

MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO

Evaluación de los impactos del cambio climático sobre el ecosistema natural y la biodiversidad

Esteros del Iberá (Argentina)

Juan José Neiff
Matías Neiff



MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO

Evaluación de los impactos del cambio climático sobre el ecosistema natural y la biodiversidad

Esteros del Iberá (Argentina)

Juan José Neiff
Matías Neiff



NACIONES UNIDAS



Este documento fue preparado por Juan José Neiff, consultor de la División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), en coautoría con Matías Neiff, y forma parte de los estudios sectoriales realizados en el marco del Estudio Regional de la Economía del Cambio Climático (ERECC) en América Latina y el Caribe —iniciativa encabezada por la CEPAL—, en particular, del estudio de la economía del cambio climático en la Argentina, realizado bajo la coordinación de Osvaldo Girardín a nivel nacional y de Joseluis Samaniego, Director de la División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos de la CEPAL, con la colaboración de Carlos de Miguel, Luis Miguel Galindo, Mauricio Pereira y Karina Martínez. El ERECC contó con el apoyo y colaboración financiera de los Gobiernos de Alemania, Dinamarca, España y el Reino Unido, así como de la Unión Europea y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

Las opiniones expresadas en este documento, que no ha sido sometido a revisión editorial, son de exclusiva responsabilidad del autor y pueden no coincidir con las de la organización.

Las denominaciones empleadas en los mapas de esta publicación y la forma en que aparecen presentados los datos que contienen no implican, de parte de la Secretaría de las Naciones Unidas, juicio alguno sobre la condición jurídica de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites.

Publicación de las Naciones Unidas

ISSN 1564-4189

LC/L.3728

Copyright © Naciones Unidas, noviembre de 2013. Todos los derechos reservados

Impreso en Naciones Unidas, Santiago de Chile

Los Estados miembros y sus instituciones gubernamentales pueden reproducir esta obra sin autorización previa. Solo se les solicita que mencionen la fuente e informen a las Naciones Unidas de tal reproducción.

Índice

Resumen	5
Introducción	7
I. Estado del arte	9
II. Objetivos y metodología	11
A. Métodos.....	12
1. Escenarios climáticos y de sensibilidad de los ecosistemas.....	12
2. Análisis del régimen de pulsos.....	13
3. Clasificación de unidades de vegetación y paisajes del Iberá.....	14
4. Análisis de la diversidad de la vegetación en distintas escalas de tiempo actual y pasado.....	14
5. Tareas complementarias de este estudio	16
III. Resultados	19
A. Escenarios de cambio climático	19
B. Alteraciones en el régimen de precipitaciones.....	19
C. El funcionamiento hidrológico del sistema y su efecto regulador de la biodiversidad	23
1. Lagunas y esteros del Este	23
2. Bañados y lagunas redondeadas de Iberá-Ñeembucú	26
3. Planicie fluvial del río Corriente	27
D. Posibles cambios en el patrón de paisaje y vegetación en los escenarios previstos	28
1. Patrones de ecodiversidad de la vegetación	28
2. Patrón actual de biodiversidad de la vegetación de los esteros del Iberá.....	30
3. Período 2007-2008. Análisis de la diversidad de la vegetación.....	33
4. Período 1976-1980.....	33
E. Capacidad de la vegetación para absorber fluctuaciones ambientales relacionadas a los extremos climáticos e hidrológicos.....	34
1. La sensibilidad de los paisajes más conspicuos	36
F. Paleoclima y la biodiversidad actual del Iberá.....	38

1.	Interpretación geológica y paleoclimática.....	38
2.	Análisis polínico	45
G.	Posibles modificaciones en la biodiversidad y en los sistemas productivos, en relación al cambio climático.....	47
1.	Cambios en la vegetación y en el paisaje.....	47
2.	Alteración del carácter ecológico del humedal	47
3.	Pérdida de hábitat.....	48
4.	Pérdida de extensos sectores del humedal y afectación regional de la biodiversidad	48
5.	Pérdida de corredores ecológicos.....	48
6.	Afectación del turismo natural y actividades socioeconómicas	49
7.	Riesgos del cambio climático en la ganadería	49
8.	Impactos sobre las forestas implantadas	49
9.	Impactos sobre la agricultura de arroz y otras formas de agricultura.....	50
10.	Impactos y riesgos de las obras civiles en escenarios de cambio climático	50
IV.	Conclusiones	51
	Bibliografía	55
	Serie Medio Ambiente y Desarrollo: números publicados	59
Índice de cuadros		
Cuadro 1	Atributos de las curvas hidrométricas par la sub-serie 1929-1959 para tres niveles de referencia.....	25
Cuadro 2	Atributos de las curvas hidrométricas par la sub-serie 1980-2005 para tres niveles de referencia.....	25
Cuadro 3	Variables físico-químicas promedio durante el período 2007-2008	32
Cuadro 4	Especies registradas en el sistema Iberá e Islas Apipé Grande en los sitios de muestreo.....	42
Cuadro 5	Composición de la flora palinológica de los embalsados	43
Índice de gráficos		
Gráfico 1	Promedios mensuales de lluvias para los escenarios climáticos A2 y B2	20
Gráfico 2	Valores medios anuales para las temperaturas máximas y mínimas en el escenario A2 de cambio climático.....	21
Gráfico 3	Valores medios anuales para las temperaturas máximas y mínimas en el escenario B2 de cambio climático	21
Índice de mapas		
Mapa 1	Distribución de las lluvias hasta el 2020 de acuerdo al modelo PRECIS	22
Mapa 2	Distribución de las lluvias hasta el 2100 de acuerdo al modelo PRECIS	22
Mapa 3	Subsistemas del macrosistema del Iberá	31
Mapa 4	Líneas de falla originadas en los movimientos tectónicos y las áreas de afloramiento, hoy conocidas como formación Solari y formación Serra Geral	39
Mapa 5	Paleoabanico que formó el río Paraná en un período más húmedo que el actual y la migración del cauce, dejando lomadas arenosas sub-paralelas al eje principal del sistema	40
Índice de imágenes		
Imagen 1	Efecto de la interferencia del escurrimiento por un alambrado	27

Resumen

La biodiversidad y la estabilidad del Iberá están reguladas por el régimen de fluctuación climático-hidrológico que ha determinado distintos modelos de ajuste de las poblaciones animales y vegetales a la periodicidad de la oferta de agua. En este estudio se evaluaron los riesgos para la biota y el paisaje del Iberá que surgen al considerar el cambio global del clima hasta el año 2100. Se utilizó la información de temperaturas mínimas, temperaturas máximas y lluvias mensuales generada por el modelo PRECIS para la serie 1968-2100, con definición de puntos separados por medio grado de latitud/medio grado de longitud. La información meteorológica simulada para esta serie fue procesada con períodos de corte en 2020, 2030, 2050, 2070 y 2100. Se tomó como referencia los escenarios climáticos B2 y A2 que, para esta región no tuvieron diferencias muy marcadas en la serie de tiempo analizada. En ambos escenarios pueden esperarse precipitaciones algo superiores en la próxima década, con una disminución leve hacia mitad de siglo, y precipitaciones que estarían unos cien milímetros por encima de las medias anuales actuales hacia el comienzo de 2070. Las mayores precipitaciones ocurrirían en el período diciembre-junio.

El análisis de temperaturas plantea escenarios distintos a partir de la información generada mediante el modelo PRECIS. En el escenario A2, no se aprecia cambios considerables en las mínimas medias mensuales, con un incremento menor de un grado en la serie analizada. Para el escenario B2 es semejante, advirtiéndose el incremento térmico a nivel de las máximas mensuales, especialmente en la segunda mitad del siglo XXI. La existencia de un número mayoritario de bioformas de alta resiliencia, que pueden persistir o repoblar el sitio luego de situaciones extremas (anegamiento extraordinario, sequías prolongadas, fuego, pisoteo de fauna silvestre) explican la configuración biótica actual y sensibilidad relativamente baja a cambios como los previstos para los escenarios B2 y A2.

Los mayores riesgos identificados estuvieron en el sistema productivo si se dieran períodos de sequías más prolongados que los actuales, ya que la biota es más sensible a la falta de agua que a los excesos, lo que se vio en forma más notoria en el sector sur y occidental del sistema, donde la agricultura de arroz, diversas formas de agricultura mixta y la forestación con pinos tiene un lugar relevante. El turismo natural, que ha sido una actividad creciente en los últimos años, puede verse perjudicada si se dieran cambios drásticos en la organización del paisaje actual del Iberá. Parte de estos cambios pueden asociarse al corrimiento de las áreas dedicadas a la ganadería, debido a la menor disponibilidad de pastizales naturales.

Introducción

Sudamérica es el continente con mayor concentración de biodiversidad de la biosfera, con más de 46.000 especies de plantas, 1.597 especies de anfibios, 1.208 de reptiles, 1.267 de aves y 575 especies de mamíferos (Mittermeier, Myers and Mittermeier, 1999; Myers et al., 2000). Los humedales, que ocupan más de 2.000.000 km², se encuentran en condiciones prístinas o con bajo nivel de intervención humana, lo que permite conocer su funcionamiento y los servicios que presta la biodiversidad (Neiff, 2001). En ese contexto, el Iberá, por su singularidad ecológica, paisajística y cultural, ha sido reconocido por la comunidad internacional como sitio RAMSAR.

La región del Iberá es un sitio clave a nivel mundial (*Hot spot*), debido a la alta diversidad contenida en el complejo de humedales que se extiende sobre el SE del Paraguay, en los Esteros del Ñeembucú, y en la provincia de Corrientes, Argentina, en el macrosistema que lleva el nombre de la región. En conjunto, este paleoabánico fluvial del Paraná forma la denominada “región del Iberá”, en la que se han registrado 4.000 especies de plantas y animales, es decir, el 10% de todas las especies registradas para los ambientes acuáticos continentales del mundo, en un área próxima a los 45.000 km². Más de 500 especies de algas, 1.654 especies de plantas y 343 especies de aves (el 30 % de las especies de aves citadas para la Argentina). Esta alta diversidad no le está dada por especies endémicas, sino por el contacto de varias regiones biogeográficas y por tener el linaje fluvial del Paraná, que la hacen una región única en la Cuenca del Plata y uno de los humedales de mayor valor a nivel de la biosfera.

La compleja biodiversidad y la estabilidad del Iberá están reguladas por el régimen de fluctuación climático-hidrológico que ha determinado distintos modelos de ajuste de las poblaciones animales y vegetales a la periodicidad de la oferta de agua. La diferencia espacial en la dinámica de suelo seco y de suelo anegado a lo largo de miles de años es la fuerza principal que estructura el paisaje y los ensambles de especies.

Modificaciones climático-hidrológicas de largo término pueden determinar cambios en la configuración biótica del sistema natural, con variadas consecuencias sociales, políticas y en las interacciones geopolíticas que todavía son poco conocidas; más allá de que existen avances importantes en el conocimiento de la dinámica del clima regional y de los eventos que lo varían (Barros et al., 2000; Camilloni y Barros, 2000 y 2003; Nobre et al., 2006; Nuñez, 1993, 2006 y 2008) a través del análisis de escenarios con distinto grado de perturbación.

I. Estado del arte

El estudio de Morello (1984) muestra claramente que Sudamérica es una masa continental con pocas discontinuidades climáticas debido a la posición de las barreras orográficas (macizo de los Andes, de Guayana y de Brasilia) y a que, al norte de Buenos Aires, los excedentes de agua no se acumulan en grandes depósitos lacustres, sino que se evacúan por las cuencas de los ríos (Amazonas, Orinoco, Paraná-Plata, Magdalena, San Francisco y otros ríos menores). Esto implica que la reserva de agua superficial acumulada es altamente dependiente de la dinámica climática de corto término, que puede producir modificaciones muy importantes en el término de décadas (Barros et al., 2000; Camilloni y Barros, 2000 y 2003), con consecuencias socioeconómicas graves (Nuñez y Vargas, 1998), mayores que en las regiones con cuencas lacustres profundas, como sería la región patagónica.

Otro aspecto de interés, en relación a los cambios climáticos de largo término en humedales tropicales y subtropicales, reside en que sus aguas tienen alto contenido de materia orgánica disuelta, finamente particulada, lo que determina una poderosa absorción de la radiación solar. Esto eleva la temperatura del agua y produce un clima lumínico en el perfil vertical de los lagos que resulta bien diferente del correspondiente a las aguas transparentes de muchos lagos situados en clima templado (Mitsch y Gosselink, 1993). Este aspecto ha sido analizado y se dispone de buena información para el Iberá (Cozar et al., 2003; Bracchini et. al., 2004a, b y 2005).

