desde Octubre 1999 hasta Enero 2000) se ha efectuado un monitoreo de la población de *Phalacrocorax olivaceus* en la Laguna Iberá. La primera etapa ha sido la identificación de la posición exacta de los dormideros. Por esta razón se ha dividido el perímetro de la laguna en tres secciones: la primera es la parte comprendida entre el puente Bayley y el extremo sur de la laguna; la segunda representada por la costa este; y finalmente la tercera, representada por la costa oeste, desde el extremo norte hasta el puente Bayley. Estas secciones han sido monitoreadas desde una lancha, al atardecer, cuando los biguaes volvían a sus dormideros para pasar la noche. Las localizaciones de los dormideros han sido registradas gracias al uso de un GPS.

Después de haber identificado la localización de todos los dormideros, se procedió a contar todos los individuos de biguaes que se posaban en las ramas. Para tener una estimación de la población en el área estudiada, se contaron los individuos de biguá al atardecer y al amanecer. Además se monitoreó - usando las secciones y el método explicado anteriormente -, el perímetro de la laguna para encontrar las zonas de pesca usadas por *olivaceus*. También en este caso todas las localizaciones han sido identificadas con un GPS.

Se observaron las técnicas y el *bout* de pesca (el tiempo de cada sesión de pesca de un individuo) del biguá, el tiempo de las inmersiones y el tiempo entre dos inmersiones. Estas observaciones han sido importantes para determinar el uso espacial de la laguna. Por eso se dividió el territorio en dos zonas: una de alimentación y otra de descanso. Esta última está representada por las perchas (árboles, arbustos u otras superficies en las cercanías de la costa) donde las aves se posan entre una sesión de pesca y la otra. A su vez esta zona está dividida en: “forests ripariales” y “costa”, según la posición de la percha, la zona de búsqueda de alimento está dividida en “aguas abiertas” y “vegetación acuática”.

Además se ha desarrollado un censo mensual a lo largo de una transecta lineal para determinar la tendencia anual de la densidad poblacional del biguá en la laguna. La transecta lineal se ha desarrollado en la costa oeste de la laguna, desde el puente Bayley hasta el extremo sur de la laguna (Canal del Miriñay). En el mes de Junio 2000 fue efectuado el mismo estudio, para observar el comportamiento en la estación invernal y para determinar posibles cambios en la dieta con la variación de las estaciones del año.

Alimentación

El estudio de alimentación se desarrolló en dos estaciones del año: verano (desde Octubre de

1999 hasta Enero de 2000) e invierno (Junio de 2000), para estudiar la dieta del *Phalacrocorax olivaceus* en la Laguna Iberá. Antes de realizar la investigación fueron analizados todos los posibles métodos de estudio usados hasta entonces por otros autores. Se eligió la metodología que utiliza la individualización y el reconocimiento de las partes óseas no digeridas de las presas del biguá, contenidas en las regurgitaciones (*pellets*). Si bien los biguaes son depredadores de peces, caracterizados por líquidos gástricos muy ácidos (pH 0.9), no son capaces de digerir totalmente todas los huesos de las presas. Esta es la razón por la cual expulsan una bola de mucus, el *pellet*, cada día. El *pellet* representa el alimento diario de cada individuo de *Phalacrocorax olivaceus*. Los huesos usados para la identificación de la especie de pez depredada, o *key bones*, tomados para las investigaciones de este género son: vértebras, mandíbulas, escamas, otolitos. Estos huesos son específicos de cada especie, y en consecuencia, permiten un alto nivel de precisión en la identificación.

Para proceder en la investigación se dividió el estudio de alimentación en tres fases. Debido a la falta de existencia de una colección de comparación de los elementos óseos de las especies ícticas de la laguna Iberá, la primera fase fue la recolección de individuos de las especies de peces presentes en la laguna, para poder extraer los huesos útiles para la identificación. De esta manera fue preparada una colección para identificar los huesos encontrados en los *pellets*. En la segunda etapa, se juntaron 511 muestras en los dormideros (409 en el verano y 102 durante el invierno), poniendo redes de media sombra debajo de las ramas de los mismos, para evitar que las regurgitaciones cayeran al agua, perdiendo información importante. Todos los *pellets* fueron elegidos según criterios de integridad y de frescura, medidos y finalmente clasificados según el dormidero de pertenencia y la fecha de recolección. En la tercera etapa, fueron determinados e identificados los huesos de reconocimiento en el Laboratorio de Anatomía Comparada (Dipartimento de Biología, Universidad “Roma Tre”, Roma).

Como se ha explicado anteriormente, el biguá expulsa una sola regurgitación por día, (esta característica ha sido evidenciada también en el desarrollo de esta investigación), en consecuencia, es posible determinar la cantidad de peces capturados por día por cada individuo, gracias al número de otolitos presentes en cada *pellet*. Cada pareja de otolitos representa un individuo depredado.

Las informaciones que se obtuvieron desde esta investigación han sido:

- abundancia: número de individuos capturados por día;
- recurrencia: porcentaje de ocurrencia de cada especie en el número total de *pellets* juntados;
- cantidad de alimento necesario por día: número de presas capturadas por día por cada individuo

RESULTADOS

Observaciones eco-etológicas

Todos los dormideros presentes en la laguna Iberá han sido individualizados y sus posiciones han sido registradas. Durante el verano han sido encontrados siete dormideros, mientras que hay sólo uno en el invierno. En la mayor parte de los casos observados, los árboles en los que se posan los biguaes son *Eucaliptus* sp. o *Nectandra* sp.

En el verano se contaron 205 individuos de *olivaceus* que se posaban en el dormitorio “Torpe”, (S 28° 32.463’ W 057° 10.526’), 180 en “Cayetano” (S 28° 32.378’ W 057° 10.807’), 60 en “Cayetano 2” (S 28° 32.328’ W 057° 10.832’), 180 en “Serena” (S 28° 33.296’ W 057° 11.590’), 300 en “Laurelt” (S 28° 27.619’ W 057° 07.539’), 100 en “Laurelt 2” (S 28° 28.425’ W 057° 08.699’), 10 en “Chico” (S 28° 28.138’ W 057° 08.254’), llegando a un total de 850 (algunos individuos se movieron desde “Serena” hacia “Laurelt”).

El único dormitorio presente en el invierno es “Punta Brava” (S 28° 28.900 W 057° 09.100’). En este sitio se pudieron contar hasta 170 individuos.

La diversidad que se ha notado en el número de presencias en las diferentes estaciones del año puede ser una consecuencia de los movimientos de los cormoranes desde la costa de la laguna hacia las zonas interiores de los *esteros* para el periodo de la reproducción, que, según corresponde en estas latitudes, se desarrolla desde Marzo hasta Julio.

Se pudo observar, a través de los datos que resultaron de la transecta lineal, que una de las costumbres de los biguaes es la de reunirse en zonas de pesca, también en los periodos del año en los que la densidad de población no es muy elevada. En el verano se observaron sesiones de pesca efectuadas por 150 individuos juntos, y, durante el invierno, se identificó una colonia formada por 160 individuos. No se ha encontrado ninguna publicación que recoja un estudio de grupos tan numerosos.

En cuanto al uso del territorio, observamos que durante el día, el 64.3% de los individuos se encontraba posado en los árboles de la zona de pesca, mientras que el 35.7% se encontraban pescando activamente en las áreas alimenticias. Entre los que se encontraban pescando, el 64.7% nadaba en el centro de la laguna, mientras que el 35.3% permanecía cerca de las orillas, en zonas con altas concentraciones de vegetación acuática. El tiempo que los biguaes ocupan para un *bout* de pesca oscila entre 14 y 35 minutos. Cada inmersión tiene una duración desde 3 hasta 78 segundos (con una media de 23 segundos). El tiempo entre una inmersión y la otra (tiempo de superficie) es siempre muy corto y varía desde 1 hasta 6 segundos, con una media de 4 segundos.

Alimentación

El biguá se alimenta principalmente de peces, aunque una pequeña parte de su dieta está representada por partes vegetales de distintos orígenes (4.5%), y por insectos (3%), como se ha podido observar a través del contenido de los *pellets* analizados durante el desarrollo de esta investigación. Estos porcentajes tan bajos, teniendo en cuenta también los resultados de otros estudios (Beltzer, 1980), hacen suponer que la ingestión de las partes vegetales y las de insectos no son voluntarias, sino accidentales, probablemente debidas a la ingestión previa por parte de las presas de los biguaes, es decir que estas partes se encontrarían en el estómago de los peces capturados.

Usando el método de la análisis del contenido de los *pellets*, se identificaron 16 diferentes especies de peces capturados. La familia *Cichlidae* resulta la categoría más representada, dentro de la cual las especies capturadas más frecuentemente son: *Gymnogeophagus balzanii* (23.86%), *Cichlasoma portalegrense* (12.86%), *Crenicichla lepidota* (19.57%). Otra especie de interés para la dieta del Cormorán Neotropical es *Pachyurus bonariensis* (7.57%) que pertenece a la familia

Sciaenidae. La comparación entre los resultados derivados de las diferentes estaciones, muestran una composición parecida del espectro de las especies, a excepción de *bonariensis*. La abundancia de *Pachyurus bonariensis* era 14.4% en el periodo estivo, y 35.2% en el periodo invernal, y su ocurrencia era 11.7% en el verano y 38.4% en el invierno. En los meses de Octubre hasta Febrero, la especie mayormente capturada ha sido *balzani*, mientras que en el invierno *bonariensis* ocupaba la clase más importante. Estas diferencias estacionales probablemente dependen de la ecología de las especies ícticas, dado que los periodos de reproducción se desarrollan durante la primavera y el verano. Durante estos meses, para *olivaceus* se hace más difícil capturar el *bonariensis*. Las especies *Serrasalmus spilopleura* and *Trachelyopterus galeatus* son dos de las más comunes de la laguna Iberá, pero no son capturadas muy frecuentemente (1.5% y 6.2% respectivamente).

Junto con la diferencia en la frecuencia de capturas de las presas, también el número de presas capturados por día varía con respecto a las estaciones en análisis. En el verano se encontraron 3 peces por día, mientras que en invierno sólo se contó 1 pez por día. De cualquier modo, la máxima ingestión encontrada correspondió a 14 individuos capturados por un biguá, en el verano, y 7 presas en el invierno. La sustracción total efectuada por el *olivaceus* en la Laguna Iberá corresponde a 2400 individuos de peces en el verano, y de 320 en el invierno. Es necesario considerar que en esta laguna viven cerca de 200-300 kg/ha de peces, así que el impacto causado por el biguá no debe considerarse dañino para las poblaciones de las especies ícticas de la laguna.

Además es importante citar que algunos restos alimentarios, aún no digeridos, han sido recogidos debajo de los dormideros. Estos restos eran siempre partes enteras de peces, desde la parte del cuello hasta la cola (la cabeza no se ha encontrado nunca). Entre las especies identificadas, *Hoplias malabaricus* presentaba un mayor porcentaje de capturas (61,9%). Es un pez con costumbres crepusculares y es activo especialmente en las horas que preceden el atardecer. Probablemente el gran peso de este pez, con respecto a su dimensión, causa la ruptura del cuerpo. Generalmente los cormoranes no tienen la costumbre de posarse en el suelo para recoger la presa, y por esa razón los restos son dejados en el piso.

Manejo

El biguá en la laguna Iberá no representa un peligro para la densidad de población de los peces presentes. Cualquier forma de persecución sería injusta y no sería respaldada por ningún dato científico. No se sugiere ningún tipo de gestión especial, sólo un censo regular, cada cinco años, para poder controlar el posible crecimiento o la posible disminución de la abundancia de la población de *olivaceus*.

9. INVESTIGACIÓN ECOLÓGICA SOBRE EL LOBITO DE RÍO (*Lontra longicaudis*) EN LA LAGUNA IBERÁ

Università Degli Studi Roma Tre

Integrantes¹: Michela Gori, Giuseppe M. Carpaneto
y Paola Ottino.

OBJETIVOS

La finalidad de esta investigación fue estudiar algunos aspectos eco-etológicos del Lobito de Río en la zona de los Esteros del Iberá. En modo particular, esta investigación se ha centrado en el estudio de la alimentación, incluyendo sus cambios estacionales, y en la distribución espacial de esta especie en la zona de la laguna Iberá.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para estudiar la distribución espacial del Lobito de Río, se controlaron regularmente doce sitios, con la finalidad de encontrar algunos indicios de su presencia (*spraints*, huellas, secreciones anales, heces, restos alimenticios, rampas y otros). Estos sitios se localizan en el perímetro de la laguna, y representan todos los tipos de hábitat que se encuentran en las costas. Alcanzar las orillas a veces resultó difícil a causa de la presencia de macizos "embalsados", lo cual influyó en la selección de los sitios de muestreo. Los indicios encontrados han sido correlacionados con las siguientes variables ambientales, para evaluar el grado en el que éstas influyen en la presencia de la especie: tipo de orillas, tipos de vegetación, cobertura vegetal, disponibilidad de cuevas, presencia de *rolling sites*.

Para estudiar y determinar la alimentación del Lobito de Río en la laguna Iberá, han sido recogidos y analizados 205 *spraints* (76 en el verano, 129 en el invierno). Solamente las partes duras de las presas son expulsadas con los excrementos, éstas mismas son usadas para identificar el taxa de pertenencia, gracias a la interpretación de varios restos alimenticios (otolitos, huesos de distintos tipos, plumas y otros). Los restos de peces han sido identificados comparando las vértebras, las escamas, los otolitos y las mandíbulas encontradas en los *spraints* con una colección de comparación, preparada con huesos de peces de la misma laguna. En primer lugar, todos los restos alimenticios han sido clasificados en una de las siguientes clases: peces, anfibios, reptiles, aves, mamíferos, crustáceos, moluscos, insectos y material vegetal. En segundo lugar, los peces han sido examinados con mayor atención, hasta llegar al nivel de especies o de géneros. Para poder comparar los datos provenientes de

¹ Dipartimento di Biologia, Università degli Studi "Roma Tre", Viale G. Marconi 446- 00146 Roma Email: carpanet@uniroma3.it

las dos estaciones examinadas (verano e invierno), éstos han sido procesados de manera separada. El porcentaje de ocurrencia ha sido calculado con la siguiente formula:

$$o_i = \frac{n_i}{\sum n_i} \times 100$$

RESULTADOS

Distribución espacial

Se ha notado que el número de rastros del Lobito de Río tiene una correlación positiva con el substrato sólido (la mayor concentración de indicios se localizaron en la tierra firme, como también en viejos y grandes embalsados), y con una vegetación bien estructurada, que pueda asegurar un alto número de refugios, ya sea en los arbustos, entre las raíces de los árboles o en las costas. No existe ninguna relación entre los *rolling sites* y la densidad de vegetación. En realidad, la densidad de vegetación se refería a menudo a zonas con alta cobertura de hierbas, que no ofrece ningún tipo de refugio ni tampoco ningún *basking sites*, o sea sitios que los lobitos usan para quedarse fuera del agua, en los que descansan o comen.

En el verano, la cantidad de rastros de los lobitos disminuyó, hasta desaparecer en algunos sitios. La gente local dice que durante el verano los lobitos se mueven desde las costas de la laguna hacia el interior de los esteros y esta sería la prueba de este dicho popular. Durante el verano se nota un aumento en el comportamiento agresivo de las pirañas (*Serrasalmus spilopleura*) que podría explicar el cambio en la distribución espacial de los Lobitos de Río. Se debería controlar la validez de esta hipótesis con datos experimentales.

Alimentación

El Lobito de Río se alimenta mayormente de peces (57.26 %), sin embargo también los crustáceos, (12.54%) y los moluscos (6%) son parte importante de su alimentación. El porcentaje de los insectos (9,4%) y del material vegetal (8,3%) encontrado probablemente resulta ser mayor al realmente ingerido, porque éstos podrían pertenecer a los estómagos de los peces capturados y comidos. En modo contrario, el porcentaje de los moluscos, ha sido subestimado porque sólo los restos de los caracoles acuáticos (Gastropoda) se pueden encontrar en los *spraints*, mientras que los almejas de agua dulce (Pelecypoda) no dejan ningún resto en cuanto los lobitos comen el cuerpo de estos animales y abandonan las conchas. Los anfibios, reptiles, aves y mamíferos son elementos de poca importancia en su alimentación, probablemente a causa de la competencia trófica que ocurre con los carnívoros terrestres que habitan las zonas alrededor de la laguna Iberá.

Entre los peces, la familia que forma el elemento más importante en la dieta del lobito es la Cichlidae (21%) e incluye las presas que ocurren con más frecuencia, como *Gymnogeophagus balzanii*, *Cichlasoma portalegreense*, *Crenicichla lepidota*, *C. vittata*. Otras especies importantes y comunes en su alimentación pertenecen a la familia Characidae (muchos géneros y especies que llegan hasta el 14.2% del total). Siguen en importancia, las familias Synbranchidae, Loricariidae, y Erythrinidae (respectivamente con el 10.5%, 9.5%, y el 8.4%), en gran parte formadas por especies bentónicas, como el *Symbranchus marmoratus*, *Loricariichthys* spp. y *Hoplias malabaricus*. En general los lobitos prefieren capturar peces lentos y de dimensiones medias.

Se ha observado una diferencia entre la composición de la dieta en el verano y en el invierno. En el verano la cantidad de crustáceos y de vertebrados, además de los peces, aumenta respectivamente +5.8% y +4%. Los moluscos, al revés, disminuyen, pasando de un porcentaje de 7.2 en el invierno a uno de 4.2 en el verano. Se notó también una variación en la cantidad y en las especies de peces capturados: en el verano se ha encontrado un mayor porcentaje de especies bentónicas, por ejemplo: *Trachelyopterus galeatus* (verano: 11%; invierno: 4.2%), familia Callichthyidae (verano: 11%; invierno: 5.9%), *Rhamdia sapo* (verano: 5.5%; invierno: 4.5%). Al contrario, en los meses invernales, las especies capturadas con más frecuencia son las pelágicas y bentopelágicas. Algunos ejemplos son: *Pachyurus bonariensis* (verano: 0.5%; invierno: 7.9%), *Leporinus* sp (verano: 0.0%; invierno: 3.1%).

CONCLUSIÓN

El Lobito de Río se alimenta mayormente de peces, siendo los crustáceos y los moluscos también parte importante de su alimentación. Se observan diferencias notables en la composición de la dieta en verano y en invierno. La causa de estos cambios en la composición de la dieta se podría explicar con el diferente uso del hábitat del Lobito de Río a lo largo del año, que pasa desde la costa de la laguna (en el invierno), hacia zonas más internas (en el verano).

10. MODELO DE DINÁMICA POBLACIONAL DE CARPINCHOS (*Hydrochaeris hydrochaeris*) INCLUYENDO COSECHA

Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires

Integrantes: Paula Federico¹ y Graciela Canziani².
Colaboradores: Fernando Milano y Aníbal Aubone.

OBJETIVOS

Con el objeto de analizar la dinámica poblacional de Carpinchos se construyó un modelo matemático simple. Se eligió la estructura de un modelo matricial que describe en forma simplificada el ciclo de vida de los Carpinchos y permite simular alternativas de cosecha.

METODOLOGÍA

Los carpinchos pertenecen a la Clase Mammalia, Orden Rodentia, Familia Hydrochoeridae, Especie *Hydrochaeris hydrochaeris*. El carpincho es la especie de roedor de mayor tamaño en el mundo, con un peso promedio de 50 Kg. Estos roedores gigantes son herbívoros. Se alimentan principalmente de vegetación que crece en o cerca del agua y de plantas acuáticas (ver informe sobre Estudios de Fauna). Realizan la asimilación de nutrientes de sus alimentación por medio de una eficiente digestión que involucra una masticación prolongada y fermentación estomacal.

El carpincho se reproduce durante todo el año, pero lo hace con mayor frecuencia al inicio de la época de lluvias más intensas. La gestación requiere de 147 días (Alho, 1989), y la hembra produce generalmente una camada de crías por año, aunque puede llegar a tener dos en ambientes muy favorables (Ojasti, 1991). La camada promedio es de cuatro crías. Las hembras dan a luz en tierra firme y las crías son destetadas en aproximadamente 16 semanas. Todas las hembras ayudan a cuidar y alimentar a las crías. La madurez sexual se alcanza a los 18 meses aproximadamente, con 30 a 40 Kg de peso según la calidad del hábitat y la dieta (Ojasti, 1991). La cópula ocurre dentro del agua, con un mínimo de 40 cm de profundidad. La esperanza de vida es de unos 10 años.

En muchas ocasiones, es esencial reconocer los distintos roles que juegan individuos de diferentes edades o estadios en la población. Los modelos matriciales proveen un vínculo entre la población y los diferentes individuos que la componen, teniendo en cuenta el ciclo

¹ Grupo de Ecología Matemática, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Campus Paraje Arroyo Seco, (7000) Tandil, Argentina.

Email: pfederi@exa.unicen.edu.ar

² canziani@exa.unicen.edu.ar

de vida de éstos. Algunas diferencias entre estadios que deben tenerse en cuenta son:

- La depredación es importante en las crías recién nacidas
- La fertilidad de la hembra cambia con la edad
- La inmunidad cambia con la edad
- La caza/cosecha de un tamaño o edad puede ser más conveniente que otro.

Otros hechos que se han tenido en cuenta son:

- Es apropiado considerar homogeneidad dentro de cada clase debido a la abundancia generalizada de la especie.
- La organización social no parece afectar las tasas de reproducción o de supervivencia
- Este tipo de modelo facilita la inclusión de variaciones estacionales
- El modelo permite la incorporación de diversas estrategias de cosecha.

El modelo construido es discreto en el tiempo con paso temporal estacional o trimestral, es decir cuatro pasos en un año, y cinco clases o estadios de diferente duración. El modelo lleva cuenta de la población femenina solamente.

Estructura de la población

Se decidió dividir la población según la edad de los individuos, variable continua, en 5 clases. Los individuos en cada clase contribuyen a las demás en la siguiente forma.

Clase I: esta clase contiene los individuos recién nacidos y de hasta 3 meses de edad. Estos individuos están sujetos a una alta mortalidad debido a predadores naturales y enfermedades. Utilizando la relación lineal entre edad y peso propuesta por Ojasti (1973), el peso de estos individuos está en el rango de 2.26 kg. a 7.21 kg.

Clase II: esta clase contiene los individuos de 3 a 18 meses de edad. Estos carpinchos son lo suficientemente grandes como para evitar ser comidos por sus predadores naturales, lo cual disminuye su tasa de mortalidad respecto de la clase I. El peso estimado de estos individuos se encuentra entre 7.21kg. y 31.96kg. (Ojasti, 1973). Un carpincho que sobrevive un paso de tiempo (3 meses) puede permanecer en esta clase o pasar a la siguiente si cumple 18 meses.

Clase III: esta clase contiene los individuos de 18 a 36 meses (3 años) de edad. Estos individuos han alcanzado su madurez sexual, con lo cual contribuyen con sus crías a la Clase I. Un carpincho que sobrevive un paso de tiempo (3 meses) puede permanecer en esta clase o pasar a la siguiente si cumple 3 años.

Clase IV: esta clase contiene los individuos de 36 a 60 meses (5 años) de edad. Estos individuos están en su mejor período de fertilidad, con lo cual su contribución a la Clase I es máxima. Un carpincho que sobrevive un paso de tiempo (3 meses) puede permanecer en esta clase o pasar a la siguiente si cumple 5 años.

Clase V: esta clase contiene los individuos de 60 a 120 meses (10 años) de edad. Estos individuos contribuyen a la Clase I pero es posible que esta contribución sea menor que la de los

individuos de la Clase IV. Un carpincho que sobrevive un paso de tiempo (3 meses) puede permanecer en esta clase o morir.

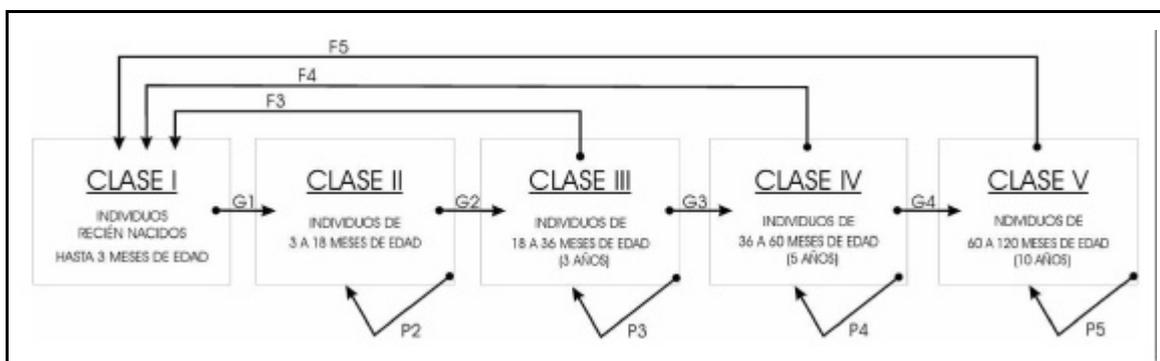


Figura 1: Grafo que representa el ciclo de vida del Carpincho, dividido en cinco clases.

Formulación del Modelo

Este modelo estructurado fue formulado como un modelo matricial discreto en el cual los elementos de la matriz de transición representan las contribuciones entre las clases establecidas en el ciclo de vida, según puede apreciarse en la Figura 1. El paso de tiempo o intervalo de proyección es $\Delta t=3$ meses. Las probabilidades de sobrevivir un Δt y permanecer en la clase i están dadas por los elementos P_i de la matriz, los coeficientes G_i representan la probabilidad de crecer de la clase i a la clase $i+1$ y los coeficientes F_i representan la contribución de la clase i a la clase 1. De esta manera se tiene el número de individuos n_i de cada clase i , $i=1, \dots, 5$.

$$\begin{aligned} n_1(t+1) &= F_3 \cdot n_3(t) + F_4 \cdot n_4(t) + F_5 \cdot n_5(t) \\ n_2(t+1) &= G_1 \cdot n_1(t) + P_2 \cdot n_2(t) \\ n_3(t+1) &= G_2 \cdot n_2(t) + P_3 \cdot n_3(t) \\ n_4(t+1) &= G_3 \cdot n_3(t) + P_4 \cdot n_4(t) \\ n_5(t+1) &= G_4 \cdot n_4(t) + P_5 \cdot n_5(t) \end{aligned}$$

o bien, en forma matricial:

$$\begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \\ n_4 \\ n_5 \end{bmatrix}_{t+\Delta t} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & F_3 & F_4 & F_5 \\ G_1 & P_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & G_2 & P_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & G_3 & P_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & G_4 & P_5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \\ n_4 \\ n_5 \end{bmatrix}_t$$

Esto puede resumirse en la expresión siguiente si llamamos N_{t+1} al vector distribución de población en cada una de las clases y A a la matriz de transición del tiempo t al $t+1$:

$$N_{t+1} = AN_t$$

Ajuste de los parámetros

La información de campo sobre dinámica poblacional es escasa. Esta información disponible no permite estimar parámetros de supervivencia y crecimiento y encontrar su correlación con factores ambientales que pueden ser importantes para la dinámica de la población. Por ello, en este modelo inicial fue necesario realizar ciertas suposiciones y usar un método simple para estimar los coeficientes de la matriz de transición. Se utilizó un método iterativo propuesto por Caswell (1989) para clases o estadios de duración constante. Este método propone un valor inicial del autovalor dominante λ de la matriz y calcula sus elementos. Luego, se calcula el autovalor λ de la matriz obtenida y se estiman los coeficientes de la matriz nuevamente a partir del nuevo autovalor. Este proceso es iterado hasta obtener valores satisfactorios para la matriz de transición. A partir de la matriz de transición no sólo se obtiene la proyección de la población a través del tiempo, sino que también se obtienen la tasa de crecimiento (dado por el autovalor dominante de la matriz), la distribución o estructura de edades estable y el valor reproductivo asociado a cada clase. Se simuló la dinámica poblacional para diferentes valores de los parámetros dentro de rangos aceptables y se observó que los resultados presentan un patrón común de comportamiento.

Caza o cosecha de carpinchos

Luego se examinaron los posibles efectos de caza sobre la población. En Argentina, los carpinchos son principalmente cazados por sus cueros. El cuero de carpincho es de muy buena calidad y adecuado para la confección de guantes, cinturones, zapatos, bolsos y otros artículos varios. El cuero es altamente valuado en Europa para la confección de camperas y sacos. Adicionalmente, cantidades limitadas de carne salada son frecuentemente comercializadas en pequeños pueblos de la región. Las únicas explotaciones a gran escala de carne de carpincho tienen lugar en Venezuela y en los Llanos de Colombia (Ojasti, 1991). A su vez la grasa de la piel es usada en la elaboración de ungüentos de uso farmacéutico. En Argentina existe un interés real en la comercialización de la carne y cuero de carpincho a mayor escala. Actualmente, el INTA Delta esta desarrollando estudios relacionados con la cría en cautiverio y la posterior comercialización de la carne.

Considerando que un escenario de cosecha o caza sería de gran interés para la región de Iberá, incluimos cosecha en el modelo poblacional. El escenario de cosecha es fácilmente incluido en el modelo determinando la proporción de individuos extraídos de cada clase durante un intervalo de tiempo de la siguiente manera:

$$N_{t+1} = AN_t - \underbrace{H(AN_t)}_{\substack{\text{Término de} \\ \text{cosecha}}}$$

RESULTADOS

Modificando el paso de tiempo, la formulación permite contemplar la cosecha durante distintas épocas del año. Se simularon diferentes estrategias de cosecha, incluyendo cosecha durante todos los trimestres del año, o durante 2 o 3 trimestres y a su vez modificando su patrón de explotación e intensidad respecto de las distintas clases de edades.

Una estrategia de cosecha es considerada sustentable cuando el autovalor dominante de la matriz de transición es mayor o igual que 1. La población se encuentra en equilibrio si el

autovalor dominante λ es igual a 1, pero la incertidumbre en la estimación de los parámetros y posibles eventos estocásticos aumentan el riesgo de que la estrategia conduzca involuntariamente a la población a valores bajos no deseados. Ha sido probado (Kokko y Ebenhard *et al*, 1996) que eventos estocásticos aumentan el riesgo de disminución de la población y reducen la seguridad del nivel de cosecha previamente estipulado. Consecuentemente, el modelo debe ser aplicado cuidadosamente y más estudios de campo sobre las poblaciones de carpinchos de la región de Iberá deben ser llevados a cabo para contar con una mejor estimación de los parámetros del mismo.

En una población estructurada, la extracción de individuos de distintas clases tiene diferentes efectos en al tasa de crecimiento y produce diferentes cantidades de lo que se esté cosechando (Caswell, 2001). Por lo tanto es deseable seleccionar una estrategia de cosecha que sea sustentable y a su vez permita maximizar la producción. En este modelo, hay varias opciones para la elección de la estrategia de cosecha que a su vez involucran diferentes variables por lo tanto el problema general de maximización no puede ser resuelto analíticamente.

En las Tablas 1 y 2 se muestran los resultados de diferentes estrategias de cosecha, en este caso cosecha continua a lo largo del año y cosecha sólo durante una estación, sobre distintas clases etarias de la población. Así es posible comparar los beneficios relativos de una u otra elección, siempre bajo la restricción de sustentabilidad. Se observa que para probabilidades de supervivencia específicas diferentes (vector σ dado), los resultados varían notablemente.

Esto refleja la importancia de los factores ambientales en la dinámica de la población. En cuanto al programa de simulación que puede ser utilizado como herramienta de manejo, una vez que la estrategia de cosecha es seleccionada, la sustentabilidad de la misma es especificada como variable de salida. El programa asume que el patrón de explotación es fijado por los intereses del mercado (por ejemplo extracción de individuos jóvenes por la ternera de su carne) por lo tanto el usuario no desea modificarlo. Entonces, el programa sugiere como modificar la intensidad de la explotación a fin de obtener una estrategia sustentable.

Comparación de Estrategias Población en equilibrio (N_0 = población inicial total)					
$\sigma = (0.65, 0.9, 0.9, 0.9, 0.85)$	Caza continua		Caza sólo en una estación		Diferencia (%)
	Patrón de Captura	Intensidad ($\lambda = 1$)	Producción (individuos por año)	Intensidad ($\lambda = 1$)	
(0, 1, 0, 0, 0) – Clase II	0.19	0.324. N_0	0.624	0.375. N_0	15.62%
(0, 0, 1, 0, 0) – Clase III	0.169	0.133. N_0	0.561	0.137 N_0	2.77%
(0, 0, 0, 1, 0) – Clase IV (0, 0, 0, 0, 1) – Clase V	En este caso para ambas estrategias el autovalor λ dominante es mayor que 1, con lo cual la población crece para cualquier intensidad de caza.				
(0, ½, ½, 0, 0) – Clases II y III	0.165	0.156. N_0 (Clase II)	0.591	0.166. N_0 (Clase II)	6.41%
		0.069. N_0 (Clase III)		0.076. N_0 (Clase III)	10.42%
(0, 0, ½, ½, 0) – Clases III y IV	0.126	0.099. N_0 (Clase II)	0.756	0.101. N_0 (Clase II)	1.56%
		0.034. N_0 (Clase III)		0.036. N_0 (Clase III)	5.95%

Tabla 1

Comparación de Estrategias Población en equilibrio (N_0 = población inicial total)					
$\sigma = (0.6, 0.87, 0.87, 0.87, 0.8)$	Caza continua		Caza sólo en una estación		
Patrón de Captura	Intensidad ($\lambda = 1$)	Producción (individuos por año)	Intensidad ($\lambda = 1$)	Producción (individuos por año)	Diferencia %
(0, 1, 0, 0, 0) – Clase II	0.064	0.111. n_0	0.237	0.117. n_0	7.76%
(0, 0, 1, 0, 0) – Clase III	0.056	0.049. n_0	0.212	0.049. n_0	0.00%
(0, 0, 0, 1, 0) – Clase IV	0.163	0.05. n_0	0.541	0.05. n_0	0.00%
(0, 0, 0, 0, 1) – Clase V	En este caso el autovalor λ dominante es mayor que 1, con lo cual la población crece para cualquier intensidad de caza				
(0, ½, ½, 0, 0) – Clases II y III	0.058	0.0526. n_0 (Clase II)	0.22	0.0538. n_0 (Clase II)	2.12%
		0.026. n_0 (Clase III)		0.0265. n_0 (Clase III)	3.41%
(0, 0, ½, ½, 0) – Clases III y IV	0.076	0.034. n_0 (Clase II)	0.289	0.034. n_0 (Clase II)	0.00%
		0.0142. n_0 (Clase III)		0.036. n_0 (Clase III)	2.23%

Tabla 2

CONCLUSIÓN

El estudio realizado provee la comprensión de los efectos de las distintas probabilidades de supervivencia y crecimiento asociadas a cada clase, revelando las fortalezas y debilidades del ciclo de vida de la especie. Los resultados señalan a la Clase II, hembras de 3 a 18 meses de edad, como la que debería recibir mayores cuidados y atención. A su vez la Clase III, hembras de 19 a 36 meses, es importante debido a su alto valor reproductivo. Estas conclusiones son de utilidad en el diseño de políticas de manejo de la especie. Los diferentes resultados dependiendo de la estrategia de cosecha elegida sugieren la utilidad de este tipo de modelos como herramientas de manejo. El diseño de una buena política de extracción permitiría la explotación sustentable de carpinchos como un recurso con importantes beneficios para la región de Iberá.