Si bien resultan válidas las publicaciones mencionadas en referencia al clima de Sudamérica y al área subtropical como contexto general (Barros et al., 2000; Camilloni y Barros, 2000 y 2003; Nobre et al., 2006; Nuñez, 1993; 2006 y 2008), es preciso realizar un análisis de grano grueso para los humedales del Iberá, dado que los eventos climáticos extremos pueden tener consecuencias particulares en razón de las condiciones geológicas, geomorfológicas, de suelos, de almacenamiento del agua y del papel modulador de la vegetación palustre.

Existen deficiencias en la información de base que no han permitido obtener certezas contundentes en el funcionamiento del agua en el macrosistema Iberá, lo cual es especialmente válido por la falta de conocimiento hidrogeológico que permita conclusiones firmes respecto de la variabilidad hidrológica del humedal (Canziani et al., 2003; Cozar, 2003; EVARSA, 2002; Popolizio, 1977 y 1981).

El Iberá, como otros grandes humedales de Sudamérica, contiene mucha información acumulada por encontrarse en la parte más baja del relieve y que, por efecto de la gravedad, recibe la variabilidad

climática/hidrológica que ocurre en las partes más elevadas de la cuenca de aporte (INCYTH, 1978; Neiff, 2004).

Surge del relevamiento de la información disponible para Iberá que la mayoría de los antecedentes publicados están referidos a una “escala actual” de fenómenos, lo que impide muchas inferencias sobre los climas pasados en la región. Esto es especialmente válido para los trabajos que reportan la distribución y abundancia de plantas y animales, o la dinámica climática hidrológica, o las relaciones entre el medio físico y la parte biótica del sistema (Arbo y Tressens, 2002; Beccaceci, 1994; Blanco, 1999; Blanco y Parera, 2001; Carnevali, 1994; Di Giacomo, 2005, Giraudo et al., 2003; Matveev et al., 1992; Neiff, 1981,a,b; Parera, 2002; Poi de Neiff, 1979; Ward et al., 1999; Zalocar, 2003).

Por lo tanto, se dispone de buena información sobre la distribución y abundancia de muchas especies, de inventarios florísticos y faunísticos; pero, poco se conoce sobre las causas que condicionan dichos elementos espacialmente, ni tampoco en series temporales largas, menos aún cómo reaccionarían en escenarios climáticos muy diferentes de los actuales.

Sin embargo, algunas contribuciones ayudan a reconstruir la variabilidad climática e hidrológica pasada y a generar hipótesis sobre la respuesta de la biota a escenarios de importantes cambios climáticos (Castellanos, 1965; Cuadrado y Neiff, 1993; Figueredo, 1929, Iriondo y García, 1993; Iriondo, 2004; Morello, 1984; Nagid et al., 2001; Neiff, 2001a,b; Neiff et al., 1994; Popolizio, 1981). Particularmente, el trabajo de Iriondo y García (1993) y el de Cuadrado y Neiff (1993) serán utilizados como base para reconocer la variabilidad paleoclimática en los últimos cinco mil años.

II. Objetivos y metodología

Este estudio está dirigido a:

- Evaluar de los riesgos de los cambios climáticos y las medidas de adaptación necesarias en los ecosistemas naturales y biodiversidad de los Esteros del Iberá.
- Analizar la respuesta de las colectividades de la vegetación a los escenarios esperados (en términos de cambios en la riqueza de especies, de bioformas, posible avance de especies invasivas, etc.).
- Elaborar un mapa de sensibilidad de las unidades del paisaje a los escenarios de cambio climático planteados, basado en la interpretación de imágenes satelitales y en trabajos de campo.
- Jerarquizar los usos actuales y potenciales del ambiente en función de su grado de disturbio para los escenarios de cambio climático seleccionados.
- Reconstruir, en la medida de lo posible, los cambios en la vegetación desde tiempos pretéritos, basándose en un análisis palinológico de los Embalsados del Iberá y de los Esteros del Paraná, a los efectos de determinar los cambios futuros respecto de lo que se podría denominar un “Escenario de Base”.
- Colaborar en la identificación, recopilación, sistematización, análisis y evaluación de la Información relevante.
- Mantener intercambio con el Coordinador del estudio de la economía del cambio climático en la Argentina.

Se parte de las siguientes hipótesis:

- La vegetación indica la variabilidad espacial del ambiente (suelos, calidad del agua, fluctuación hidrométrica);
- La plasticidad ecológica (euritipia) actual de la vegetación, informa sobre los riesgos del cambio climático en el paisaje y la biodiversidad del ecosistema, en razón que la vegetación es el principal elemento en la estructuración del hábitat.

A. Métodos

Las tareas y procedimientos han sido diseñados para dar cumplimiento a los TDR que motivaron este estudio y que se mencionan a continuación:

1. Escenarios climáticos y de sensibilidad de los ecosistemas

Se consideraron los escenarios de emisiones A2 y B2 del IPCC (2000; 2001; 2005), a partir de los registros climáticos regionales generados por INPE hasta el año 2100. Se utilizó la información sobre temperaturas mínimas, temperaturas máximas y lluvias mensuales generada por el modelo PRECIS para la serie 1968-2100, con definición de puntos separados por medio grado de latitud/medio grado de longitud, mediante el modelo PRECIS (Providing Regional Climates for Impact Studies), desarrollado por el Hadley Center del Reino Unido de Gran Bretaña, integrándolo en una grilla con espaciado regular de medio grado de latitud/longitud, generada para toda la provincia de Corrientes. Esta información fue obtenida por la Dra. Inés Camilloni (CIMA, UBA/CONICET). La información meteorológica simulada para esta serie fue procesada con períodos de corte en 2020, 2030, 2050, 2070 y 2100.

- Los datos obtenidos mediante el modelo PRECIS, se transformaron a un formato que facilitara las consultas en una base de datos georreferenciada, usando el motor Postgres-Postgis, volcando los datos en sus respectivas tablas, una por modelo, por mes, período y tipo (máx/mín/promedio). Se construyó un archivo de configuración “mapserver”, para mostrar en escala de colores los valores de cada parámetro de los puntos geográficos obtenidos por el modelo.
- Se utilizó la interpolación geográfica para construir cuadrantes que representaran el valor numérico de los puntos antes procesados. Al asignar la misma gama de valores, tanto a los puntos como a los cuadrantes, se obtuvo un gráfico de isohietas/isotermas que representa los datos del modelo PRECIS.
- Este proceso se repitió tanto para temperaturas como para lluvias; pero no se encontraron valores significativos en las primeras, debido a que la temperatura (en promedio) varía uniformemente en toda la región. Por este motivo, no se presentan en gráficas georreferenciadas las variaciones térmicas.
- En el modelo PRECIS, todos los meses tienen 30 días y no existen años bisiestos. En consecuencia, cada año tiene sólo 360 días.
- Para la representación de estos datos e intercambiar ideas con especialistas, se creó una página web visible en: <http://cepan.neiff.com.ar/>. En la misma, se pueden consultar los datos obtenidos del modelo para cada una de las subseries mencionadas, para cada año y mes, en cada sector del mapa.
- Internamente, el sistema obtiene el punto de la grilla del modelo PRECIS más cercano al punto solicitado por el usuario en su consulta y extrae la serie correspondiente. El sistema no realiza interpolación entre puntos.
- Se adicionaron otros mapas, como los que muestran los suelos, la vegetación, las regiones fitogeográficas, las superficies de lagunas, bañados, esteros, ríos, e imágenes satelitales, lo que permite cruzar información del modelo de cambio climático con los ambientes ecológicos que sostienen la biodiversidad. Esta información complementaria fue tomada del SIGEA (Sistema de Información y Gestión Ambiental, de la Universidad Nacional del Nordeste), que se encuentra disponible en: <http://www.unne.edu.ar/Web/cegae/sigea/Index.htm>.
- Estos mapas fueron utilizados luego como base para generar los mapas de uso actual y de sensibilidad de los ecosistemas, en los que se cruzó la información proveniente de la superficie actualmente afectada a cada uso. Los mapas producidos, que son de carácter provisorio, orientativo al sólo efecto de contextualizar la variabilidad del sistema bajo estudio.

- Para el mapa de sensibilidad se realizó una escala convencional que relaciona los rendimientos de cada actividad en los últimos veinte años con los extremos climáticos observados en ese período. Este procedimiento, si bien cualitativo, permite señalar una primera tendencia del sistema productivo a las fluctuaciones climáticas actuales.

En base a la información obtenida se hizo una representación gráfica que permitió establecer las áreas más sensibles según las previsiones de mudanza climática. Esto se logra utilizando una escala cualitativa:

- Áreas poco afectadas, poco sensibles, incluirán aquellas zonas que si bien tengan algunos cambios en sus ecosistemas no puedan ser evidenciados en escala de mapa.
- Áreas con baja afectación por los escenarios climáticos futuros, involucran las zonas donde los cambios esperables en las cualidades del ambiente puedan ser representados en escala espacial (de mapa).
- Áreas moderadamente afectadas, aquellas unidades de vegetación con riesgo de sufrir corrimientos espaciales mayores al 20 %, con sustitución de tipos de vegetación.
- Áreas gravemente afectadas, aquellas áreas donde el corrimiento del paisaje, y las consecuencias económicas y sociales emergentes, involucren más del 40 % de corrimiento respecto del paisaje actual.
- Áreas gravemente afectadas, aquellos paisajes que como consecuencia del cambio climático desaparecieran del sitio que ocupaban, con escasa posibilidad de recuperar su estructura actual.

La arquitectura usada para el procesamiento y representación de los datos fue la siguiente:

- Sistema operativo: GNU/Linux
- DMBS: Postgres-Postgis
- Servidor de mapas: Mapserver
- Lenguaje de programación: PHP, perl y bash.

Todo el software usado para el procesamiento como para la representación de los datos es libre y está disponible bajo licencias GNU.

2. Análisis del régimen de pulsos

Dado que el comportamiento hidrológico del humedal sintetiza la variabilidad climática regional, se analizó el régimen de pulsos para la laguna Iberá en Carlos Pellegrini, tomando la serie de datos diarios entregados por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Argentina. Esta serie data de 1929 a la fecha, si bien tiene hiatos de varios años y huecos de días en el año.

Por este motivo, sólo se tomaron dos subseries: 1929-1959 y 1980-2005, para analizar comparativamente un período de pocas lluvias con otro de muchas lluvias.

El análisis de pulsos consiste en determinar para una o más unidades de paisaje, la relación de días con suelo inundado (potamofase) y con suelo emergente (limnofase), la frecuencia de cada fase en una serie de tiempo, su duración, intensidad, regularidad y estacionalidad (Neiff, 1990). Debido a las diferencias geomorfológicas, el hidropérido puede ser muy distinto para paisajes que se encuentran en distinta posición topográfica. En el caso de Iberá, debido a la escasa amplitud vertical del relieve, se consideró que los esteros tienen al menos tres estados diferentes: aguas extremadamente bajas (2008, por ej.), aguas extraordinariamente altas (Ej. episodios El Niño) y un estado de saturación, en que los esteros están colmados de agua, aunque no se producen todavía movimientos horizontales del agua.

La sistematización y conversión de formato de los datos se realizó con el software CONVERT, y el análisis de pulsos se hizo utilizando el software PULSO, ambos disponibles en <http://www.neiff.com.ar>.

3. Clasificación de unidades de vegetación y paisajes del Iberá

Utilizando el Ecological Land Classification procedure (ELC), se posicionaron las grandes unidades de paisaje y vegetación en un mapa de regiones fitogeográficas, basado en los trabajos de Carnevali (1994; 2003), con separación de:

- pastizales y pajonales
- bañados de plantas hidrófilas, pastos tiernos
- lagunas
- arroyos y canales principales
- vegetación acuática, juncales
- embalsados, esteros
- bosques hidrófilos

Esta tarea permitió una primera aproximación a la variabilidad espacial del Iberá, de la respuesta ecosistémica a la variabilidad geomorfológica, climática, hidrológica y edáfica actual.

4. Análisis de la diversidad de la vegetación en distintas escalas de tiempo actual y pasado

Se analizó la diversidad de la vegetación del Iberá en el subsistema más representativo (Subsistema de Esteros y Lagunas del Este), en tres escalas de tiempo complementarias:

- en escala actual, se analizaron las diferencias en la riqueza de especies y la tasa de cambio espacial en ambientes representativos, tomados en sentido del eje mayor del sistema;
- en escala reciente, se compararon los mismos sitios de muestreo, en dos períodos: 1976-1978 y 2008-2009, para conocer la tasa de cambio en la vegetación luego de tres décadas;
- en escala ecológica-evolutiva, comprendiendo los últimos tres mil años, para conocer la antigüedad del paisaje actual, su variabilidad y obtener información de la variabilidad climática de largo término.

Para la colección de muestras del período reciente se seleccionaron cinco lagos situados en la zona oriental, con diferente morfometría y tiempo de residencia del agua, y las nacientes del río Corriente (colector general del macrosistema Iberá).

En cada sitio, se relevó un número variable de parcelas de 20 m², con un máximo de 42 cuadrados en Laguna Luna, por su mayor complejidad.

En los dos períodos (1976-1980 y 2007-2008) y para cada sitio, se estimó la frecuencia de ocurrencia de las especies (muestra con presencia de spi / número de muestras x 100). La tasa de cambio entre parcelas, en cada laguna y entre lagunas, fue calculada con el índice de Whittaker, con la modificación introducida por Harrison (Magurran, 2004):

$$\beta w = \{(S / \alpha) - 1\} / (N - 1) \times 100$$

donde S = número total de especies registradas, α = media de la riqueza específica y N = número de sitios o parcelas. La medida varía entre 0 (sin tasa de cambio) y 100 (cada muestra tiene un único conjunto de especies).

Para examinar el patrón espacial de distribución de la vegetación, la frecuencia de todas las especies fue ordenada en un espacio bidimensional con un Non-metric Mul-tidimensional Scaling (NMDS) con la distancia de Bray-Curtis en el programa PRIMER-E (2008). El mismo programa fue utilizado para la construcción de los dendrogramas de afinidad entre sitios.

Se calculó la afinidad entre los sitios mediante el índice de Jaccard (Ij) para las listas de especies de cada período analizado:

$$I_j = c / a + b + c \times 100$$

donde: a = número de especies en la muestra 1; b = número de especies en la muestra 2; c = número de especies en ambas muestras.

El estudio de la sensibilidad de los ecosistemas para la escala de tiempo geológica-evolutiva, el análisis paleoecológico, se realizó a través del análisis polínico y de suelos orgánicos de embalsados. Las características geológicas y paleoclimáticas fueron analizadas mediante la compilación de la información disponible (Iriundo, 1991 y 2004; Orfeo y Neiff, 2008).

Para el análisis de los suelos orgánicos, fueron seleccionadas doce estaciones de muestreo dentro de los paisajes de humedales más característicos del macrosistema Iberá, comprendiendo las islas más antiguas del Alto Paraná (isla Apipé Grande) y los suelos turbosos del Iberá.

Se tomaron muestras verticales del perfil de suelo, tres perfiles en cada sitio, desde la superficie hasta los horizontes más profundos en segmentos seriados de 50 cm de profundidad, con barreno de 9 cm de diámetro y 45 cm de largo (Neiff, 2004), con escaso disturbio de la estratificación vertical de los materiales. La separación de alícuotas para análisis de la densidad aparente de la muestra, el peso húmedo o de campo, el peso seco, el contenido de materia orgánica, el color, la potencia del suelo y la particulometría de los materiales a cada profundidad, fue realizado en laboratorio por procedimientos convencionales (Jackson, 1970).

Para el estudio de polen, se tomaron 30 g de suelo, secuencialmente, de cada una de las muestras desde la superficie hasta la base del suelo, las cuales fueron denominados A, B, C, etc., correspondiendo la letra A al horizonte superficial. Las muestras fueron transportadas en condiciones anaeróbicas al laboratorio, donde fueron tratadas con bromoformo para la separación física del polen y, posteriormente, con acetólisis (Erdtman, 1960).

Los resultados de este estudio han sido publicados en parte (Cuadrado y Neiff, 1993), por lo que sólo corresponde presentar algunos resultados y conclusiones, los de mayor interés.

Se realizó la datación de los sedimentos más antiguos de los esteros, en Laguna Iberá, en el sitio conocido como Laureltí, con determinación de C14 en el laboratorio de GEOTOP de la Universidad de Montreal (Canadá), en un histosol hémico situado en el estero marginal del límite norte de la citada laguna, en la misma localidad en que fueron tomados perfiles para análisis texturales de suelo y registros polínicos. Se tomaron dos submuestras: una en la mitad del espesor total del suelo y otra en la base del perfil. Cada muestra fue tomada del núcleo central del cilindro y conservada en condiciones anaeróbicas dentro de un recipiente completamente sellado, mantenido a baja temperatura hasta su procesamiento.

Resumiendo, se trabajó en un análisis que parta de escenarios climáticos-hidrológicos posibles, para estudiar:

- la resiliencia del sistema biótico, a nivel de distintas unidades de paisaje del Iberá;
- los cambios que podrían producirse en cada uno de los escenarios simulados, a nivel de los elementos dominantes de la vegetación;
- el efecto de los disturbios antrópicos en uno o más escenarios de cambios climáticos de largo término;
- sobre esta base, se indicaron acciones o medidas tendientes a la adaptación o la mitigación de los efectos de posibles escenarios climáticos extremos.

5. Tareas complementarias de este estudio

El consultor tuvo oportunidad de colaborar en la identificación, recopilación, sistematización, análisis y evaluación de la información relevante para llevar a cabo el estudio, a través de consultas a fuentes de datos e informantes calificados, incorporando los datos en el contexto del informe, dejando expreso reconocimiento de las fuentes cuando fue pertinente.

En la tarea de identificación, solicitud, recopilación, sistematización, análisis y evaluación de la información relevante relativa a costos asociados con los impactos esperados del cambio climático y la aplicación de las medidas de adaptación, se aportó información inédita, producida por el consultor, al sector de análisis económico a fin de colaborar en la evaluación de los costos que se asocian a situaciones de riesgo para la producción ganadera, arrocera, pesca y forestaciones.

Si bien se comentan medidas principalmente preventivas, y otras que inducen a repensar la adecuación de los sistemas productivos y de las estrategias crediticias asociadas a los mismos, no fue posible encontrar referencias comparables a la zona de estudio referidas a medidas de mitigación o adaptación específicas para cada una de estas actividades.

En cuanto a las estrategias para paliar los posibles impactos del cambio climático sobre la biodiversidad del Iberá, no existen antecedentes aplicables, por lo que la recomendación que se realiza en distintos acápites del estudio es la de mantener, en lo posible, los ecosistemas prístinos. Esta indicación se basa esencialmente en el paradigma que señala que la mayor plasticidad a los cambios ambientales se constata en las especies nativas del gran humedal del Iberá, lo que se demuestra con variada ejemplificación.

El consultor mantuvo un fluido intercambio con el Coordinador, poniendo a su disposición los elementos necesarios para las acciones de comunicación y difusión, estableciéndose además un fecundo intercambio con aquellos sectores relacionados al tema de estudio.

Una de las actividades más importantes en la Provincia de Corrientes es la forestación. Corrientes es la segunda provincia forestal de la Argentina con una superficie de más de 400.000 hectáreas plantadas, de las cuales algo menos de la cuarta parte se encuentran en la cuenca de aporte del Iberá. De esa superficie, la mayor producción corresponde a eucaliptos (varias especies) y a pinos de las cuales, dos en particular (P. Eliotti y P. Caribea) son las más seleccionadas por su adecuación a la variabilidad ambiental.

Se obtuvo información proveniente de fuentes oficiales, como el Ministerio de la Producción, donde se realizaron sendas entrevistas al Sr. Ministro de la Producción de Corrientes, Cdor. Alfredo Aun y a la Asesora de ese ministerio, Dra. Josefina Pérez Ruiz.

Para conocer la dinámica del sector forestal en Corrientes y, a la vez, contar con datos actualizados de la superficie ocupada por esta actividad, se entrevistó al Sr. Director de Bosques, Ing. Ftal. Luis Mestres, quien brindó una generosa información relativa a bosques nativos, bosques implantados y, también, algunas características de la producción actual (maderas para aserrío y para pasta celulósica). El Ing. Agr. Carlos Jacobo, Director del Programa de Lucha contra el Fuego, brindó información respecto de los siniestros causados por incendios forestales en la Provincia durante las últimas décadas (asociada inequívocamente a las sequías extraordinarias) y sobre la capacidad instalada en el sector para prevenir y gestionar incendios.

Se entrevistó también a técnicos de algunas de las principales empresas del sector forestal en Corrientes (Ing. Claudio Anselmo e Ing. Ftal. Marcelo Rolón, de Las Marías; Ing. Ftal. Raúl Pezutti, de Bosques del Plata; Ing. Ftal. Mirta Báez, de Forestadora Tapebicuá; Ing. Eduardo Bello, de Empresas Verdes S.A.) para conocer el estado de gestión de la certificación de calidad con normas FSC. Ambas empresas (líderes en el sector), presentaron su compromiso por producir con el menor deterioro ambiental y cuidado de la biodiversidad, a la vez que manifestaron su preocupación por los posibles efectos del Cambio Climático Global. Se contó con toda la documentación ambiental producida por estas empresas, lo que fue de mucha utilidad para evaluar posibles situaciones de estrés ambiental de las forestaciones ante situaciones de extrema sequía.

Otro sector importante en la economía de Corrientes (que podría verse afectado por el cambio climático) es el dedicado a la producción de arroz, que abastece gran parte del mercado interno argentino y exporta parte de su producción a más de veinte países. Solamente a Venezuela, Corrientes exportará en 2009 más de 135 mil toneladas de arroz con cáscara. Si se tiene presente que la tonelada de arroz fluctúa entre 800 y 1000 dólares americanos, se tiene una dimensión de la importancia de este cultivo, situado en gran parte en la periferia del Iberá y en el tramo alto del río Corriente, colector del sistema.

El consultor tomó contacto con la Asociación de Productores de Arroz de Corrientes para conocer la situación del sector, y la importancia de las fluctuaciones climáticas de las últimas décadas, como reguladoras de la producción y calidad del cultivo.

Se analizó la dinámica de la producción pecuaria de los departamentos que forman el Iberá, relacionando los rendimientos con los extremos climáticos de las últimas dos décadas.

III. Resultados

A. Escenarios de cambio climático

La extensión, magnitud y duración de los cambios en el paisaje y en su complejidad dependerán, en gran medida, de dos aspectos:

- La importancia de los cambios climáticos esperados y su impacto en la dinámica del agua superficial:
 - Alteraciones en el régimen de precipitaciones (distribución estacional de lluvias) y en la cantidad de lluvias (monto anual);
 - Alteraciones en el funcionamiento hidrológico del sistema; especialmente, niveles críticos y cambios en el régimen de pulsos.
- La posibilidad de la biota para absorber las alteraciones climático-hidrológicas:
 - Respuesta de distintos complejos bióticos, a nivel de *formas de vida y de organismos*;
 - Respuesta a nivel de comunidades y de la biodiversidad del sistema;
 - Alteración de los procesos que mantienen la estabilidad de los ecosistemas.

De la interacción de estas variables resultarán los impactos sobre los ecosistemas.

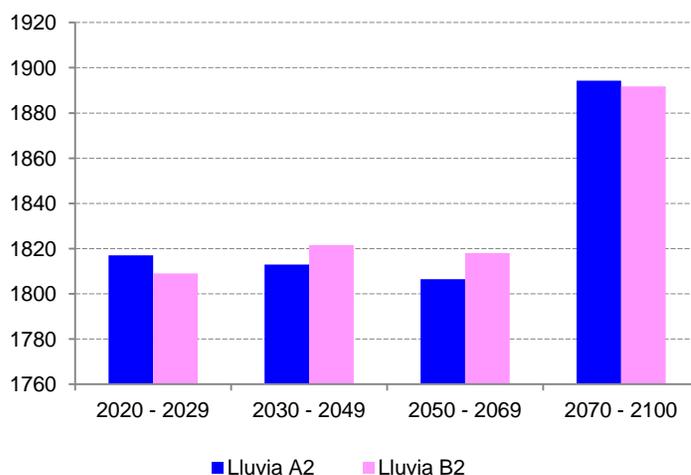
B. Alteraciones en el régimen de precipitaciones

En la última centuria, el Iberá se encuentra en un área de contacto de zonas climáticas con distinta oferta anual de lluvias, con valores máximos en el extremo NE y mínimos en el SO, con diferencias anuales de 100 a 300 mm entre ambas. Las precipitaciones habitualmente alcanzan montos mayores en verano y otoño, disminuyendo hacia el final del invierno. Los valores acumulados anuales, en ambos extremos geográficos, tienen medias históricas de 1.700 mm (NE) y de 1.400 mm (SO), pudiendo desplazarse estos valores hasta 2.700 mm durante eventos El Niño.

Hay importantes diferencias interanuales, relacionadas con los eventos El Niño-La Niña que, sin embargo, no se corresponden con la magnitud de fluctuación en el nivel de las lagunas de Iberá, como se discute más adelante.

El análisis de la información producida por el modelo PRECIS para las lluvias en los escenarios B2 y A2, en un horizonte que va hasta 2100, puede sintetizarse gráficamente como se observa en el gráfico 1.