REFERENCIAS

- Caswell, H. 1989. *Matrix Population Models*. Sinauer Associates, Inc. Publishers. Sunderland, Massachusetts USA.
- Caswell, H. 2001. *Matrix Population Models 2nd Edition*. Sinauer Associates, Inc. Publishers. Sunderland, Massachusetts USA.
- Kokko, H. and Ebenhard, T. 1996. *Measuring the strength of the demographic stochasticity*. Journal of Theoretical Biology 183: 169-178.

Ojasti, J. 1973. *Estudio Biológico del Chigüire o Capibara*. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Venezuela.

Ojasti, J. 1991. *Human exploitation of Capybara*. In: Neotropical wildlife use and conservation. John G. Robinson and Kent H. Redford eds. 1991. The University of Chicago Press. 520 pgs.

11. MODELO DE DINÁMICA POBLACIONAL DE YACARÉS (*Caiman crocodilus yacare*) INCLUYENDO COSECHA

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Integrantes: Jacques Aveline Loureiro da Silva¹,
Manuela Longoni de Castro
y Dagoberto Adriano Rizzotto Justo

OBJETIVOS

El *Caiman crocodilus yacare* es una de las especies clave, comercialmente valiosa, de los Esteros del Iberá, lo que justifica la importancia de hacer un modelo matemático para el manejo de la especie en el contexto de este proyecto. El objetivo de este trabajo es analizar la posible influencia humana en la dinámica poblacional del *C.c. yacare* del Iberá.

La primera parte de este trabajo fue dedicada a reunir información sobre el *C.c. yacare* y a usar esta información para desarrollar un modelo matemático que describa la evolución del mismo. El objetivo final fue crear un programa de simulación, destinado a un administrador del recurso, usando el modelo matemático para examinar las posibles estrategias de manejo del cocodrilo, tales como la cosecha y la recolección de huevos

ACTIVIDADES Y METODOLOGÍA

Se construyó un modelo estructurado por edades. Se tuvo en consideración en el modelo la influencia de la temperatura en la determinación del sexo de los cocodrilos y la relación de la temperatura con la ubicación de los nidos. Se analizó la dependencia de la tasa de supervivencia respecto de la profundidad del agua del estero. La supervivencia está compuesta además por una variedad de funciones de mortalidad específicas, como las debidas a la depredación y al canibalismo. La cohorte de una nidada fue modelada como dependiente de la densidad poblacional y de la profundidad del agua. Dado que no fue posible contar con datos sobre estos factores para la especie *C.c. yacare*, se decidió ajustar los datos de la tasa de supervivencia del Lagarto Americano a la especie *C.c. yacare*.

La falta de datos, y el corto tiempo de investigación en la región de Iberá para la recolección de los mismos, ha restringido el uso del modelo al monitoreo de la conducta dinámica y al análisis cualitativo del impacto de las estrategias de manejo, como la cosecha y la recolección de huevos.

Se trabajó en conjunto con T. Waller (ver informe sobre Estudios de Fauna, USAL) quien sugirió la incorporación de las variables de nivel del agua y de temperatura como parámetros del

¹ Postgraduação em Matemática Aplicada, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Bento Gonçalves 9500-91509 - 900 Porto Alegre, Brasil. Email: jaqx@mat.ufrgs.br

modelo y colaboró con los escenarios simulados, comprobando el rendimiento del uso del programa de simulación como una herramienta para analizar la influencia de las estrategias de manejo en las dinámicas de población del *C.c. yacaré*, objetivo principal de este trabajo.

El Modelo Matemático

Un factor determinante a tener en cuenta en el modelo es que el sexo de los caimanes está determinado por la temperatura del nido durante el período de incubación. La misma depende de la ubicación de los nidos respecto del agua. Si la temperatura es inferior a un determinado valor umbral, las crías son todas hembras. A temperaturas mayores, nacen principalmente machos (Woodward y Murray, 1993; Campos, 1993). Considerado este importante rasgo de la especie, se desarrolló un modelo no lineal estructurado en edades para analizar la dinámica de la población basada en los datos claves del ciclo de vida de los individuos de la especie.

Un estudio realizado en el Pantanal, Brasil (Campos, 1993) sobre muestreo de huevos de *Caimán crocodilus yacare* recolectados de nidos con diferentes temperaturas iniciales y posteriormente incubados en el laboratorio a 30°C, concluye que el período crítico para la determinación del sexo se extiende hasta los 40 días. En dicho experimento, los nidos de menos de 40 días de incubación llevados al laboratorio produjeron sólo hembras, aún si su temperatura inicial era superior a 31.5°C, pero nidos con temperatura inicial alta y de más de 40 días produjeron principalmente machos. Simultáneamente, se observaron nidos en zonas boscosas y en matas de pasto flotantes. Los nidos en zonas boscosas, cuya temperatura fue estimada en menos de 30.5° C produjeron 100% hembras. Entre 30.5° C y 31.5° C los nidos del bosque produjeron cerca de un 10% de machos y a temperaturas mayores de 31.5° C produjeron de un 80% a un 100% de machos.

Los nidos en las matas de pasto flotantes con temperatura estimada en menos de 30.5° C produjeron un 100% de hembras, a temperaturas entre 30.5° C y 31.5° C produjeron cerca de un 15% de machos y a temperaturas cercanas a los 31.5° C produjeron cerca de un 50% de machos.

Basado en estos datos, se ha clasificado el área de estudio para determinar el sexo de las crías en tres categorías: A, ambientes donde la temperatura es menor a 30°C, B, ambientes con temperaturas entre 30° C y 31.5° C y C, ambientes con temperaturas superiores 31.5° C. La vegetación y el nivel de agua determinan si una cierta área es parte de los ambientes A, B ó C. La hipótesis de trabajo fue que de los nidos depositados en zonas de tipo A nacen un 100% de hembras, mientras que en los nidos depositados en las de tipo C, nacen un 100% de machos. De los huevos depositados en las zonas de tipo B se espera que nazca un 40% de machos. Durante el período del proyecto, se realizó un seguimiento de la temperatura de algunos nidos en Iberá, pero no han podido ajustarse con certeza dichos porcentajes. El modelo permite cambiar fácilmente estos porcentajes para ajustarlos a las condiciones del Iberá.

Siguiendo el estudio realizado por Campos en el Pantanal y los trabajos de campo realizados en el Iberá, se hizo corresponder al ambiente A con los embalsados, al ambiente B con tierra firme cercana a las lagunas y al ambiente C con los bordes del sistema, donde los nidos son secos y calientes. En el marco del actual proyecto, no ha sido posible confirmar la correcta elec-

ción de tal clasificación, como así tampoco la cuantificación de densidades en cada una, siendo necesarios más tiempo de estudios y más recursos para concretarla. El desconocimiento de la cantidad de nidos que pueda soportar cada ambiente y el porcentaje de machos y hembras en cada uno, impidió ajustar la proporción de sexos.

Los cocodrilos son muy territoriales y tienden a anidar en lugares muy similares año tras año, excepto cuando la densidad de individuos en el área es muy alta. El porcentaje de hembras que logran construir nidos depende del número de hembras maduras que estén dispuestas para poner huevos y del número de lugares disponibles para anidar. Se ha observado (Waller) que de acuerdo al incremento de densidad de la población, los nidos están comenzando a aparecer en las regiones más secas del Iberá, lo que es una evidencia de que este abordaje es satisfactorio. En particular, el número limitado de lugares para anidar en el humedal evitará que surja una población totalmente de hembras, aunque los lagartos y cocodrilos hembras tienden a buscar un ambiente de temperatura lo más aproximado posible a la de su propia incubación y por lo tanto, el ambiente preferido de las hembras es siempre el embalsado.

Tasa de supervivencia y su dependencia con el nivel de agua

Las distintas funciones de probabilidad para anidación y supervivencia son fuertemente dependientes de la profundidad de agua. Hasta el momento, no hay ningún dato disponible sobre la profundidad de agua en sitios de interés de los esteros del Iberá, excepto la serie de valores registrados en laguna Iberá, y sobre los efectos de la misma en las poblaciones de *Caiman crocodilus yacare*. Para superar esta dificultad se adaptaron los datos del *Alligator mississippiensis* a una población de *Caiman crocodilus yacare*. Las funciones utilizadas se adaptaron del trabajo de Nichols *et al.*, y en este trabajo se definió que un nivel de agua de 0 cm significa un nivel de agua normal y un nivel de agua de -61 cm significa una sequía severa. Para simplificar, se utilizó la misma suposición proponiendo una función dependiente de la profundidad de agua. Además, se creó una función dependiente del nivel de agua para cada uno de los siguientes factores

- Esfuerzo de anidado
- Supervivencia de los huevos
- Depredación de los nidos
- Supervivencia de los recién nacidos
- Canibalismo
- Depredación y desecamiento de juveniles y adultos

Usando el modelo resultante y considerado los factores ambientales del humedal en estudio, se analizaron varias estrategias de uso del recurso (cosecha), para utilizar la población del yacaré para beneficio económico local. Las estrategias de manejo escogidas se basaron en aquéllas que demostraron ser más exitosas en otros países de Sudamérica e incluso en otros países del mundo.

Recolección de huevos

Se considera que sólo la utilización comercial de los cocodrilos a partir de un rendimiento sustentable (sustained-yield), motivará su conservación (Blake y Loveridge, 1975; Blomberg *et al.*, 1982; Bustard, 1970). En este sentido, la recolección de los huevos parece ser socialmente más aceptable que la caza tradicional como método de aprovechamiento de los cocodrilos.

La recolección de los huevos, seguida de la incubación y la crianza en cautiverio, es la base para el método principal de cosecha de cocodrilos en Zimbabwe (Blake y Loveridge, 1975). Los cocodrilos así criados se mantienen durante tres años, período después del cual la mayoría se sacrifica y se cuerea. Una proporción de los animales no son sacrificados (representan un 5% del número de huevos recolectados) y son liberados para mantener la cantidad de ejemplares de reproducción. Se estima que este porcentaje compensa adecuadamente a la población por el suministro natural perdido. Puede esperarse que casi un 80% de los huevos recolectados nazcan y aproximadamente un 50% de los recién nacidos alcanzaría los tres años de edad. En estado salvaje, la supervivencia hasta esa edad es mucho menor.

Dada la alta mortalidad de las crías en estado salvaje, la recolección de los huevos y la cría en cautiverio permite una productividad mayor. Además los individuos de tres años de edad en un criadero logran un tamaño casi dos veces mayor que en estado salvaje. Si están bien alimentados, puede esperarse que los cocodrilos liberados a esta edad tengan un mayor índice de supervivencia. Pero es extremadamente necesario realizar un estudio completo de cuán adecuadamente alimentados están los animales en un criadero.

Aunque la crianza en cautiverio parece ser una forma exitosa de manejo, es difícil analizar sus efectos en la población, ya que una alimentación diferente puede cambiar dramáticamente los índices de supervivencia de los animales, para mejor o para peor, dependiendo del cuidado en la crianza (condiciones de nutrición y alojamiento).

Blake y Loveridge (1975) sugirieron que no más de 1500 huevos se recolecten por criadero anualmente en Zimbabwe. No se dispone de datos sobre la recolección de nidos de caimán, aunque se tiene conocimiento de la existencia de establecimientos de este tipo en Argentina. Para comprobar los efectos de la recolección de huevos, se ha agregado una opción al modelo. El usuario puede escoger el porcentaje de huevos recolectado y el porcentaje de cocodrilos que se liberarán al estado salvaje. Dado que el modelo supone que el sexo de los caimanes es determinado por la temperatura de incubación, luego el establecimiento de crianza tiene la posibilidad de elegir el sexo de los animales que serán liberados. Así, el usuario del modelo puede escoger qué porcentaje de los animales que se liberarán serán hembras.

Cosecha

Uno de los principales objetivos de este estudio es investigar los efectos de la mortalidad por caza de las poblaciones silvestres de *C.c.yacare*. Por esta razón, el modelo incluyó una tasa de cosecha opcional que podría aplicarse a la población en Septiembre de cada año. Definimos el tamaño mínimo del cocodrilo a cazar. Nuestro modelo estructura a la población en clases según edad, por lo que fue necesario realizar una relación entre la

edad y el tamaño de los cocodrilos. Hemos obtenido esta relación del trabajo de Rebélo *et al.* que expresa la edad en función del tamaño SVL (snout-vent length) es decir de la longitud hocico-cola.

En la versión completa del programa, cuando la opción cosechar es seleccionada, el usuario puede elegir si se permitirá cazar un porcentaje de la población o un número limitado de cocodrilos. En ambos casos sólo los animales de tamaño mayor que el mínimo señalado podrán ser removidos. De este modo, se calcula la edad aproximada del macho más joven y la edad aproximada de la hembra más joven que tienen este tamaño mínimo. Luego se restan los individuos según su clasificación por edad-sexo de acuerdo con su proporción en el total de los yacarés mayores a ese tamaño mínimo.

RESULTADOS

En la Figura 1 se encuentra la ventana del menú principal con la configuración inicial. Algunas de las opciones fueron incluidas sólo para verificar los efectos y confirmar la operabilidad del programa, pero no tienen sentido biológico.

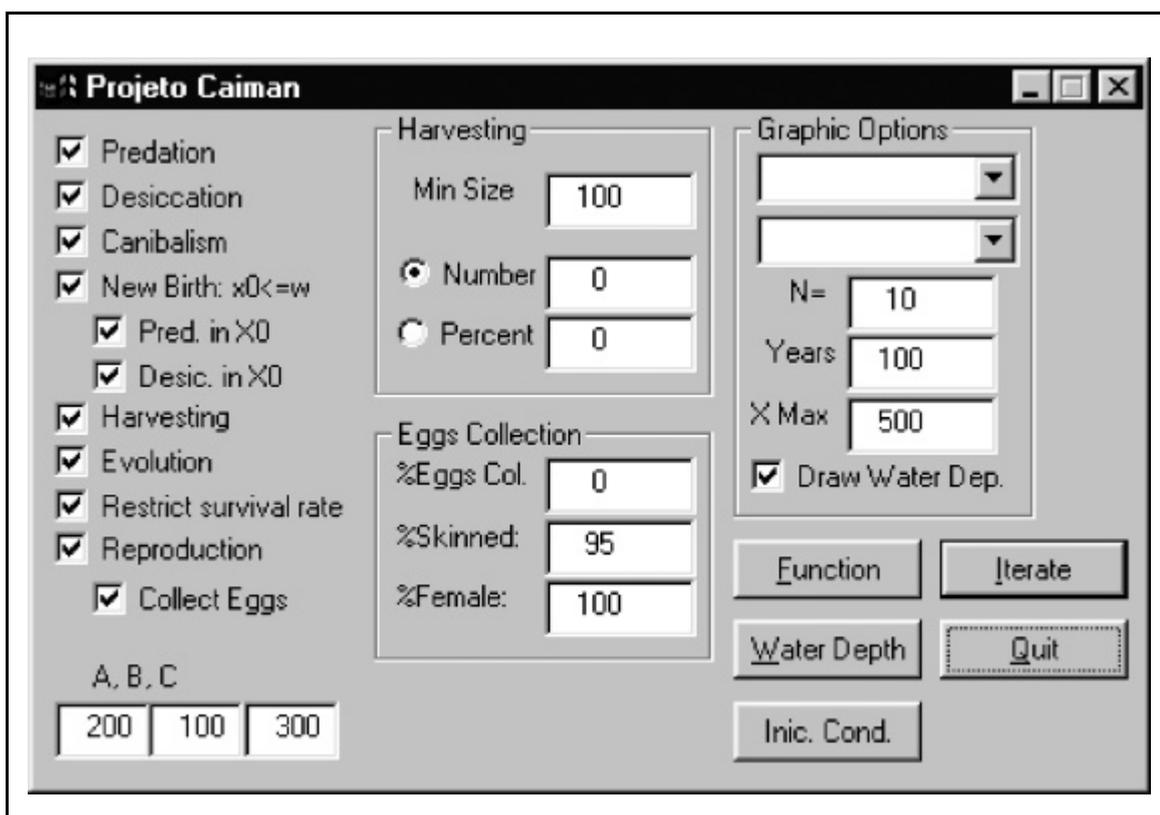


Figura 1 – Menú principal del programa de simulación

Los casilleros son utilizados para habilitar/inhabilitar las opciones. La siguiente tabla describe la función de cada casillero.

Casillero	Función
Depredación	Habilitar/Inhabilitar la mortalidad por depredación en jóvenes y adultos.
Deseccación	Habilitar/Inhabilitar la mortalidad por desecación en jóvenes y adultos.
Canibalismo	Habilitar/Inhabilitar la mortalidad por canibalismo.
Nuevos Nacimientos	Habilitar/Inhabilitar nacimientos. Cuando inhabilitada los huevos no harán eclosión.
Depred. en X_0	Habilitar/Inhabilitar la mortalidad por depredación en el nacimiento.
Dsec. in X_0	Habilitar/Inhabilitar mortalidad por desecación en los nacimientos.
Cosecha	Habilitar/Inhabilitar la cosecha.
Evolución	Habilitar/Inhabilitar la evolución. Cuando inhabilitada, los cocodrilos no envejecen.
Tasa de supervivencia restringida	Impone una supervivencia dependiente de la edad $p(i)$ (Figura 9). Cuando inhabilitada, $p(i)=1$.
Reproducción	Habilitar/Inhabilitar la reproducción. Cuando inhabilitada, las hembras no ponen huevos.
Recolección de huevos	Habilitar/Inhabilitar la recolección de huevos.
A,B,C	Número de lugares de anidación disponibles en la región (A), (B) y (C).
Condición Inicial	Permite usar los vectores de población resultantes de la última iteración como distribución inicial de la próxima simulación
Profundidad de agua	Abre el menú de profundidad de agua que proporciona las opciones para usar las profundidades de agua aleatorias, las funciones de profundidad de agua que se obtuvieron en el primer año del proyecto y otras funciones de profundidades de agua periódicamente definidas, con o sin el ruido aleatorio.
Recuadro de Opciones de Cosecha	
Tam. Mínimo	El tamaño mínimo permitido para la caza en cm.
Proporción en número	El número de cocodrilos que será cazado
Proporción en porcentaje	El porcentaje de cocodrilos que serán cazados
Recuadro de Opciones para la Recolección de Huevos	
% Recolección de huevos	El porcentaje de huevos que serán recolectados
% Cuereados	El porcentaje de sobrevivientes de tres años que serán sacrificados y cuereados.
% de hembras	El porcentaje de cocodrilos liberados que serán hembra

Tabla 1

El programa de demostración de simulación fue diseñado para facilitar el uso del programa, proporcionando una mejor interfase y más interactividad con el usuario. En el programa de demostración, muchas opciones fueron prefijadas. Los detalles se mencionan más abajo.

Profundidad del agua

El usuario puede escoger de 3 generadores predefinidos de niveles de agua:

Constante: genera una profundidad de agua normal constante igual a cero;

Periódico: genera una profundidad de agua periódica, entre -20 y 30. Alcanzando los valores -20 y 30 cada 4 años durante el invierno y el verano respectivamente.

Al azar: genera valores aleatorios entre -20 y 30.

Es de destacar que dentro de estos valores la mortalidad por desecamiento no tiene lugar.

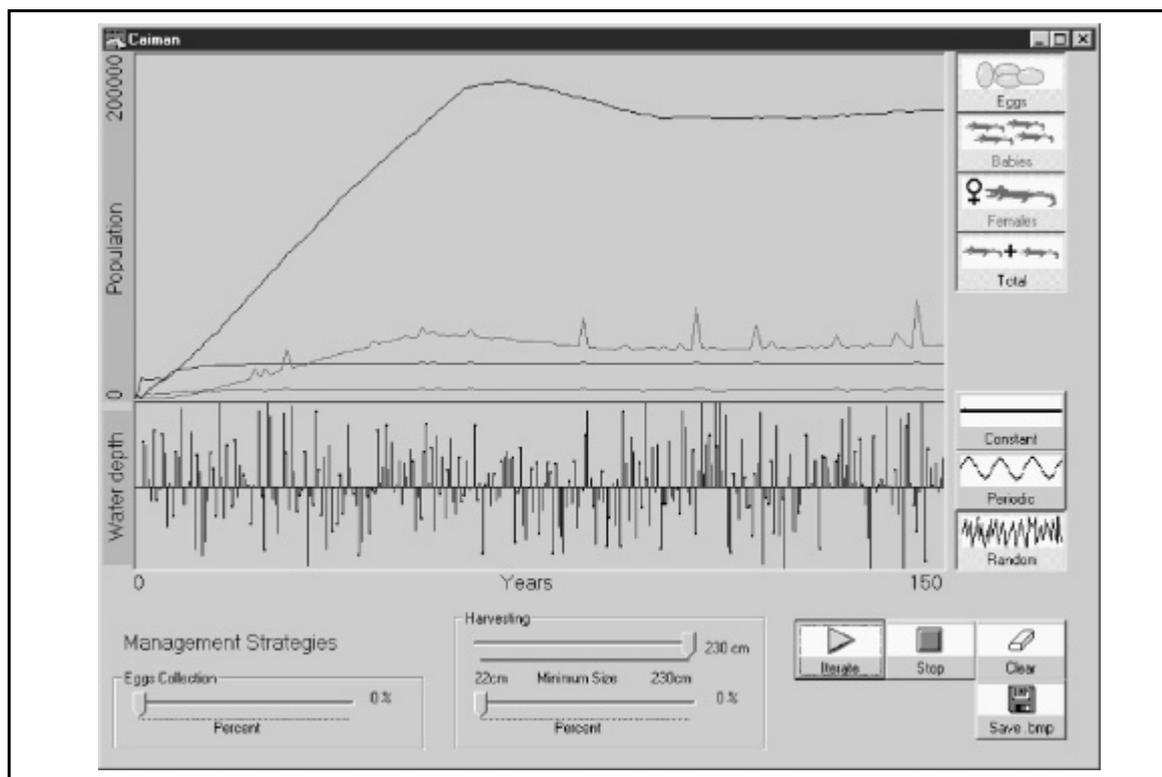


Figura 2 - La ventana del programa demo de simulación

Número de sitios para anidar

Se establecen valores fijos constantes: $A=500$, $B=200$ y $C=100$.

Cosecha

Sólo la opción “**Porcentaje**” está disponible. El usuario puede hacer correr las barras “**Porcentaje**” y “**Tamaño mínimo**” para escoger un porcentaje y un tamaño mínimo para la subrutina de cosecha. Estos valores pueden cambiarse en cualquier momento durante una simulación. Esto proporciona una visualización inmediata del efecto de cosecha.

La recolección de los huevos

El usuario puede hacer correr la barra “**Recolección de los huevos**” para escoger el porcentaje de huevos a ser recolectado, pero el porcentaje de animales que se devuelven a su estado salvaje se fijó en 30%.

Las opciones gráficas

El usuario puede visualizar la simulación de la respuesta de los huevos, los juveniles (cocodrilos de menos de 1 año de edad), las hembras anidando, y la población total, todo junto o separadamente.

CONCLUSIÓN

Juzgar un trabajo de modelado ecológico es una tarea muy ardua, ya que todos los resultados dependen de estimaciones de datos reales que generalmente son imposibles de ser realizadas o demasiado costosas. Calibrar un modelo como el que se ha presentado para proporcionar resultados más exactos puede tomar varios años. Sin embargo, dado que se están analizando principalmente los efectos de las estrategias de manejo en la dinámica de población del caimán (que habla sobre la posibilidad de su extinción), el modelo resulta de utilidad concreta.

Se presentan aquí algunas simulaciones hechas usando este modelo, con algunos datos supuestos. Aunque los resultados numéricos pueden no ser aquellos que corresponden al caso real, el comportamiento dinámico mostrado en las simulaciones es razonable. En las Figuras 3 y 4 mostramos la simulación de 150 años, con una profundidad de agua normal fija y una población inicial de 1790 caimanes que son el resultado del último censo de yacarés en el Iberá. En esta simulación hemos aplicado **“Cosechar”** utilizando distintos valores para tamaños mínimos (el tamaño más pequeño del animal a cosechar) y porcentajes de cosecha. En la Figura 3, presentamos también una simulación sin aplicar ninguna estrategia de manejo con el propósito de comparación. Podemos observar que, sin cosechar, la población crece exponencialmente hasta que tienen lugar los efectos del canibalismo y hacen que se establezca en un nivel de equilibrio. El aumento en el porcentaje de cosecha o en los tamaños mínimos hace decrecer el nivel de equilibrio de la población. Aún cuando se realice una cosecha de un 10 % de los animales más grandes de 180 cm (qué sólo afectaría a unas pocas hembras, más grandes que lo normal), esto reduce el nivel de equilibrio de la población en un 50%.

Tanto como la cosecha, la pérdida de hábitat también puede disminuir dramáticamente el nivel de equilibrio de la población. Esto se muestra en las Figuras 5-6, donde las simulaciones de pérdidas porcentuales graduales hipotéticas del hábitat fueron de un 20% y un 50%. Y su impacto en los huevos producidos, las eclosiones (hatchings), las hembras y el total de las poblaciones quedan reflejadas. Tales pérdidas del hábitat podrían causarse, por ejemplo, por el intenso turismo en la región o una variación importante en el nivel de agua. Si tal pérdida del hábitat se combina con la cosecha, los números son aún peores.

Por otro lado, el manejo de la recolección de huevos, bajo la hipótesis utilizada aquí, presenta resultados muy buenos. En otras corridas de simulación del modelo, se estudió la respuesta simulada para diferentes porcentajes de recolección de huevos, devolviendo un 20 % de los animales criados en cautiverio al estado salvaje. Exigiendo que todos los animales liberados sean hembras, se tiene que, a pesar de que puede disminuir la población total (disminuyendo el número de eclosiones) el manejo en la recolección de huevos tiende a aumentar el número de hembras a largo plazo. Además, el manejo en la recolección de huevos podría usarse para “suavizar” el efecto de una estrategia de cosecha. Sin embargo, el manejo de la recolección de huevos no puede minimizar los efectos de una pérdida del hábitat, ya que esta pérdida hace decrecer el número de los huevos.

En estas simulaciones, se ha considerado el caso determinístico en el que el nivel de agua es constante y a niveles normales. Agregando variabilidad al nivel de agua, podemos ver cuán peligroso puede ser si, por la explotación intensiva, la población alcanza valores bajos y el balance hídrico se vuelve desfavorable para el crecimiento demográfico. Se simuló la respuesta de la población a una profundidad de agua aleatoria, y se ha notado la disminución en la población

debido a años consecutivos de bajo nivel de agua, incluso sin la aplicación de cualquier estrategia de manejo. Tal disminución probablemente se acentuaría si se consideran los valores A, B, C dependientes del nivel de agua, lo cual es una hipótesis muy razonable y debería ser incluida en futuros modelos.

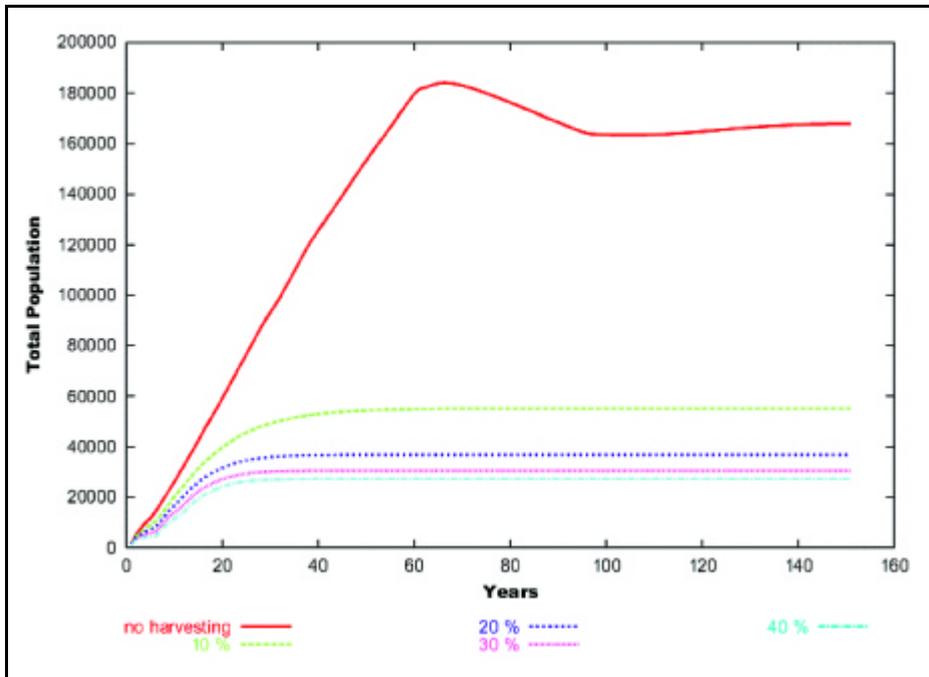


Figura 3. Respuesta simulada de la población a la cosecha con varios tamaños mínimos y 10% de cosecha.

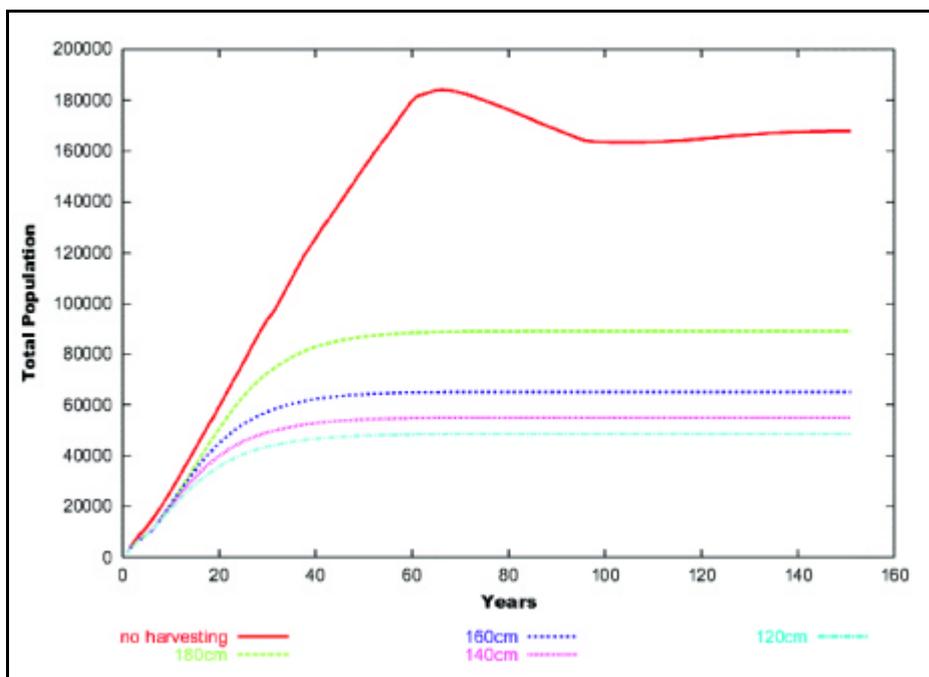


Figura 4. Respuesta simulada de la población a la cosecha sin porcentajes, sólo permitiendo la caza de animales de más de 140cm de longitud

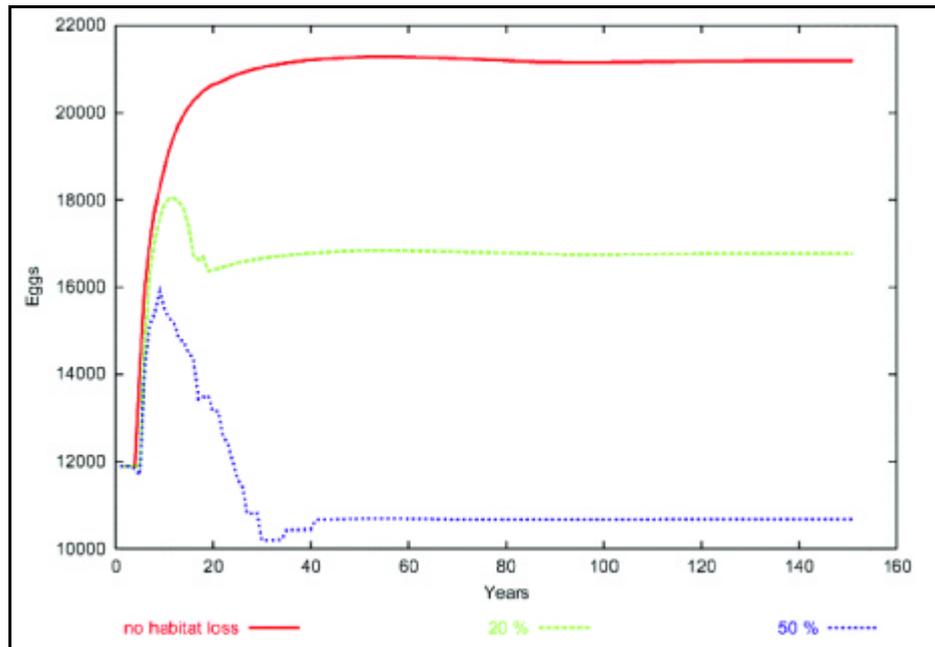


Figura 5 - Respuesta simulada de la producción de huevos con diferentes porcentajes de pérdida del hábitat.