GRÁFICO 1
PROMEDIOS MENSUALES DE LLUVIAS PARA LOS ESCENARIOS CLIMÁTICOS A2 Y B2
(Milímetros acumulados en el año)



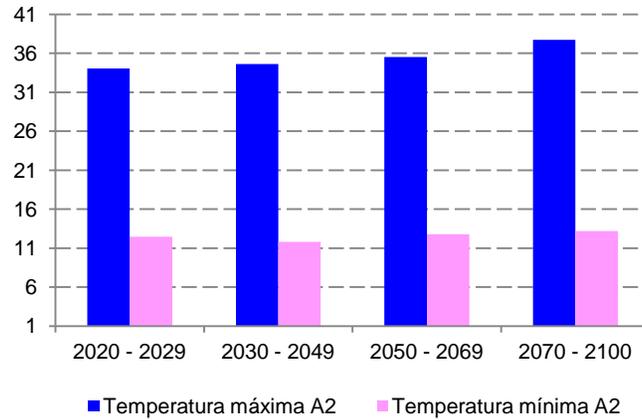
Fuente: Elaboración propia, sobre datos provistos por Inés Camillioni.

En ambos escenarios pueden esperarse valores algo superiores en la próxima década, con una disminución leve hacia mitad de siglo, y precipitaciones que estarían unos cien milímetros por encima de las medias anuales actuales hacia el comienzo de 2070, con fluctuaciones anuales e interanuales que se desplazarían dentro de los rangos registrados en las últimas décadas. Las mayores precipitaciones ocurrirían en el período diciembre-junio, en tanto en el resto de los meses del año estas diferencias serían poco notorias.

En ambos escenarios la variabilidad de las lluvias estimada hasta 2100 es poco marcada, posiblemente porque se trabaja con promedios mensuales, que fueron generados en base a pocas estaciones meteorológicas.

El análisis de temperaturas también plantea escenarios distintos a partir de la información generada mediante el modelo PRECIS. En el supuesto gestado por el escenario A2, no se aprecian cambios considerables en las mínimas medias mensuales, con un incremento menor de un grado en la serie analizada. En este escenario, las temperaturas máximas (medias mensuales) tendrán un incremento de tres grados en la localidad de Carlos Pellegrini, la que fue tomada como representativa en este estudio. Cabe señalar que los datos promedio mensuales no siempre son expresivos de los escenarios ecológicos, debido a que atenúan la variabilidad. Como ejemplo de lo expresado, la temperatura máxima absoluta en Corrientes fue de 44,2 °C, con alta frecuencia de temperaturas máximas diarias, superiores a 35 °C (gráfico 2).

GRÁFICO 2
VALORES MEDIOS ANUALES PARA LAS TEMPERATURAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS
EN EL ESCENARIO A2 DE CAMBIO CLIMÁTICO
(Grados Celcius)

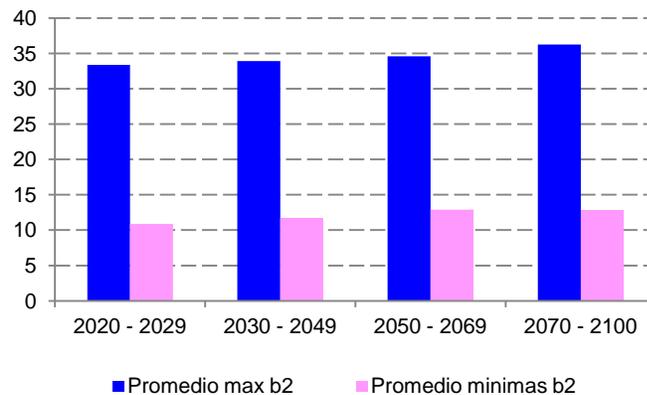


Fuente: Elaboración propia, sobre datos provistos por Inés Camillioni.

Como se aprecia en el gráfico 3, la situación prevista por el modelo PRECIS para el escenario B2 de cambio climático es semejante a la anterior, advirtiéndose el incremento térmico a nivel de las máximas mensuales, especialmente en la segunda mitad del siglo XXI. Ambos gráficos representan la dinámica prevista por el modelo para la laguna Iberá en la localidad de Carlos Pellegrini.

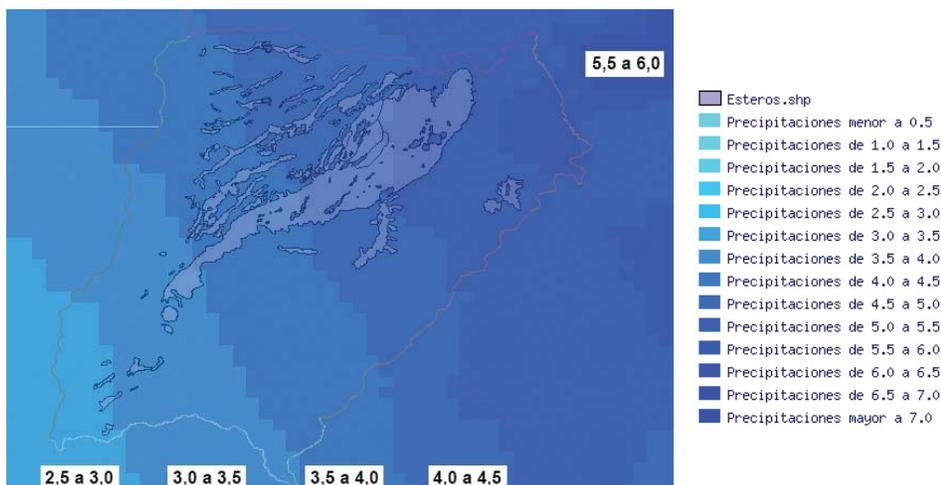
El análisis espacial y el trazado de las isotermas no permiten una traza de fajas térmicas bien determinadas, posiblemente debido al nivel de definición con que se trabajó la información.

GRÁFICO 3
VALORES MEDIOS ANUALES PARA LAS TEMPERATURAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS
EN EL ESCENARIO B2 DE CAMBIO CLIMÁTICO
(Grados Celcius)



Fuente: Elaboración propia, sobre datos provistos por Inés Camillioni.

MAPA 1
DISTRIBUCIÓN DE LAS LLUVIAS HASTA EL 2020 DE ACUERDO AL MODELO PRECIS^a
 (Milímetros/día)

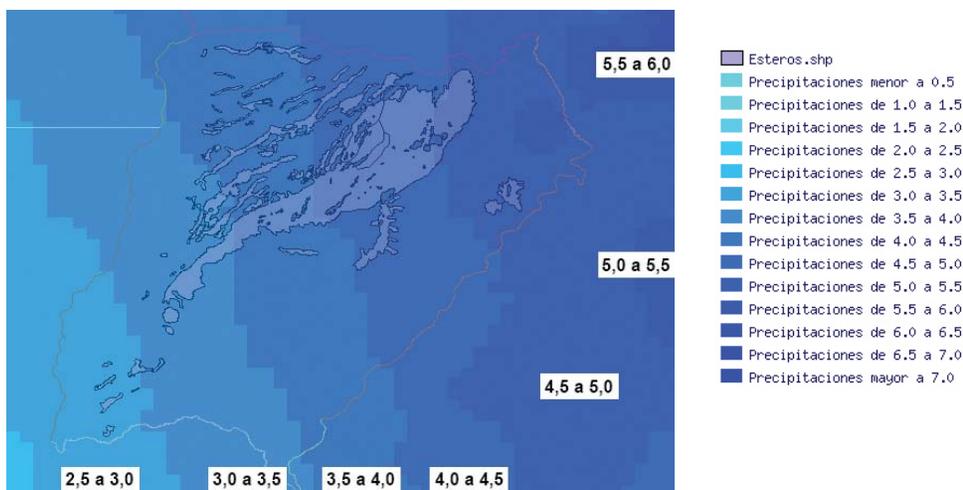


Fuente: Elaboración propia, sobre datos provistos por Inés Camillioni.

^a Las curvas isohietas mantienen la posición actual.

La comparación de los mapas de isohieta muestra que hacia el 2100 hay un corrimiento hacia el Este de la zona de menores precipitaciones, que ahora comprende a todo el valle del río Corriente y toma parte de los esteros hasta la laguna Medina.

MAPA 2
DISTRIBUCIÓN DE LAS LLUVIAS HASTA EL 2100 DE ACUERDO AL MODELO PRECIS^a
 (Milímetros/día)



Fuente: Elaboración propia, sobre datos provistos por Inés Camillioni.

^a Las zonas de color representan áreas de desigual precipitación. Las líneas de isohieta tienen un ligero desplazamiento en el sentido submeridiano (N-S), si bien las áreas ocupadas por cada faja son semejantes.

Los mapas 1 y 2 indican que la zona SO del Iberá continuará siendo el área que recibe menores lluvias (la mitad, en promedio) respecto del extremo norte del sistema. Si se tiene presente que esa zona, desde Paso Lucero hasta el norte de Concepción, tiene suelos arenosos permeables cuya potencia llega a los 70 m (INCYTH, 1978), puede esperarse que las fases de sequía prolongadas

tendrán mayor impacto en esta zona, y también en el río Corriente (que podrá incluso quedar seccionado, si la sequía dura más de 10 años)¹.

Los resultados del modelo climático PRECIS y del modelo hidrológico VIC generan escenarios algo más húmedos que los de la última década del siglo XX, con mayores escurrimientos medios anuales a lo largo del siglo y mayores alturas en los cuerpos de agua que conforman el sistema Iberá, en ambos escenarios de cambio climático, como consecuencia de las mayores precipitaciones que compensan y superan la mayor evaporación producto de las más altas temperaturas (Vidal, 2009).

C. El funcionamiento hidrológico del sistema y su efecto regulador de la biodiversidad

Como fuera señalado, Iberá tiene tres subsistemas funcionalmente distintos:

- Lagunas y esteros del Este
- Bañados y lagunas redondeadas de Iberá-Ñeembucú
- Planicies fluviales (río Corriente)

Sólo en períodos climáticos de excesivas lluvias, como los eventos El Niño (1982; 1998), se encuentran totalmente conectados estos tres subsistemas. En estas oportunidades, también se conectan superficialmente por escurrimiento laminar las cuencas de los ríos Corriente, Batel-Batelito y Santa Lucía.

1. Lagunas y esteros del Este

Al igual que en otros lagos y humedales, habitualmente, el análisis de la fluctuación hidrométrica, medida en una regla fija acotada respecto de un punto determinado, de altura conocida, en relación al nivel del mar, ha sido tomada como expresión del funcionamiento de las aguas superficiales del sistema.

Esto es parcialmente válido en Iberá, porque no todos los elementos del paisaje tienen la misma conectividad con la lámina de agua (lagunas, esteros, bañados, pastizales y pajonales perimetrales), y porque algunos elementos del paisaje — como la vegetación flotante y los denominados *embalsados*²— son menos afectados por las fluctuaciones de nivel que las praderas de bañado, asentadas en suelos arenosos. Es decir, que el hábitat de la vida silvestre puede ser variablemente afectado por un determinado rango de fluctuación, en tanto se trate de paisajes de laguna, de esteros o de bañados. En otras palabras, las fluctuaciones de la lámina de agua superficial afectarán más a los bañados que a los esteros y las lagunas.

Otro aspecto, que señala diferente grado de riesgo de los cambios climáticos sobre la biodiversidad, surge de las diferencias en la geomorfología del humedal.

Más del 50 % de la región del Iberá está ocupada por las grandes lagunas y los esteros del Este. Esta zona se corresponde con una antigua depresión. El nivel del fondo de los lagos en ella está unos 5 ó 6 m por debajo del plano general del paisaje que circunda a los esteros. Esto determina una importante área de captación de las precipitaciones que, luego de llenar el compartimento de almacenamiento de los esteros, desagua lentamente hacia los lagos. Completado el almacenamiento en los lagos y esteros, recién eroga caudales importantes al río Corriente. Sólo a partir de ese momento, los caudales de salida por el río Corriente (colector del sistema) tienen relación con los niveles de agua de las lagunas y esteros, es decir con el nivel de aguas en laguna Iberá (Popolizio, 1981).

¹ Esta grafía es utilizada a lo largo del texto para indicar algunos párrafos que luego serán retomados en las conclusiones.

² Embalsado: islote flotante de tamaño variable, entre 30 m y 10 km, formado por suelo orgánico turboso, sobre el cual se asienta vegetación acuática herbácea, arbustiva o arbórea, que pueden desplazarse dentro de los lagos o permanecer anclados durante las bajantes.

Alcanzado el nivel de saturación en las lagunas y esteros del Este (cuando el nivel del agua en el hidrómetro de Carlos Pellegrini llega aproximadamente a 2 m), la masa de embalsados que cubre el borde de las lagunas y el piso de los esteros, se despega y comienza a flotar.