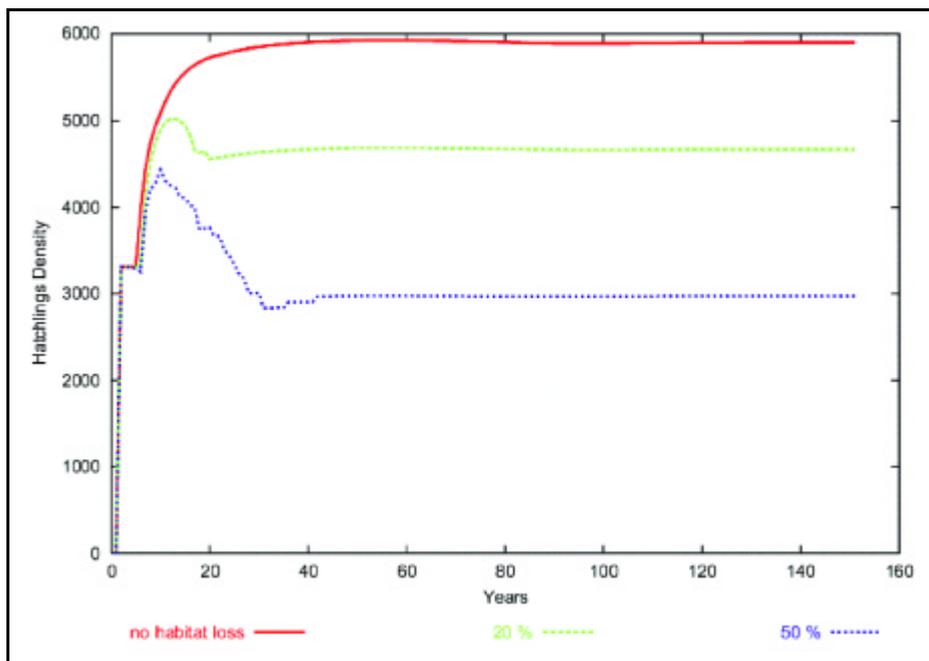


Figura 6 - Respuesta simulada de la población de recién nacidos con diferentes porcentajes de pérdida del hábitat.

Colaboraciones

El trabajo en el proyecto permitió beneficios tanto educativos como de investigación y ha aportado al desarrollo de dos tesis de Maestrado, una en Matemática (Manuela de Castro) y otra en Ciencias de la Computación (Dagoberto Justo). Se realizaron intensos intercambios científicos con los investigadores de UNICEN y de UNICAMP, que sin duda se reforzarán en el futuro.

12. MODELOS METAPOBLACIONALES ESPACIALMENTE EXPLÍCITOS

Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires

Integrantes: Diego Ruiz Moreno¹, Graciela Canziani y Paula Federico

RESUMEN

Uno de los objetivos del proyecto INCO-DC “*The Sustainable Management of Wetland Resources in Mercosur*” (Comisión Europea, Proyecto ERBIC18CT980262, fue la creación de herramientas computacionales innovadoras para asistir a tomadores de decisión respecto del monitoreo ambiental y el manejo sustentable de los recursos naturales en humedales permitiendo la conservación de los mismos. Para tal fin, fueron desarrollados diversos modelos matemáticos que reflejen con cierto grado de confianza el comportamiento de la Naturaleza de la región.

Debido a la naturaleza del sitio de estudio, la estrategia para el desarrollo de modelos capaces de capturar la dinámica de las especies carismáticas presentes, fue la de ampliar los trabajos sobre metapoblaciones con la capacidad de tratar la componente espacial en forma explícita (Caswell y Cohen, 1991; Barradas *et al*, 1996). Para ello, un Modelo Espacialmente Explícito dentro del marco de Autómatas Celulares fue desarrollado en etapas sucesivas incorporando en forma gradual la complejidad del ecosistema en cuestión (Balzter *et al*, 1998; Caswell y Etter, 1999; Alonso, 2000).

LOS MODELOS

El Modelo Metapoblacional Analítico

Se describe brevemente el Modelo Metapoblacional Analítico (MMA) sobre el cual se basa este trabajo que fue desarrollado y analizado analíticamente a fin de establecer las condiciones de existencia de estados de equilibrio y su estabilidad (Barradas y Canziani, 1997; Federico y Canziani, 2000).

El modelo considera un ecosistema ocupado por una especie dividido en un número infinito de parches idénticos, cada uno de los cuales puede estar ocupado (estado 1) o desocupado (estado 0) por una subpoblación de la misma. Se define el Estado Global del Sistema (EGS) como un vector $y(t) \in \mathfrak{R}^2$, cuyas coordenadas $y_0(t)$, $y_1(t)$ representan la proporción de parches ocupados en estado 0 y 1 respectivamente en el instante t . Dado que sólo existen dos estados posibles se tiene la siguiente condición.

$$y_0(t) + y_1(t) = 1 \quad \forall t \quad [\text{EC-1}]$$

¹ Grupo de Ecología Matemática, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Campus Paraje Arroyo Seco, (7000) Tandil, Argentina. Email: druiz@exa.unicen.edu.ar, canziani@exa.unicen.edu.ar, pfederi@exa.unicen.edu.ar

que nos permite registrar sólo una de las dos, por ejemplo tomando como variable de estado a $y(t) = y_1(t)$.

Se consideraron dos procesos que alteran el EGS: la **Colonización** y la **Persistencia**. El proceso de **colonización** consiste en la ocupación de parches vacíos de acuerdo a una diseminación aleatoria de los individuos de la especie descrita, obedeciendo a una distribución de Poisson. Así la probabilidad de que un parche sea colonizado está dada por:

$$C(y) = 1 - e^{-(d \cdot y)} \quad [EC-2]$$

donde el coeficiente d representa el coeficiente de distribución de la especie. La colonización en un instante dado depende del número de parches ocupados en el instante anterior e independiente del estado de los parches vecinos.

El proceso de **persistencia** consiste en la continuidad del estado de ocupación de un parche, que se considera constante con probabilidad 1. Así la probabilidad de que un parche ocupado en un instante continúe ocupado está dada por:

$$S(y) = 1 \quad [EC-3]$$

Esta probabilidad se debe a que se supone que una población en un sitio adecuado, con recursos suficientes, persistirá mientras no se produzca ninguna perturbación que afecte a la población o a los recursos. Para representar esas situaciones se modelaron en forma separada las perturbaciones.

Ambos procesos pueden sufrir una **perturbación**. Las perturbaciones que afectan al proceso de colonización ocurren con probabilidad $f(y)$ y aquellas que afectan al proceso de persistencia ocurren con probabilidad $g(y)$. Estas perturbaciones son la herramienta adecuada para representar diferentes tipos de fenómenos, tales como incendios, competiciones íter o intra específicas, y factores ambientales, entre otros, pudiendo ser cada uno densodependiente o no. La dinámica del sistema queda descrita por una cadena no lineal de Markov, cuya matriz de transición $A_{y(t)}$ depende explícitamente de $y(t)$, la proporción de parches del ecosistema que se encuentran ocupados en el tiempo t . Se tiene entonces un sistema no lineal de la forma:

$$y(t+1) = A_{y(t)} \cdot y(t) \quad [EC-4]$$

donde

$$A_{y(t)} = \begin{bmatrix} 1 - (1 - e^{-(d \cdot y)}) \cdot (1 - f(y)) & g(y) \\ (1 - e^{-(d \cdot y)}) \cdot (1 - f(y)) & 1 - g(y) \end{bmatrix}$$

Las formas generales de las funciones que definen el comportamiento de las perturbaciones hacen que este sencillo sistema presente un comportamiento complejo. Para poder abordar tales complejidades es necesario definir las funciones de probabilidad $f(y)$ y $g(y)$, lógicamente respetando lo que ellas representan. Recordemos que ambas funciones representan las perturbaciones que afectan a los procesos de colonización y persistencia, respectivamente.

Bajo esas hipótesis del modelo, en Barradas y Cohen (1994) las perturbaciones fueron consideradas constantes. En Barradas y Canziani (1997) se consideró $f(y)$ constante y $g(y)$ no constante, es decir, se le asignaron a $g(y)$ distintas funciones de probabilidad densodependientes. En

Federico y Canziani (2000) se estudió la situación simétrica, es decir, la probabilidad de perturbación densodependiente en la colonización y constante en el proceso de persistencia. En todos los trabajos fueron encontrados diferentes estados de equilibrio según las condiciones planteadas y en particular en algunos casos de densodependencia se detectaron soluciones periódicas y hasta caóticas.

El Modelo de Autómata Celular (MAC)

El Modelo de Autómata Celular presenta una funcionalidad básica a fin de poder establecer una correspondencia con los resultados obtenidos a través de los modelos analíticos. Así este modelo considera las mismas hipótesis y procesos que aquellos.

El MMA supone un paisaje dividido en un número infinito de parches, lo cual no es trasladable al AC dado que la cantidad de parches o celdas debe ser finita. Así se define el paisaje bajo estudio como una matriz cuadrada de celdas. En el modelo básico se respeta la hipótesis hecha sobre el proceso de colonización: *los nuevos individuos se distribuyen aleatoriamente en el ecosistema siguiendo una distribución de Poisson*. Traducido al MAC esto significa que cada celda es vecina de todas las celdas de la matriz, sin importar su situación de cercanía espacial. Al no existir un efecto real del espacio sobre la dinámica de la especie las perturbaciones son Globales, es decir dependen de la presencia de la especie en todo el paisaje.

Toda esta funcionalidad básica fue programada y se ejecutaron, estadísticamente, suficientes simulaciones a fin de verificar el comportamiento del simulador. Los modelos MMA y MAC reflejan comportamientos similares, desde el punto de vista numérico, y los estados de equilibrio logrados se corresponden (lográndose estados de equilibrio estables triviales, no triviales y cíclicos). La ventaja del MAC respecto de MMA, es que ofrece la posibilidad de visualizar la ocupación espacial que se va produciendo.

El Modelo de Autómata Celular Extendido con Vecindades (MACV)

Uno de los fenómenos observados en la dinámica del MAC es que desde un parche cualquiera se puede colonizar otro parche cualquiera sin importar la distancia, ya sea geométrica o física. Es decir, todas las celdas ejercen su influencia cuando se está determinando si se establece una nueva población local o si se produce una extinción local. Este fenómeno no es usual en la naturaleza, sino que en general existe una restricción física de dispersión de la especie.

Para lograr incorporar estas restricciones se define lo que llamaremos *Vecindad*. En este nuevo modelo, el proceso de **colonización** y ambos procesos de **perturbación** dependerán sólo del estado de las celdas dentro de la vecindad considerada, en lugar de depender del estado de todas las celdas del ecosistema. Así estos procesos pasan a ser **Locales** en lugar de **Globales**.

Se incorpora además la necesidad de definir el comportamiento del modelo sobre los bordes del paisaje bajo estudio. Para ello se utilizó la definición “vecinos absorbentes” ya que es la más adecuada para definir esta frontera. Otra característica que surge de la incorporación de la vecindad al modelo es la posibilidad de caracterizar las condiciones de distribución espacial inicial de la especie.

Uno de los resultados generales más importantes observados es el de un agrupamiento de la especie en “islas” durante los primeros pasos de la simulación, para luego evolucionar hasta la

ocupación más homogénea del paisaje, en aquellos casos en donde el sistema tiende a un estado de equilibrio estable no trivial (Figura 1). Este comportamiento es muy frecuente en la naturaleza, donde las especies se agrupan primero hasta consolidarse en zonas desde las cuales intentan luego colonizar el espacio disponible. Este fenómeno se manifiesta incluso en casos en los que la especie está condenada a la extinción. Por medio de estos islotes la especie permanece en el paisaje por más tiempo debido a que su relativa alta densidad en algunas zonas permite una mayor resistencia en esos sitios y su vecindad inmediata.

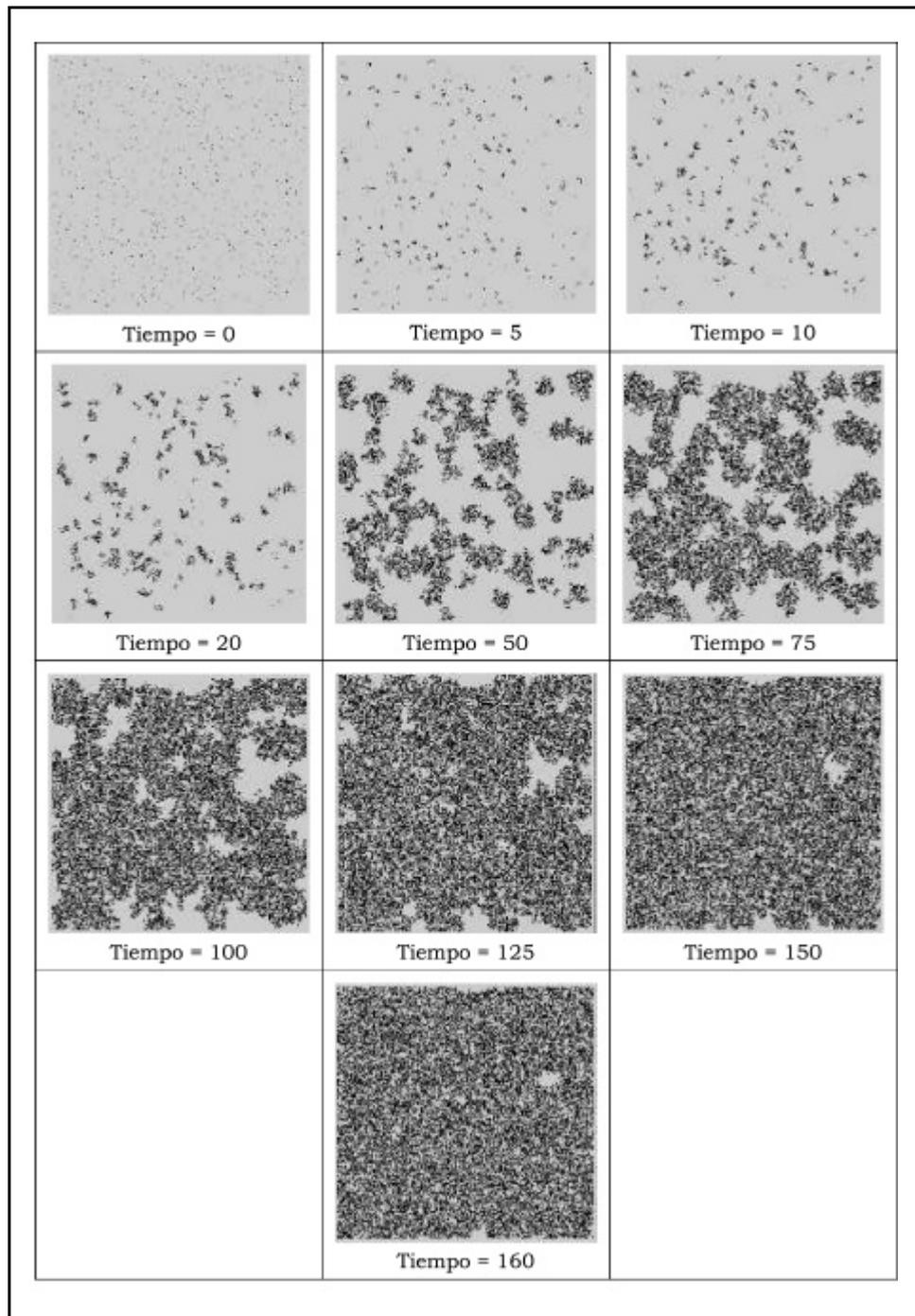


Figura 1: Secuencia de Imágenes de la Evolución de la Distribución Espacial de una corrida del MACV

Una de las ventajas incorporadas es la definición funcional de la vecindad y de su influencia sobre la dinámica poblacional, en forma conjunta con la afectación debido a su distribución espacial inicial. Esto es de particular importancia a la hora de trabajar en reimplantación de especies en territorios en los cuales ya no se encuentra, ya que se debe decidir la distribución espacial que sea de mayor conveniencia para asegurar la evolución favorable de la especie en su *nuevo* territorio.

El Modelo de Autómata Celular Extendido con Vecindades y Calidad de Hábitat (MACVH)

Los modelos presentados hasta aquí consideraban los parches o celdas idénticos, sin embargo, cuando observamos un paisaje, rara vez encontramos un ambiente homogéneo (parches idénticos), que permita a una especie colonizar o persistir en cualquier sitio, sin que estos sitios difieran entre sí, aunque sea en condiciones mínimas. No cabe duda alguna que la estructura del paisaje ejercerá su influencia sobre la dinámica de la especie. Se plantea así la necesidad de introducir dentro del modelo esta heterogeneidad que presentan los ambientes naturales. De esta forma las diferentes condiciones medioambientales de cada parche pueden alterar localmente el comportamiento de la especie en cuestión.

La dinámica de la población en el modelo previo estaba controlada por las funciones de **Colonización** y **Persistencia** con sus respectivas **perturbaciones**. La introducción de heterogeneidad espacial conllevó a la definición de un **Índice de Calidad del Hábitat**, que ejerce su influencia sobre las posibilidades de realizar una colonización o una persistencia efectivas. La evaluación de la calidad de hábitat está basada en la filosofía de las herramientas **HEP** (NERC, 1987). **HEP** está basado en conceptos que tienen firmes raíces en los principios ecológicos básicos, los cuales incluyen la hipótesis que a nivel de especies, el valor del hábitat puede ser descrito por un conjunto de variables que son de importancia para la especie y que son además medibles con relativa facilidad.

Un aspecto a considerar es que la calidad del hábitat puede ser buena sólo para la colonización pero no para la persistencia, o viceversa. Los ambientes selváticos presentan un valor de calidad de hábitat que incrementa la capacidad de persistencia de las plantas, sin embargo debido a la alta densidad son regiones en donde la colonización no es una tarea fácil, teniendo valor de calidad de hábitat que no incrementa la capacidad de colonización. Es por ello, que se permite la posibilidad de trabajar con valores de calidad de hábitat diferentes para la capacidad de colonización y para la capacidad de persistencia.

Resumiendo, el Modelo de Autómata Celular extendido con Vecindades y Calidad de Hábitat (MACVH) queda determinado entonces por, las funciones de Colonización y Persistencia correspondientes al MACV, y las perturbaciones en la Colonización y en la Persistencia se ven alteradas con la introducción de factores correspondientes de Calidad de Hábitat.

Debido a la definición de la Calidad de Hábitat se incorpora, como parte de la condición inicial del MACVH, la cantidad y distribución espacial de la calidad de hábitat. Para esta primera etapa de estudio de situaciones teóricas se decidió trabajar con las siguientes situaciones:

- **Una Calidad Única:** Toda el área del Autómata Celular tiene la misma calidad, que puede tener diferentes valores para la capacidad de colonización y de persistencia, respectivamente. El

objetivo de esta elección es observar cómo la calidad de hábitat puede afectar la dinámica de la especie y los estados de equilibrio presentados por las diversas situaciones.

- **Dos Calidades:** Se permite, también, modelar situaciones con dos calidades que permiten una evaluación sencilla de cómo afectan la dinámica de la especie la presencia de dos áreas (interfase) con valores diferentes de calidad de hábitat (Figura 2).

La incorporación de la calidad del terreno permite enriquecer el tratamiento de la componente espacial correspondiente a la estructura del paisaje de forma explícita. Así, con el MACVH se logra destacar la importancia de la distribución espacial de áreas que favorecen a la especie en la dinámica poblacional,

manteniendo la influencia de las condiciones espaciales iniciales de la proporción de ocupación, principalmente en los tiempos transcurridos hasta lograr el o los estados de equilibrio. Se puede observar que como era de esperar, una especie presenta diferentes estados de equilibrio en hábitats con distinta calidad. Además es posible ver como un hábitat con muy buena calidad sirve como base desde la cual la especie intenta colonizar otro con mala calidad.

La relación compleja que se detecta entre la Calidad del Hábitat y la dinámica de ocupación de la especie (que en algunos casos resulta contraintuitiva), podría ser consecuencia de la diferente magnitud relativa del impacto de la calidad sobre la configuración de la dinámica local, y del de ésta sobre el equilibrio de ocupación. Esta observación abre las puertas a un trabajo futuro para analizar con profundidad la naturaleza y calidad de estas interacciones.

Este tipo de modelos nos permite desarrollar experiencia a la hora de evaluar situaciones en el manejo de especies, donde se debe tener en cuenta la Calidad del Hábitat, para tener una mejor aproximación a la realidad y poder definir las preguntas que deben plantearse.

La existencia de diferentes calidades de hábitat para una determinada especie es algo conocido por los ecólogos. El uso de un modelo del tipo MACVH nos permite estudiar las diferentes densidades alcanzadas por la especie en diferentes terrenos, y debido a la presencia

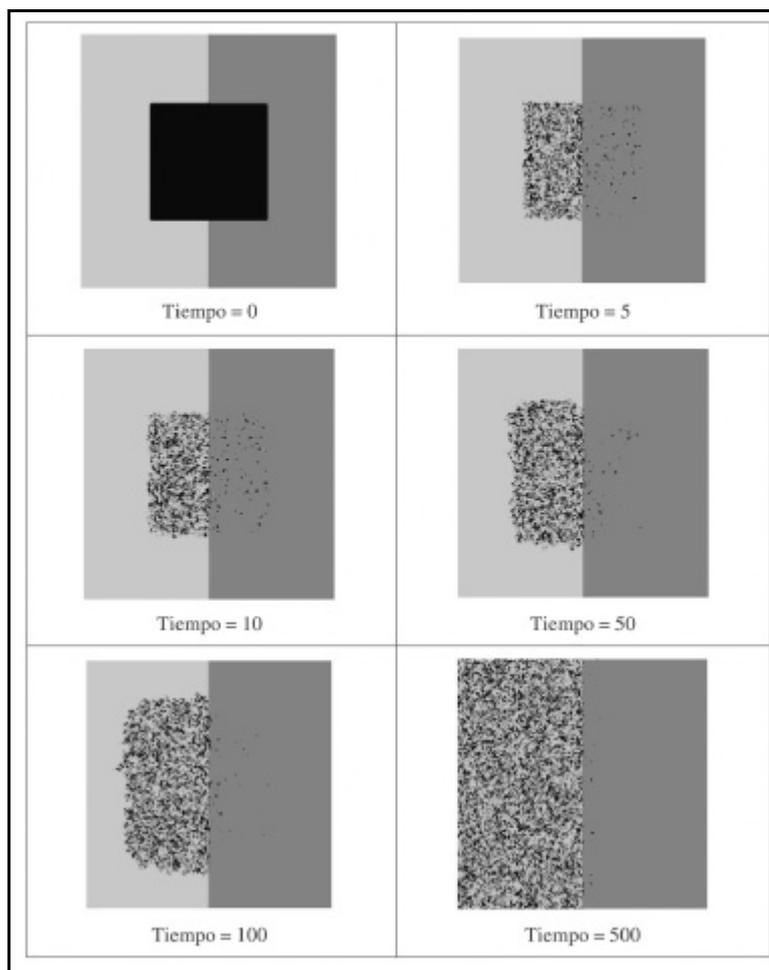


Figura 2: Secuencias de Imágenes de la Dinámica de la Especie frente a diversas configuraciones de Calidad de Hábitat

de la componente espacial en forma explícita, de qué forma las diferentes calidades afectan los desplazamientos de las poblaciones y por lo tanto la dinámica de ocupación del terreno por parte de la especie.

Dependiendo de la especie modelada, una de las características de una buena calidad de hábitat podría ser la de permitir un fenómeno de difusión o de establecimiento más rápido. Estas situaciones son de particular importancia a la hora de estudiar problemas de plagas, como podría ser la presencia de un determinado insecto sobre campos con diferentes tipos de cultivos. El modelo podría ser utilizado para estudiar las velocidades de invasión en distintos tipos de cultivos. Además podría ser de utilidad para determinar los puntos en donde se debería introducir algún tipo de control orgánico (competición o predación) que extermine tal plaga en función de su dinámica espacial. También experimentos para estudiar variaciones en la densidad de una especie ante cambios ambientales, como por ejemplo los efectos que trae aparejado el cambio climático global, que alteran la calidad del hábitat, pueden ser simulados por herramientas con esta capacidad.

El Modelo de Autómata Celular con Hábitat Extraído desde Imágenes Satelitales

La introducción de la heterogeneidad espacial realizada anteriormente es adecuada pero las distribuciones espaciales de las dos calidades elegidas fueron totalmente artificiales y arbitrarias. Este paso fue necesario para poder ahora introducir la heterogeneidad que presentan los ambientes naturales, con calidades de hábitat diversas y más numerosas.

La región de los Esteros del Iberá es uno de los humedales más grandes del mundo y su estado de aislamiento lo hace particularmente especial debido a que prácticamente no hay perturbaciones de origen humano en el área. Una de las particularidades es la existencia en esta región de los denominados embalsados, que son masas de vegetación flotante sobre las cuales se establecen poblaciones animales y vegetales. La densidad de los embalsados es un obstáculo para la realización de estudios *in situ* necesarios para calibrar y corroborar los mapas satelitales. Además estas formaciones flotantes y el alto grado de heterogeneidad en la estructura de la vegetación, dificultan enormemente la posibilidad de realizar una evaluación de hábitat sobre toda la región por medio de las técnicas satelitales tradicionales (Williams, 1992; CAST, 1999; Edwards, 2000). A esto se suma la transparencia del agua y la poca profundidad del sistema que hacen que muchas veces el lecho de las lagunas sea detectado como tierra emergente.

Este fenómeno de heterogeneidad espacial puede verse en total magnitud en una imagen satelital, donde si bien se puede apreciar el área de los esteros fácilmente, es difícil poder establecer límites entre las áreas que presentan tierra y aquellas que están ocupadas por agua, principalmente cuando la abundante vegetación flotante funciona como un elemento de interferencia

En todo humedal, el elemento que controla la dinámica del sistema es el agua. En el marco más amplio del proyecto INCO DC, y para poder comprender esta dinámica, fue necesario determinar la cuenca de los esteros (ver informe 1). Una vez lograda la delimitación de la cuenca se pudo aislar la información de la imagen satelital que está dentro de la cuenca, y así evitar que la heterogeneidad de las áreas circundantes sume ruido durante los procesos de clasificación y evaluación de hábitat. Entre los medios alternativos para realizar una posible clasificación del terreno existe la transformación Tasseled Cap. Como se mencionó en la primera parte de este

trabajo, investigadores de UNISI realizaron los estudios necesarios y modificaron la transformación Tasseled Cap (sólo aplicable a imágenes LANDSAT) creando una transformación Tasseled Cap Modificada (MTC) que fuera aplicable a las imágenes SAC-C. Esta nueva transformación fue aquí empleada. Una vez realizada la transformación se produjo una clasificación automática (ISODATA) de las imágenes resultantes y sobre algunos fragmentos de la imagen satelital se aplicaron técnicas basadas en HEP para definir posibles valores del Índice de Calidad de Hábitat en cada una de las categorías de terreno obtenidas a partir de la clasificación ISODATA (Figura 3).

Debe notarse que estos valores de calidad de hábitat son altamente dependientes de la especie elegida. Una especie terrestre no tendrá posibilidad ni de colonizar ni de persistir en las zonas de agua libre, es decir que el valor de calidad debe reflejar esta imposibilidad. Debemos recordar que la colonización de un parche representa el establecimiento de una población. Para poder representar una imposibilidad de tal grado, utilizamos un valor diferente de los valores permitidos anteriormente para la calidad de hábitat. Siguiendo con el ejemplo de una especie terrestre, las zonas de encharcados pueden tener (siempre dependiendo de la especie) una mala calidad para la persistencia (es difícil que una especie terrestre permanezca en una zonas que esté prácticamente inundada durante todo el tiempo), y no necesariamente tan mala para la colonización, ya que permitiría el paso. Las distintas zonas de vegetación (praderas, pastizales, etc.) podrían tener valores buenos de calidad tanto sea en la colonización como en la persistencia. Las zonas de intervención humana podrían tener valores malos de calidad, si la especie en cuestión rehuye del contacto humano.

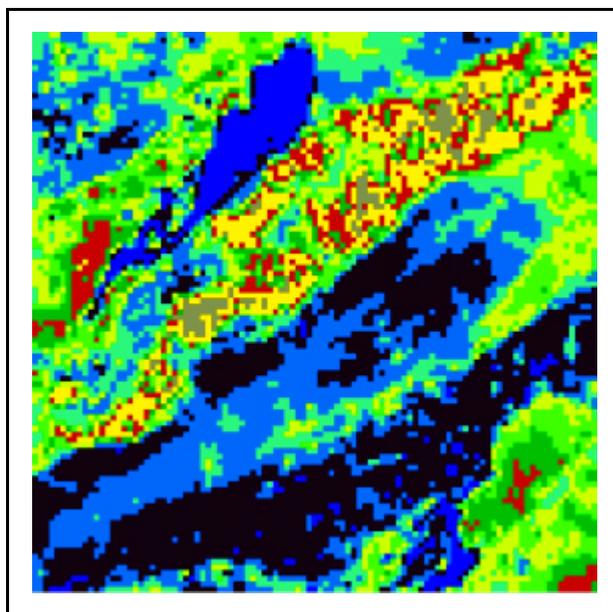


Figura 3: Fragmento de una Imagen Satelital Clasificada y Coloreada Artificialmente (Laguna Paraná)

Además de incorporar una estructura de paisaje real al MACVH se le incorporó la posibilidad de tratar con la **dinámica poblacional local** de cada una de las celdas, es decir llevar una simulación en cada celda de la densidad de población, incorporando de esta forma los fenómenos de migración de individuos entre celdas colonizadas por la especie, dentro del rango de la vecindad.

La incorporación de distribuciones espaciales de la calidad de hábitat provenientes de imágenes satelitales, junto con la dinámica local (ver informes 9 y 10) permiten simular situaciones mucho más reales que en los casos anteriores. Como antes mencionamos la calidad del hábitat nos permite simular la presión que el ambiente físico está ejerciendo sobre las especies. Además, debido a que tenemos un modelo espacialmente explícito, la dinámica de las distintas configuraciones espaciales puede ser estudiada.

A través de varias simulaciones realizadas con diferentes parámetros, se puede observar que una

especie puede utilizar diferentes hábitats en diferentes formas (Figura 4). La diversidad de ambientes planteada permite enfrentarse a situaciones en donde es complejo plantear individualmente qué tipo de dinámica se presenta sobre cada uno de los ambientes, pero la visualización y el estado de ocupación del terreno permiten valorar los resultados obtenidos. Además estos resultados pueden combinarse con las funcionalidades ofrecidas por los GIS.

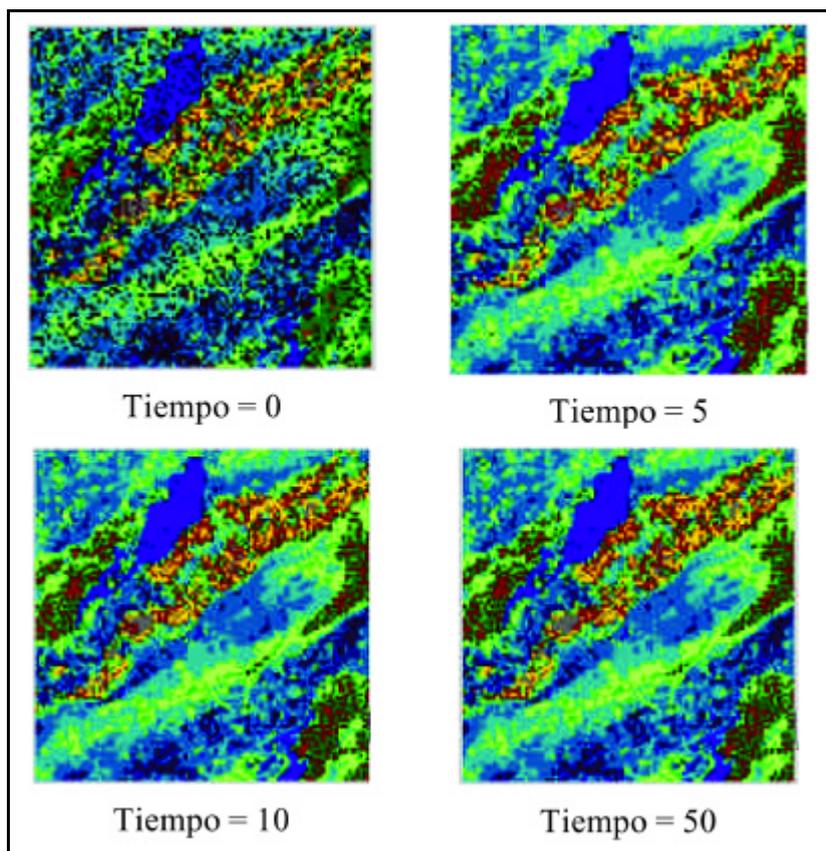


Figura 4: Secuencia de la Dinámica de la Especie sobre una estructura de paisaje real, a partir de una distribución inicial aleatoria.

Los modelos presentados reflejan comportamientos similares a los

de los analizados inicialmente. Sin embargo, desde el punto de vista numérico, los estados de equilibrio no siempre resultan muy próximos, debiendo la diferencia fundamentalmente a la influencia compleja de la calidad de hábitat sobre la dinámica de la especie y sobre la proporción de ocupación

Un aspecto que se hace manifiesto en este caso es la influencia que tiene en la dinámica espacial el grado de conectividad entre parches de igual calidad, y muy especialmente la geometría de los sectores con parches de mayor calidad, que es donde la especie tenderá a ubicarse.

CONCLUSIONES

Este tipo de modelos nos permite desarrollar experiencia a la hora de evaluar situaciones en el manejo de especies donde la estructura y la geometría del paisaje ejercen una fuerte influencia sobre la dinámica de las poblaciones que condiciona su presencia en el ecosistema. Los ejemplos elegidos dejan en claro estas situaciones en donde la estructura del paisaje resulta determinante para la proporción de ocupación alcanzada por la especie.

Si bien, la incorporación de distribuciones espaciales de la calidad de hábitat provenientes de imágenes satelitales permite enfrentarse a la real diversidad espacial del hábitat, esta herramienta debe ser acompañada de estudios de campo que permitan:

- Determinar la cantidad de hábitats diferentes desde la perspectiva de la especie bajo estudio

- Evaluar las diferentes calidades de hábitat según lo que significan para la capacidad de Colonización y la Persistencia de dicha especie.
- Recolectar los datos de la especie que sean necesarios para poder ajustar los parámetros vitales del modelo poblacional que se haya decidido utilizar.
- Evaluar la influencia de otras especies con hábitats superpuestos sobre los de la especie en cuestión, ya que pueden modificar los valores de calidad de hábitat.