En esa situación, los aportes de agua que llegan a las lagunas y esteros del Este se desplazan en tres compartimentos, a distinta velocidad y con diferente calidad de sustancias químicas:

- El agua superficial escurre encima de la vegetación palustre de los esteros, en los embalsados. Es agua de muy bajo contenido en sales, bien oxigenada, de pH neutro a ligeramente ácido, con poca carga de sustancias orgánicas;
- Hay una capa de agua retenida entre el fondo mineral (piso del estero) y el piso del embalsado, que se continúa en las capas más profundas de las lagunas. Cuando menguan las lluvias, esta agua escurre por los colectores³ para llegar a las lagunas. Finalmente, una parte -posiblemente menor al 20 %- desagua por el río Corriente.
- Un tercer compartimento corresponde al agua retenida en los suelos orgánicos de los embalsados, y que representa entre un 40 % y un 70 % del peso específico de los suelos orgánicos de los esteros. Esta agua tiene muy poca movilidad en la fase saturada del sistema ($h = 200$ cm, o mayor, en Iberá), pero adquiere enorme importancia en los períodos prolongados de pocas lluvias, porque es lentamente transferida a las lagunas, amortiguando así las bajantes, como pudimos comprobar en la dilatada sequía de 1999 a 2009. Estas aguas se reconocen fácilmente en los canales de escurrimiento, porque tienen pH ácido (4,5 a 5,6), conductividad eléctrica tres veces superior a la “normal” de las lagunas (hasta $70 \mu\text{S}/\text{cm}$), alto contenido orgánico (DQO: 10-20 mg/l) y bajo contenido de oxígeno disuelto. Su ingreso a las lagunas conlleva cambios en la calidad del agua de las mismas, que representan distintas condiciones de vida para los organismos planctónicos, la vegetación acuática y sus invertebrados asociados. Por lo expresado, el período de bajante pronunciada, que se alcanza cuando el hidrómetro de laguna Iberá marca 140 cm o menos, lleva asociados cambios importantes en la calidad del hábitat para los organismos acuáticos, no solamente una disminución de la transparencia del agua.

Nótese que, entre el nivel de saturación y el de bajante pronunciada, hay tan sólo 60-80 cm en el hidrómetro de Iberá. Esto está dado por la baja declividad del plano general del paisaje, pero también por la función de amortiguación que ejercen los esteros que rodean a las grandes lagunas y que ocupan la mayor parte de la superficie de este subsistema.

Hay que remarcar asimismo que desde el nivel de saturación (200 cm) hasta el nivel de escurrimiento laminar del sistema hay sólo 40-50 cm; y que, en esta situación, el agua cubre entre 60 cm y 70 cm en los embalsados más antiguos (Laureltí, laguna Galarza, próximo a canal Isirí).

Esto implica reconocer que la variabilidad hidrométrica absoluta de la lámina de agua es de sólo 130 cm, mientras que las lluvias varían de año en año entre 900 y 2800 mm, es decir 170 cm. Lo cual marca un efecto de amortiguación que ejercen los esteros, de aproximadamente 40 cm, para la serie de tiempo 1929-2008.

En otro sentido, es importante tener presente que los esteros y las lagunas son parte de un mismo sistema y que la homeostasis⁴ del humedal está sostenida por las transferencias que se dan entre lagunas y esteros.

Se procesaron los registros de la regla hidrométrica de la localidad Carlos Pellegrini, que es atendida por la Subsecretaría Nacional de Recursos Hídricos (Argentina), con el objeto de establecer la variabilidad interanual y la frecuencia de los estados críticos (secas y anegamiento extremos) en la serie 1929-2008. En esta serie existen huecos en la información, por lo que solamente se tomaron dos

³ Se denominan localmente *canales* (Caengúa, Isirí, Yacaré, Misterioso), son cursos temporarios de agua corriente, tallados en los esteros, no tienen paredes minerales (de arena u otros materiales) sino que corren entre suelos orgánicos.

⁴ Homeostasis: sistema de equilibrio sustentado en múltiples variables.

subseries: 1929 a 1959, representativa de un período de pocas lluvias; y 1980 a 2005, en el que predominaron los años con precipitaciones por encima de la media histórica.

a) Dinámica hidrológica de la laguna Iberá

Cada subserie fue procesada con el software PULSO (Neiff y Neiff, 2004), fijando el análisis en tres niveles de referencia: 200 cm (nivel de saturación del sistema, los embalsados están completamente llenos, pero el agua no escurre) (cuadros 1 y 2), 250 cm (nivel de escurrimiento laminar, el agua corre en la superficie de los embalsados) y 150 cm, nivel crítico de fase seca, la parte superior de los embalsados, hasta unos 50cm se encuentra seca.

CUADRO 1
ATRIBUTOS DE LAS CURVAS HIDROMÉTRICAS PARA LA SUB-SERIE 1929-1959
PARA TRES NIVELES DE REFERENCIA

Nivel de referencia ^a	140 cm	200 cm	250 cm
Amplitud promedio	397,14	230,09	658,71
Intensidad promedio	87,25	107,21	127,28
N° pulsos	27	42	14
Promedio	177,60	177,60	177,60
Desviación estándar	36,03	36,03	36,03
Coefficiente de asimetría	0,69	0,69	0,69
Curtosis	1,87	1,87	1,87
Media de las máximas	214,48	214,48	214,48
Media de las mínimas	144,64	144,64	144,64
Moda	80,47	80,47	80,47
Mediana	175,4415	175,4415	175,4415
Máximo	326 (28/10/1953)	326 (28/10/1953)	326 (28/10/1953)
Mínimo	85 (21/05/1957)	85 (21/05/1957)	85 (21/05/1957)

Fuente: Elaboración propia sobre datos provistos por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Argentina.

^a Se denomina nivel de referencia a una línea imaginaria que indica el estado hidrológico del sistema. En ese nivel del hidrómetro, o por debajo de esa línea, el suelo se encuentra inundado; por encima de la línea, corresponde a suelo emergente.

CUADRO 2
ATRIBUTOS DE LAS CURVAS HIDROMÉTRICAS PARA LA SUB-SERIE 1980-2005
PARA TRES NIVELES DE REFERENCIA

Nivel de referencia ^a	140 cm	200 cm	250 cm
Amplitud promedio	1173	118,51	2232,33
Intensidad promedio	88,04	106,20	109
N° pulsos	5	77	3
Promedio	199,05	199,05	199,05
Desviación estándar	21,03	21,03	21,03
Coefficiente de asimetría	-0,71	-0,71	-0,71
Curtosis	0,99	0,99	0,99
Media de las máximas	228,46	228,46	228,46
Media de las mínimas	171,69	171,69	171,69
Moda	199,53	199,53	199,53
Mediana	200,65	200,65	200,65
Máximo	268 (23/04/1998)	268 (23/04/1998)	268 (23/04/1998)
Mínimo	120 (15/04/1982)	120 (15/04/1982)	120 (15/04/1982)

Fuente: Elaboración propia sobre datos provistos por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Argentina.

^a Se denomina nivel de referencia a una línea imaginaria que indica el estado hidrológico del sistema. En ese nivel del hidrómetro, o por debajo de esa línea, el suelo se encuentra inundado; por encima de la línea, corresponde a suelo emergente.

Visualmente se advierte que ambas series corresponden a situaciones climáticas muy distintas, para el nivel de saturación (200 cm). Esta apreciación se ratifica en los valores modales de ambos períodos.

Se aprecia también una desigual cantidad de pulsos al comparar ambos períodos y que el número de dichos pulsos es mayor cuando se toma como nivel de referencia a 200 cm (saturación del sistema). Los pulsos representan movimientos horizontales (flujos) de agua desde las lagunas a los esteros, y viceversa. En estos movimientos se producen transferencias de información (nutrientes, semillas, huevos, etc.) entre ambos compartimentos del humedal, por lo que resultan muy importantes para el mantenimiento de la biodiversidad.

Si el cambio climático afecta la cantidad y distribución de las lluvias, ha de tener influencia no sólo en el nivel del agua del humedal sino en el régimen de pulsos, lo cual implicará modificaciones en el tipo de estabilidad y en el desplazamiento de los organismos en el sistema.

De la comparación de los cuadros 1 y 2, se aprecia que, en la última centuria, el Iberá ha pasado por situaciones extremas de anegamiento y de sequía prolongadas, sin que se haya producido segregación⁵ de especies o inhibición permanente⁶.

No se registran antecedentes respecto de que los esteros y las grandes lagunas del subsistema del Este hayan reducido significativamente su superficie durante la última centuria.

2. Bañados y lagunas redondeadas de Iberá-Ñeembucú

El paisaje característico se encuentra en el área próxima a Concepción (Corrientes, Argentina), que forma parte de las nacientes del río Corriente y queda comprendida en el subsistema identificado como “Bañados aluviales con pajonales, pirizales y sabanas mixtas” (Carnevali, 2003) dentro de la Región del Iberá. Es una planicie levemente deprimida, con una ligera inclinación desde el NE al SO, su pendiente media es de 0,30 m/km.

Los suelos del área corresponden a entisoles muy poco evolucionados, integrados por arenas medias a finas, de origen sedimentario fluvial, cuya potencia puede superar los 40 m. Tienen buen drenaje, aún en profundidad, y buena transmisividad de los flujos horizontales sub-superficiales. A pesar de esto, se encuentran lentes horizontales discontinuas, de espesor menor a un metro, formadas por arenas muy finas y escasa proporción de materiales coloidales, posicionadas entre 1 y 4 m de profundidad, que contienen concreciones de hierro y algo de materia orgánica gleizada.

Esta laminación contribuye a frenar la lixiviación, favoreciendo el mantenimiento de una capa saturada que puede ser el basamento de una extensa zona anegada, luego que las precipitaciones superan las salidas por evapotranspiración y completan el almacenamiento de agua en el suelo. La mayor parte del agua que anega esta planicie proviene de los esteros situados en la margen NO del microsistema de Iberá. No hay escurrimiento encauzado en el Oeste de Iberá, como consecuencia de la baja pendiente y la potencia de sedimentos arenosos permeables.

El agua de lluvias rellena los depósitos del suelo y luego forma una película continua, que tiene entre 20 y 40 cm., con concentración estival otoñal (en los años en que las precipitaciones anuales superan los 1.200 mm) y supera 1,20 cm durante las crecientes excepcionales como la observada en el fenómeno de El Niño (en mayo de 1998, por ejemplo) cuando, al igual que en 1982-1983, se mantuvo el suelo anegado por más de un año continuado.

En períodos de seca, el agua cubre el suelo menos de tres meses y puede suceder que el anegamiento no ocurra por tres años o más, como ocurriera en el período de 1947 a 1951 ó 2006 a 2009.

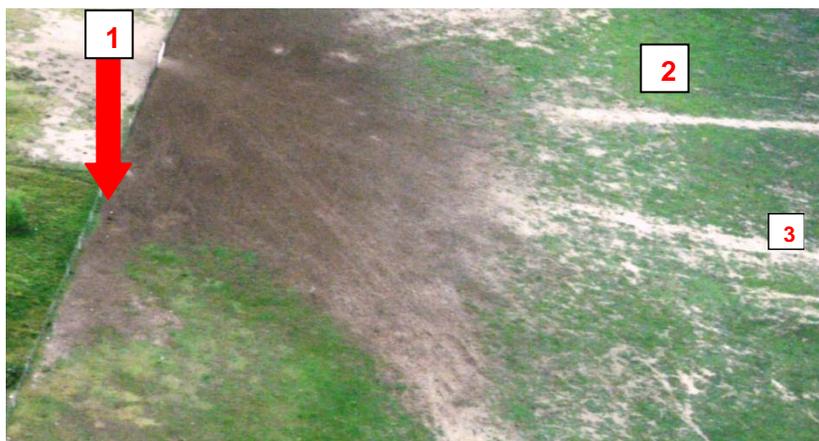
⁵ Se entiende por segregación a la desaparición temporal o desplazamiento de un organismo o población, de un área que habitualmente ocupa.

⁶ Inhibición permanente se refiere a la imposibilidad de que se cumpla alguna de las funciones vitales (crecimiento, reproducción, dispersión) de los organismos.

El agua tiene escurrimiento muy lento, imperceptible a ojo desnudo, en razón de la baja declividad del terreno, de la rugosidad que produce la vegetación herbácea y, en menor grado, de las isletas de monte situadas en los relictos de barras arenosas que se superponen en la matriz herbácea.

El movimiento del agua responde a las características de los sistemas equipotenciales, en los que el sentido, la dirección y la velocidad del flujo no son constantes y cambian según la cantidad de lluvias que recibe el sistema. Esto significa que, si bien los flujos tienen en algún momento direccionalidad predominante NO - S, orientados hacia el río Corriente, pueden modificarse fácilmente en una dirección u otra. La sola presencia de un alambrado determina el crecimiento de un perfil denso de plantas, que puede retener sedimentos y producir una interferencia notoria sobre el escurrimiento (imagen 1).

IMAGEN 1
EFFECTO DE LA INTERFERENCIA DEL ESCURRIMIENTO POR UN ALAMBRADO ^a



Fuente: Elaboración propia.

^a La imagen muestra que el cerco indicado por la flecha genera una retención en el escurrimiento (1) y menor tiempo de anegamiento en el sector derecho (2), favoreciendo la erosión en este sector (3).