Como ya hemos mencionado, una de las utilidades más interesantes de este tipo de modelos, es la reintroducción de especies. En estos casos existe la posibilidad de identificar y delimitar regiones en donde la especie se puede conservar en densidades altas. La existencia de tales regiones nos permite estudiar cómo y cuáles medidas deben ser tomadas sobre los otros hábitats a fin de no alterar el equilibrio presentado y, de ser necesario, modificar algunas regiones para permitir la interconexión de estos islotes donde la especie pueda proliferar.

No debe descartarse la utilidad de esta herramienta para hacer estudios de índole teórica sobre la relación especie-hábitat tales como el impacto de especies exóticas en el paisaje, las posibles estrategias de adaptación, los efectos de impacto ambiental en el paisaje sobre la dinámica poblacional de la especie, etc., ya que este enfoque permite incorporar, sin agregar demasiada complejidad, nuevas reglas que especialicen las funciones del modelo.

Los modelos presentados hasta aquí son la base de desarrollo de futuros modelos espacialmente explícitos que permitan trabajar en detalle con el comportamiento de las especies dentro de regiones de importante valor ecológico. A modo de ejemplo mencionamos algunas de las posibilidades de trabajos futuros, siguiendo las líneas iniciadas aquí.

- La ampliación de los modelos para tratar con diferentes especies que interactúen conjuntamente en situaciones tales como mutualismo, competencia, parasitismo, etc. Este tipo de ampliación se podría utilizar para realizar estudios de epidemiología o análisis para garantizar la biodiversidad de territorios específicos. Una forma posible de realizar tal ampliación sería planteando diferentes 'capas' en las cuales se modele la dinámica de cada especie e incorporando las interacciones entre capas que correspondan.
- La ampliación de los modelos para permitir realizar cálculos relacionados con las velocidades de invasión. Estos modelos serían de gran utilidad para medir el impacto de las epidemias o plagas y el establecimiento de cordones de control. Este tipo de ampliación debería introducir alguna manera de medir la longitud del foco infeccioso y alguna escala temporal deseada para realizar el cálculo de velocidades de invasión (posiblemente direccionales).
- La ampliación de los modelos para permitir analizar diferentes rangos y umbrales migratorios en forma paralela sería una aplicación determinante para estudios de conservación de especies, sobre todo cuando están sometidas a un cambio ambiental debido al factor humano (obras civiles, desmonte, forestación, u otro tipo de fragmentación).
- El desarrollo de índices que permitan analizar con detalle la morfología ligada a la dinámica espacial (patrones). Un camino para realizar un mejor análisis espacial puede pasar por la utilización de indicadores del tipo de la dimensión de correlación (para tener un enfoque a nivel de paisaje), combinando estos con indicadores del tipo de la cantidad de islotes, el área ocupada por cada uno de los islotes y alguna medida que involucre la forma del islote (para tener información a nivel local). Este tipo de índices podría intentar resumir toda la información de

la dinámica espacial. También podrían desarrollarse índices que sólo se enfoquen en uno de los dos niveles (paisaje o local) para aplicaciones específicas, como puede ser el control de epidemias, o garantizar la estabilidad de la presencia de la especie con una determinada proporción en todo el paisaje.

- Una cuantificación del terreno bajo estudio utilizando conceptos económicos. Se pueden utilizar los conceptos de la economía ambiental para realizar análisis del territorio bajo estudio, ya que se puede disponer de la proporción de presencia de la especie y si se tiene acoplado un modelo de la dinámica propia de la especie utilizar como dato la valoración de individuos. Por ejemplo, a la hora de desarrollar corredores turísticos para la observación de especies carismáticas, se puede combinar la información del territorio (que puede provenir de imágenes satelitales), y una evaluación espacial de impacto sobre las especies protegidas de la presencia de visitantes, junto con una estrategia que permita establecer áreas de observación (basándose en distancias a centros urbanos), y áreas que permanezcan vírgenes a la presencia turística. Esta estrategia puede ser cuantificada en términos económicos, combinando estos modelos con los nuevos modelos de economía ambiental.

- El desarrollo de índices de Calidad de Hábitat que combinen la información obtenida a través del procesamiento de los datos de imágenes satelitales, con los datos de altura del terreno (Modelos de Elevación Digital) extraídos automáticamente de mapas topográficos o a través de una digitalización manual de los mismos. Esta posibilidad de incorporar una tercera dimensión, ampliaría su utilización en regiones con alta probabilidad de sufrir inundaciones periódicas, o en aquellas con pendientes pronunciadas que puedan ser impactadas por fenómenos meteorológicos (vientos fuertes, aludes, erosión, etc).

REFERENCIAS

- Alonso, D.; R.V. Solé, “*The DivGame Simulator: a stochastic cellular automata model of rainforest dynamics*,” *Ecological Modelling* **133**, 131-141 (2000)
- Balster, H.; P.W. Braun y W. Köhler, “*Cellular automata models for vegetation dynamics*,” *Ecological Modelling* **107**, 113-125 (1998).
- Barradas, I. y G.A. Canziani, “*A study on persistence under density dependent disturbances*,” *Anales de la VII RPIC. 2*, 797-802 (1997).
- Barradas, I.; H. Caswell y J.E. Cohen, “*Competition during colonization vs competition after colonization in disturbed environments: a metapopulation approach*” *Bull. Math. Biol.* **58 (6)**, 1187-1207 (1996).
- Barradas, I. y J.E. Cohen, “*Disturbances allow coexistence of competing species*”, *Bull. Math. Biol.* **32**, 663-676 (1994).
- CAST (Centre for Advanced Spatial Technologies), “*Landcover Classification and Mapping*,” The Arkansas GAP Analysis Project – Final Report . <http://www.gap.uidaho.edu/> (1999).
- Caswell, H. y J.E. Cohen, “*Disturbance and diversity in metapopulations*,” *Biol. J. Linn. Soc.* **42**, 193-218 (1991).

Caswell, H. y R. Etter, “*Cellular automaton models for competition in patchy environments: facilitation, inhibition, and tolerance*,” *Bull. Math. Biol.* **61**, 625-649 (1999).

Edwards, T, “*Utah Vegetation Mapping – Computer Assisted*,” US Fish and Wildlife Service, Utah Cooperative Fish and Wildlife Research Unit, Department of Fisheries and Wildlife, Utah State University , <http://www.gap.uidaho.edu/> (2000).

Federico, P. y G.A. Canziani, “*Population dynamics through metapopulation models: When do cyclic patterns appear?*,” *Seleção do XXII Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional*, (J.M Balthazar, S.M. Gomes & A. Sri Ranga, eds.), *Tendências em Matemática Aplicada e Computacional*, **1**, No.2, 85-99 (2000).

NERC (National Ecology Research Center), U.S. Fish and Wildlife Service; “*Habitat Evaluation Procedures*” Workbook ; <http://www.usgs.org> (1987).

Williams, J. A., “*Vegetation Classification Using Landsat TM and SPOT-HRV Imagery in Mountainous Terrain, Kananaskis Country, S.W. Alberta*,” Alberta Recreation and Parks, Kananaskis Country Operations Branch Environmental Management, Canmore, Alberta, (1992).

13. IMPACTOS AMBIENTALES QUIMICOS Y MONITOREO

Universidade de Aveiro

Integrantes: Carlos Borrego¹, Cristina Boia, José Manuel Martins, Carla Silva, Paulo Neves, Joana Valente, Myriam Lopes y Ana Cristina Carvalho

RESUMEN

La intervención del Equipo de la Universidad de Aveiro en el proyecto Iberá, tuvo como objetivo evaluar los impactos ambientales químicos de las emisiones de contaminantes provenientes de las actividades antropogénicas sobre los Esteros, y así mismo, el de proponer una metodología que permita el monitoreo futuro de los principales problemas detectados.

La producción de arroz, el turismo y el crecimiento demográfico fueron identificados como las principales potenciales causas de la contaminación del agua en los Esteros. Los contaminantes eventualmente introducidos por estos agentes fueron identificados como pesticidas, materia orgánica, microorganismos patógenos, hidrocarburos y metales pesados.

Las grandes ciudades e industrias, tanto del norte de Argentina como del sur de Brasil, como así también los incendios de campos (controlados) y de leña, la agricultura y cría de ganado en las zonas aledañas a los Esteros, fueron considerados como las fuentes potenciales de contaminantes capaces de afectar la calidad del aire en la región. El primer grupo es responsable de la contaminación por medio del transporte a larga distancia de SO₂, NO_x y O₃, mientras que el segundo es responsable de la emisión local de COVs, partículas y NH₃.

Por lo tanto, el equipo de la Universidad de Aveiro tuvo como misión evaluar la extensión de estos impactos específicos, por medio del uso de modelos matemáticos y, cuando fuera necesario y posible, por medio del análisis químico.

En el futuro deberían realizarse más análisis y se debe implementar un programa de monitoreo con el objetivo de evaluar la evolución de los impactos e identificar el momento en el cual deban tomarse medidas preventivas o reparadoras para garantizar la sustentabilidad del ecosistema.

El equipo de UAVR ha realizado una compilación de métodos analíticos que podrían ser utilizados en un futuro programa de monitoreo. Este programa debe ser conducido por un equipo interdisciplinario que trabaje en el lugar y que sea designado por las autoridades oficiales.

Dicho programa también debería incluir el uso de un biosensor. Por ello, el equipo de UAVR también ha tenido como objetivo desarrollar el biosensor a ser utilizado en el control de calidad del agua de los Esteros del Iberá.

¹ Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, 3810-193 Aveiro, Portugal. Email: borrego@ua.pt

EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LAS ACTIVIDADES ANTROPOGÉNICAS ACTUALES.

Actividades y metodología

El primer paso llevado a cabo por el equipo de UAVR fue la identificación de las actividades antropogénicas principales que pudieran introducir en la atmósfera o en el medio acuático de los Esteros, alguno de los efluentes contaminantes identificados anteriormente.

En lo que concierne a la contaminación del agua, fue necesario evaluar el impacto del turismo y del crecimiento demográfico, así como el de la producción de arroz.

La información sobre el número de residentes en las pequeñas ciudades en los alrededores de los Esteros fue obtenida por colaboradores locales y se realizaron cálculos con el objetivo de estimar la emisión de materia orgánica (BOD) y de los organismos patógenos por parte de los residentes en estas ciudades.

Se han realizado intentos con el objetivo de estimar los derrames de hidrocarburos por el uso de botes a motor en las lagunas. El número de botes circulantes ha sido determinado pero no ha sido posible encontrar factores de emisión en agua que pudieran ser utilizados para calcular dichas emisiones.

También se estimaron las cantidades y tipos de desechos sólidos producidos por estas poblaciones. Se detectaron baterías usadas (utilizadas para la producción de energía) que fueron diseminadas por el suelo y en las lagunas durante años. Esto contribuyó a su contaminación con metales pesados. Por eso se recolectaron muestras de peces de la cadena trófica superior en la laguna Iberá, y se realizaron análisis de metales pesados con el objetivo de evaluar el nivel de contaminación. Los análisis fueron realizados usando espectrometría de absorción atómica con llama y un horno de grafito. Los valores obtenidos fueron comparados con lineamientos internacionales.

El uso de pesticidas en la producción intensiva de arroz en la región de los Esteros fue estudiado en forma exhaustiva por medio de encuestas realizadas directamente entre los productores, especialmente los productores a gran escala. Se realizaron visitas a los campos, para determinar cuáles pesticidas son usados en los arrozales de los Esteros y en qué cantidades. Las propiedades físico químicas y toxicológicas de estos pesticidas fueron extraídas de literatura científica y de organizaciones internacionales para la protección de la salud y el medio ambiente. Se utilizó el modelo Mackay multimedia (Nivel I) para evaluar los principales compartimentos ambientales afectados por cada pesticida aplicado. Basándose en los resultados del modelo, se recolectaron muestras de agua y se analizaron algunos de los pesticidas (endosulfan y carbofuran) con mayores predicciones de impacto. Se realizaron tres campañas de muestreo de agua, en Junio 2000, Noviembre 2000 y Marzo 2001 (Figuras 1 y 2). Los análisis se realizaron utilizando la técnica de extracción de micro extracción de fase-sólida (SPME) con detección por medio de Cromatografía de Gas con Espectrometría de Masa (GC-MS).

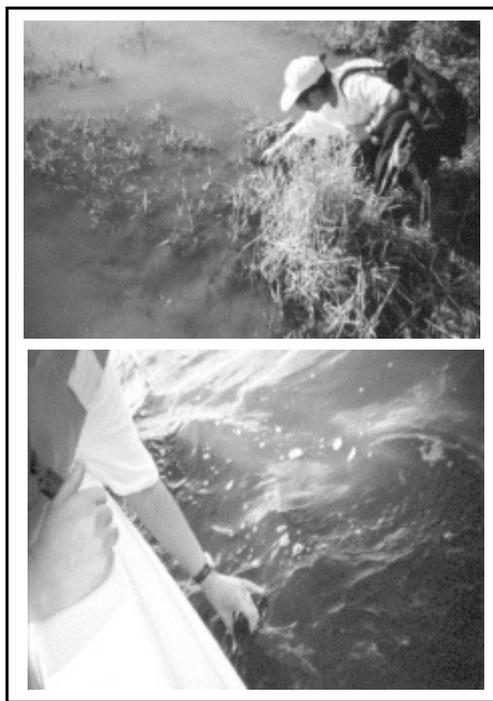


Figura 1

Con el objeto de establecer algunas precisiones, se realizó una investigación sobre los lineamientos de distintos países para la protección del agua y se realizaron cálculos para obtener los valores máximos recomendables para varios de los pesticidas utilizados en esta región. Los cálculos se realizaron usando las siguientes ecuaciones:

- Lineamientos para el agua potable:

$$GV_{DW} = \frac{RfD \times BW \times \%}{DWC}$$

- Lineamiento para la protección de la vida acuática:

$$GV_{PAL} = 0.01 \times LC_{50}$$

donde

GV_{DW} - Valor de lineamiento para el agua potable

RfD - Dosis de referencia

BW - Peso corporal medio - 65 kg (EPA, 1997).

% - Fracción de RfD asignada al agua potable – 10% (WHO, 1994).

DWC - Consumo diario de agua potable - 2 L.d-1 (EPA; 1997).

GV_{PAL} - Valor de lineamiento para la protección de la vida acuática.

LC50 - Concentración letal para la mitad de la población expuesta en un periodo determinado.

En lo que se refiere a la contaminación atmosférica, se determinó si las fuentes identificadas podían afectar la calidad del aire en la región de los Esteros. Se obtuvieron datos de estaciones meteorológicas seleccionadas en los alrededores de la región del Iberá. Se aplicó un modelo de Escala Media (MesoScale) para evaluar cuáles de las fuentes identificadas podían afectar la calidad del aire de la región de los Esteros, teniendo en cuenta las condiciones de transporte y dispersión.

Se seleccionaron algunos métodos analíticos para ser incluidos en un futuro programa de monitoreo. Este programa debería ser ejecutado por un equipo de trabajo interdisciplinario en el lugar, y ser designado por las autoridades oficiales para administrar el ecosistema.

En el futuro deberían realizarse análisis de patógenos y pesticidas, especialmente en muestras de suelos y pesticidas no analizados en este trabajo, o en las de nuevos pesticidas introducidos en los campos de los Esteros. En lo que se refiere a la calidad del aire, se ha realizado y presentado una compilación de métodos analíticos que podrían ser utilizados, para SO_2 , NO_x , O_3 , compuestos orgánicos particulados NH_3 en aire, y pH, alcalinidad y acidez en agua de lluvia.

Se ha realizado una búsqueda sobre biosensores ofrecidos en el mercado internacional. Debido a que los precios no eran compatibles con el presupuesto del proyecto, se ha desarrollado y probado un biosensor propio. El biosensor desarrollado utiliza peces, midiendo sus movimientos como punto focal por medio de sensores infrarrojos. Ha sido probado en laboratorio utilizando truchas, especie común de pez de río en Portugal. Se identificaron dos especies de peces de río en Corrientes: una que habi-

ta en los Esteros y otra en el río Paraná y producida en acuicultura, para ser utilizadas en el biosensor. De todas formas, se considera que deberían llevarse a cabo más bioensayos utilizando el biosensor con el objetivo de mejorarlo y calibrarlo.

Resultados

Evaluación del impacto ambiental de las actividades antropogénicas actuales: Poblaciones y Turismo. Producción de Residuos Acuáticos y Sólidos

La Tabla 1 presenta la estimación de la población de los principales poblados en los alrededores de los Esteros, como así también las tasas de flujo de efluentes, la demanda de oxígeno bioquímico (BOD) y el número de organismos patógenos (total de coliformes, TC), derivados utilizando factores de emisión típicos. También se presenta la producción de desechos sólidos en estos pueblos.

En la actualidad, los desechos líquidos de las poblaciones linderas se descargan directamente en las lagunas del sistema del Iberá sin ningún tipo de tratamiento. Hay un crecimiento estacional de la población de aproximadamente 8% debido al turismo. El agua de las lagunas es utilizada para la provisión pública luego de un simple tratamiento físico químico, que incluye desinfección.

La fracción orgánica de residuos sólidos se convierte en abono; otros son incinerados a cielo abierto o se los arroja en el suelo o en las lagunas. Durante años, y previo a la existencia de luz eléctrica, se utilizaban baterías para la producción de energía y las mismas también se arrojaban a las lagunas.

Ciudades	Población estimada	BOD (kg.día⁻¹)	Tasa de flujo (l.día⁻¹)*103	Patógeno (TC.día⁻¹)*1014	Desecho Sólido (kg.día⁻¹)
Colonia Pellegrini	750	45	60	60	600
Galarza	30	1.8	2.4	2.4	24
Ituzaingó	37650	2259	3012	3012	30120
Loreto	5000	300	400	400	4000
San Miguel	9665	580	773	773	7732
Colonia Madariaga	2000	120	240	240	1600
Concepción	15280	917	1222	1222	12224
Tacuaritas	500	30	40	40	400
Naranjito	500	30	40	40	400
Timbocito	5000	300	400	400	4000
Suma Total	76375	4583	6189	6189	61100

Tabla 1: Cálculos de producción de desechos sólidos y líquidos en la situación actual.

Contenido de Metales Pesados en Peces

La Tabla 2 muestra los resultados de las determinaciones de metales pesados en los músculos de una especie de pez ubicada en la parte más alta de la cadena trófica, la piraña o palometa, consumida por la población local y capturada en la laguna Iberá. La ingesta de metales pesados y de otros contaminantes por parte de estos peces, puede ocurrir de dos formas diferentes: directamente del agua contaminada o por la ingestión de peces que han acumulado metales pesados en sus tejidos (bioacumulación). Por lo tanto, los predadores superiores pueden presentar niveles mayores de tóxicos que otras especies.

Los resultados en la Tabla 2 se presentan de acuerdo con edad y género. Se analizaron aproximadamente 30 peces para cada uno de los dos periodos de muestreo. La precisión de la metodología analítica empleada fue evaluada a través del análisis de dos materiales de referencia (NIST – 1577b e IAEA – V10). Los contenidos de metal en las muestras estudiadas fueron determinados con espectrometría de absorción atómica electrotermal, luego de digestión en microondas de las muestras usando ácido nítrico y agua ultra pura. Se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica equipado con una lámpara de deuterio y un tubo atomizador de grafito para las determinaciones de Cd, Cu, Ni y Pb y se usó una llama de acetileno para las mediciones de Zn.

Clase	Cd (ppb)	Cu (ppb)	Ni (ppb)	Pb (ppb)	Zn (ppb)
Muestra 1					
1	0.0202±4.47×10 ⁻⁴	0.329±0.0102	0.308±0.0307	0.205±7.12×10 ⁻³	6.23±0.52
2 masculino	0.0251±1.29×10 ⁻³	0.434±0.0161	0.314±0.0256	0.207±7.63×10 ⁻³	5.97±0.44
2 femenino	0.0200±1.44×10 ⁻⁴	0.280±4.65×10 ⁻³	0.212±0.0101	0.201±7.84×10 ⁻³	5.69±0.06
3 masculino	0.0206±1.21×10 ⁻³	0.375±8.78×10 ⁻³	0.219±0.0137	0.194±0.0163	5.11±0.05
3 femenino	0.0204±3.74×10 ⁻⁴	0.296±0.0241	0.203±5.89×10 ⁻³	0.187±7.02×10 ⁻³	6.56±0.52
Muestra 2					
1	0.0196±9.08×10 ⁻⁴	0.509±5.17×10 ⁻³	0.199±0.0125	0.164±0.0122	6.51±0.31
2 masculino	0.0177±1.17×10 ⁻³	0.435±1.03×10 ⁻³	0.189±0.0161	0.171±3.77×10 ⁻³	8.05±0.10
2 femenino	0.0178±5.76×10 ⁻⁴	0.306±1.55×10 ⁻³	0.159±0.0107	0.175±6.21×10 ⁻³	7.92±0.28
3 masculino	0.0175±6.22×10 ⁻⁴	0.435±0.0132	0.154±0.0101	0.172±6.41×10 ⁻³	7.81±0.03
3 femenino	0.0171±9.05×10 ⁻⁴	0.242±0.0205	0.146±1.68×10 ⁻³	0.158±0.0127	6.72±0.13

Clase	Tamaño
1	9 – 15 cm
2	16 – 20 cm
3	21 – 25 cm

Tabla 2: Concentración de Cd, Cu, Ni, Pb y Zn en ppb encontrado en peces de la laguna del Iberá.

Para todos los elementos, los resultados obtenidos fueron comparados con los niveles máximos permitidos de metales pesados tóxicos en peces y productos pesqueros, de acuerdo con varias recomendaciones de legislación de organismos internacionales (Codex Alimentarius de FAO) y con otras legislaciones específicas (Legislación Española) y se presentan en la Tabla 3 y en el Gráfico 3. En ninguno de los casos los límites fueron excedidos. De todas formas, los valores fueron generalmente más altos que los observados en peces capturados en otras partes, como

por ejemplo la Laguna Aveiro en Portugal, que es un lugar con algunos problemas de contaminación. Por lo tanto, sería aconsejable implementar un plan de monitoreo para los contaminantes en la región de los Esteros.

Metal	Límite (peso húmedo)	Referencia
Cadmio	0,1 ppm	FAO, Legislación Española
	50 ppb*	Johansen, 1997
	1.0 ppm	LIM
Cobre	30 ppm	LIM
Plomo	1 - 2 ppm	FAO, Legislación Española
	0,3 ppm*	Johansen, 1997
	2.0 ppm	LIM
Zinc	100 ppm	LIM

Tabla 3: Límites de concentración, según literatura especializada, para contenidos máximos de metales en los tejidos de los peces. (* - Legislación Dinamarquesa).

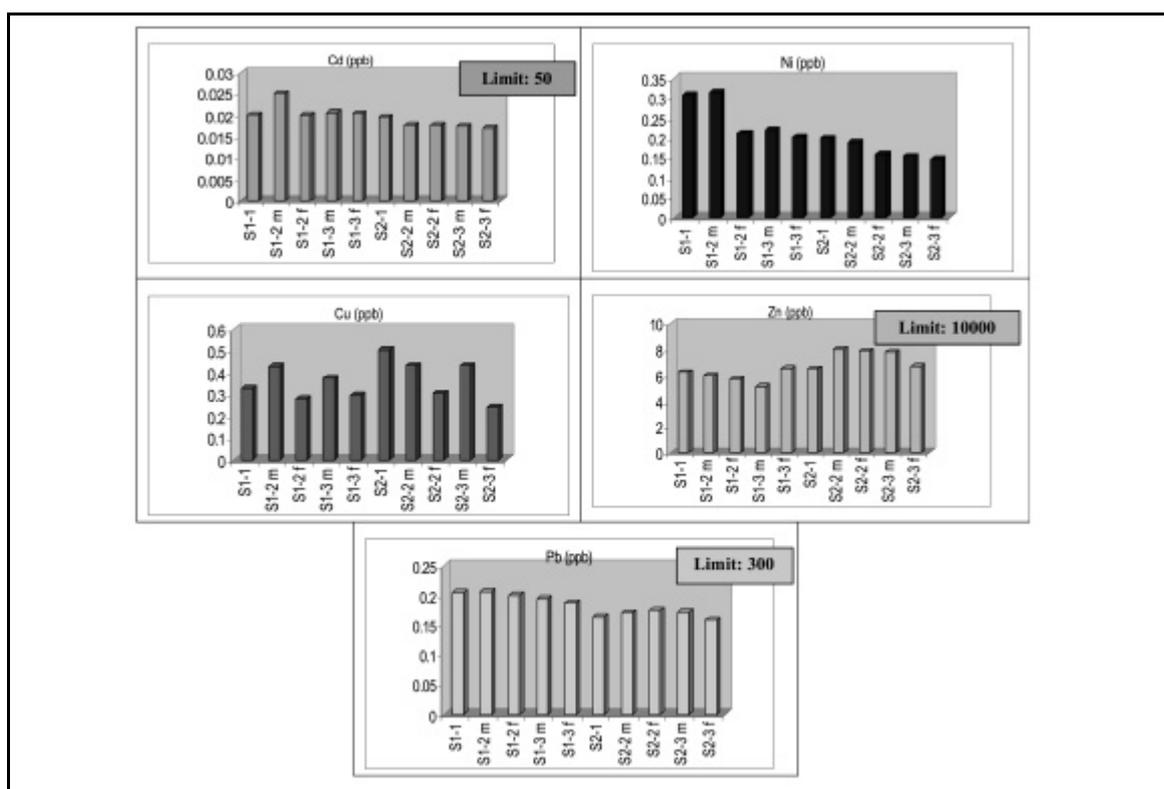


Figura 3 - Concentración de metales pesados en los músculos de los peces de la Laguna Iberá.

Impacto de las Actividades Turísticas

Debido a la rica biodiversidad de Iberá, se ha desarrollado el ecoturismo. Los turistas viajan principalmente en bote para poder observar algunas especies características como el yacaré, el carpincho, y el ciervo, como así también diferentes aves.

El impacto negativo más obvio de estas visitas a la laguna es la presencia de vehículos de motor que, aún cuando no afecten los distintos compartimentos ambientales como el agua, el aire, el suelo, etc., aumentan el nivel de ruido en la región, causando estrés en los animales silvestres.

Menos visible, pero ciertamente significativo, puede ser el impacto de las emisiones de hidrocarburos en el agua y en el aire causadas por la circulación de vehículos acuáticos motorizados. Por lo tanto, sería necesario evaluar los posibles impactos negativos de estas actividades turísticas en el ecosistema.

Se realizó un relevamiento del número de botes y personas que circulan en la laguna, basado en los registros de los Guardafauna de la reserva. Estos registros incluyen los botes pertenecientes a las autoridades de la laguna y los botes privados. También incluyen una recopilación de los principales destinos turísticos de manera de estimar la distancia cubierta por los botes y su tiempo de permanencia en la laguna, y las características de los distintos vehículos acuáticos, en términos de combustible utilizado y consumo del mismo.

Sin embargo, no fue posible calcular las emisiones de hidrocarburos porque no se encontraron en la literatura especializada estas clases de emisión para el combustible más usado, por lo tanto, sólo se han incluido los gráficos correspondientes al primer y al último mes mostrando el orden de magnitud de esta actividad.

Impacto de la producción arrocerá

El arroz, usualmente considerado como uno de los cultivos principales en términos de consumo de pesticidas, ocupa una posición relevante en la agricultura correntina. En años recientes la necesidad de incrementar los rendimientos de los cultivos, ha llevado a la adopción de sistemas de producción más intensivos con un consiguiente aumento en el uso de pesticidas. Además, debido a sus características y demandas culturales, los arrozales pueden afectar la calidad de las comunidades acuáticas de la Laguna Iberá, ya que las aguas de estos cultivos tratadas con pesticidas se descargan por medio de los canales de drenaje o directamente en los cuerpos de agua. El destino e impacto de estos productos en los ecosistemas circundantes son, en la mayoría de los casos, desconocidos.

La Tabla 4 presenta una síntesis del calendario de producción de arroz en Corrientes. Casi todos los herbicidas analizados tienen distribución preferencial por agua y la mitad de los insecticidas estudiados muestran preferencia por matrices sólidas.

Entre los pesticidas evaluados, sólo tres herbicidas (glifosato, molinato y propanil) y un insecticida (carbofuran) se utilizan en concentraciones altas. Todos los insecticidas, excepto los metamidofos, son potencialmente persistentes en el suelo. Los herbicidas que pueden permanecer más tiempo en estos compartimentos ambientales son: clomazone, dicamba, metsulfuron metilo, glifosato y molinato. Los pesticidas potencialmente más persistentes en agua son el metsulfuron metilo y el glifosato entre los herbicidas y el carbofuran, el endosulfan, el metamidofos y el monocrotofos entre los insecticidas.

Los resultados de los análisis realizados se presentan en la Figura 4 (endosulfan) y 5 (carbofuran). También se efectuaron los cálculos de valores de referencia para pesticidas en agua potable (GV_{DW}) y para la protección de la vida acuática (GV_{PAL}), basados en los efectos publicados y en los factores de seguridad, y se compararon con los valores de los lineamientos internacio-

Momento del año	Prácticas
Julio - Agosto	Preparación del suelo: La nivelación de los campos se realiza con tractores. Luego se inundan. Después de que los plantíos se inundan se realiza la nivelación y el rastrillado con los discos y la rastra. Fertilización: Generalmente no se realiza ya que la rotación de la tierra es una práctica común. Se alterna el uso de los campos como arrozales y para pastoreo. Aplicación de insecticidas y herbicidas previo a la plantación.
Septiembre - Noviembre	Tiempo de siembra
Noviembre - Diciembre	Emergencia de plantas de arroz. El arrozal es nuevamente inundado con canales de agua de aproximadamente 10cm. de forma tal de que la planta quede cubierta. Luego de 48hs. el agua se deja drenar. Si fuera necesario, se realiza una segunda aplicación de insecticidas y herbicidas.
Diciembre	Irrigación permanente hasta la cosecha (90 a 100 días)
Febrero - Marzo	Cosecha

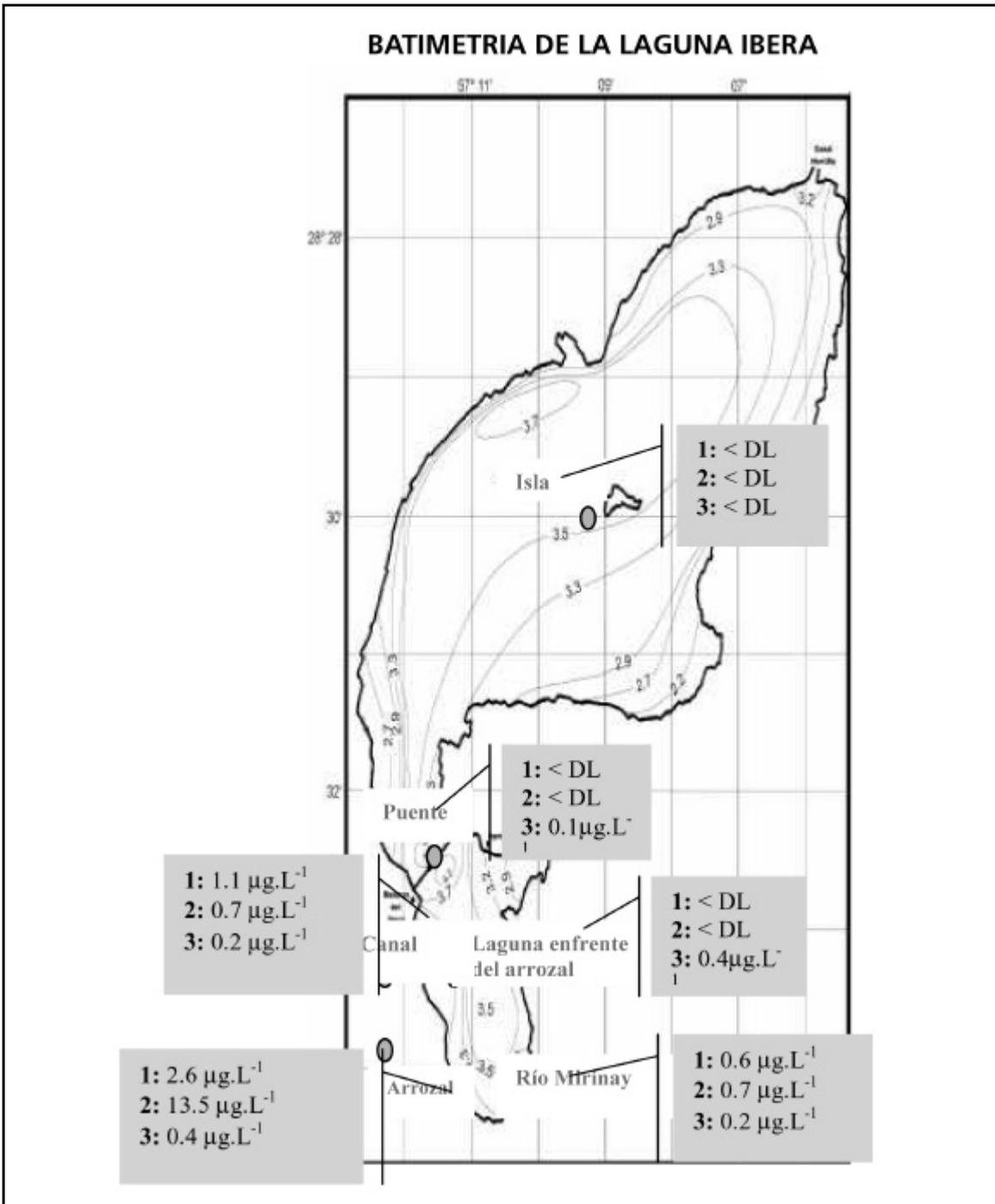
Tabla 4: Límites de concentración, según literatura especializada, para contenidos máximos de metales en los tejidos de los peces

Pesticida	Dosis de aplicación (L/ha)	T _{1/2} en suelo (días)	T _{1/2} en agua (días)	T _{1/2} en aire (días)	Log KOW	Clase de toxicidad	
						EPA	WHO
Bentazon	1.2-2	14	0.6-5	0.6 - 5	Baja afinidad con biota	III	III
Clomazone	1	10 - 137	1.5-7	-	Baja afinidad con biota	III	II
Dicamba +Metsulfuran-metilo	0.1	25 - 555 +7 - 150	< 7 + > 84	2 +.	Baja afinidad con biota	III + IV	III + III
Fenoxaprop-etilo	0.8	1 - 10	0.2 - 11	-	Afinidad media con biota	III	
Glyfosato	4	3 - 174	12 - 70	-	Baja afinidad con biota	III	III
Molinato	5	1 - 160	5 - 10	0.5 -2	Baja afinidad con biota	IV	II
Pyrazosulfuran etilo	0.08	< 15	28	-	Baja afinidad con biota		III
Propanil	3 - 4	5 - 15	2	1	Baja afinidad con biota	III	III
Quinclorac	1.3 - 1.5	< 14	-	-	Baja afinidad con biota	III	III
Carbofuran	7 - 8 kg/ha	30 - 120	7 días - 13 años	0.3 - 26	Baja afinidad con biota	I	Ib
Deltametrin	0.06 - 0.08	11 - 72	1	-	Alta afinidad con biota	II	II
Endosulfan	0.5	30 - 240	1 - 98	-	Afinidad media con biota	II	I
Lambda-cyhalotrin	0.06 - 0.08	6 - 84	20	0.2	Alta afinidad con biota	II	II
Metamidofos	0.6	2 - 12	3 - 309	0.6	Baja afinidad con biota	I	Ib
Monocrotofos	0.6	1 - 180	17 - 134	-	Baja afinidad con biota	I,	Ib

Tabla 5: Principales características toxicológicas, físico químicas y de persistencia de los pesticidas utilizados en la región.

nales. Los valores establecidos por la Directiva Nro. 80/778/EEC no son para un pesticida en particular sino que son para todos en general; por lo tanto, estos valores son lo suficientemente bajos como para ser aplicados a cualquier pesticida.