La información recogida en campo indica que las lluvias saturan los bañados, y luego escurren desde el estero Gallo Sapucay y el arroyo Carambolita hacia el río Corriente. Esta situación puede observarse cuando la lámina de agua supera los 50 cm, la rugosidad del suelo disminuye y el gradiente de declividad de la lámina superficial es mayor.

3. Planicie fluvial del río Corriente

Este río, que fuera mucho más caudaloso cuando el Paraná evacuaba parte de sus aguas, luego de atravesar la provincia de Corrientes (Castellanos, 1965; Popolizio, 1981), tiene hoy un diseño meándrico, monocanalizado, con índice de sinuosidad que varía entre 1,8 y 2,5 en el tramo alto.

El cauce del río tiene ancho variable, entre 20 y 50 m, entallado en algunos sitios, con una profundidad de 1 a 5 m según la sección que se considere. El Corriente junta el flujo de los dos subsistemas ecológicos descritos anteriormente, los cuales se unen en laguna Itatí para dar origen a este curso de agua.

El río escurre en una extensa planicie sedimentaria, de hasta 8 km de ancho, en la cual desborda sus aguas en el período de lluvias, formando bañados de plantas herbáceas con una rica fauna silvestre y paisajes de gran valor escénico. Durante esta fase, el flujo es vectorial en el trayecto del curso de agua. En tanto que en el resto de la planicie, las aguas, de hasta un metro de profundidad, se mantienen quietas, con movimientos horizontales poco perceptibles que ocurren según la importancia de los cambios de nivel del río.

Las fases de inundación y de sequía son bien definidas y su duración depende enteramente de la cantidad de agua recibida en los dos subsistemas del Iberá que se encuentran al norte del Corriente. La particularidad radica en que los cambios de nivel del río, durante la fase de inundación (potamofase), son graduales debido al efecto modulador que ejercen los esteros que se encuentran aguas arriba. Otra característica de interés es que las fases de clima lluvioso y de clima seco se ven amplificadas en el río Corriente, pudiendo esperarse mayor influencia de situaciones adversas debido al cambio climático en esta zona, que posee suelos arenosos, de baja capacidad de almacenamiento del agua.

D. Posibles cambios en el patrón de paisaje y vegetación en los escenarios previstos

Uno de los indicadores más valiosos del funcionamiento de una cuenca es la distribución y abundancia de las plantas, debido a que permite inferir sobre la disponibilidad de agua, la geomorfología, los suelos y otras diferencias zonales. Esto es especialmente válido para paisajes que presentan discontinuidades fisiográficas importantes como son los de montañas, o en llanuras compuestas por mosaicos de suelos diferentes.

En Iberá, las discontinuidades zonales son poco marcadas, dado que la calidad del agua de los tributarios no difiere en forma significativa, el agua de lluvia que recibe el sistema tampoco, y el fondo de la cubeta presenta diferencias muy pequeñas. Cabría esperar que la geomorfología de la cuenca determine variaciones topográficas y, como consecuencia, distintos tiempos de permanencia del agua en y sobre el suelo. Estas diferencias son generalmente graduales. En otro sentido, las plantas acuáticas y palustres que habitan estos esteros son anfiterolantes⁷ y pueden absorber la variabilidad del medio físico.

El análisis de los patrones o modelos de vegetación acuática y anfibia del Iberá, en un contexto fitogeográfico y en escala de campo a través de los gradientes locales, permite abordar la variabilidad espacial de la biodiversidad y establecer si la riqueza de especies, y su abundancia, están condicionadas por factores locales (tipo de suelo, anegabilidad), y cuál es la influencia de factores en escala regional (temperaturas, lluvias).

Estas diferencias podrían ser advertidas en distintas escalas: a escala satelital, o de fotografías aéreas, podrían detectarse “modelos zonales de distribución”; en tanto que a la escala de campo, podrán rastrearse gradientes locales, a través de la presencia o ausencia de las especies de plantas y sus valores de importancia (frecuencia, cobertura) en sitios seleccionados como representativos, por tener condiciones peculiares en la vegetación.

1. Patrones de ecodiversidad de la vegetación

El Iberá ocupa una posición central dentro de la Provincia de Corrientes, constituye una extensa área de contacto de grandes provincias fitogeográficas (Carnevali, 1994). Por el norte linda con la Selva Misionera, formación boscosa densa de latifoliadas siempre verdes que ingresa en Corrientes hasta la isohieta media anual de 1.600 mm. Por el este limita con un mosaico de formaciones de bosques y praderas húmedas, relictos de los bosques del sur del Brasil. Por el sur se instala en Corrientes el bosque semi-decíduo de *Prosopis*, con fisonomías de arbustales espinosos que le dan el nombre genérico de “Provincia del Espinal” según la clasificación de Cabrera (1976). Por el NO se adentra en Corrientes el bosque Chaqueño, semi-decíduo, con fisonomía de “parque” en el que alternan leñosas y pastizales con variable importancia (Carnevali, 1994.).

En este contexto fitogeográfico, de contacto entre extensas áreas de tierra firme, queda incluido el Iberá en una extensa depresión en la que se acumula agua durante la mayor parte del año. Como consecuencia, se genera un paisaje distinto de los territorios mencionados, con características peculiares, compuesto de mosaicos de vegetación acuática y palustre en la que las mayores afinidades fitogeográficas se dan con las unidades de vegetación propias del río Paraná. Curiosamente, las afinidades con el río Uruguay -a pesar de su proximidad- son pocas.

⁷ Organismos de gran plasticidad, de nicho amplio, llamados también *euritípicos*.

La riqueza de especies crece hacia el sudeste del Iberá, si bien con valores mayores en la planicie del río Corriente. Ello se debe a que en el sector sudeste del Iberá existe una mayor variedad de ambientes, como espejos de agua permanentes (con sectores resguardados y otros sometidos al viento), embalsados con suelos orgánicos flotantes o anclados permanentemente y charcos temporarios en embalsados; ambientes con distinta recurrencia del fuego y diferente hidroperíodo.

Hacia el oeste del Iberá, el paisaje aparece más simplificado en número y cobertura de los ambientes palustres, y esto se constata en la menor riqueza de especies y en el reemplazo de algunas de ellas. En este sector, los valores más altos de frecuencia corresponden a las especies de mayor plasticidad ambiental, advirtiéndose un elevado número de aquéllas que viven indistintamente en suelos orgánicos e inorgánicos y son tolerantes a fluctuaciones graduales en la lámina del agua. La menor riqueza de especies y la presencia de algunas con alta fidelidad en el río Corriente (*Oplismenopsis najada*, *Panicum elephantipes*, *Paspalum repens*) se relacionan básicamente con las características propias del perfil del valle y el régimen de nivel fluctuante del río, cuyos pulsos son más contrastados que en el resto del Iberá e imponen condiciones extremas de sequía e inundación. Las poblaciones que allí viven tienen una elevada euritipia, o bien crecen en condiciones de sequía o inundación, utilizando un ciclo biológico corto como estrategia de supervivencia.

La distribución de los juncales de *Schoenoplectus californicus* que, a pesar de su constancia en los sitios estudiados, presentan mayor desarrollo en el sector norte del sistema, decrecen su frecuencia progresivamente hacia el sur. Esto podría deberse a que las poblaciones de *Schoenoplectus californicus* encuentran su óptimo en un ambiente de fondo mineral, con fluctuaciones hidrométricas graduales de baja magnitud, como las que se dan en los bañados del río Corriente.

Las praderas de vegetación sumergida tienen muy bajos valores de frecuencia en los cuerpos de agua del norte del sistema, e incrementan dicha frecuencia desde la Iberá hacia el sur, para alcanzar su mayor abundancia (cobertura, densidad y biomasa) en las lagunas más próximas al umbral de descarga del río Corriente.

Igual tendencia presenta la riqueza específica de las plantas sumergidas, aumentando de 2 en el sector norte a una docena de especies en la laguna Trin. No es claro el motivo que induce a esta concentración de las plantas sumergidas hacia el sur, más aún cuando las características físicas y químicas de las aguas del Iberá no presentan diferencias zonales significativas.

El análisis del material de fondo en algunas lagunas del sur y el oeste del sistema Iberá da cuenta de una mayor importancia de la fracción arena. A pesar de ello, especies como *Cabomba australis*, *Ceratophyllum demersum*, *Myriophyllum brasiliense* y otras, crecen sin impedimentos en ambientes próximos al Iberá, en cuyo fondo predomina la fracción pelítica. En otro sentido, los sedimentos del fondo de una laguna como la Iberá no muestran mayores diferencias en las márgenes oeste y este; sin embargo, sólo la margen este de la misma presenta poblaciones de plantas sumergidas más estables.

Las observaciones realizadas y la experiencia en otras cuencas de la provincia de Corrientes señalan que el viento ejerce una influencia decisiva en la distribución, cobertura y abundancia de las praderas sumergidas. Así, resulta interesante confrontar las características de la vegetación sumergida con la morfometría de los cuerpos de agua. Curiosamente, se aprecia que en aquellas lagunas en que la longitud máxima efectiva (Neiff, 1981a) supera los 5 km (Luna, Galarza, Iberá), la importancia de estas bioformas es menor. Sin embargo, lagunas como la Medina, Fernández y Trin, que están muy expuestas a la acción eólica, presentan elevada cobertura de hidrófitos sumergidos.

En las lagunas del norte del Macrosistema Iberá, el oleaje (frecuencia y magnitud) controla el desarrollo de plantas sumergidas, lo que no ocurre en las lagunas Trin y Medina, de menor tamaño, forma alargada y con eje transversal a la dirección de los vientos más frecuentes. Puede pensarse que en estas lagunas la "línea de costa" aparece muy desarrollada y, como en la Fernández, con importante avance de islotes de embalsados en las márgenes, lo que amortigua la acción del oleaje.

Otra peculiaridad de estas plantas, y su distribución, es que son sensibles a la acción de las corrientes de agua que se dan durante los períodos de anegamiento. Así es como las especies de *Potamogeton* y *Myriophyllum brasiliense* se comportan como entidades de tendencia reófila, en tanto

que *Ceratophyllum demersum*, *Utricularia spp.*, Chara, Nitella, Egeria, Elodea y Najas encuentran su óptimo en las aguas leníticas del Iberá.

Se pudo observar que las especies de *Utricularia* son, en general, sensibles a las condiciones de pH, encontrándose en aguas de tendencia ácida, como las que se generan en pequeños sacos de las márgenes o en el seno del embalsado.

Otro hecho llamativo lo constituye la distribución de *Cladium jamaicense* que crece en los esteros de las lagunas Fernández y Trin, con indicios de su expansión creciente en la margen este de la laguna Iberá.

Las plantas flotantes se encuentran ampliamente distribuidas, aunque sin alcanzar valores elevados de frecuencia y cobertura, como en la planicie inundable del Paraná, donde estas plantas alcanzan un desarrollo exitoso por la existencia de flujos horizontales de agua.

Algunas especies muy comunes en el nordeste argentino, cual es el caso de *Eichhornia crassipes* y *Pista stratiotes*, no son frecuentes en el Iberá; lo cual se relaciona con la ausencia de los flujos horizontales del río, que les provee de nutrientes esenciales como nitrógeno y fósforo (Carignan y Neiff, 1992; Carignan et al., 1994). Sólo algunas especies como *Spirodella intermedia*, *Wolffiella cf. oblonga* y *Ricciocarpus natans* forman carpetas continuas, pero de poca extensión si se las compara con aquéllas de la planicie actual del Paraná.

Las especies de distribución más amplia en el sistema Iberá son: *Cabomba australis*, *Leersia hexandra*, *Panicum grumosum*, *Ludwigia peploides*, *Limnobiium laevigatum*, *Eichhornia azurea*, *Scirpus cubensis*, *Hydrocotyle ranunculoides*, *Schoenoplectus californicus*, *Zizaniopsis bonariensis*, *Eryngium pandanifolium*, *Fuirena robusta*, *Polygonum stelligerum*, *P. acuminatum*, *Typha latifolia*, *T. angustifolia*, *Cyperus giganteus* y *Cephalanthus glabratus*.

Las especies arbóreas se localizan en las partes central y norte del Iberá, sobre barras o núcleos arenosos dejados por el escurrimiento fluvial. También forman bosquecillos sobre suelos orgánicos (turba) de hasta 4 m de profundidad.

En la lista de especies no hay endemismos, y existe gran afinidad con la vegetación de las cuencas del Riachuelo, el Batel-Batelito, el Santa Lucía y la de las islas actuales del río Paraná. Por esto -al menos florísticamente-, los esteros del Iberá forman parte de una unidad ambiental más amplia, que comprendería el triángulo NO de la provincia de Corrientes, los esteros del Ñeembucú y la planicie inundable del Paraná. Estos sistemas de esteros tienen el mismo origen y centro de dispersión parense, del cual proviene la biodiversidad actual.