Los resultados obtenidos, como así también los de futuros monitoreos de pesticidas, deberían ser comparados con estos lineamientos de manera de evaluar el riesgo en la región de los Esteros y, si fuera necesario, tomar medidas de protección.



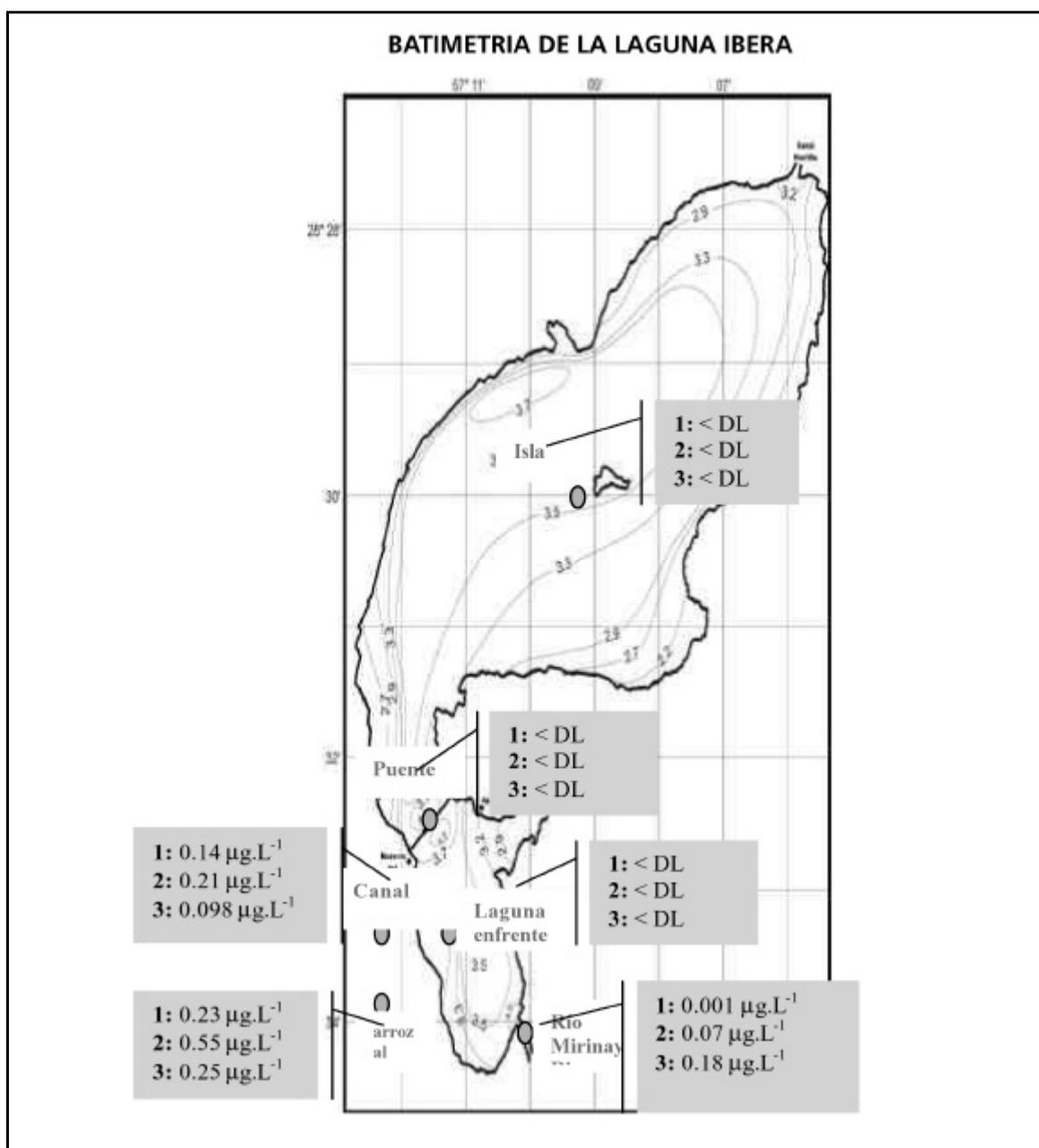


Figura. 5: Carbofuran. Sitios de muestreo y resultados (Límite de Detección DL para carbofuran - 0.025 ppb).

CALIDAD DEL AIRE

Actividades y Metodología

La información meteorológica ha sido utilizada tanto con propósitos estadísticos como para analizar resultados experimentales. Para aplicaciones del modelo, se debe sincronizar una cantidad más refinada de datos meteorológicos con los análisis químicos, para entender la importancia de la meteorología en el transporte y dispersión de contaminantes, y en los modelos de calidad de aire sobre la región estudiada. En este estudio, se seleccionaron dos estaciones meteorológicas por su ubicación y proximidad al área de estudio de los Esteros del Iberá: Resistencia y Foz do Iguaçu, Brasil.

Las escalas involucradas en este proyecto pueden ser consideradas como pertenecientes a la mesoescala, donde los modelos cubren las longitudes de escalas desde 20 a 1000 km, siendo una herramienta importante para unir la información sinóptica a los datos de superficie. Los cuadros sinópticos se construyen a partir de datos de superficie obtenidos de las estaciones de monitoreo y de perfiles verticales de radiosondas, que se supone son representativos de áreas más grandes. Sin embargo, las características de topografía y/o mayores gradientes superficiales, pueden afectar la circulación regional en forma significativa. Esto ocurre, por ejemplo, en áreas que incluyen grandes cuerpos de agua donde se esperan gradientes de temperatura fuertes debido a las diferencias en la radiación y el balance térmico entre las superficies de tierra y agua.

El modelo seleccionado para los cálculos de flujo y dispersión fue el Sistema de Mesoescala MEMO/MARS. Para los cálculos con MEMO, se debe proveer información sobre alturas topográficas y tipos de superficie (clasificadas en porcentajes de 7 tipos de tierra utilizados). Para generar las condiciones iniciales de parámetros meteorológicos para el modelo de pronóstico MEMO, usualmente se aplica un modelo de diagnóstico usando temperaturas medidas y datos del viento (aire superior y datos de superficie). El modelo puede ser ejecutado con condiciones de borde dependientes del tiempo.

Los datos ingresados a los cálculos de MARS incluyen topografía, uso de la tierra y datos meteorológicos tridimensionales de MEMO, cubriendo todos los parámetros relevantes de dispersión y advección. Otros datos esenciales a ingresar son las emisiones agrupadas en nueve clases de contaminantes. Las tasas de emisión por contaminante deben ser colocadas en la grilla MARS 3D. El modelo puede considerar variaciones en el tiempo de emisiones, así como de concentraciones en los bordes. El ingreso de las condiciones iniciales y de las concentraciones de los contaminantes en el contorno es opcional. Para estimar las condiciones de los contaminantes en el contorno se podrían utilizar datos tomados de las estaciones de monitoreo de calidad de aire.

Debido a la falta de información con respecto a las características del terreno, utilización de la tierra y fuentes de contaminación, se realizó una primera simulación usando un caso de estudio. El dominio de cálculo para la mesoescala fue definido como un rectángulo, de 300 x 400km. centrado en la laguna. Se consideró que la utilización de tierra de las celdas que cubren los Esteros del Iberá, estaba compuesta de 70% de agua y 30% de vegetación rala; los terrenos fuera de los esteros se consideraron como 100% tierra de cultivo. Debido a las características de llanura del paisaje, la altura fue considerada constante en el dominio simulado.

Las condiciones fueron tomadas de mediciones realizadas el 6 de Enero de 2000. Este día corresponde a condiciones de verano, lo que permite mayores gradientes de temperatura entre la tierra y el agua. Bajo estas condiciones, la circulación a mesoescala y las brisas del lago se ven favorecidas. El análisis de los datos de temperatura de radiosonda de Foz do Iguazu (Brasil); y Resistencia (Argentina), muestran tendencias similares en los perfiles verticales de temperatura. Los datos meteorológicos usados en el modelo MEMO fueron seleccionados de Foz do Iguazu, donde hay datos disponibles a las 00:00 hrs. y 12:00hrs. Esto permite mejores ajustes del modelo durante todo el día para los estudios de dispersión de contaminantes.

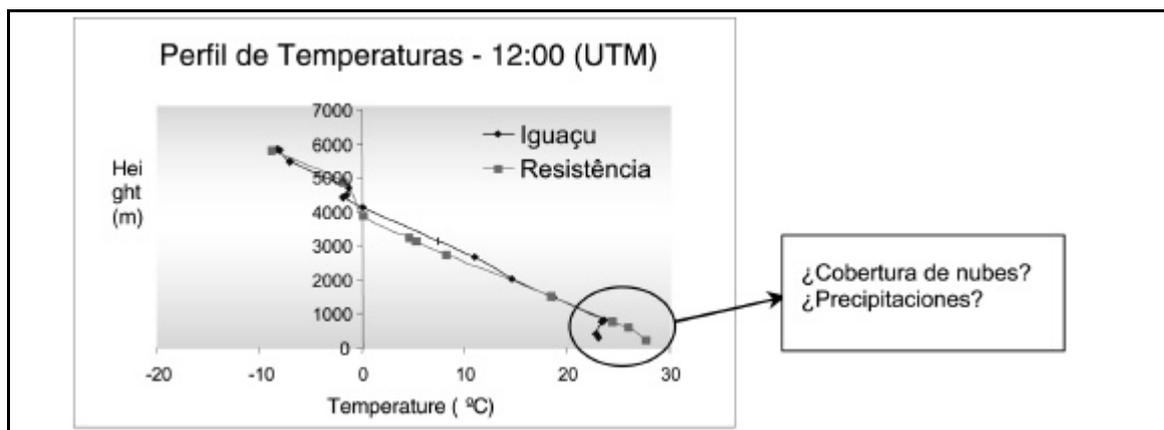


Figura 6: Perfil vertical de temperatura a las 12:00 (UTM) del 6 de Enero de 2000, medido en Foz do Iguacu, Brasil y en Resistencia, Argentina.

Resultados

Vientos sinópticos bajos cerca de la superficie permiten la formación de una fuerte brisa laguna-tierra en la tarde que mayormente cambia la dirección del viento en la parte sur del dominio. El aumento en la fuerza de radiación durante el día induce a una brisa laguna-tierra más intensa, resultando en un aumento de la velocidad del viento que llega a su valor máximo durante la tarde, como puede observarse en las figuras 7 y 8. La presencia de los Esteros del Iberá induce una circulación de mesoescala muy importante sobreimpuesta a la circulación sinóptica, tanto en intensidad como en dirección. La razón para este comportamiento es el tamaño de la cuenca que es suficientemente grande como para crear una circulación local a mesoescala intensa.

Basándose exclusivamente en los resultados de simulación de flujo para las condiciones de verano, la calidad del aire en los Esteros del Iberá puede ser afectada por las emisiones de contaminantes, especialmente si sus fuentes están localizadas en la parte Noreste del humedal. Si estas fuentes tienen montos de emisión significativos de SO₂ y contaminantes fotoquímicos tales como CO, NO_x y compuestos orgánicos, su impacto en la calidad del aire de los esteros podría ser importante, aun cuando éstas estén localizadas a miles de kilómetros.

Para llegar a conclusiones más profundas sobre la influencia en la calidad del aire de los Esteros del Iberá y de las áreas circundantes, es esencial tener un conocimiento detallado de las fuentes de contaminación más importantes, de sus emisiones y de su ubicación.

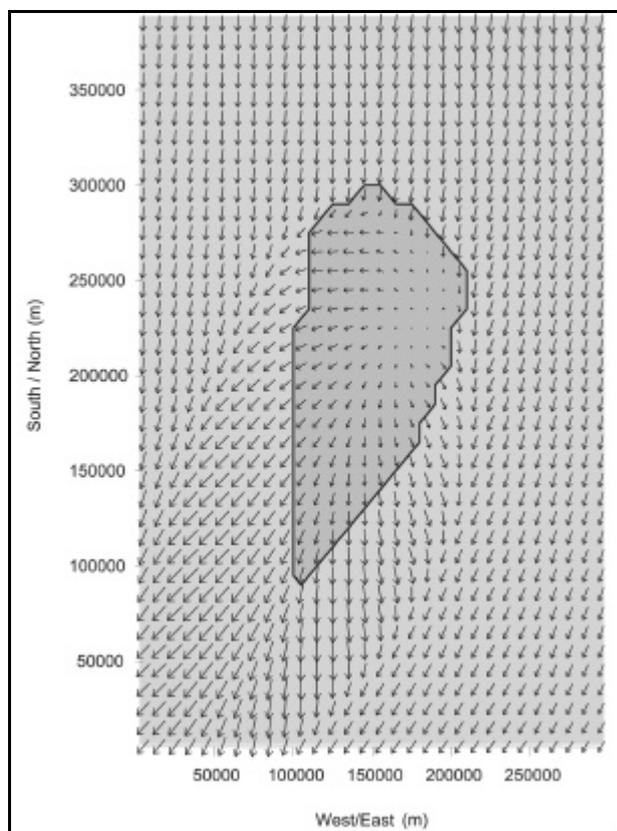


Figura 7: Campo de viento de superficie horario sobre los Esteros del Iberá durante el día simulado (6 de Enero de 2000, 17 hrs.)

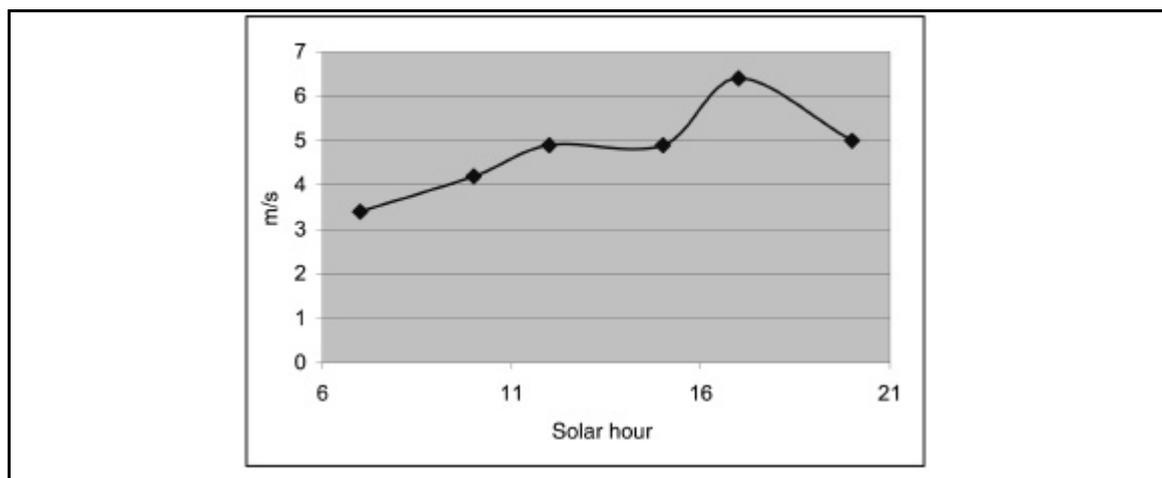


Figura 8: Variación de la velocidad máxima del viento en el dominio del caso de estudio, durante el día de simulación (6 de Enero de 2000).

Parámetros relevantes y técnicas analíticas simples para medir los contaminantes en el aire

Los contaminantes atmosféricos más importantes usados como indicadores de contaminación urbana e industrial son: SO₂, NO_x y O₃. Aquellos que indican la quema de biomasa son compuestos orgánicos y partículas. Un contaminante importante relacionado con las actividades de agricultura/cría de ganado, es el NH₃. El equipo de investigadores de UAVR creó un programa de muestreo para verificar los resultados del modelo de calidad del aire. Las técnicas propuestas (Warner 1976) fueron seleccionadas con el objeto de obtener un panorama preliminar de la calidad del aire en la región, para identificar las fuentes de contaminación más importantes, y para ser utilizado en programas de monitoreo a largo plazo. Con la intención de llegar a un acuerdo entre las necesidades y los límites financieros del presupuesto, se seleccionaron algunos métodos no onerosos:

SO₂	Muestras: recolección por bombeo por medio de una solución de impacto; mediciones de sulfato en agua de lluvia. Determinación: técnicas opcionales usando iodimetría, turbidimetría o colorimetría
NO_x	Muestras: Recolección por bombeo por medio de una solución de impacto. Determinación: NO ₂ , usando el método colorimétrico de Griess-Saltzman o el método colorimétrico de chorro continuo de 24hs; NO _x , por oxidación de NO a NO ₂
O₃	Muestras: recolección por bombeo por medio de una solución de impacto. Determinación: por método colorimétrico
Compuestos orgánicos particulados	Muestras: volumen-alto con filtro de fibra de cuarzo (o contenedor de filtro, medidor de flujo de gas y una bomba) Determinación: masa total de partículas, por diferencia de peso; explorar la disponibilidad de Cromatografía de Gas con Espectrometría de Masa en instituciones cercanas a Corrientes.
NH₃	Muestras: recolección por bombeo a través de un conjunto de tres filtros – para NH ₄ ⁺ , NH ₃ particulado y para remoción ácida. Determinación: método Indofenol.
pH, acidez de agua de lluvia	Muestras: botella y embudo de vidrio; Determinación: electrodos, titulación.

Tabla 6

Se deben establecer las condiciones para la determinación de estos parámetros – clima seco/lluvia, velocidad del viento/dirección, estación del año, número y duración de las muestras – para cubrir los fenómenos mas relevantes que ocurran en la región.

DESARROLLO DE UN BIOSENSOR PARA MEDICIONES A LARGO PLAZO DE LA CALIDAD DEL AGUA

Actividades y Metodología

Se desarrolló un biosensor para el monitoreo continuo del agua de los Esteros, que trabaja de la siguiente manera:

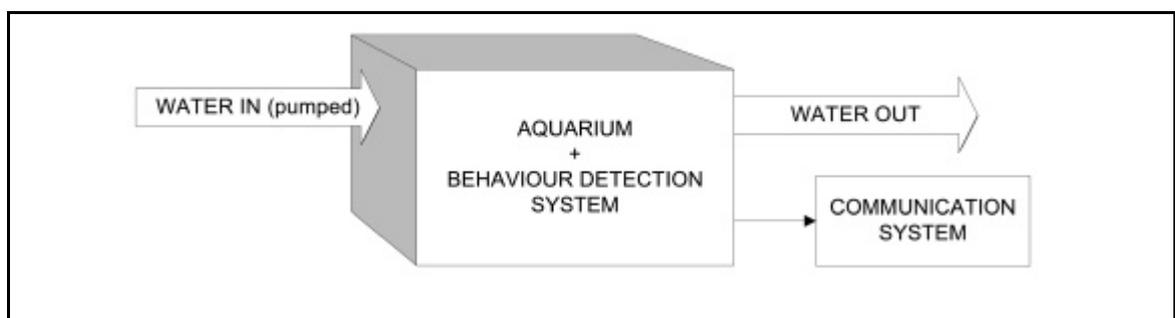


Figura 9: Configuración del sistema de biosensor Ingreso de AGUA (por bombeo), Acuario + Sistema de Detección de Comportamiento, egreso de AGUA, Sistema de Comunicación

El sistema de detección de comportamiento (BDS puede detectar el estado de estrés de los peces y convertirlo en información digital. Esta información puede ser utilizada localmente por el Controlador Lógico Programable (PLC para que decida en qué momento tomar muestras de agua para futuros análisis químicos.

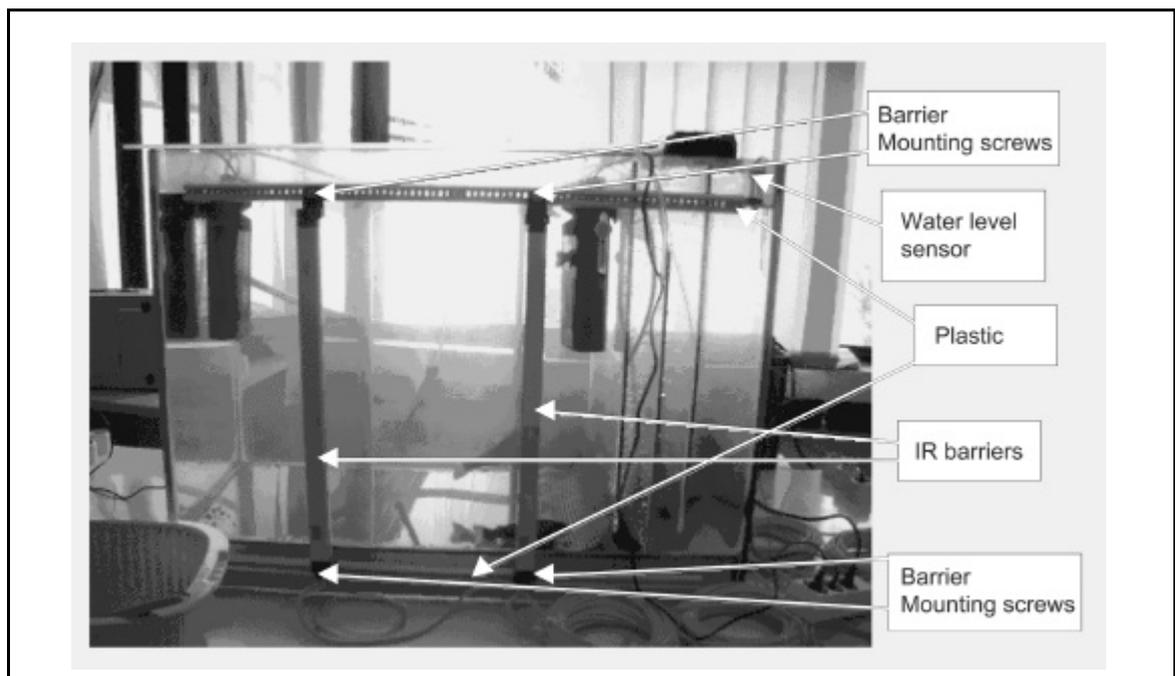


Figura 10 Biosensor construido.

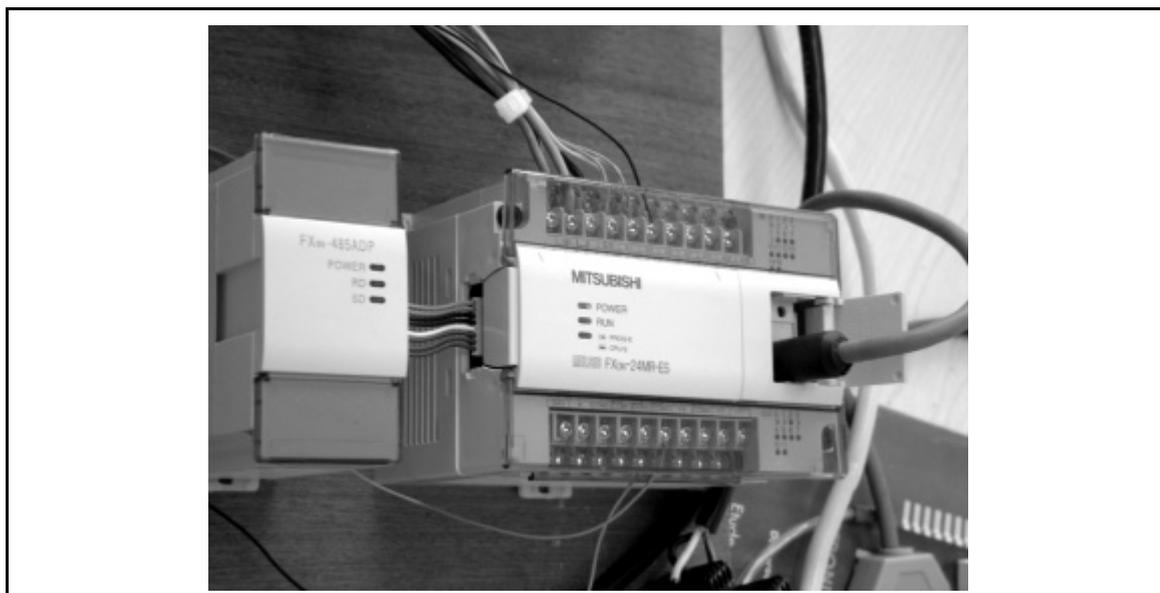


Figura 11: El Controlador Lógico Programable con el modulo RS-485.

Resultados

Las pruebas con el biosensor construido se realizaron en Portugal, exponiendo a la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) a varias concentraciones de endosulfan. La elección de esta especie fue hecha atendiendo al gran conocimiento que se tiene de la misma, al valor de información disponible y a su alta sensibilidad a los contaminantes.

Se sugieren las siguientes especies de peces existentes en Argentina para ser utilizadas en el monitoreo en los Esteros, luego de otros ensayos de laboratorio en las que se las utiliza

- Pacú (*Metynnis roosevelti*) – Esta especie no existe en la laguna. Sin embargo, existe en el Río Paraná y se cría en criaderos, por lo tanto puede reemplazarse con facilidad.
- Portacara (*Aequidens portalegrensis*) Este pez existe en la laguna y hay numerosos estudios con información sobre su ecotoxicología. Sin embargo, este pez no se cría en criaderos.

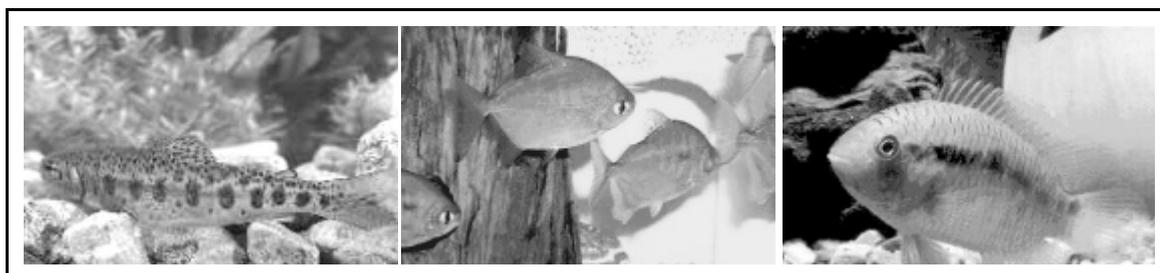


Figura 12 – De derecha a izquierda, la especie utilizada en la prueba de biosensor (*Oncorhynchus mykiss*) y a ser utilizadas en futuros monitoreos en los Esteros (*Metynnis roosevelti* y *Aequidens portalegrensis*).

CONCLUSIONES

Situación Actual

La contaminación con materia orgánica debida a la descarga de agua de desecho no debería tener un gran impacto en el agua de los Esteros del Iberá. Por ejemplo, no afecta de manera

significativa el oxígeno disuelto en las lagunas porque los flujos son relativamente bajos en la actualidad comparados con el volumen de las aguas afluentes y su productividad.

La contaminación con patógenos puede afectar las áreas cercanas a las zonas de descarga pero, de acuerdo con las tasas actuales, no debería tener un impacto significativo debido al uso que se les está dando a las aguas que sostienen al ecosistema y la recreación (botes).

Los valores obtenidos para metales en peces fueron comparados con los estándares internacionales y se pudo concluir que el nivel de contaminación es leve y que el mismo no representa un riesgo significativo por ahora.

Los niveles de pesticidas determinados en las muestras analizadas también fueron más bajos que los internacionales y que los lineamientos derivados, por lo tanto también puede concluirse que no existe riesgo significativo para el ecosistema del agua de los Esteros bajo la tasa de utilización actual.

El resultado del modelo de dispersión de los contaminantes aéreos sugiere que la calidad del aire en esta región puede estar afectada por las fuentes ubicadas hacia el Nordeste, en lo que se refiere a SO_2 y a contaminantes fotoquímicos. Sin embargo, no se realizaron análisis químicos para confirmar esto (no fue propuesto en el proyecto) por lo tanto, sería recomendable realizar dicho análisis en el futuro.

Como conclusión principal, se puede suponer que la calidad ambiental actual de los Esteros, en lo que se refiere a contaminación química del agua del ecosistema, es bastante buena. Sin embargo, deben obtenerse más datos de manera de cuantificar mejor el impacto de las emisiones atmosféricas en la calidad del aire y de los desechos líquidos vertidos en las lagunas. Esto es especialmente importante tomando en consideración el desarrollo futuro de esta región.

Programa de monitoreo futuro

Algunas de las prácticas actuales parecen no tener un impacto demasiado fuerte sobre el ecosistema pero si dichas prácticas, como el turismo, la agricultura y la cría de ganado aumentan sin ningún control, la situación podría cambiar. Para permitir la evaluación de la evolución del impacto y para identificar el momento en que deban implementarse medidas preventivas o correctivas para garantizar la sustentabilidad del ecosistema, deben realizarse más análisis y debe implementarse un programa de monitoreo permanente.

Por ejemplo, la construcción de plantas de tratamiento de desechos líquidos o de unidades asépticas puede ser necesaria en el futuro y deben existir datos que ayuden a tomar esta decisión.

El control de un aumento en las emisiones de sustancias tóxicas en las lagunas, principalmente pesticidas (no se espera un aumento de las emisiones de metales pesados, ya que las baterías han dejado de usarse a gran escala) puede llevarse a cabo por medio del uso de un biosensor. El biosensor desarrollado en este programa puede ser utilizado, pero debe ser mejorado y calibrado utilizando una de las dos especies de peces de agua dulce presentes en Corrientes seleccionadas durante el proyecto.

También deben realizarse más análisis de pesticidas en el futuro, especialmente en muestras de suelo y de pesticidas no analizados en este trabajo, o de nuevos pesticidas introducidos en los

campos de los alrededores de los Esteros. El análisis de los pesticidas también debe realizarse en la fase de monitoreo, especialmente si aparece una respuesta negativa del biosensor.

En lo que se refiere a la calidad del aire, ya que los modelos demostraron que una influencia de las ciudades e industrias del noreste pueden afectar esta región, deben realizarse análisis para evaluar el riesgo de esta posibilidad. Se ha realizado una recopilación de los métodos analíticos que pueden ser utilizados y se presentan para SO₂, NO_x, O₃, compuestos orgánicos particulados y NH₃ en aire, y pH, alcalinidad y acidez, en agua de lluvia.

14. MODELOS DE DIFUSIÓN DE CONTAMINANTES Y DE EPIDEMIAS

Universidad Estatal de Campinas

Integrantes: João Frederico C. A. Meyer¹ (Coordinador), Sílvio de A. Pregnoatto (UNICAMP), Renato F. Cantão (UNICAMP), Renata C. Sossae (UNICAMP), Rosane F. de Oliveira (UNICAMP y UFRRJ), Geraldo L. Diniz (UNICAMP y UFMT), Mateus Bernardes (UFPr) y Raul A. de Assis (UNICAMP)

Colaboradora: Claudia M. Jacobi (UFMG)

OBJETIVOS

El objetivo de esta investigación ha sido la construcción de modelos matemáticos de difusión adecuados para ser utilizados en la evaluación y comprensión de fenómenos ecológicos importantes en el medio estudiado. En ese contexto se ubicó el estudio y simulación numérica de la difusión de contaminantes acuáticas, junto con el de las dispersiones de poblaciones claves incluso bajo el efecto de factores internos y/o externos.

Para tales actividades de modelado matemático se ha elegido trabajar con sistemas de Ecuaciones Diferenciales Parciales, y métodos convenientes para sus aproximaciones numéricas. Además, para eso, fue necesario hacer uso adecuado del *software* disponible y obtener medios eficientes para la visualización de dichas aproximaciones para construir herramientas para la evaluación de fenómenos ambientales. Respecto del manejo sustentable, estas herramientas se destinaron para proveer medios de evaluación de los efectos sobre determinadas especies de los contaminantes en uso por actividades agro-industriales en las orillas de los esteros. Otro objetivo fue el estudio de una epidemia en los carpinchos o capibaras que ocurren en ciclos periódicos, con efectos significativos en el eco-turismo.

Fue también objetivo de este proyecto el crear la posibilidad efectiva de cooperación entre colaboradores de las universidades involucradas en el proyecto general y desarrollar una producción de resultados en varios niveles que sirvieran para el conocimiento y el aprovechamiento de recursos no sólo en los Esteros de Iberá, sino también en otras regiones de esteros y manglares en América del Sur en general y, mas específicamente, en la cuenca del Río Paraná.

ACTIVIDADES

Las actividades desarrolladas en el proyecto que quedaron bajo la responsabilidad del grupo de la Universidad Estatal de Campinas (UNICAMP) fueron:

- plantear modelos de los fenómenos estudiados;
- proponer métodos de aproximación de soluciones y
- producir medios de identificación visual de los resultados obtenidos que resultaran útiles para profesionales de otros campos de investigación.