Sin embargo, debido a los sucesos geológico-climáticos que determinaron el aislamiento del Iberá, del régimen de pulsos del Paraná, se ha producido una dicotomía en la dinámica de los paisajes con un tronco biótico común, pero que se diferencian por su conectividad con el río. En los que están conectados, el principal vector de variabilidad es la influencia del río (inundación/suelo seco) y el escurrimiento del agua (islas de cauce). En los segundos (esteros), aislados hoy del flujo superficial del río, la dinámica estacional está influida en forma directa por la variabilidad estacional de temperaturas y lluvias.

2. Patrón actual de biodiversidad de la vegetación de los esteros del Iberá

Como se ha explicitado, el Iberá está compuesto por esteros y lagunas interconectadas en una extensa red de canales, cuyo colector es el río Corriente que desagua finalmente al Paraná. Se extiende entre los paralelos 27°30' -28°45' S y los meridianos 58°00' -57°30' O. Es una vasta planicie subtropical, alimentada por lluvias, inundada permanente o temporalmente en un 90 % de su superficie. Se destacan su estado de conservación y su escaso conocimiento. Por su enormidad y su inaccesibilidad, el Iberá ha permanecido hasta nuestros días como un ecosistema prístino. Los asentamientos humanos y las carreteras se limitan a la periferia del humedal, apenas existen en el interior. Este aislamiento ha contribuido hasta hoy a la conservación del Iberá como uno de los cada vez más escasos lugares en el mundo donde es posible encontrar paisajes totalmente inalterados, ecosistemas primigenios donde no existe la huella del hombre.

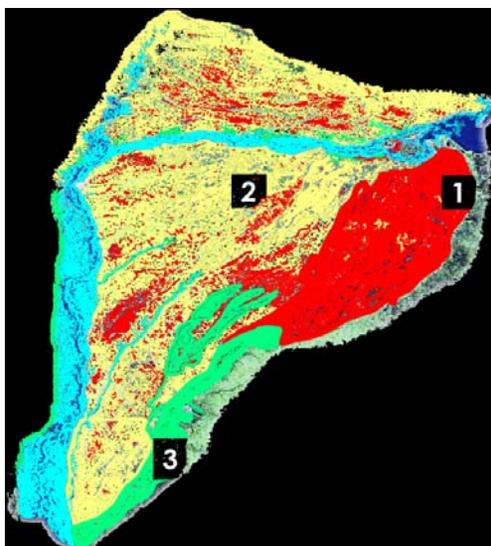
Lo impenetrable del Iberá ha hecho que únicamente se hayan realizado exploraciones científicas puntuales, y en su mayoría, concentradas en los bordes del macrosistema.

Para prever la posible respuesta de la biodiversidad a los cambios climáticos de corto y mediano término, es necesario conocer la capacidad de la vegetación para absorber situaciones climáticas extremas. También, es menester establecer si el sistema responde como un todo o si son esperables diferentes respuestas, dependiendo de la composición del paisaje.

Atendiendo a este objetivo, en este ítem se trata de:

- Conocer la variabilidad espacial de la vegetación, a través de la afinidad cenótica en lagunas de diferente morfometría y de la tasa de renovación del agua y del río Corriente, colector del sistema Iberá, utilizando la frecuencia de ocurrencia de las especies de plantas.
- Calcular la tasa de cambio de la riqueza específica y analizar el ordenamiento espacial de las comunidades vegetales en distintos cuerpos de agua del sistema Iberá.
- Comparar la frecuencia de ocurrencia de las especies entre los períodos 1976 - 1978 y 2007 - 2008.

MAPA 3
SUBSISTEMAS DEL MACROSISTEMA DEL IBERÁ^a



Fuente: Neiff, 2004.

^a 1. Grandes lagunas y esteros del este; 2. Noroeste Iberá/Ñeembucú; 3. Cursos y bañados fluviales.

El subsistema de las “Grandes Lagunas y Esteros del Este” (mapa 3) corresponde al área más deprimida del Iberá, una gran cubeta alargada de unos 120 km de largo por 30 km de ancho, con profundidad máxima de 4 m. Más del 90 % de este extenso paisaje está ocupado por vegetación palustre creciendo sobre suelos orgánicos del tipo de los Histosoles. En los sectores más deprimidos, han quedado grandes lagos de formas redondeadas y/o alargadas, que tienen de 5 a 12 km de extensión. En ellos, la vegetación sumergida puede formar parches de extensión inferior al 5 % de los lagos.

Algunas lagunas, como las de Paraná, Fernández y Medina, tienen forma elongada y ocupan antiguas vías de escurrimiento, por lo que la tasa de renovación del agua es mayor. La vegetación sumergida puede ocupar 60 % o más del espejo de agua.

La parte noroeste del Iberá se diferencia como un segundo patrón de vegetación y paisaje, conocido como “Subsistema Iberá-Ñeembucú” (Neiff, 2004), en razón que forma parte de un extenso

paleoabanico fluvial que comprende también a los esteros de Ñeembucú, en la margen derecha del cauce actual del río Paraná, en el territorio del Paraguay.

La vegetación se asienta sobre lomadas arenosas, cuyo eje mayor se encuentra en sentido SO-NE, que están cribadas por cientos de lagunas pequeñas, redondeadas, de 100 a 1.000 m de diámetro, con profundidad generalmente menor de 3 m. Tienen fondo arenoso, por lo que el agua es muy transparente, favoreciendo la ocupación con plantas sumergidas que llegan a cubrir el 80 % de la superficie. Las lagunas están incluidas en pajonales y pastizales hidrófilos (Carnevali, 2004), cuya dinámica acompaña a la estacionalidad climática local (Neiff, 2003 a,b).

El extremo sur de Iberá corresponde al modelo conocido como “Cursos y bañados fluviales” el cual incluye al río Corriente y sus tributarios menores, con una red fluvial poco organizada, que escurre en un paisaje plano con pendiente menor a los 20 cm / km.

El humedal está alimentado principalmente por lluvias, que varían entre 1.100 mm / año y 2.800 mm / año, según se trate de períodos con influencia de La Niña o El Niño. Sin embargo, la fluctuación de la lámina del agua en un mismo año es próxima a los 0,60 m.

En el período 1976-1978, y también durante 2007-2008, las aguas tuvieron muy baja salinidad y se clasificaron como bicarbonatadas cloruradas sódicas (Poi de Neiff, 2003), con baja variabilidad espacial (cuadro 3).

El análisis de la vegetación fue realizado para tres escalas de tiempo complementarias:

- En escala actual, se analizaron las diferencias en la riqueza de especies y en la tasa de cambio espacial, en ambientes representativos tomados en sentido del eje mayor del sistema;
- En escala reciente, se compararon los mismos sitios de muestreo en dos períodos: 1976-1978 y 2008-2009, para conocer la tasa de cambio en la vegetación luego de tres décadas.

Para la colección de muestras del período reciente, se seleccionaron cinco lagos situados en la zona oriental, con diferente morfometría y tiempo de residencia del agua, y las nacientes del río Corriente.

El río Corriente es un curso de agua de diseño meándrico (índice de sinuosidad 2,5 en el tramo alto), bordeado por extensos bañados. En el tramo próximo a su desembocadura en el río Paraná, la sinuosidad es menor que 1,5.

CUADRO 3
VARIABLES FÍSICO-QUÍMICAS PROMEDIO DURANTE EL PERÍODO 2007-2008

	Laguna Iberá	Laguna Galarza	Laguna Luna	Laguna Paraná y Laguna Itatí	Río Corriente	Esteros
Temperatura del agua (°C)	22,59 ± 6,26	23,925 ± 7,08	25,5 ± 7,16	23,4 ± 7,42	21,54	23,46 ± 7,88
pH	7,08 ± 0,72	6,63 ± 0,89	6,52 ± 0,67	6,42 ± 0,89	6,31	5,86 ± 0,54
Conductividad eléctrica (µS / cm)	20,28 ± 10	10,75 ± 3,91	12,84 ± 6,06	52,29 ± 39,55	57,2	19,35 ± 7,49
Oxígeno disuelto (mg . l-1)	7,42 ± 1,83	7,63 ± 0,89	5,99 ± 3,23	4,84 ± 2,79	4,94	3,06 ± 2,43
Transparencia del agua (m)	0,55 ± 0,18	0,725 ± 0,35	0,86 ± 0,68	1,4 ± 0,54	2,20	1,05 ± 0,56
Clorofila a	15,51 ± 13,42	5,62 ± 3,34	8,45 ± 6,59	3,8 ± 2,14	5 ± 0	9,03 ± 10,09
Clorofila a máxima	45	15	25	5	5	45
Fósforo total (mg . l-1)	30,61 ± 16,29	34,08 ± 25,05	28,75 ± 14,47	21,11 ± 12,06	24,96 ± 8,13	51,32 ± 65,29
Nitrógeno total (mg . l-1)	62,66 ± 104,62	55,83 ± 84,96	45,53 ± 66	41,57 ± 66,06	36,4 ± 56,94	95,41 ± 175,20
n	18	12	12	7	5	24

Fuente: Información propia.

3. Período 2007-2008. Análisis de la diversidad de la vegetación

Un total de 43 familias, 90 géneros y 119 especies de plantas fueron identificados en los censos realizados en 2007 y 2008. Sólo un bajo porcentaje de especies tuvo una alta frecuencia, mientras que numerosas especies tuvieron baja ocurrencia. Las especies más frecuentes en cada sitio de muestreo fueron *Blechnum serrulatum*, *Panicum grumosum* y *Zizaniopsis bonariensis* (Laguna Iberá), *B. serrulatum*, *Cephalanthus glabratus* y *Cyperus giganteus* (laguna Galarza), *P. grumosum* y *Ludwigia uruguensis* (Laguna Luna), *Hydrocotyle bonariensis*, *Ludwigia peploides*, *Oplismenopsis najada* y *Panicum grumosum* (laguna Paraná), *Cabomba caroliniana*, *Cyperus giganteus*, *Hymenachne amplexicaulis*, *Oplismenopsis najada*, *Polygonum acuminatum*, *Typha latifolia* y *Utricularia foliosa* (Laguna Itatí), *Eichhornia azurea*, *O. najada*, *Panicum elephantipes* y *Polygonum punctatum* (Río Corriente).

Aunque el número de especies registradas en cada sitio fue alto, el número de especies encontrado en cada cuadrado (riqueza específica de la muestra) varió entre 1 y 22, dependiendo del sitio de colecta y de la fecha.

El ensamble de especies vegetales tuvo claras diferencias entre las grandes lagunas (Iberá, Galarza y Luna) no así con el río Corriente y la laguna Itatí, que tienen 34,8 % de afinidad. La laguna Paraná se une a las grandes lagunas con 26,5 % de afinidad. La mayor similaridad fue registrada entre las lagunas Galarza y Luna (59,98%) y entre éstas y la laguna Iberá (56,43%).

La tasa de cambio de la riqueza específica entre parcelas, en cada una de las grandes lagunas, fue semejante. La β diversidad, medida con el índice de Whittaker en los grandes espejos de agua, tuvo valores similares al comparar los resultados de las lagunas: Iberá ($\beta = 21,93$), Luna ($\beta = 20,88$) y Galarza ($\beta = 19,94$). Este índice reveló mayor tasa de cambio en laguna Paraná ($\beta = 63,22$) que en los bañados perimetrales del río Corriente ($\beta = 21,62$).

Al comparar los cuerpos de agua entre sí, la tasa de cambio de la riqueza específica, considerando la totalidad de las especies registradas durante el periodo 2007 – 2008, fue 10,52%.

4. Período 1976-1980

Se reconocieron 92 géneros y 120 especies, distribuidos en 50 familias (Neiff, 2003a; 2003b). La afinidad cenótica, al comparar las listas de 1976 - 1980 con las de estos sitios en el período actual, fue del 47% según el índice cualitativo de Jaccard.

Las lagunas Iberá, Galarza y Luna aparecen claramente diferenciadas del río Corriente y de la laguna Itatí; sin embargo, la mayor afinidad se da entre Iberá y Luna (79,47%), mientras que la laguna Galarza tiene 71,03% de similaridad con aquéllas.

Las lagunas Paraná, Iberá, Galarza y Luna tuvieron 66% de similaridad, y los bañados del río Corriente y la laguna Itatí registraron una afinidad mayor (78,28%) que la que se obtuvo en el período 2007-2008.

La reelaboración de los datos de los censos realizados en 1976-1980 (Neiff, 2003a; 2003b), para los mismos sitios considerados en el período actual mediante el análisis de la β diversidad, informa que la tasa de cambio en todos los sitios fue próxima a 5,17%.

Si se procesaran los datos de ambos períodos como un solo conjunto de muestras, la β diversidad indicaría una tasa de cambio espacial de sólo 5,75%, con 164 especies, 55 familias y 117 géneros para un total de 173 cuadrados.