¹ IMECC- Universidad de Campinas. Caixa Postal 6065 / 13083-970 Campinas, Sao Paulo, Brasil. Email: joni@ime.unicamp.br

Para hacer este trabajo, el grupo decidió adoptar modelos disponibles en la literatura y adecuados al estudio de dispersión de poblaciones (en la línea de difusividad efectiva, definida por Okubo y por Marchuk). Así se adoptó un modelo basado en la Ecuación Diferencial Parcial de Reacción-difusión. Una de las razones principales para esta opción ha sido, por una parte, su aceptación prácticamente universal, y por otra, la experiencia del grupo con su manejo y con técnicas de aproximación en diversas situaciones. El método elegido para la discretización espacial fue el de Elementos Finitos, y para la aproximación en el tiempo, el Método de Crank-Nicolson. Para obtener resultados cualitativos que permitan análisis generales que logren contribuir al estudio y comprensión de los fenómenos analizados, se utilizó información general y en algunos aspectos información específica del Iberá.

Se han utilizado distintos *software* disponibles o especialmente desarrollados para los ensayos numéricos computacionales en el Laboratorio de Matemática Aplicada de la UNICAMP. El trabajo fue realizado por miembros del grupo con reuniones periódicas de discusión, análisis y utilización de los resultados. Todos han participado de los encuentros para establecer la planificación, metas, fechas y para discutir el informe final. Varios investigadores del grupo participaron de las últimas reuniones en Buenos Aires, a fines de 2001.

Entre otras actividades se incluyeron tareas académicas normales como investigaciones bibliográficas, traducción de estrategias de aproximación en lenguaje algorítmico, eliminación de errores en programas (*debugging*). Así también se llevaron a cabo experimentos numéricos, ajuste de parámetros.

RESULTADOS

Modelos de difusión de epidemias

El modelo que ha sido elegido por el grupo para modelar la dispersión de poblaciones en dominios genéricos, donde sobreviene una epidemia de la derrengadera o “mal de caderas” (una enfermedad que afecta la movilidad, la reproducción y, después de algún tiempo, resulta en muerte) de la población de carpinchos, ha sido el sistema de Ecuaciones Diferenciales Parciales dado por:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial S}{\partial t} - \alpha S \Delta S + \nabla \cdot \nabla S + \sigma S S &= \lambda S \left(1 - \frac{S+I}{KS}\right) - \beta(t) \cdot S I \\ \frac{\partial I}{\partial t} - \alpha I \Delta I + \sigma I \cdot I &= \beta(t) \cdot S I - \gamma I \\ \frac{\partial M}{\partial t} &= \gamma I \end{aligned} \right|$$

$$\text{en } \Omega \times (0, T], \text{ donde } \beta(t) = \beta b + \delta \sin\left(\frac{\pi t}{6}\right)$$

con condiciones iniciales:

$$S_0 = S(x, y, 0) = \text{constante,}$$

I_0 nulo con la excepción de una pequeña región

$$\text{y } M_0 = 0.$$

En este contexto matemático, S representa los individuos susceptibles dentro de la población total, que se encuentran en un determinado punto del mapa de coordenadas (x,y) y en un determinado instante t . De manera semejante, I representa los animales infectados y M esos carpinchos que han muerto por la epidemia. Figuran en la ecuación parámetros que representan aspectos de la enfermedad, su contagio, sus períodos de latencia y infección, y la mortalidad resultante. Finalmente, V indica un campo vectorial para fenómenos migratorios cuando éstos ocurren.

Una discretización espacial y temporal y códigos numéricos permiten experimentos computacionales que han producido los resultados presentados de manera gráfica en la figura 1. Aunque los resultados de las simulaciones son siempre resultados numéricos, las presentaciones en aspecto gráfico o las curvas de nivel son mucho más útiles para los estudios de comportamientos generales.

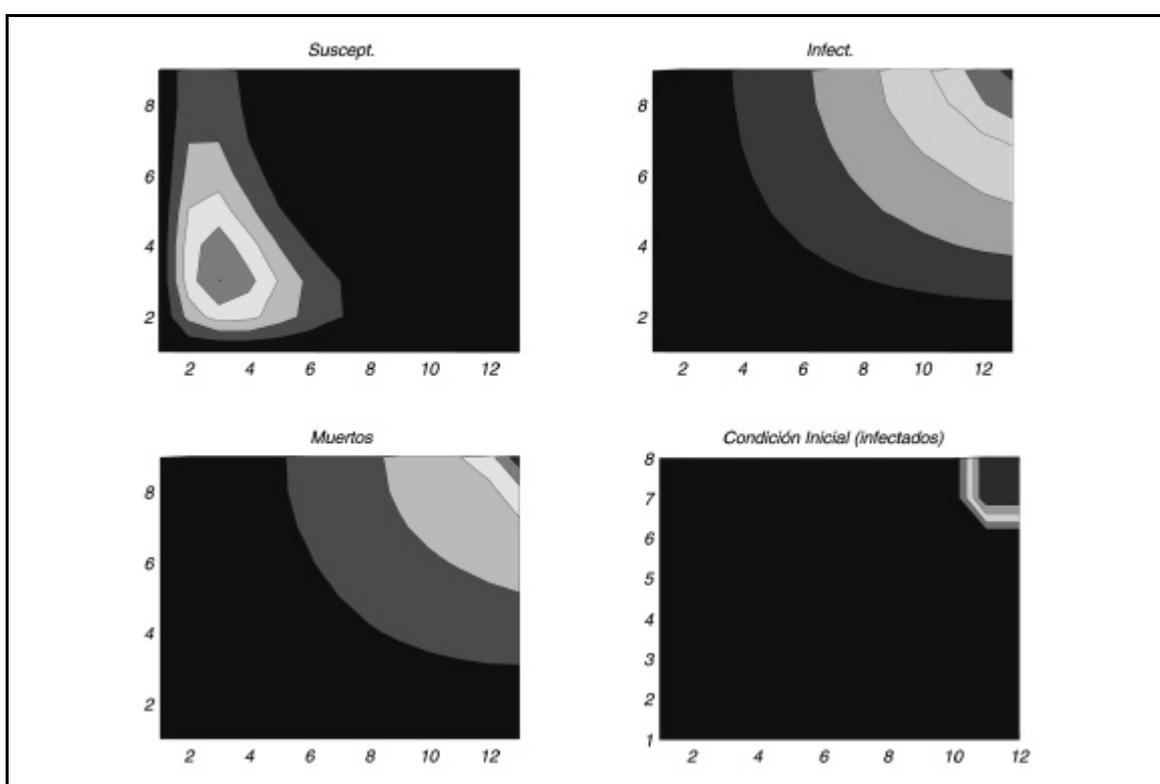


Figura 1: Distribución espacial de las densidades de individuos susceptibles, infectados y muertos luego de 600 pasos de tiempo, a partir de las condiciones iniciales de infectados dadas.

Esta situación, comenzó con una población de animales susceptibles en distribución homogénea, sin muertos como resultado de la epidemia y una parte muy pequeña de la población con individuos infectados en un sector del borde del dominio. Esta condición inicial ha sido elegida porque los carpinchos no son los únicos en sufrir el ataque del protozario que provoca la enfermedad. Caballos, ganado, ovejas también son afectados y como la transmisión se da por los tábanos de la región, el ataque epidémico muchas veces ha empezado en el borde de la región.

En los gráficos superiores de la figura 1 se ilustra, con isolíneas, la presencia de animales no infectados, los susceptibles sobreviviendo solamente alrededor de donde están los infectados y donde se quedan los muertos. Los infectados, que empiezan en un borde

del dominio siguen por un tiempo en esa región, creciendo como población donde hubo susceptibles.

En el tercer gráfico se presentan superficies para las poblaciones de susceptibles, infectados y muertos junto con la evolución de la población de susceptibles, en un punto fijo del dominio, hasta 600 pasos en el tiempo. En el último gráfico, parte de la característica de oscilación del proceso puede ser observado en el período de 2 años y medio al que corresponde esta simulación. Dicha oscilación se debe a la variación de población del insecto portador del protozooario a lo largo de cada año, con más individuos en la temporada de lluvias, menos en la estación seca.

Hay dos puntos iniciales que necesitan discusión: uno, que como los carpinchos no son los únicos hospedadores del *tripanosoma* que aflige también al ganado, caballos, ovejas y hasta cerdos de la región, el crecimiento cíclico de la enfermedad es recurrente. En consecuencia, las medidas en contra de la epidemia serán efectivas solamente en el caso que abarcaran a todos los posibles hospederos. Segundo, los niveles de población tienden a volver a los niveles originales de alta densidad anteriores a la enfermedad después de algún tiempo, y después de una baja considerable. Una conclusión puede ser que cosechas de carpinchos podrían mantener la población en densidades más bajas, impidiendo altos niveles de población susceptible y, así, dificultando la transmisión. De hecho, esta conclusión se presenta como muy problemática, pues los carpinchos están protegidos por ley (por ser especie carismática) y su cosecha no es legal. Sin embargo, hay experiencias en Sudamérica de haciendas especiales que explotan estos roedores, manteniendo niveles adecuados de población.

Modelos de difusión de contaminantes

Para el modelado de la dispersión de contaminantes presentes en la región por actividades agroindustriales al rededor de los esteros, ha sido adoptado un sistema de Ecuaciones Diferenciales Parciales adecuadas a la descripción de la difusión *efectiva* del contaminante en conjunto con el transporte advectivo, es decir, la ecuación de difusión-advención:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \text{div}(\alpha \cdot \nabla c) - \text{div}(W \cdot c) - \mu c = f(x, y; t)$$

donde $c=c(x,y;t)$ es la concentración del contaminante en el punto (x,y) y en el instante t , α es la difusividad del contaminante en el medio, W es la dirección predominante del flujo en el medio estudiado, μ es el decaimiento total del contaminante en el medio, y $f(x,y;t)$ es la fuente contaminante.

Además el modelo considera condiciones inicial y de frontera dadas por: $c(x,y;0)=c_0(x,y)$ la concentración inicial, y para Γ_0 y Γ_1 componentes de la frontera del dominio considerado, las condiciones denominadas homogéneas

$$c|_{\Gamma_0} = 0 \quad \text{y} \quad \frac{\partial c}{\partial \eta}|_{\Gamma_1} = 0 \quad \text{respectivamente}$$

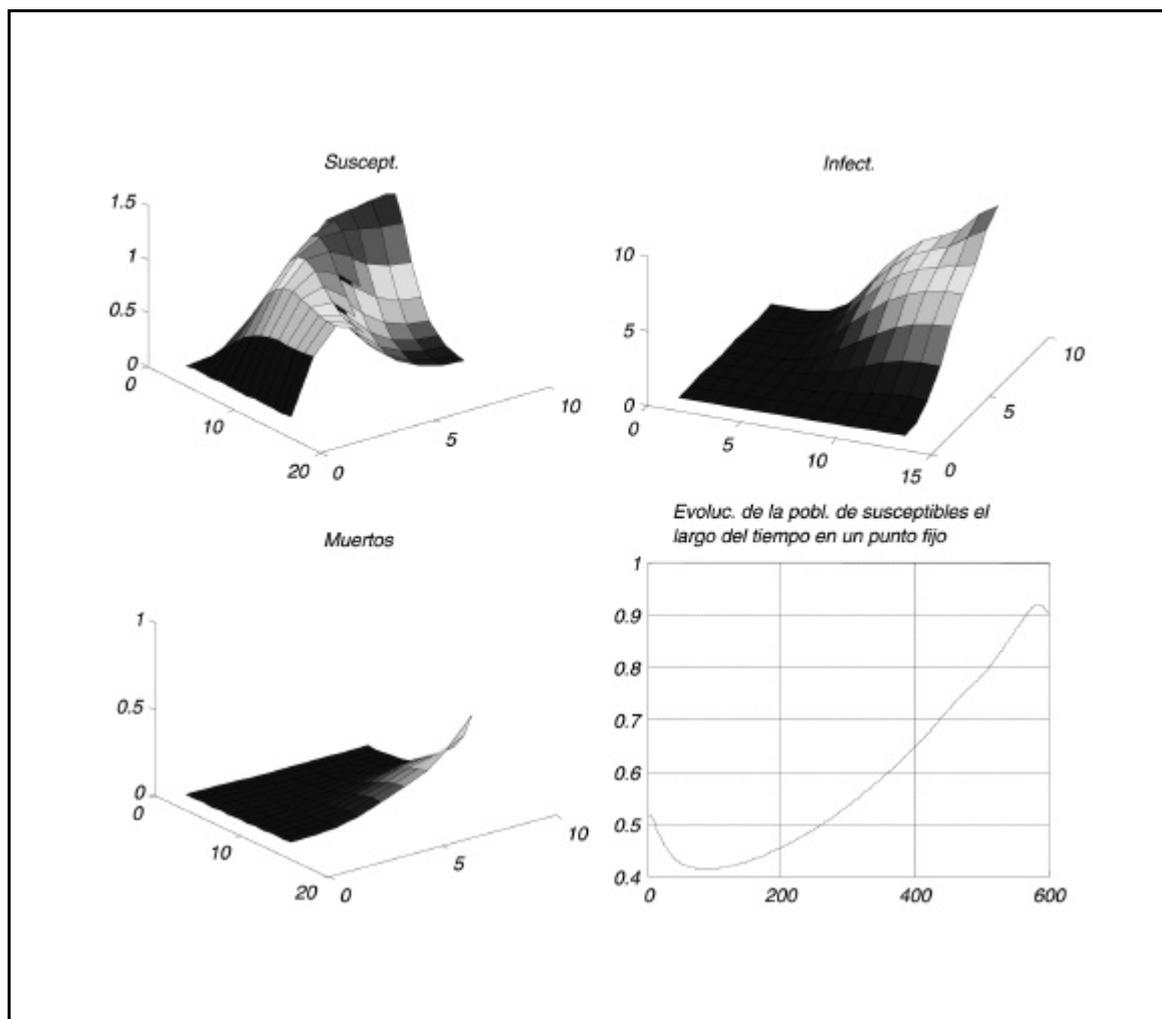


Figura 2: Visualización de la abundancia de individuos susceptibles, infectados y muertos, y evolución de la población de susceptibles a lo largo de 600 pasos de tiempo en un punto fijo dado en el espacio.

En las simulaciones numéricas hechas con Elementos Finitos en la discretización en el espacio y con Crank-Nicolson en el tiempo, se utilizó el campo vectorial \mathbf{W} solución de la ecuación de Stokes para el dominio que representa a la laguna de Iberá. En otras palabras, estos resultados han sido obtenidos en dos pasos algorítmicos. En el primero se obtuvieron soluciones aproximadas de la ecuación de Stokes para el dominio dado, variando en el espacio y en el tiempo. Con estos datos, se logró en la segunda etapa aproximar la presencia del contaminante en la superficie de la laguna, en el espacio y en el tiempo.

Los resultados son presentados en la figura 3 de manera gráfica, mostrando primero las indicaciones de las direcciones obtenidas para el flujo \mathbf{W} , y después, sucesivos gráficos con las curvas de nivel para sucesivos pasos en el tiempo.

Estas figuras indican que, empezando con una concentración inicial de contaminantes en la parte de la laguna más cerca a los arrozales en el borde este (en un escenario en el cual estos productos llegan a la deriva, o por el transporte del viento) se tiene sin embargo un lento y gradual movimiento hasta el sur de la laguna, en la dirección de los esteros del Río Corrientes y la salida a los esteros del Río Miriñay, las posibles salidas de la laguna.

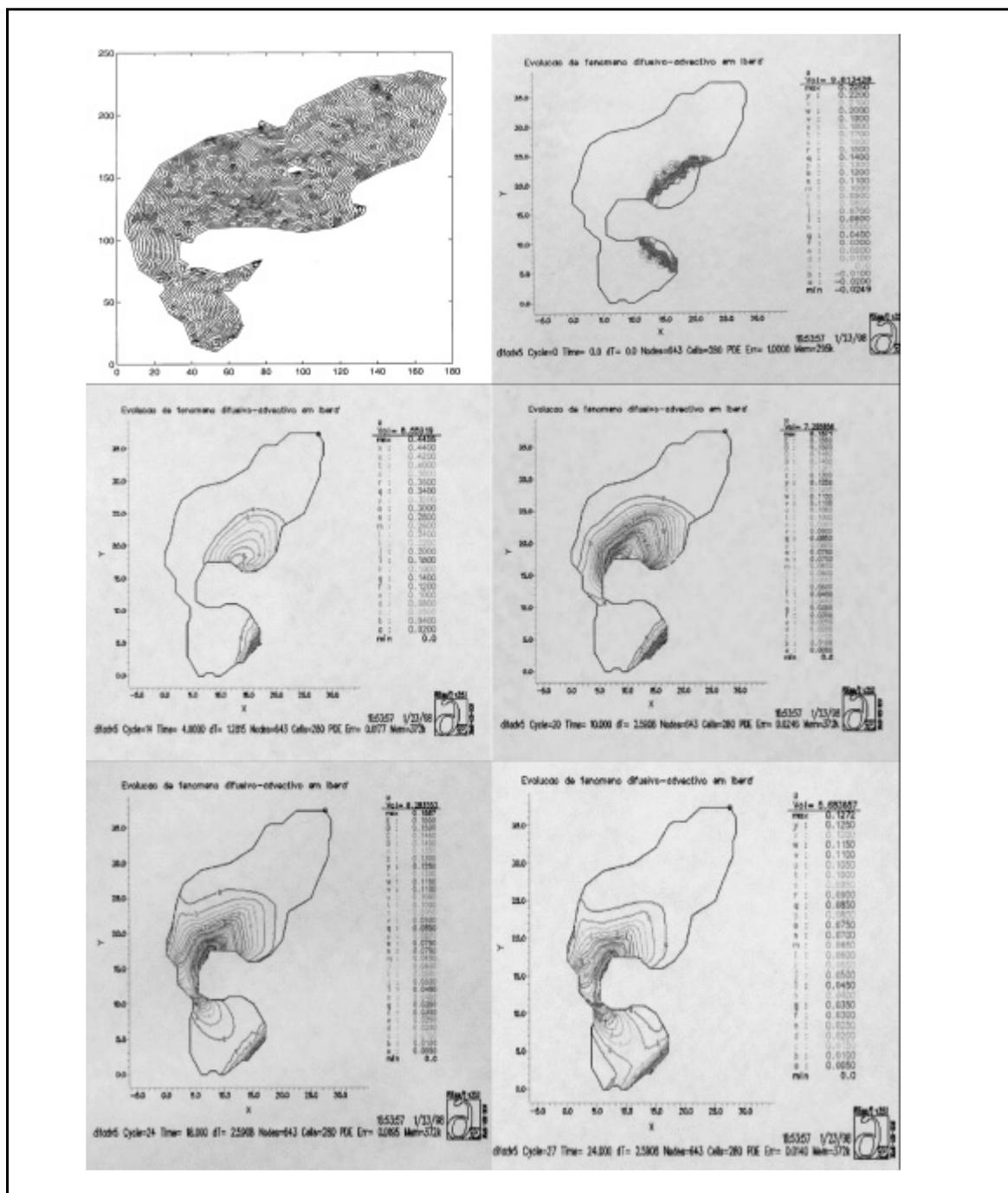


Figura 3: Campo de direcciones de flujo para la Laguna Iberá y distribución del contaminante en distintos instantes de tiempo para una fuente de contaminación ubicada en el borde Este de la laguna.

Actividades Conjuntas de intercambio

Como parte de las actividades de investigación se asistió a las reuniones en Argentina, y en reuniones científicas regionales, nacionales y internacionales en Brasil.

Renata C. Sossae visitó la Universidad de Siena, con aporte de fondos de la UNICAMP, por un periodo de siete meses (de Julio a Diciembre de 1999) para estudiar aspectos del modelado

de posibles efectos de los contaminantes en la cadena trófica. Ella ha sido guiada por el Prof. Dr. Claudio Rossi y recibió allí todo el apoyo necesario a sus actividades de investigación. En este momento se encuentra terminando su tesis de doctorado sobre este tema.

Raul A. de Assis visitó al Sr. Tomas Waller en la oficina de la Fundación Iberá en Buenos Aires y al Prof. Dr. Fernando Momo en la Universidad Nacional de Luján para recopilar información para su trabajo.

El Prof. João Frederico C. A. Meyer fue Profesor Visitante en la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, en Tandil en Diciembre de 1999, donde desarrolló actividades conjuntas ligadas al presente proyecto y dictó un curso de postgrado sobre el Método de Elementos Finitos.

CONCLUSIONES

La conclusión a que llegó el grupo de UNICAMP ha sido, en primer lugar, que dos años es un período demasiado corto para conocer el problema, el desarrollo de modelado matemático de aspectos esenciales del problema, los trabajos de análisis y de aproximación del modelo, la definición de algoritmos y la construcción de códigos computacionales, el ajuste de parámetros y la elaboración de conclusiones relevantes. En 1997, M. Bernardes, y J.F.C.A. Meyer presentaron los primeros resultados numéricos que surgieron de los desafíos iniciales de la situación de los Esteros. Bernardes presentó su tesis de Maestría sobre el transporte difusivo de productos agroindustriales flotantes en la superficie de la laguna de Iberá, simulando posibles escenarios de contaminación.

También, hacia el final de 2002, S.A. Pregnoatto ha presentado su tesis de Doctorado con el estudio, el modelado y la aproximación de aspectos de epidemia de carpinchos. En cuanto a R.C. Sossae y G.L. Diniz, presentarán sus tesis de Doctorado a principios de 2003, respectivamente sobre el estudio de efectos de contaminantes en especies claves de la cadena trófica y sobre un estudio de contaminación en el medio aire-agua en un ambiente de los Esteros.

Se puede por lo tanto afirmar que el grupo de UNICAMP sigue trabajando en el proyecto luego del cierre formal del mismo. La intención es seguir en la estrecha cooperación desarrollada por los distintos participantes investigadores y instituciones, para no dejar que se pierda la rica relación profesional y personal que se ha conseguido hasta el presente. Desde el punto de vista del modelado matemático y de métodos de aproximación, hay conclusiones, aunque sencillas, que deben ser consideradas:

- Todas las formas de vida más cercanas al borde de los esteros y en la interfase con regiones de producción agroindustrial ya empezaron a sufrir y seguirán sufriendo los impactos de dichas actividades de producción. Desechos, *run-off*, contaminantes transportados por vientos y corrientes tienen una presencia prácticamente constante en toda la región alrededor de los Esteros. Estos modelos ilustran bien el pasaje de estos contaminantes en su "viaje" por la laguna de Iberá.
- En el otro campo de investigación, no es fácil evaluar las consecuencias del impacto producido por estos contaminantes en las especies carismáticas que son, en un sentido más amplio, en gran medida atractivos para el eco-turismo y, como consecuencia natural, del manejo sustentable de la naturaleza en esa región. Estas actividades de turismo son esenciales como alterna-

tiva a las actividades agroindustriales en los Esteros del Iberá, como medios de ingresos financieros y supervivencia de la población local. Sin embargo, nuestros modelos indican de hecho los efectos cualitativos que van a sufrir las especies nativas locales, con posibles resultados negativos para las actividades de turismo.

Finalmente, aún cuando existan muchas características semejantes en el manejo de regiones de esteros y manglares, en distintos lugares de América del Sur, y en la cuenca propiamente dicha del Paraná, se presentan muchas diferencias de consecuencias de amplio rango. Esto indica la necesidad de mantener proyectos serios y bien planeados para la evaluación, la comprensión y el posible manejo de fenómenos de alcance local y regional. La situación en regiones que ya sufrieron un fuerte impacto de actividades antrópicas de diversos tipos, indica la urgente necesidad de estudiarlas en su complejidad.

| 15. ANÁLISIS SOCIOECONÓMICO

University of York y Universidad del Salvador

Integrantes: Charles Perrings¹,
Franco Cattaneo² (USVID)
y Silvio Simonit

INTRODUCCIÓN

Los humedales del Iberá proveen una amplia gama de servicios ecológicos e hidrológicos. Estos servicios sostienen actividades que incluyen turismo de vida silvestre, pesca deportiva, ganadería, producción de arroz y forestación. Además sirven de hábitat a especies con alto valor de conservación. Al igual que los humedales de otras regiones, éstos están presionados por el desarrollo económico. El crecimiento en la producción de arroz y el desarrollo hidroeléctrico en el río Paraná son importantes fuentes de presión.

El reservorio de la represa de Yacyretá en el río Paraná, ha revertido el flujo de las napas freáticas, y se presume que es el origen de un incremento en el nivel medio del agua del humedal de 0.8m por ahora. El cambio de los niveles hidrométricos tiene implicancias en todas las actividades basadas en o afectadas por los recursos del humedal.

La producción ganadera, de arroz y maderera, como así también el turismo son las principales actividades del área y están siendo afectadas por los cambios en la altura media del agua. Sin embargo, mientras que el ganado y los sectores de turismo no ocasionan un impacto en los niveles medios del agua, el arroz y eventualmente, la producción maderera, han mostrado tener correlaciones con los cambios hidrológicos. Esto significa que cambios en el nivel de actividad de estos dos sectores podrían afectar la producción de ganado y arroz a través de su impacto en los niveles del agua.

OBJETIVOS

El estudio tuvo como objetivo crear un modelo de las actividades que se desarrollan con base en Iberá, para comprender su dependencia recíproca en los humedales así como la interdependencia entre sectores. El modelo debería permitir a quienes toman las decisiones evaluar las consecuencias económicas de aquellas actividades que modifiquen algunos de los componentes clave del humedal.

1 Environment Department, University of York, YO10 5DD York, Reino Unido. Email: cap8@york.ac.uk

*2 Vicerectorado de Investigación, Universidad del Salvador, Rodríguez Peña 770 - 2°Piso, 1020 Buenos Aires, Argentina.
Email: uds-inve@salvador.edu.ar*

ACTIVIDADES Y METODOLOGÍA

Para construir un modelo de la dependencia de las principales actividades económicas en variables seleccionadas de los recursos del humedal y el impacto de las actividades económicas en los mismos, se ha especificado una relación funcional entre los productos (output) de las actividades consideradas y un conjunto de ingresos (input) que incluyen no sólo la tierra, el trabajo y el capital utilizado en la producción, sino también mediciones de la calidad ambiental. Las mediciones de la calidad ambiental comprenden el nivel medio del agua y la extensión cubierta del humedal. Mientras que la calidad del agua es potencialmente importante para varias actividades (turismo, ganado y producción de arroz en particular), no se pudo obtener evidencia de cuánto podrían ser afectadas negativamente por el deterioro de la calidad del agua en los humedales. Sin embargo, todas son fuertemente afectadas por el incremento del nivel medio y la extensión del agua.

Funciones de producción

Los cuatro sectores considerados en este estudio fueron turismo, producción de arroz, cría de ganado y forestación, los cuales son potencialmente afectados por la calidad del humedal. Para hacer un modelo de estos sectores identificamos las funciones de producción de la forma general:

$$Q_i = Q_i(x_i, L_i, LW, W), \text{ con } i = T, R, C, F$$

donde x_i son las entradas de material en el sector i , W es el nivel del agua, LW es el área del humedal, L_i es la superficie de tierra asignada al sector i , T significa turismo, R arroz, C ganado y F forestación. Además supusimos que W o LW dependen de la tierra asignada a cada una de estas actividades como también a una serie de factores “ambientales” que incluyen la construcción de la represa de Yacyretá. Estos factores “ambientales” son simbolizados por el vector z . Por lo tanto tenemos:

$$W = f(L_i, z) \text{ con } i = T, R, C, F$$

$$LW = g(L_i, z) \text{ con } i = T, R, C, F$$

Esto significa que cada actividad depende de todas las otras a través de W o LW , lo cual permitió estimar el impacto externo marginal de cada asignación de tierra sobre otras actividades a través de nuestras mediciones del humedal.

Adquisición de datos

Los datos fueron obtenidos durante dos estudios de campo realizados en la Argentina

Variables de estados del humedal

Se utilizaron dos variables de estado del humedal. La primera es el nivel de agua basada en una serie de mediciones a intervalos regulares en la laguna del Iberá. La segunda variable es el área del humedal realizada a partir de información satelital. Dado que no existen datos de campo

sobre la variación del área cubierta de agua del humedal del Iberá, la única fuente disponible fueron las imágenes. Para el estudio GIS se enfocó el humedal Iberá-Carambola (alrededor de 675,000 ha) que comprende más de la mitad del total del sistema del Iberá. Se utilizó información del Radiómetro Avanzado de Alta Resolución (AVHRR). El AVHRR recopila cinco canales de datos en una resolución espacial de 1km en el espectro visible, infrarrojo cercano e infrarrojo termal. Fueron utilizados un canal en la región infrarroja visible (límites espectrales: 0.58-0.68 μm), uno en la región infrarroja cercana (límites espectrales: 0.72-1.10 μm) y tres en la región infrarroja termal (límites espectrales: 3.55-3.93 μm ; 10.30-11.30 μm ; 11.5-12.5 μm). La determinación de la interfase tierra-agua es generalmente más fácil en la región infrarroja cercana, donde la tierra es brillante, sobre todo si tiene vegetación y el agua libre es oscura.

Se utilizaron cuatro métodos distintos: dos aplicando el análisis de banda de onda simple (*single waveband analysis*) y dos usando el análisis de banda de onda múltiple (*multiple waveband analysis*).

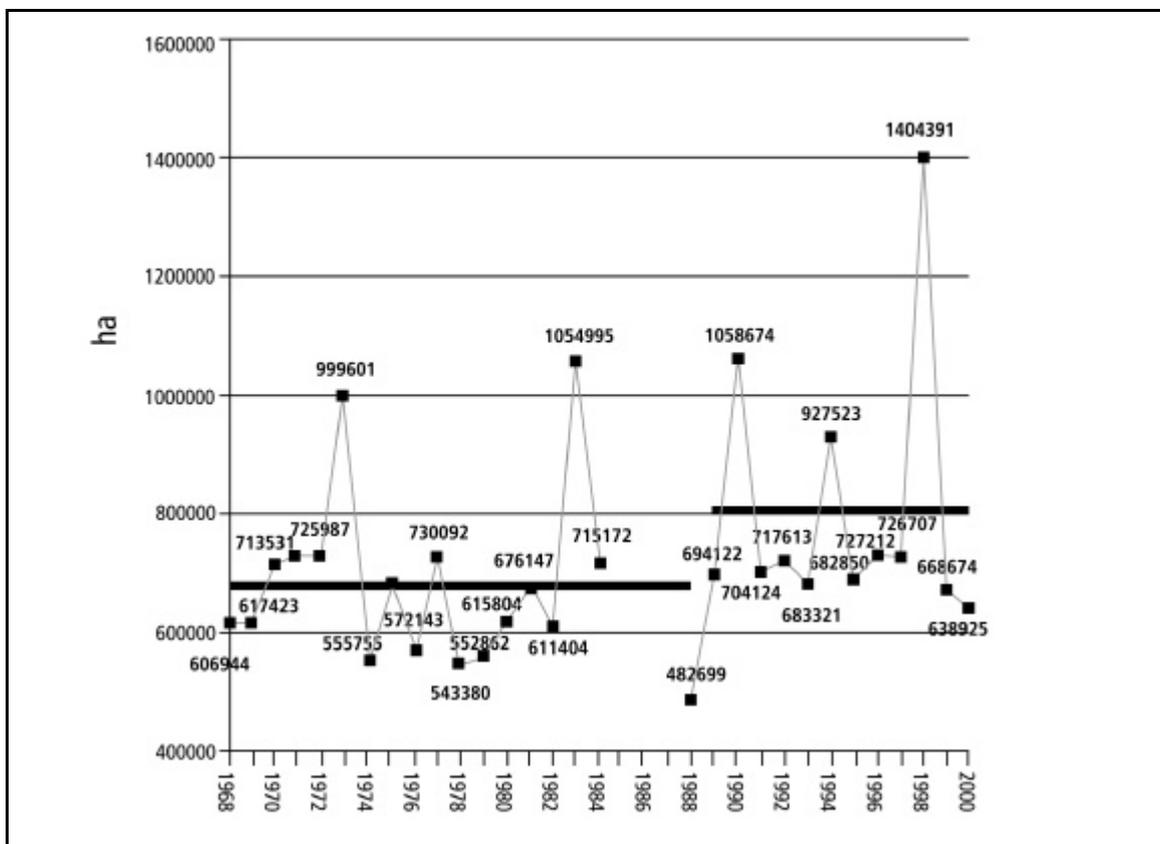


Figura 1: Variación estimada del área del humedal del Iberá (medias anuales)

Como la determinación de la interfase tierra-agua es más fácil en la región del infrarrojo cercano, utilizamos la banda dos de las imágenes AVHRR para detectar el área del humedal de Iberá cubierta por agua. Ya que los valores de los píxeles tienen una distribución lineal continua entre un valor numérico mínimo a uno máximo, se identificó un área de humedal permanentemente bajo agua para usar como una cuadrícula de recorte (*clipping grid*), el valor máximo dentro de la porción de recorte (*clipped portion*) de cada cuadrícula provee un umbral para la identificación de los píxeles del humedal. Se asignó el mismo valor a todos los píxeles cuyos valores estaban por debajo del umbral. Esta región de células con este valor identifica los

cuerpos de agua. Esto proporcionó las estimaciones preliminares directas del área cubierta de agua para cada observación. Esto se amplió a través del uso de un modelado de entorno (*neighbourhood modelling*).

También se utilizó análisis de banda de onda múltiple. Para extraer los rasgos se aislaron los componentes dentro de los datos multi-espectrales que contienen los elementos esenciales de la imagen utilizando tanto el Análisis de Componentes Principales como el de Cluster. Específicamente, se utilizó el Algoritmo de Clustering Isodata para determinar las características de los agrupamientos naturales de células reuniendo los datos multi-variables combinados en un grupo. También se usó el Análisis de Componentes Principales para identificar la combinación lineal óptima de los canales originales que pueden responder a la variación de valores pixel en una imagen.

Debido a que las imágenes sólo estaban disponibles por un número de períodos limitado, se construyó un conjunto de datos a largo plazo para el área del humedal a través de la variable proxy de flujo de agua (m³/seg.) del río Corriente. Los datos del GIS que ofrecieron el mejor ajuste derivaron del Análisis Cluster empleando el Algoritmo de Isodata Clustering. Esto fue luego utilizado para estimar el área del humedal usando el conjunto de datos de los caudales diarios del río Corriente desde 1968 al 2000.

Datos socioeconómicos

Debido a que los conjuntos de datos secuenciales y muestras representativas eran limitados, se realizó un análisis de panel de datos. Los paneles se generaron combinando las observaciones secuenciales a través de una variedad de unidades de muestras representativas. Esto ofrece una estimación más precisa y pruebas estadísticas con más peso que lo habitual en datos secuenciales o muestras representativas.

Ya que la regresión OLS combinada simple con los conjuntos de datos de panel probablemente resulte en la desviación de variables omitidas, se controlaron todos los factores no observados que afectan la variable dependiente. En el caso del sector del arroz, por ejemplo, las unidades de medida fueron los distritos de los humedales. Los “efectos de distrito” son los factores no observados que son constantes en el tiempo pero varían dentro de las unidades de medida. Contrariamente a esto, los “efectos de período” varían con el tiempo pero son constantes en todos los distritos.

El objetivo inicial fue establecer la relación entre el área del humedal y la productividad de los sectores principales. Una vez establecido esto se pudo estimar el impacto de los cambios en el humedal utilizando el enfoque de la función de producción.

Los factores constantes no observados fueron controlados por una regresión OLS combinada simple. Para responder a los mismos se utilizaron estimaciones de efectos tanto fijos como aleatorios. El modelo de efectos fijos trata al i y t como parámetros de regresión. El modelo de efectos aleatorios trata al i y t como componentes del término error. Los remanentes de la estimación OLS del modelo con una única ordenada al origen fueron descompuestos y utilizados para transformar las variables. La correlación entre los efectos i y t y las variables explicativas significaron que el modelo de efecto aleatorio no pudiera estimarse de manera consistente. La magnitud de la desviación (sesgo) en la estimación de efectos aleatorios fue luego probada utilizando un test de Hausman.

RESULTADOS

En primer lugar se registraron los resultados del análisis del nexo entre los cambios en los niveles de agua y producción en cada uno de los cuatro principales sectores económicos.

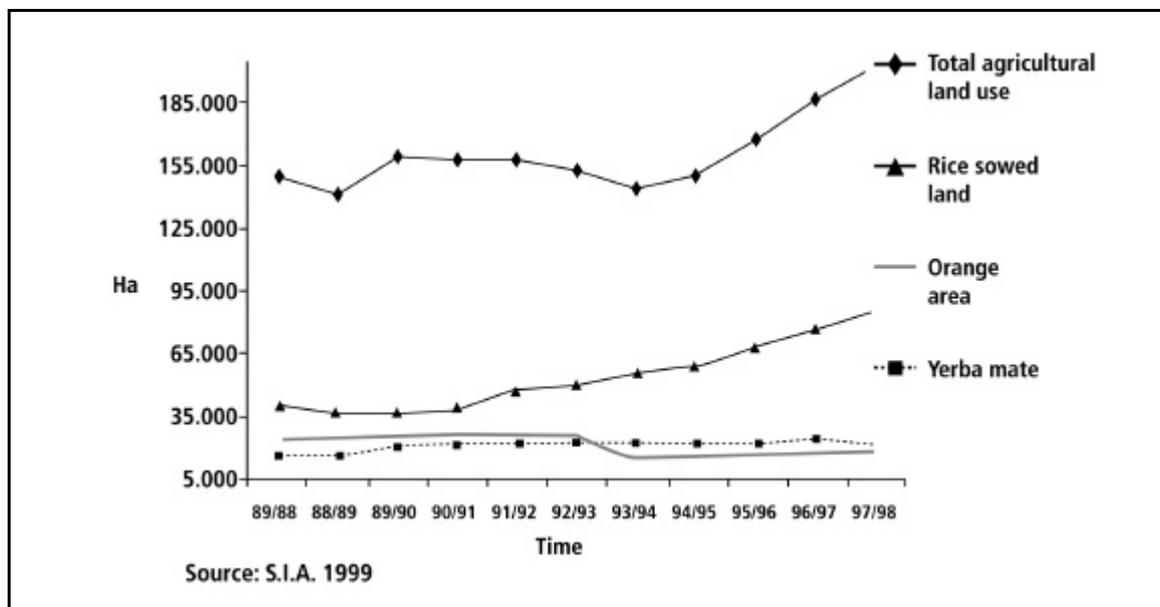


Figura 2: Uso agrícola del suelo en la provincia de Corrientes 1987-1997.

Arroz

El sector del arroz fue dividido en los siete departamentos cuyas áreas se superponen con el humedal del Iberá (departamentos "intra-humedal") y los departamentos restantes fuera del humedal del Iberá (departamentos "extra humedal"). El análisis de los modelos "intra-humedal", "extra humedal" y "provincia completa" y para los modelos de efectos fijos y aleatorios, mostró que habría involucrados tanto una heterogeneidad estructural entre los departamentos como algún factor de tendencia.

Se encontró que la productividad de arroz en Mercedes estaba menos afectada por la variación en el área del humedal comparada con otros departamentos, pero dependía más de algún otro factor no considerado en el modelo. Un factor mayor fue la migración al departamento durante varios años de los agricultores de arroz brasileños. Los inmigrantes desplazaron a los agricultores de arroz locales y consolidaron la posesión de tierras. Esto aumentó el alcance de economías de escala. Con mayor poder de crédito, los nuevos agricultores de arroz introdujeron progresivamente mejores tecnologías y calidades de arroces tropicales más productivas.

Para analizar la tendencia en la productividad de arroz se ejecutó el modelo de regresión con una tendencia variable (variable anual). La variable fue tanto económica (de signo positivo y valor de coeficiente relativamente alto) como estadísticamente significativa (a nivel del 10%), confirmando una tendencia creciente en la productividad de arroz. En 1998, la devaluación del Real brasileño causó el colapso de las exportaciones incluido el arroz.

Se consideró la relación entre los cambios en el área del humedal con la productividad de arroz, y se encontró una diferencia clara entre los departamentos "intra humedal" y "extra humedal". El área del humedal se relacionó mejor con la variación en la productividad de arroz en el pri-

mero. En ambos modelos, el incremento del área del humedal tiene un efecto positivo hasta un área determinada, más allá de la cual el efecto es negativo y creciente. Sin embargo, este efecto es mucho más marcado en los departamentos “intra humedal”. El punto en el que los incrementos de la extensión del humedal comienzan a dañar la producción de arroz es también mucho más bajo para éstos.

Se evaluó luego la relación entre los cambios en la producción de arroz en el área del humedal. Se encontró que la expansión de la producción de arroz en Mercedes se correlaciona con el aumento inducido en el área del humedal. Su efecto se compensó parcialmente por el aumento del cultivo de arroz en los departamentos de San Martín y Santo Tomé, los cuales extrajeron agua del humedal. No obstante, el crecimiento del sector del arroz en todos los departamentos “intra-humedal” causaron el aumento de la superficie con vegetación inundada por encima de 10,000 hectáreas en once años. Ésta fue una proporción significativa de la expansión total de superficie cubierta de agua en ese período.

Forestación

La forestación tiene efectos hidrológicos potencialmente significativos. Dependiendo de las especies plantadas y el intervalo de la rotación, la forestación puede afectar tanto el equilibrio entre los flujos rápidos y lentos (escurrimiento de superficie y aguas subterráneas) como la evapotranspiración. Puede esperarse que las plantaciones de árboles reduzcan el balance anual de agua de las áreas boscosas y que involucren picos menores de descargas del flujo. Esto es así porque los bosques capturan más agua que cualquier otro tipo de vegetación y tienen tasas de evapotranspiración superiores.

Las tasas de evapotranspiración a nivel del bosque dependen de las prácticas de manejo. Estas incluyen:

- Dejar una baja densidad de grandes árboles vivos
- Dejar algunos árboles muertos en pie o caídos
- Cosechar siguiendo patrones para mantener los bosques en grandes bloques
- Diversificar el bosque para incluir las especies nativas
- Mantener la vegetación en corredores o islas arboladas sin cultivar a lo largo de los caminos y canales, y alrededor de otros sitios sin cultivar
- Adoptar sistemas de agroforestación.

No fue posible aplicar los métodos existentes para calcular la pérdida de agua por forestación debido a la falta de datos específicos de las ubicaciones tanto para las áreas de base troncales medias, (*mean trunk basal areas*) como para las prácticas de manejo de los distritos “intra humedal”. Por lo tanto, se buscaron medidas directas tanto del impacto de los niveles de agua en los rendimientos forestales, como del impacto del área forestada en el nivel de agua.

Contrariamente al sector del arroz, se encontró que el nivel de agua no tenía un impacto significativo en el rendimiento del bosque en el período del cual tenemos datos. Sin embargo esto puede deberse al hecho de que los datos forestales se refieren a toda la provincia de Corrientes y no sólo a los departamentos de Iberá. Una parte de la forestación en Corrientes está a tal dis-

tancia de Iberá que no podría ser influenciada por un cambio en las características del humedal. Por la misma razón, no se encontró ninguna relación de peso entre el cambio en la extensión de las plantaciones forestales y el nivel o el área de los humedales. Además, se encontró que la forestación no tenía un efecto significativo en los niveles de agua en el sistema de Iberá. Esto no excluye la posibilidad de que las forestaciones vecinas a Iberá tengan efectos hidrológicos locales. Sin embargo, no pudieron ser captados.

Ganadería

A priori no resulta obvio la relación entre la producción ganadera y los cambios tanto en los niveles de agua como en la extensión de área cubierta por agua dentro del humedal. Mientras puede esperarse que la extensión de la misma reduzca el área disponible para el pastoreo del ganado, también puede asociarse con niveles superiores de producción de pasto. Diferentes estudios dentro del proyecto INCO-DEV sobre herbívoros del sistema como el carpincho y el ciervo de los pantanos, sugieren que el impacto neto de un aumento en la abundancia de herbívoros en el área del humedal puede ser negativo, por lo menos a partir de un cierto punto.

Se consideró la respuesta del número de cabezas de ganado en relación con los niveles de agua, el área dedicada al arroz y el área destinada a la forestación. Los datos del número de cabezas de ganado se refieren a toda la provincia.

Al igual que en el sector forestal, una función cuadrática no se adecuó bien con los datos. La mejor adaptación fue dada por una función Cobb-Douglas. Aunque los ganaderos locales notan que hay una pérdida de tierra disponible para el pastoreo, en la provincia fue positiva. El efecto aparentemente positivo de los niveles de agua en el número de ganado puede reflejar el hecho de que el ganado se puede desplazar aprovechando la oportunidad, explotando las subas y bajas estacionales. Ésta no es una opción factible para los productores de arroz ni para los que realizan forestación. Implica que el ganado puede aprovechar la variación en la producción de pasto en los márgenes de los humedales provenientes de las fluctuaciones en el área. Sin embargo, este escenario no contempla un cambio permanente en el régimen hídrico del humedal.

Turismo

Se esperaba encontrar que el turismo se viera afectado por un cambio tanto en la extensión de las áreas cubiertas de los humedales como en los niveles de agua. Como en otros sistemas de humedales, la flora y fauna que forman la atracción principal de Iberá como un destino turístico es sensible a los cambios en el nivel de agua en el sistema. Otros estudios en el proyecto han mostrado que el nivel de agua se relaciona con la calidad de los hábitats claves en el sistema, afectando la ecología de las principales especies en esos hábitats. Sin una comprensión del rol de las especies particulares en el turismo, no es posible modelar las consecuencias económicas del cambio del humedal a nivel de las especies.

Para modelar los efectos de los cambios en las características del humedal, se consideró la relación entre los niveles de agua y visitas turísticas utilizando el único conjunto de datos disponible. Éste es un conjunto de datos muy limitado, por lo que los resultados necesitan ser tratados con cautela.

Se encontró que, por lo menos a corto plazo, el turismo se relaciona positivamente y hasta un cierto punto con los niveles de agua. Mientras que el turismo está orientado hacia la vida silvestre, puede esperarse que responda al incremento en la abundancia de la misma. El éxito en la prohibición de caza y por lo tanto la abundancia de caimanes, por ejemplo, está positivamente correlacionado con los niveles de agua. Dado que los niveles de agua elevados también mejoran el acceso en embarcaciones, esto pueden facilitar el turismo acuático.

Un estudio de turistas en 2001 mostró que la mayoría de los visitantes a la laguna de Iberá tenía fuertes preferencias por observar al ciervo de los pantanos, caimanes y pájaros. Estos turistas tienden a visitar el lugar en las vacaciones de invierno cuando los niveles de agua son relativamente altos. Una excepción a esto son los pescadores deportivos que visitan el río Corriente al sur del humedal entre septiembre y mayo, cuando los niveles de agua son bajos. Ésta es la temporada alta para la pesca con mosca del Dorado, el *Salminus maxillosus*. Dado que la abundancia (o por lo menos la posibilidad de pesca) del dorado está inversamente relacionada con los niveles de agua, los niveles de agua crecientes desaniman a los pescadores deportivos.

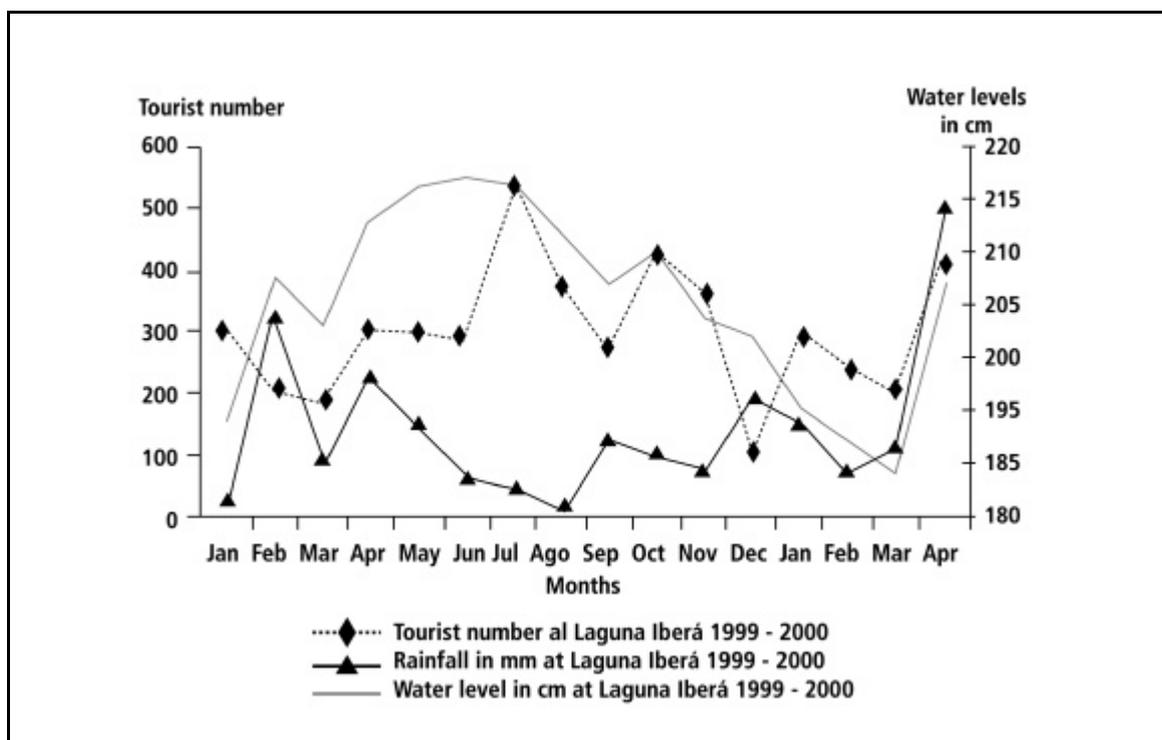


Figura 3: Turismo, niveles de agua y precipitaciones en la laguna de Iberá, 1999-2000.

Valor de las externalidades del humedal

Dada la relación entre niveles de agua/área del humedal y rendimiento en el arroz, ganado y sectores de turismo, consideramos las implicancias económicas de cambios en los niveles de agua/área del humedal debido a la construcción de la represa de Yacyretá, y el crecimiento del sector de arroz.

El cambio en el área del humedal tiene efectos positivos y negativos en la producción de arroz, dependiendo de la tasa de crecimiento en el área del mismo. El agua usada en el cultivo de arroz

deriva tanto del agua subterránea como superficial, siendo esta última la fuente más importante. El costo del bombeo depende de la altura de la superficie del agua en relación con la altura de la tierra a ser irrigada. No se contó con buenos datos sobre el nivel de agua general en el humedal ni de la profundidad de agua subterránea, pero sí se midió el nivel de agua en un punto particular dentro del humedal, la laguna Iberá. Se utilizó, entonces, el nivel de la laguna y la distancia del nivel del agua desde la superficie irrigada como un sustituto proxy para los niveles de agua en todo el humedal.

Usando la estimación del impacto marginal de los cambios en el humedal en términos de beneficios netos perdidos de la producción de arroz, se calculó el valor de las externalidades de la represa de Yacyretá desde 1989. Este es que el año en que un aumento en el nivel de agua por la construcción de la represa hidroeléctrica parece haber influido en los niveles de agua del sistema del Iberá. El impacto en los beneficios netos de la producción de arroz es sólo una medida del valor de los humedales. No se hace ningún comentario, en este punto, sobre el impacto en el turismo, forestación o producción ganadera. Calculando la productividad marginal de la tierra dedicada al arroz en los departamentos “intra humedal” y “extra humedal” en una área del humedal de 676306 hectáreas se encontró que el impacto marginal en los rindes del arroz es negativo en los departamentos “intra humedal” y positivo en los departamentos “extra humedal”. Específicamente, un aumento de una hectárea de área del humedal desde 1988 ha causado una pérdida de 78.36 u\$s en los departamentos “intra humedal”, pero una ganancia de 12.02 u\$s en los departamentos “extra humedal”.

También se encontró que, al menos en algunos distritos, la producción de arroz en sí misma, aumenta la superficie de agua en los humedales. Específicamente, en cinco de los siete departamentos “intra humedal” un aumento en la tierra irrigada dedicada al arroz se asocia con un aumento en el área bajo agua.

La elasticidad del rendimiento de los niveles de agua es positiva tanto en la producción ganadera como en el turismo, al menos sobre el rango de niveles de agua experimentados hasta ahora. Si la relación entre los niveles de agua y el rendimiento en estos dos sectores es cuadrático, como lo es en el sector de arroz, el punto de inflexión ocurre a un nivel de agua mucho más alto de los que se hayan experimentado hasta la fecha.

Problemas encontrados

Los problemas más severos involucraron la falta de datos utilizables. Dado la naturaleza del problema a ser investigado, no fue posible obtener los datos requeridos por las técnicas de investigación. Por consiguiente se trabajó con los datos obtenidos por varias dependencias de gobierno. Se requerían series de tiempo disgregadas para estimar las funciones de producción, pero los datos en la mayoría de los casos fueron incompletos e inconsistentes.

Esto se sumó a las dificultades metodológicas del proyecto. Dadas sólo once observaciones sobre el área dedicada al cultivo de arroz, por ejemplo, una regresión del área del humedal media, contra el área de arroz para cada uno de los siete departamentos, en un modelo log-log dio un resultado de R^2 de 0.93 (R^2 ajustado = 0.77), pero con pocas de las variables independientes significativas (los valores de departamento), y casi todas altamente correlacionadas. Para resolver el problema sin quitar la variable departamento que es el objeto del análisis, se utilizó un “*ridge trace*” como una manera de corregir los coeficientes. El

“*ridge regression trace*” se construyó computando once regresiones utilizando valores igualmente espaciados de r ($r = 0, 0.2, 0.4, \text{etc.}$). De esta traza se concluye que:

- Los coeficientes OLS probablemente serán sobrestimados en el valor absoluto. Colectivamente no son estables. Moviendo una distancia corta del punto cuadrado mínimo (*least squares point*) $r = 0$ muestra una disminución rápida en el valor absoluto de muchas variables como MER, SMRT, ITU (Ituzaingo), CON (Concepción) y SROQ.
- Los coeficientes de MER y variables de SMRT son casi una imagen en espejo del otro en lo que respecta a la línea cero. Esto es de esperar porque estas dos variables tienen un coeficiente de correlación de la muestra de 0.90.
- El efecto de las condiciones más inestables MER, SMRT e ITU es probable que esté originalmente sobrestimado en su valor absoluto. Estas variables disminuyen en valor absoluto a medida que r aumenta. El coeficiente de ITU en particular, se vuelve positivo en $r = 0.2$.
- Las variables SMIG (San Miguel) y STOM (Santo Tomé) tienen valores relativamente estables, aunque SMIG cambie su signo convirtiéndose en positivo para $r > 0.6$.
- La mayoría de los coeficientes parecen estabilizarse en la proximidad de $r = 0.4$, salvo MER y SMRT. Todos los coeficientes parecen ser estables para $r = 2$. Se espera que los coeficientes elegidos en este punto sean más adecuados para la estimación de los efectos individuales que los coeficientes por cuadrados mínimos.

Un segundo problema fue que resultó ser mucho más difícil que lo previsto integrar los modelos ecológicos, hidrológicos y económicos desarrollados en el proyecto. Esto es porque el trabajo de modelado se emprendió aisladamente, sin asegurar la suficiente uniformidad en la estructura, pasos de tiempo, unidades de medida, por ejemplo. El proyecto ha proporcionado una valiosa experiencia de aprendizaje en los pasos a seguir para asegurar la consistencia mutua de los modelos disciplinarios cruzados, aunque sigue siendo un problema con este proyecto.

CONCLUSIONES

El objetivo del grupo de York era construir un modelo que permitiese a quienes establecen las políticas, proponer y contestar preguntas acerca de las consecuencias ambientales de las decisiones a tomar. El enfoque elegido busca construir funciones de producción sectoriales que incluyan la sustracción o descarga de agua como un argumento de la función. También está incluido el estado de actividades sectoriales en las ecuaciones de movimiento para el humedal. Esto hace posible realizar el seguimiento y evaluar los efectos de retroalimentación entre las principales actividades económicas y el estado del humedal.

Los resultados sugieren que el factor dominante detrás de los cambios en las características del humedal del Iberá es la represa de Yacyretá. Sin embargo, no es el único factor. La producción de arroz dentro del departamento “intra humedal” como Mercedes está relacionada en forma positiva con el crecimiento de las superficies con vegetación inundadas, mientras que la expansión de producción en otros distritos como San Martín y Santo Tomé tiene el efecto opuesto. Entender estas interacciones físicas y los factores que yacen detrás de la decisión para destinar la tierra a uno u otro uso, es esencial para el desarrollo sustentable de los recursos de la provincia.

Se concluye también que las implicancias beneficiosas de los cambios en el estado del humedal están fuertemente relacionadas con el asentamiento de los habitantes con relación a éste. También son sensibles a la magnitud de esos cambios y a las condiciones iniciales. En los departamentos “intra humedal” donde los niveles de agua son ya altos en relación con las tierras cultivadas, el aumento en los niveles de agua asociados con la represa Yacyretá ha tenido efectos negativos en la productividad en el sector del arroz, pero efectos positivos en turismo. En el sector del arroz encontramos que el impacto marginal del área del humedal ha sido positivo hasta cierto punto, el punto de productividad máximo- más allá del cual se vuelve negativo y en aumento. Esta relación es bastante consistente con la teoría agronómica de irrigación. Se encontró que el punto de inflexión está a un nivel más bajo para los departamentos dentro del humedal que para los departamentos fuera del mismo.

Se espera que aumentos significativos en los niveles de agua afectarán negativamente a los otros sectores. Sin embargo, enfatizamos que, dados los datos disponibles agregados para los sectores ganaderos, de turismo y forestal, no se han podido calcular los puntos de productividad máxima para estos sectores a escala provincial, menos aún al nivel de departamento. Debido a la ausencia de trabajos de aislación en la tierra permeable entre la represa Yacyretá y el humedal de Iberá, se presume que los niveles de agua en los humedales continuarán subiendo. A los fines políticos y de planificación estratégica, es importante entender qué sectores están en riesgo. Además, es importante entender la naturaleza de esos riesgos.

Se necesita mayor investigación para identificar la sensibilidad al aumento de los niveles de agua de las actividades basadas en el humedal a nivel departamento. Esta investigación debe establecer si hay un nivel de agua de máxima productividad para cada sector, y en ese caso cuál es. También debe considerar los costos de ajuste e incluso los costos de reubicación.

De acuerdo con la evidencia hasta la fecha, mayores aumentos en los niveles de agua en Iberá deberían inducir a una reasignación de recursos fuera de la producción de arroz y hacia la forestación, el ganado y el turismo. Esto es porque, el sector del arroz dentro del humedal está afectado de manera más adversa por las crecidas en el nivel de agua que otros sectores. Otro motivo de preocupación, es que en cinco de los departamentos dentro del humedal, hay una relación positiva entre la producción de arroz y el área del humedal. Un aumento en el área irrigada para la producción de arroz conduce a un aumento del área del humedal. Esta relación debe tenerse en cuenta en la ubicación de la producción de arroz dentro de la provincia, y en particular dentro del humedal, pero esto requiere de mayor investigación. La retro-alimentación positiva entre la producción de arroz y área del humedal y el hecho de que el turismo parece beneficiarse por los niveles de agua crecientes, sugiere que el arroz, ganado y turismo, pueden ser actividades complementarias. Sin embargo, se enfatiza que no se ha investigado la relación con la calidad de agua. Puede esperarse que la descarga del agua de la irrigación de arroz dentro del humedal altere el nivel de nutrientes en el sistema. De hecho, éste puede ser un efecto mucho más importante en la producción de arroz en los cinco departamentos que el impacto en los niveles de agua. Sin subsiguientes investigaciones es imposible decir qué significará el efecto neto de un cambio en los nutrientes para las otras actividades productivas.

Finalmente, estimando el valor de las externalidades del humedal respecto de la represa Yacyretá, se ha asumido que los efectos más significativos son aquellos experimentados por los usuarios de los recursos locales. Ésta es una posición razonable, pero no toma en cuenta los valores de conservación del humedal para la comunidad en el sentido más amplio.

La designación de Iberá como Sitio Ramsar implica que la comunidad internacional da importancia a la conservación del hábitat. Se debe, por lo tanto, considerar las estimaciones presentadas aquí como el límite más bajo en el valor de los cambios causados por la represa y la expansión del sector del arroz. El valor del recurso para la comunidad internacional no puede, claro está, ser revelado a través de los modelos económicos-ecológicos desarrollados en el proyecto. Lo que éstos permiten hacer es mejorar nuestra comprensión de los vínculos ambientales entre los usuarios de los múltiples recursos y la importancia económica de esos vínculos. Otros trabajos deberían incluir los cambios tanto cualitativos como cuantitativos en el estado del humedal. También debería buscar integrar los modelos de procesos hidrológicos, químicos, biológicos y económicos involucrados. Pero es loable que los modelos desarrollados aquí han ayudado a identificar y evaluar importantes conexiones entre sectores.

16. ASPECTOS SOCIALES Y LEGALES

Universidad del Salvador

Vicerrectorado de Investigación y Desarrollo

Instituto de Medio Ambiente y Ecología

Coordinación Científica: Genevieve de Mahieu¹

Coord. de Trabajo de Campo de la Red Iberá: Carlos Taboada (Agronomía- USAL)

Investigadores: Fernando Bosy (IIIC-USAL), María Andrea Echazú Agüero,

Karina Fernández (IIIC-USAL), Silvina Gernaert Willmar,

María Martha Lucano, Julieta Mazzola y Alejandra Ríos

Colaboradores: Santiago Mariani y Magdalena Salleras

RESUMEN

La Universidad del Salvador desarrolló actividades en todas las fases de los bloques de tarea y contribuyó significativamente en los productos finales del proyecto. Las principales responsabilidades de USVID estuvieron relacionadas con el estudio y desarrollo de los aspectos legales, sociales y ambientales del proyecto. Los equipos hidrológicos, meteorológicos e hidrométricos fueron mantenidos por USVID para el estudio continuo de los cambios que afectan al humedal.

OBJETIVOS

- Programa y trabajo de manejo con la Fundación Iberá, ONG de productores.
- Mantenimiento del instrumental de las estaciones meteorológicas e hidrológicas.
- Análisis de los aspectos legales y normativos de la administración del humedal en la región de los Esteros del Iberá.
- Análisis de actividades agrícolas en el área del humedal.
- Análisis de indicadores de calidad de vida para las poblaciones del humedal.

La investigación fue de naturaleza multidisciplinaria e involucró a una gran parte del staff del departamento participante. El objetivo global del grupo de USVID era el estudio de las condiciones ecológicas y socio-económicas reales del humedal estudiado y el desarrollo de acercamientos de análisis para su estudio y monitoreo continuos.

El estudio de las condiciones socio-económicas locales se hizo idea de la relación entre los usos de recursos del ecosistema y la presente condición de las poblaciones que viven en el área del humedal. Esta información fue luego usada en el análisis económico (UYORK) y en la creación de un bosquejo de plan de administración para los actores locales (asociaciones de productores, provincia, agencias nacionales). Finalmente, se realizó un análisis de la legislación normativa y legal aplicable a las actividades del sector privado en relación con la administración de recursos del humedal.

¹ Vicerrectorado de Investigación, Universidad del Salvador, Rodríguez Peña 770 - 2º Piso, 1020 Buenos Aires, Argentina.
Email: uds-inve@salvador.edu.ar

Las colaboraciones con la asociación local (Fundación Iberá) y la oficina de gobierno para los recursos de tierra y agua (INTA) ha llevado a la construcción de un Plan de Monitoreo. Este trabajo continúa y ha crecido en importancia a la luz de la reciente designación (1/2002) del humedal de Iberá como un sitio Ramsar.

INDICADORES DE CALIDAD DE VIDA DE LA POBLACIÓN DEL HUMEDAL

En esta investigación, los investigadores de USVID utilizaron indicadores de Calidad de Vida para los habitantes de la provincia de Corrientes con especial énfasis en los departamentos que rodean el humedal de los Esteros del Iberá.

La calidad de vida fue considerada desde una perspectiva de reformulación del problema de crecimiento, considerándolo desde el desarrollo humano en su totalidad. Este desarrollo no es simplemente el valor de cierta variable sino la forma en la cual todas las variables de la región interactúan como sistema. Por lo tanto, la calidad de vida de una población puede ser observada a través de una serie de factores que incluyen tanto el social como el económico, aunque un concepto integral también abarca factores culturales, étnicos, históricos y religiosos y también las evaluaciones subjetivas de la satisfacción de la gente con sus condiciones de vida y bienestar. Basado sobre esta dimensión objetiva de calidad de vida se han relacionado variables enlazadas con la satisfacción de necesidades y condiciones de vida. Este estudio se focaliza sobre la dinámica y estructura de población, conformación de familias y hogares, calidad sanitaria de las viviendas y medio ambiente, cuidado de la salud y educación, uso del tiempo libre y las características de la economía, asistencia laboral y social, así como la accesibilidad vial y las comunicaciones. A través de una visión integral de la realidad socio-económica, fue posible estudiar situaciones futuras con el objetivo de observar las fortalezas y debilidades del área.

Se trabajó con tres herramientas diferentes: sistema de información geográfica (GIS), estadísticas oficiales y un modelo regional según los indicadores de calidad de vida, el cual fue alimentado con información que surge del dominio público o de la investigación de campo. Esta nueva información permitió a los investigadores del proyecto (USVID, UYORK) llevar a cabo proyecciones cualitativas y cuantitativas.

El estudio se llevó a cabo sobre los datos del Censo Nacional y Provincial y usando la bibliografía disponible para comparar la situación provincial con la nacional. Para el estudio específico del área de Esteros del Iberá se llevó a cabo un análisis comparado de los departamentos de Concepción, Ituzaingó, Mercedes, San Martín, San Miguel, San Roque y Santo Tomé. La falta de datos actualizados o específicos del área y de la provincia representaron uno de los mayores inconvenientes. La inestabilidad de la política provincial y de la situación económica también dificultó el desarrollo de este estudio.

Se desarrolló un conjunto de indicadores para integrar los datos con los instrumentos de comparación para los distintos departamentos que están directamente influenciados por el humedal en estudio. El resumen de información obtenido nos permitió elaborar una base de datos que pudiese ser ampliada, actualizada y comparada con los futuros resultados del Censo Nacional de Población y Viviendas del 2001, que seguramente será útil en las investigaciones ya realizadas y como marco general para futuros investigadores.

Al usar los indicadores de calidad de vida, se verificaron importantes diferencias entre los departamentos estudiados que muestran la heterogeneidad socioeconómica del área. En particular, los resultados indican que hay un empeoramiento general de situaciones negativas en los departamentos de San Roque, Concepción y San Miguel. También es prominente, en todos los departamentos, el alto porcentaje de población con Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI), que podría significar una amenaza especialmente para la vida de los residentes en los grupos más sensibles, ya que las condiciones de vivienda, educación y trabajo son algunos de los elementos vitales para el ser humano. El análisis de indicadores de educación y vivienda muestran amplias diferencias entre las poblaciones urbanas y rurales, siendo la peor situación la de las áreas rurales. Lamentablemente, la falta de datos actualizados y específicos y las dificultades de acceso a información departamental, no han permitido profundizar las relaciones entre los diferentes indicadores desarrollados a lo largo de este informe, ni de examinarlos cuantitativamente. Basándonos sobre la información objetiva y subjetiva disponible será posible simular, a través del modelo construido, la calidad de sistemas de vida para determinar la causalidad y obtener proyecciones.

Las relaciones y dinámicas entre estos indicadores adecuados para el modelo de calidad de vida mostraron áreas donde una nueva información estadística oficial podría mejorar mucho el análisis. En esta etapa, los problemas relacionados con salud y educación se contrapusieron y priorizaron a través de cartografía, con la información acerca de los porcentajes de Necesidades Básicas Insatisfechas de las poblaciones rurales/urbanas, arribando a las conclusiones preliminares. Al igual que con los problemas relacionados a salud, hemos abordado los siguientes tópicos: suministro y tratamiento del agua, hacinamiento, vivienda inadecuada, edad y educación de las madres y su relación con la mortalidad infantil y maternal, acentuando los altos porcentajes de población sin seguros de salud (obra social).

Salud

El suministro de agua potable y el tratamiento del agua residual son factores muy importantes para reducir las enfermedades infecciosas. La escasez o inaccesibilidad de agua reduce las condiciones sanitarias, causando el incremento de diarreas, enfermedades cutáneas e infecciones oculares. El agua también puede ser el hábitat donde se desarrollan insectos, vectores de varias enfermedades. Entre las enfermedades infecciosas, el grupo de las enfermedades transferibles por agua es una de las causas más destacadas de mortalidad infantil. Debido a la inexistencia de datos departamentales sobre causas de mortalidad infantil, no ha sido posible correlacionar estas variables.

La provisión de agua y alimentos en cantidades apropiadas y con una calidad aceptable y la interrupción de la cadena fecal-oral, son esenciales para reducir las enfermedades digestivas, una de las causas de mortalidad infantil en la provincia. La cuarta causa de muerte en niños menores de un año y la quinta entre las niñas de uno a cuatro años, son las enfermedades infecciosas intestinales. De acuerdo a estudios internacionales el suministro seguro y suficiente de agua y servicios de sanidad apropiados reduciría la mortalidad infantil en más de un 50% y evitaría un 25% de los episodios de diarrea.

Los problemas de nacimiento, así como la vivienda pobre y la mala nutrición materna contribuyen también a la alta mortalidad infantil por enfermedades infecciosas del sistema respiratorio. Muchas muertes podrían ser evitadas con vacunación, educación sobre planeamiento

familiar, asistencia médica durante los embarazos y cuidados especiales. Hay un alto nivel de coincidencia de la mortalidad infantil con el alto porcentaje de pobreza en las viviendas. Las infecciones respiratorias agudas son la cuarta causa de mortalidad entre niños de uno a cuatro años de edad y la quinta entre aquellos menores de un año, de acuerdo al porcentaje de muertes. Los riesgos para la salud se incrementan cuando están relacionados con bajos ingresos a causa de la falta de recursos para mejorar los lugares habitados logrando espacio, seguridad y servicio suficientes.

Es importante enfatizar que entre el 70 y 75% de las muertes infantiles de la provincia de Corrientes podrían ser “evitadas”, de acuerdo con la información del Departamento de Estadísticas Vitales de la Subárea de Estadísticas de Salud de Corrientes, la clasificación de “evitable” incluye aquellas causas “evitables” y “parcialmente evitables”, es decir que, las primeras son aquellas que podrían ser evitadas con simples acciones y un bajo costo, y las segundas son aquellas que podrían decrecer con ciertas acciones de salud, no hay evidencias categóricas al respecto.

Las variables “edad de las madres” y “mortalidad infantil”, logran una directa relación con un coeficiente de 0,80. Esta correlación no pudo ser verificada debido a la falta de datos actualizados y detallados y la imposibilidad de una confirmación *in situ*. Por esta razón sólo se puede decir que la juventud de las madres podría ser uno de los factores influyentes en la mortalidad infantil en la Provincia de Corrientes. Las dificultades que se presentan en el embarazo, el nacimiento y el puerperio, están relacionadas con el estado de salud, madurativo y nutricional de las madres, lo que se refleja en los niños y su desarrollo.

Otro factor interesante de observar es la tasa de mortalidad materna: fue de 4,8 por cada 10.000 nacidos vivos para la Provincia de Corrientes en 1997. Se ha probado por estudios internacionales que aproximadamente las 3/4 partes de las muertes maternas en países en desarrollo son causados por episodios hemorrágicos e infecciones. De acuerdo a estudios desarrollados en Argentina más del 50% de las muertes maternas son el resultado de complicaciones en el nacimiento y embarazo o de falta de cuidados correspondientes. Consecuentemente, su muerte no es solo causada por factores biológicos y médicos, sino más bien por la disposición y calidad de los servicios de salud y las condiciones sociales y económicas. Lamentablemente la falta de datos acerca de la mortalidad materna departamental no nos ha permitido presentar estas relaciones a través de cartografía.

Finalmente, es necesario destacar que una importante proporción de población no contaba con seguro de salud (cobertura social) en 1991. De la población provincial, 48,4% no estaba cubierto por un servicio de seguro social (obligatorio para aquellos que trabajan en relación de dependencia) ni estaban afiliados a un seguro médico (voluntario). En los departamentos de Empedrado, Mburucuya, San Roque, Lavalle, Concepción, San Miguel y Gral Paz el 60 % de la población no tiene seguro de salud

Educación

Los indicadores de educación fueron relacionados a características urbanas y rurales, Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI), condiciones de infraestructura educacional y vulnerabilidad socioeconómica. La tasa neta de alfabetismo varía, siendo inferior en áreas rurales respecto de las urbanas. De acuerdo con los datos del INDEC en la provincia de Corrientes la tasa neta de alfabetismo primario para las áreas urbanas alcanzó el 96,1% comparado al 91,8%

de áreas rurales. La tasa promedio de alfabetismo secundario en áreas urbanas alcanzó el 51,3%; y para las áreas rurales el 13,5%. Observando las tasas de educación universitaria y/o terciaria estas alcanzaron 18,1% en áreas urbanas y solo el 2,0% las rurales. La mayor diferencia entre áreas urbanas y rurales está dada en estudiantes del nivel secundario y superior.

Considerando los datos correspondientes a los departamentos estudiados éstos mantienen las tendencias de la provincia. La mayor variación en tasas de educación rural y urbana se observa en el departamento San Martín. En el departamento de Ituzaingó, la tasa de educación de nivel universitario o terciario resulta bastante similar en ambas áreas, siendo la situación contraria en San Miguel.

Trabajo

Las diferencias entre áreas rurales y urbanas pueden también ser observadas en la edad calificante para los trabajos, siendo sensiblemente más temprana en las áreas rurales. En la Provincia de Corrientes, la tasa de actividad de la población entre 14 y 19 años fue de 33,1%, la tasa de empleo 29,7% y la tasa de desempleo 10,2%. En el mismo grupo de edades observamos que esa tasa de actividad es más mayor en áreas rurales 45,2% contra 28,8 % en las urbanas, la tasa de desempleo en áreas rurales fue de 42,6% y en áreas urbanas de 25,2%; finalmente la tasa de desempleo fue del 5,8% entre la población rural desde 14 a 19 años y de 12% en la población urbana.

Conclusiones

La edad más temprana de ingreso a los trabajos en zonas rurales resulta congruente con el menor ingreso familiar y menores niveles de alfabetismo, como ya se ha visto previamente en los datos de la Provincia y los departamentos estudiados. El trabajo de los miembros de hogares más carenciados es el recurso básico, los niños y adolescentes trabajan, contribuyendo en la realización de tareas domésticas y producción para el autoconsumo y/o para tener ingresos adicionales, lo que es una contribución muy importante para estas familias. También en muchas ocasiones los bajos ingresos familiares dificultan el pago de gastos de transporte, vestimenta y materiales que la escuela requiere. Vale destacar que la distancia y la difícil accesibilidad a las escuelas de áreas rurales empeoran la situación. Los inconvenientes previamente mencionados podrían ser algunas de las causas de las tasas de analfabetismo de la población rural.

La deserción escolar y el analfabetismo pueden ser relacionados entre otros tópicos con el trabajo de niños y adolescentes pero también con las malas condiciones de vida (hacinamiento, pobreza, condiciones de vivienda precarias) y con la falta de acceso a establecimientos educacionales. Un importante porcentaje de la población tiene el nivel primario incompleto y estos porcentajes coinciden especialmente con los departamentos con mayor porcentaje de hogares con necesidades básicas insatisfechas. Asimismo, las altas tasas de analfabetismo están en los departamentos de mayores porcentajes de viviendas con carencias.

De acuerdo a los estudios nacionales de las áreas urbanas y rurales marginales con un bajo grado de integración, se observan estas características: menor cantidad de horas de clase, menor calidad de maestros acompañado por un bajo salario, antigüedad de infraestructura y obsolescencia de instrumentos, además de un decrecimiento en la eficiencia educacional. Comparando: los logros académicos y los recursos escolares (estado del edificio, baños y salones de clase), los resultados revelaron que en escuelas en buenas condiciones, los alumnos tienen mejores calificaciones escolares. La misma relación se establece con mejores recursos didác-

ticos, como mobiliario y pizarrones. Esta relación es aún la misma entre los logros de los alumnos con otras variables como buen clima escolar, seguridad en la escuela y tiempo que el director dedica a tópicos pedagógicos. La mayoría de los establecimientos educacionales en los departamentos estudiados fueron construidos entre 21 y 30 años atrás, excepto en los departamentos de Mercedes donde prevalecen los edificios de más de 50 años. Pocos establecimientos están en una aceptable condición de conservación que requiera reparaciones menores. La mayoría de los edificios educacionales no poseen servicio de agua corriente y en general un alto porcentaje de los edificios no tienen energía eléctrica. Lamentablemente, la correlación entre los logros académicos y los recursos de la escuela no ha podido ser probada porque los datos no pertenecen a los mismos años.

De acuerdo al informe de la Evaluación Educacional 2000 (Ministerio de Educación, 2000) más de la mitad de los estudiantes de la región del Noroeste Argentino posee una condición de vulnerabilidad socio-económica que no permite un buen aprendizaje y genera dificultades para permanecer dentro del sistema. Los estudios de calidad educacional muestran una segmentación del desempeño del estudiante que pone en desventaja a los estudiantes que vienen de familias de recursos y niveles de educación bajos. Para lograr una buena educación, sería necesario que las necesidades básicas como alimento, salud, vivienda y empleo sean satisfechas. Un buen desarrollo también está relacionado con los métodos y formas de organización del trabajo en las escuelas. En conexión con las necesidades de expansión, se detecta como crucial el diseño e implementación de programas que asistan las características específicas de las poblaciones infantiles (niños con alta dispersión de población, minusválidos y niños en sectores rurales). De este modo el sistema educacional podría responder apropiadamente a las demandas de la sociedad.

UN ANÁLISIS DE LA LEGISLACIÓN NORMATIVA Y LEGAL EN RELACIÓN CON LA ADMINISTRACIÓN DE LOS RECURSOS DEL HUMEDAL

Dra. María Martha Lucano, Lic. Silvina Gernaert Willmar, Lic. María Andrea Echazú Agüero

El objeto del presente trabajo fue llevar a cabo un informe de la legislación aplicable a las actividades desarrolladas por el sector privado en los esteros del Iberá. Se tomó en consideración la clasificación de la ley aplicable en sus diferentes grados, así como las categorías de administración de las diversas áreas protegidas.

La Constitución de la Nación Argentina ha sido reformada en 1994. Esta reforma ha incorporado al texto constitucional el derecho de las personas a disfrutar de un ambiente sano y ha establecido los mecanismos para la protección ambiental. El Artículo 41 de la nueva Constitución ha establecido que: *“Todos los habitantes disfruten del derecho a un ambiente saludable y balanceado, adecuado para el desarrollo humano y de modo que las actividades productivas satisfagan las presentes necesidades sin comprometer aquellas de las futuras generaciones...”* Otro aspecto incorporado ha sido la capacidad del Poder Legislativo Nacional de sancionar una norma de mínimos principios de protección ambiental, que gobernará en todo el territorio de la Nación. Las provincias, a su vez, dictarán las normas necesarias para implementarla, para proveer a la *“protección de este derecho, al uso racional de los recursos naturales, a la conservación del patrimonio natural y cultural y de la diversidad biológica y a la información y educación ambiental”*.

Además, el Artículo 124 de la Constitución resolvió uno de los puntos más conflictivos en las relaciones entre la Nación y las provincias: la propiedad, administración y explotación de los recursos naturales existentes en cada provincia. Se reconoce a cada una de las provincias el dominio natural de los recursos naturales existentes situados en sus territorios. De este modo los recursos naturales pertenecen a la nación o a las provincias, de acuerdo al territorio donde fueron encontrados.

En el caso de los Esteros del Iberá, la Provincia de Corrientes tiene el dominio de los recursos naturales situados en su territorio. Esto significa que los recursos bajo la jurisdicción provincial son regulados por la autoridad provincial con la limitación de que toda legislación debe ser congruente con los principios mínimos establecidos por la Nacional. Concluyendo, los recursos tienen una doble protección legislativa: una desde el nivel nacional y otra desde el provincial.

Como la Nación Argentina es un estado federal, el orden normativo aplicable en cualquier parte del territorio es el siguiente: la constitución Nacional, las leyes de orden nacional, los tratados internacionales ratificados en la materia, las leyes locales de orden provincial, cada una con su correspondiente decreto de regulación, las ordenanzas y resoluciones administrativas municipales y una serie de resoluciones emanadas de organismos competentes.

En particular, Argentina ha suscripto a numerosos Acuerdos y Convenciones Internacionales que contienen diferentes grados de protección para los recursos naturales, incluyendo la **Convención de Ramsar sobre los Humedales**, que ha sido recientemente extendida a los Esteros del Iberá. Estos acuerdos, que tienen que ser aprobados por la Nación, se vuelven de aplicación obligatoria en todo el territorio.

Entre las convenciones internacionales aplicables al área de los humedales del Iberá, puede ser mencionado:

- Convención sobre humedales de importancia internacional especialmente como hábitat de aves acuáticas (Ramsar, 1971),
- Convención sobre comercio de especies de fauna y flora silvestres en peligro de extinción (CITES, 1973),
- Convención sobre la conservación de especies de animales silvestres migratorios (CMS, 1979),
- Protocolo sobre sustancias que dañan la capa de ozono (Protocolo de Montreal, 1987),
- Convención sobre diversidad biológica (1992).

Conclusiones

La Provincia de Corrientes decidió proteger los recursos naturales existentes en el Humedal del Iberá por Ley 3771 de creación de la Reserva Provincial (1983) y estableció sus límites geográficos:

- Al Norte, la ruta nacional 12,
- Al Este la divisoria de aguas de los ríos afluentes de Aguapey y Miriñay,
- Al Oeste la divisoria de aguas con humedales, arroyos y afluentes del río Paraná y principalmente el río Batel-Batelito y
- Al Sur, la continuación con la divisoria de aguas del Este que separa el sistema de los afluentes de la rivera derecha del río Miriñay y al Norte del Pay Ubre.

De acuerdo a esta legislación, este territorio se convierte en parte del Dominio Público Provincial, excepto por el territorio que estaba bajo propiedad privada. Por lo tanto, los derechos preexistentes de propietarios privados fueron reconocidos. En el caso de los Esteros de Iberá, la mayoría de las tierras pertenecían a propietarios privados, y el resto a propiedad provincial.

También esta ley permite el desarrollo de actividades y otros usos bajo condiciones controladas en esta área con especial atención a las especies y ambiente en general, considerando un uso prudente de los recursos naturales y dando un especial sentido de pertenencia a los habitantes de los humedales. El objetivo de alta prioridad de la ley es preservar los recursos naturales como las bellezas paisajísticas y los ecosistemas, entendiendo la conservación como el uso de los recursos naturales de acuerdo al desarrollo económico y social para prevenir su deterioro cualitativo, su agotamiento o la alteración del balance ecológico.

En el caso de las tierras de los Esteros del Iberá, con disposición a regulaciones específicas, se pueden llevar a cabo actividades deportivas, comerciales e industriales. En algunas áreas se permiten la caza y la pesca deportiva, así como el uso de bosques y reforestación, que será autorizada expresamente. En el presente, las actividades productivas más importantes son la cría de ganado, turismo ecológico, producción de arroz y forestación.

La producción de arroz, la forestación y el turismo ecológico se han expandido en las últimas décadas y son una alternativa a la cría de ganado como actividad tradicional en la región. Estas actividades son desarrolladas en el área de influencia de los humedales del Iberá, comprendiendo los Departamentos de: Concepción, Ituzaingó, Mercedes, San Martín, San Miguel, San Roque y Santo Tomé.

La producción de arroz es la más importante tanto por su extensión y por la gente empleada como por el valor agregado que ha venido generando en la Provincia de Corrientes. Esta provincia posee una buena aptitud de suelo para este tipo de producción con excelentes perspectivas debido a las condiciones naturales del área y la incorporación de tecnología y riego a través de la construcción de embalses. Es la principal actividad agrícola que genera valor agregado.

La provincia de Corrientes concentra alrededor de un 40% de la producción nacional de arroz que alcanzó niveles récord durante 1996/1997, obteniendo una producción de 1,205,000 toneladas. La producción de arroz creció más del 60% durante el periodo 1993/1997, alcanzando en 1999 un nuevo récord provincial con un volumen de 363,000 toneladas.

El aumento de producción se debió al incremento de campos cultivados. Desde 1993 a 1997, la superficie cultivada creció un 50%. Este proceso de expansión estuvo ligado a la incorporación de variedades tropicales y un creciente uso de fertilizantes. Debido a estas condiciones de crecimiento, se esperaba un aumento de producción derivado de un incremento de áreas cultivadas, la incorporación de tecnología y el establecimiento de compañías Brasileñas. Cerca del 87% del volumen total de arroz exportado por esta provincia está orientado al mercado Brasileño. En el último par de años el impacto de la devaluación de la moneda brasileña (el Real) así como la contracción de la demanda brasileña sobre este ítem, ha impuesto un alto riesgo sobre la producción.

La intensidad de siembra sobre el área que rodea los humedales del Iberá es baja y media comparada con otras áreas de la provincia. Sin embargo, el resto del área que rodea este ecosiste-

ma se caracteriza por la alta intensidad de producción y aunque genera un impacto indirecto sobre la región, la evolución debe ser considerada.

En colaboración con UNISI, los expertos en el campus de la USVID en Virasoro realizaron un cuestionario para determinar el ingreso material y energético en el principal cultivo agrícola local, el arroz. La información obtenida por este cuestionario fue utilizada en una serie de indicadores (UNISI) creados para comparar la energía y la energía extendida de los ecosistemas naturales y agrícolas.

La forestación y la extracción de madera constituyen las principales actividades de mayor crecimiento dentro del sector primario de la provincia de Corrientes. La extracción de maderas se lleva a cabo por tala de especies forestales de rápido crecimiento (eucaliptos y pinos) y, en menor medida, desde especies del monte original. Del monto total de las exportaciones provinciales (de acuerdo a datos temporales acumulados desde Enero a Junio, 1997) un 44% consistió en maderas y fabricaciones.

Además de la extracción de madera, la actividad forestal comprende también la plantación de especies de rápido crecimiento para leña o para la obtención de celulosa (la materia prima del papel). Entre estas especies se pueden mencionar eucaliptos de Australia (*Eucalyptus spp.*), y pinos originarios de Norte América como el Eliotti (*Pinus elliotti*) y el Taeda (*Pinus taeda*), preferidos por su rápido crecimiento.

Las inversiones para plantaciones de pinos y eucaliptos promovidas por el incentivo gubernamental bajo el Régimen de Promoción para Plantaciones de Bosques, convierten a la provincia de Corrientes en una de las provincias líderes en bosques cultivados en el país. Corrientes tiene 16% de las plantaciones del país después de la provincia de Misiones. El rendimiento, volumen obtenido por hectárea, el crecimiento veloz y los bajos costos relativos de la tierra más los incentivos gubernamentales explican el brusco incremento en la actividad durante el año 2001.

La actividad de forestación cuenta con el apoyo de créditos fiscales garantizados por el Gobierno Nacional basado en la rentabilidad económica (más que en razones técnicas o ecológicas). La provincia de Corrientes cuenta con un Incentivo Fiscal a través del cual recibe fondos asignados por la Secretaría de Agricultura, Hacienda, Pesca y Alimentación de acuerdo con la Resolución N° 469/93.

Veinticuatro de los veinticinco departamentos provinciales han estado llevando a cabo forestaciones, incluyendo a los siete departamentos que son parte de los Esteros del Iberá: Concepción, Ituzaingó, Mercedes, San Martín, San Miguel, San Roque y Santo Tomé.

La industria maderera desarrollada en la provincia presenta características heterogéneas en el tamaño de los establecimientos, productos e incorporación de tecnología. De acuerdo con el Informe Económico de la Provincia (1999), los aserraderos y las plantas de producción de madera están localizados en la parte NE de la provincia, perteneciendo a compañías nacionales y extranjeras. Estas compañías producen tablas de fibra y aglomerados, laminados y rollos, todos los productos son de alto valor agregado. Estas industrias tienen un alto grado de eficiencia ligado a la tecnología incorporada en los últimos años. Estas compañías se han integrado a la actividad primaria adquiriendo tierras forestales y desarrollando sus propias plantaciones. Por otro lado, los aserraderos pueden encontrarse en todo el territorio de la provincia. En estos casos, el nivel tecnológico en la elaboración de productos madereros es bajo y la eficiencia es limitada.

Hacia fines de la década del '80 y principios de la del '90, surgió una forma de turismo alternativa, distinta de la forma masiva y tradicional de turismo a escala internacional. El ecoturismo o turismo ecológico, basado principalmente en un turismo natural que busca estudiar, admirar y disfrutar las atracciones naturales donde el hombre interviene en el menor grado posible.

En el mismo momento, esta nueva modalidad de turismo surge en diferentes puntos de nuestro país. En la provincia de Corrientes, la existencia de un lugar como los Esteros del Iberá aún en estado natural, aislado e inexplorado, aún presentando algunas dificultades para ingresar en el mismo y que ofrece una gran variedad de especies y una gama variada de bellezas de paisaje, se ha convertido en una atracción natural para el ecoturismo en la región del NE argentino.

El Iberá es un lugar ideal donde los turistas pueden concurrir con el propósito de admirar, disfrutar, comprender y estudiar el ambiente natural. Algunas de las atractivas actividades a desarrollar son: safaris fotográficos y la observación de la fauna salvaje en los circuitos turísticos guiados por guías locales o "baquianos", en cualquiera de las tres modalidades posibles: a pie, a caballo o navegando.

Pero durante varios años, la fauna salvaje de los humedales del Iberá, como el yacaré, el ciervo de los pantanos, los carpinchos, los lobitos de río y las *curiyús*, estuvo sujeta a una caza intensiva. Para terminar con esta situación, el Gobierno de la provincia de Corrientes creó la Reserva Natural de Iberá en 1983, y estableció un cuerpo de Guardafauna para asegurar su protección. El Gobierno también estableció un Centro de Interpretación cuyo objetivo es transmitir y difundir las riquezas de la región y crear consciencia sobre la importancia del lugar. Este Centro está equipado con un modelo a escala de toda la región (maqueta), ejemplares embalsamados de la fauna nativa, planos del área, un parque natural para la cría y reproducción de animales en su hábitat, un jardín botánico y un museo de ciencias naturales. El acceso a la región es por rutas de tierra, lo que lo hace dificultoso durante la temporada de lluvia, pero mantiene la idea de una región salvaje e inexplorada.

El área de recreación turística se ha centralizado predominantemente alrededor de la Laguna del Iberá (en Guaraní "agua brillante") y Colonia Pellegrini, a pesar de que hay diferentes opciones de hospedaje alrededor de toda la región del Iberá, campings, pequeños hoteles y turismo en estancias.

Por ejemplo, en la estancia San Juan de Poriahú se ha creado un área protegida, en algunas partes de la misma, en colaboración con la Fundación Vida Silvestre Argentina, para desarrollar proyectos de protección y reproducción. De esta forma la Fundación utiliza las estancias como una forma de establecer sus propias reservas, ya que comprar campos es muy complicado, se ha establecido un sistema de refugios privados entre los dueños de estancias que poseen áreas de terreno especialmente adecuadas como hábitats de diferentes especies o por su interés ecológico.

El establecer reservas privadas dedicadas al desarrollo del ecoturismo es una de las opciones institucionales para la administración de las áreas protegidas y constituye una alternativa para la expansión de la participación de diferentes sectores que tradicionalmente han tomado parte en las actividades de administración y conservación de los ecosistemas. A nivel global, el número de propietarios (como de otros actores: ONGs, Universidades, grupos indígenas, etc.) que participan de la administración de áreas protegidas está en aumento. Los mismos que en el pasado generaron un impacto ambiental, están viendo que los servicios de ecoturismo son un

incentivo redituable para sus propias actividades, lo que los convierte en fuertes protectores ambientales. Con respecto a la afluencia de ecoturismo, en este momento no se tienen datos oficiales del número de visitantes que la región recibe anualmente.

La construcción de infraestructura orientada al turismo puede terminar por cambiar el aspecto físico del lugar. Cada infraestructura desarrollada que modifique las condiciones de un lugar tendrá un impacto sobre las actividades del turismo y sobre el medio ambiente. Además, tomando en cuenta que la actividad está creciendo en forma rápida y se está volviendo lucrativa es necesario considerar el desarrollo de un estudio sobre impacto ambiental de forma tal de evaluar la expansión de infraestructura.

RECURSOS NATURALES: ASPECTOS LEGALES

En la provincia de Corrientes, hay una gran cantidad de leyes provinciales que regulan los diversos recursos naturales en particular. Sin embargo, no existe un criterio único que regule los humedales en su totalidad atento a sus características propias. Esto significa que ésta área no tiene una protección legal que cubra el ecosistema como un sistema integral. Los recursos están legislados por leyes provinciales, las que, muchas veces, se contraponen unas a otras.

En relación con la caza deportiva dentro de los Esteros del Iberá, existe el Decreto Provincial Nro. 2249/55. No obstante, las temporadas de caza, las especies y su cuota de caza son regulados anualmente por el Sub-Director de Flora y Fauna, del Departamento de Flora, Fauna y Ecología de la Provincia de Corrientes que es la autoridad responsable. La regulación determina la cuota diaria, por persona y el período de cierre de la temporada de caza. También indica qué especies son consideradas plaga y por lo tanto para ellas no se establece cuota alguna de caza. Para practicar la caza deportiva se debe contar con la licencia de caza correspondiente otorgada por la autoridad responsable y con la autorización del propietario del campo.

El Artículo 13 de la Ley 22421 de Fauna Silvestre establece que las autoridades nacionales y provinciales serán consultadas con respecto a la fauna en caso de estudios de factibilidad y de proyectos de infraestructura, como en casos de tala, secado y drenaje de tierras que pueden ser inundadas, la construcción de represas y reservorios que puedan modificar el hábitat de la fauna silvestre.

Asimismo, la pesca extractiva está prohibida. Se permite la pesca si el pez capturado se devuelve al mismo lugar del cual fue extraído y si se pesca con mosca o cebo artificial. De acuerdo con la Regulación 102 del Sub-Director de Flora, Fauna y Ecología, es necesario contar con una licencia de pesca para la pesca deportiva. Igual que en el caso de la caza, los períodos de prohibición y las especies permitidas se establecen en forma anual.

También es importante mencionar otras leyes aplicables al área de los Esteros del Iberá; estas leyes provinciales son aplicables a todo el territorio de Corrientes y no han sido establecidas para el área específica del sistema del Iberá:

- Ley 5350: adhiere a la Ley Nacional 25080 sobre inversiones en forestaciones.
- Ley 4547: crea un fondo de promoción, designa un auditor de bosques y promueve la protección y preservación de especies.

- Ley 4361: de administración de tierras a cargo de la Oficina de Conservación de Tierras de la Subsecretaría de Recursos Naturales. Crea consorcios de conservación de suelos en diferentes áreas de la provincia y establece una exención impositiva (con un máximo del 70% hasta por 10 años) para las propiedades que cuenten con planes de conservación aprobados por la autoridad correspondiente (Oficina de Conservación de Tierras).
- Ley 4495: regula y controla el uso de pesticidas y/o fertilizantes. Comprende normas generales de uso, penalidades y prohibiciones de manejo de estas sustancias por personas menores de 18 años.
- Leyes 22344 y 22421: prohíben y penalizan el tráfico de especies nativas.

Las actividades agrícolas son llevadas a cabo por los propietarios de las tierras o por terceros y por medio de contratos de arrendamiento rurales o de sociedades agrícolas. El contrato de arrendamiento rural es un contrato en el cual una de las partes se obliga a ceder a la otra parte el uso y usufructo de una propiedad ubicada fuera del área urbana de las ciudades o pueblos, para ser destinada a la explotación agrícola, y la otra parte paga por dicho uso y usufructo un precio determinado. Es un contrato conmutativo agrícola con una duración mínima de 3 años y una duración máxima establecida por el Código Civil en 10 años.

La ley establece también un período extraordinario de 20 años para aquellos casos en los que se deban realizar mejoras en la propiedad y que las mismas fueran pagadas por el locatario, ocasionando una demora en la productividad de la explotación por un período mayor de 2 años. Este contrato configura una modalidad y práctica común de uso de administración de tierra por una de las partes que, sin ser propietaria, administra una explotación agrícola en cualquiera de sus manifestaciones.

La sociedad agrícola es el contrato por el cual una de las partes se obliga a dar a la otra una propiedad rural con o sin plantaciones, campos cultivados o elementos de trabajo, para la explotación agrícola en cualquier especialidad, con el objetivo de compartir las utilidades. El contrato de sociedad agrícola típico tiene una duración mínima de 3 años. Este es un contrato de orden público. En este caso el límite también está establecido por el Código Civil y es de 10 años.

El propietario tiene la obligación de construir escuelas cuando el número de los arrendatarios excede de 25 y no hay alguna escuela pública a una distancia menor de 10km. del centro de la propiedad.

El Código Civil es uno de los llamados códigos básicos, lo que significa que se aplica en todo el territorio nacional ya que legisla sobre asuntos especialmente reservados a la Nación o en aquéllos en los que las provincias hayan expresamente delegado su autoridad. El Artículo 1560 de este Código establece que tanto el desmonte como la tala de árboles es considerado como uso abusivo de una propiedad rural, a menos que el mismo se realice con el objetivo de dedicar la madera a trabajos de cultivo de la tierra o para cubrir necesidades domésticas del arrendamiento. Esto constituye una clara restricción del dominio privado. Es importante resaltar que cuando se promulgó este Código no existía la Ley de Medio Ambiente. Sin embargo, podemos decir que es un antecedente claro a la Ley de Medio Ambiente porque persigue preservar los recursos naturales, protegiéndolos del uso abusivo de la tierra por parte de sus propietarios.

Conclusiones

La región del Macrossistema del Iberá constituye un ecosistema de humedal. En la actualidad, en Argentina no existe legislación específica sobre la materia. La Convención Ramsar, ratificada por Argentina y ahora incluyendo el humedal de los Esteros del Iberá, determina la creación de normas internas relacionadas con la conservación y administración del humedal. La creación del plan de manejo para el humedal del Iberá impondrá nuevas restricciones sobre los usos presentes de los límites de las áreas del mismo y se beneficiará con la información obtenida en el presente proyecto.

La provincia de Corrientes asumió la protección del área del humedal de los Esteros del Iberá al sancionar la Ley 3771 (1983) que creó la Reserva Provincial de los Esteros del Iberá. El objetivo estaba orientado a la preservación del área, regulando el uso de los recursos localizados en la zona. De esa forma, se permite el desarrollo de las actividades descriptas en nuestro trabajo, con el límite de un uso sustentable de estos recursos.

Por lo tanto, las diferentes actividades: cría de ganado, producción de arroz, forestación y ecoturismo, incluyendo la caza y pesca deportivas no están reguladas de manera uniforme.

Dada la riqueza en la biodiversidad del humedal de los Esteros del Iberá, es necesario mencionar el marco normativo en el que se base el desarrollo de las actividades productivas y económicas del sector privado:

- Decreto Provincial 2249/55: sobre caza deportiva estableciendo la autoridad correspondiente.
- Ley 22421 de fauna silvestre (Artículo 13).
- Disposición 102 del Subdirector de Flora, Fauna y Ecología.
- Ley 5350: adhiere a la Ley Nacional 25080 sobre inversiones en forestaciones
- Ley 4547: crea un fondo de promoción, designa un auditor de bosques y promueve la protección y preservación de especies.
- Ley 4361: sobre administración de tierras.
- Ley 4495: regula y controla el uso de pesticidas y/o fertilizantes
- Leyes 22344 y 22421: prohíben y penalizan el tráfico de especies nativas.

PLAN DE MONITOREO Y ACTIVIDADES

A lo largo del proyecto, los investigadores de USVID-Virasoro, en colaboración con los investigadores de UCADIZ, LabRoma, RomaTre y UNISI crearon una base de datos de información meteorológica, hidrológica y de nivel de agua de las dos áreas de estudio. Esta información fue usada en los modelos basados en ecología y energía para el estudio del ecosistema. Estos datos están disponibles para las comunidades locales y regionales como para la comunidad científica en el sitio Web del proyecto. Varias actividades de monitoreo del proyecto en el cual USVID fue un participante clave continuarán luego de este proyecto, éstas incluyen el mantenimiento de las estaciones meteorológicas e hidrológicas y la participación en el Comité de manejo del humedal.

En el alcance nacional el proyecto tuvo éxito en crear un interés significativo, particularmente

en el periodismo local. La presencia de investigadores del proyecto en las reuniones de toma de decisiones y en el grupo para promocionar la designación de Sitio Ramsar, hicieron que los resultados del proyecto estuvieran disponibles, y por lo tanto fueran importantes para la toma de decisiones locales y regionales. La información obtenida por el análisis de los indicadores de calidad de vida, fue puesta a disposición del gobierno local y continuará siendo analizado por la unidad de investigación del USVID cuando la información del último Censo (2001) esté disponible.

Las recomendaciones de acciones futuras incluyen el incremento del conocimiento ecológico del sistema y extender el uso del enfoque utilizado a otros humedales en países del Mercosur.



Esta publicación es el resultado de un proceso iniciado en 1995, cuando investigadores italianos visitaron nuestro país y quedaron fascinados por los Esteros del Iberá. De allí en más, contagiando su apasionamiento a colegas de distintas Universidades y disciplinas, los reunieron para diseñar un proyecto de investigación que permitiera desentrañar los misterios de uno de los pocos grandes humedales casi intactos que persisten en el aislamiento. La necesidad de desarrollo hace que las actividades humanas pongan en riesgo la existencia misma de estos ecosistemas frágiles pero increíblemente útiles.

Este libro aporta una visión integrada de la investigación, orientada por el concepto de uso sustentable de los variados recursos de los humedales, centrada en la transferencia de los conocimientos a la población local, y basada en el desarrollo de técnicas innovadoras para el monitoreo y la toma de decisión. Si bien el proyecto tomó como sitio de estudio el ecosistema del Iberá, la idea motora ha sido la de crear una metodología que pueda ser utilizada en ecosistemas de características similares del Globo, así como para encontrar mecanismos que permitan renaturalizar aquellos que han sido dañados.



Consorzio per lo Sviluppo dei Grande Interfase.



Università degli Studi di Siena, Italia



Universidad del Salvador, Argentina



Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Argentina



Universidad de Cádiz, España



Universidad Estadual de Campinas, Brasil



Universidad de Aveiro, Portugal



University of York, Reino Unido



Universidad Federal de Rio Grande do Sul, Brasil



Laboratorio Centrale di Idrobiologia

Laboratorio Centrale di Idrobiologia, Ministero delle Politiche Agricole e Forestali, Italia



Universidad Nacional de Luján, Argentina



Università degli Studi di Roma Tre, Italia

ACUICOR

Acuicor, Provincia de Corrientes, Argentina



Fundación Vida Silvestre Argentina



Comisión Europea



International Rivers Network