E. Capacidad de la vegetación para absorber fluctuaciones ambientales relacionadas a los extremos climáticos e hidrológicos

El análisis realizado indica una baja variabilidad espacial de la vegetación (alta afinidad entre sitios) y baja tasa de cambio en el tiempo, como se demuestra por la comparación entre monitoreos efectuados luego de casi tres décadas. Ambas características se relacionan con la capacidad de los organismos del humedal para absorber la variabilidad ambiental.

Los resultados (1976-1980 y 2007-2008) representan la información obtenida en 173 muestras de 20 m² cada una, en cada período, la cual permite acumular sólo 164 de las 1.654 especies registradas para el Iberá. Este bajo número, en relación al total, debe ser convenientemente contextualizado, dado que nuestra información no incluyó a los ambientes terrestres (bosques, pastizales, pajonales), donde se encuentra el mayor número de especies (Arbo y Tressens, 2002).

Para los ambientes de islas flotantes y vegetación palustre de los esteros del Iberá, Arbo y Tressens (2002) han mencionado unas 400 especies. Pero este número es expresivo de la riqueza específica expectable (o potencial), ya que los estudios florísticos incluyen los registros históricos obtenidos por todos los investigadores que coleccionaron en el sitio, y que se encuentran en los herbarios de distintas partes del mundo.

Los resultados presentan la riqueza específica actual, que tiene baja desviación en el número de especies para cuadrados de un mismo sitio y cuando se procesan acumulativamente cuadrados de sitios adyacentes.

La riqueza de especies en determinado sitio y momento (riqueza específica actual) es significativamente menor que la riqueza específica potencial (expectable), la cual surge de adicionar los registros históricos de todos los herbarios.

La vegetación de Iberá tiene baja tasa de cambio. Cuando se analiza el total de muestras obtenidas, sin diferenciar el ambiente al que corresponden, se obtienen valores de 5 y 10%. Al procesar las muestras de cada laguna por separado, la tasa de cambio es próxima a 20%.

En el período 2007-2008, se advierte mayor similitud en la vegetación de las lagunas Galarza y Luna (que, a su vez son más afines con la vegetación de laguna Iberá), que con la laguna laguna Paraná y el río Corriente. Podemos pensar que existiría un gradiente de cambio desde las grandes lagunas del NE del Iberá hacia los ambientes situados más al sur, llegando al río Corriente. Aún, confirmándose esta hipótesis, la tasa de cambio espacial es muy baja, como se ha explicitado.

Otro aspecto interesante es la variabilidad temporal de la vegetación, porque informa de las fluctuaciones del ambiente que la contiene y, también, de la resiliencia del subsistema biótico.

En escala geológica, parece evidente que la gran mayoría de las especies de plantas, presentes hoy en Iberá, corresponden al linaje Paranense y que, a pesar que el Iberá está aislado de los pulsos del río Paraná desde al menos diez mil años atrás, estas plantas perduran en el paleoambiente fluvial.

En escala reciente de tiempo, y al compararse los datos de la vegetación obtenidos en el período 2007-2008 con los mismos sitios estudiados en el período 1976-1980 (Neiff, 2003a, 2003b, Neiff et al. 2011) y con la información florística y fitogeográfica acumulada en la segunda mitad del siglo XX (Arbo y Tressens, 2002; Carnevali, 2004), puede comprobarse que las especies registradas en esta contribución se encuentran en todas las listas producidas con anterioridad por los autores mencionados.

Aún cuando estas comparaciones resultaran estadísticamente débiles en razón de la necesidad de un mayor número de muestras, la apreciación visual de distintos observadores puede avalar la conclusión referida a la baja variabilidad temporal del sistema, que se relaciona con dos aspectos igualmente importantes. Por un lado, la baja variabilidad estacional e interanual del clima y, por otro, la existencia de un número mayoritario de bioformas de alta resiliencia, que pueden persistir o repoblar el sitio luego de disturbios extremos (sequías prolongadas, fuego, pisoteo de fauna silvestre).

A pesar de lo expresado, se advierte un aumento consistente en la tasa de cambio, a nivel de cada laguna y del sistema, cuando se comparan los datos de los últimos 30 años. Seguramente, este aumento está relacionado con la ocurrencia de dos fenómenos “El Niño”, de gran magnitud en 1982-1983 y en 1997-1998, el aumento súbito en el nivel del agua durante 1989 (Neiff, 2004) y la ocurrencia de un evento “La Niña”, extraordinariamente prolongado desde 1999 a la fecha, con impactos en el almacenamiento del agua en los esteros.

Una consideración especial merece la actividad del fuego, natural e inducido (Neiff, 2004), que produce el retroceso de la sucesión natural y la selección de aquellas formas más adaptadas, como los terófitos.

La vegetación y los suelos orgánicos, derivados de la muerte de las plantas, tienen un papel fundamental en la regulación de la calidad del agua y en la transferencia de masas dentro del sistema. Cualquier modificación climática capaz de apartar a la vegetación de los mecanismos actuales de homeostasis, produciría cambios desfavorables para la estabilidad del humedal.

De todos los elementos del paisaje, la vegetación es el que más ayuda a interpretar la dinámica del agua, debido a que es el elemento más conspicuo y permanente en las áreas anegables. El estudio de la vegetación, utilizando distintas escalas, permite establecer la relación entre la variabilidad hidrológica y los ensambles de plantas, que son propios de cada nivel de anegamiento en el paisaje.

Dicho de otra manera, cada tipo de vegetación tiene una asignatura o firma hidrológica propia (Neiff, 1999; Casco, 2003). Por este motivo, la alteración del régimen hidrológico del humedal, como consecuencia del cambio climático o de obras civiles, traerá como consecuencia un reordenamiento de las colectividades vegetales y, por lo tanto, del paisaje.

Estos cambios pueden tener disturbios importantes asociados, en relación a que los cambios en la vegetación del humedal llevan consigo modificaciones en el hábitat para la vida silvestre (alimentación, refugio, nidación, migración, entre otros).

Estas alteraciones generalmente son multidireccionales, ya que al modificarse la distribución y abundancia de una o más especies, vegetales y animales, se alteran los flujos biogeoquímicos, la mineralización de la materia orgánica muerta, el balance de sustancias químicas disueltas en el agua y esto, a su vez, produce cambios en el cociente Producción / Respiración del humedal, modificando la sucesión natural en el corto plazo.

En general, los humedales son sistemas muy resilientes, caracterizados también por su resistencia a situaciones ambientales críticas como el fuego, los períodos naturales de desecación e inundación extraordinarios, la amplitud térmica extrema de inviernos y veranos rigurosos. Sin embargo, las obras que modifican en forma permanente su régimen hídrico los colocan en situación de vulnerabilidad, que supera las posibilidades de respuesta de muchas poblaciones que sufren el disturbio.

El análisis de las alteraciones en los ecosistemas tiene que ver, al menos, con dos componentes:

- la sensibilidad de los elementos y procesos del ecosistema;
- la magnitud, frecuencia y duración de un disturbio.

La sensibilidad de un organismo, población o estructura ecosistémica, a un disturbio se refiere a la respuesta del mismo (aumento o retracción numérica, o de su crecimiento, migración temporaria, modificación de la velocidad o eficiencia de un proceso, otros) ante la modificación de uno o más factores del ambiente (duración del suelo inundado o seco, disponibilidad de oxígeno disuelto en el agua, velocidad de la corriente, otros).

La sensibilidad puede responder a una curva de tipo gaussiana, en la que es posible identificar, al menos, tres momentos importantes:

- umbral de mínima excitación, que corresponde a aquella situación o estado del disturbio en que el sistema comienza a responder generando un cambio de estado;

- umbral de máxima respuesta, que representa un rango de valores del factor de disturbio a los que el sistema puede responder, acomodando sus valores poblacionales. Esta fase determina un gasto energético adicional y posibles modificaciones en las estructuras etarias poblacionales. Algunos organismos pueden desarrollar formas de letargo o dormancia, que les permite superar la fase crítica.
- umbral de irreversibilidad, que está dado por la magnitud del disturbio a la cual el sistema ya no puede responder, generándose la pérdida total de estabilidad. Esto determina que ese elemento o proceso sea completamente interferido, sin posibilidades de retorno. La consecuencia puede ser que una población sea segregada del sistema (como en el caso de peces o aves que tienen posibilidades de migrar), o la muerte en el caso de las plantas fijas en el suelo.

Se debe tener presente que los organismos y procesos del ecosistema responden de manera diferente ante un disturbio, pudiendo verse favorecidos (respuesta positiva), o interferidos (respuesta negativa) como fuera descrito para otros humedales del trópico húmedo (Neiff, 1999).

1. La sensibilidad de los paisajes más conspicuos

a) Pirizales, totorales y achirales

Constituyen tres paisajes típicos del Iberá. Su presencia, como extensión y biomasa dependen en primera instancia del régimen de fluctuación de la lámina de agua, especialmente de la permanencia del suelo embebido.

Pirizales: formaciones herbáceas continuas, densas, de hasta dos metros de alto, dominadas generalmente por *Cyperus giganteus* o, con menor frecuencia, por *Scirpus giganteus*, que forman una canopia monoestratificada de varillas flexibles de uno a dos centímetros de grosor. Tienen una abundante fructificación que dura 4 - 7 meses desde fines de primavera, por lo que son visitados por numerosas aves granívoras. Las plantas tienen una alta tasa de renovación anual, por lo cual se produce entre 3 y 7 tn / ha de materia seca muerta. Necesitan de suelo seco para germinar.

Sólo en períodos cortos, luego de lluvias intensas, el agua que cubre el suelo tiene buena disponibilidad de oxígeno. En el resto del tiempo hay condiciones de hipoxia o de anoxia.

Pueden encontrarse en el sitio, en un momento dado, hasta una veintena de especies, si bien esta lista es mucho mayor cuando se consideran todas las colecciones de herbarios en una serie larga de tiempo. Las más frecuentes en el área, son: *Salvinia biloba*; *Althernanthera phyloxeroides*; *Gymnocoronis spilanthoides*; *Mikania periplocifolia*; *Ipomea indica*; *Eleocharis elegans*; *Juncus densiflorus*; *Leersia hexandra*; *Ludwigia grandiflora*; *Aeschynomene montevidensis*; *Cyperus virens* y otras especies, con predominancia de helófitos.

Totorales: formaciones vegetales palustres, compuestas por plantas de hojas acintadas, de hasta dos metros y medio de alto, compuestas por hasta 100 plantas/m² que forman una canopia de alta densidad, muchas veces monoespecífica, o con bajo número de especies. Viven en suelos arenosos u orgánicos, cubiertos temporalmente por hasta un metro de agua. Necesitan de una fase de suelo seco para germinar.

Se encuentran frecuentemente: *Cephalanthus glabratus*; *Canna glauca*; *Nymphoides indica*; *Gymnocoronis spilanthoides*; *Fuirena robusta*; *Ludwigia hexapétala*; *Polygonum punctatum*.

Achirales o pehuajozales: formaciones palustres altas, densas, continuas, con plantas duras que se yerguen hasta 3 m de alto que producen hasta 25 tn/ha de materia orgánica/año, manteniendo la capa orgánica que forma el suelo de los esteros. Pueden estar enraizadas en suelo mineral, orgánico, sobre embalsados consolidados. La canopia tiene renovación estacional por la actividad de insectos minadores de los tallos y también por el efecto de bajas temperaturas invernales en algunos años.

Generalmente forman una canopia cerrada con dominancia absoluta de achiras (*Thalia multiflora*), aunque pueden encontrarse también: *Polygonum stelligerum*; *Eleocharis elegans*; *Panicum pernambucense*; *Typha domingensis*.

b) Pastizales de pastos bajos y tiernos

Se encuentran en el borde del estero, posicionalmente algo por debajo de los pajonales de paja amarilla. Tienen una fase de suelo anegado y otra de suelo seco, que puede ser algo más corta que el período de anegamiento. El suelo está formado por arenas muy finas, lo que le confiere escasa capacidad de almacenamiento del agua. De tal manera, los cambios en la oferta de lluvias ó disturbios en el escurrimiento resultan en cambios drásticos de la cobertura vegetal. Cuando ocurren varios años de lluvias menores de 1.100 mm, el suelo puede permanecer seco quedando totalmente descubierto de vegetación, lo que favorece la erosión eólica.

Forman una cubierta densa, continua, de plantas palatables para el ganado, de hasta 20 cm de alto. Producen hasta 10 tn / materia seca / ha / año, por lo que son muy valorados por la actividad ganadera. Alcanzan su máxima ocupación en los bañados del río Corriente, en el área de desborde, en fajas de 3 - 8 km de ancho. En este hábitat, se han mencionado más de 50 especies de aves residentes y una cantidad equivalente de aves migratorias. Hay clara dominancia de gramíneas: *Leersia hexandra*; *Luziola peruviana*; *Panicum laxum*; *Oplismenopsis najada*; *Hymenachne amplexicaulis*; *Paspalum vaginatum*; con otras especies en la colectividad como: *Eichhornia azurea*; *E. crassipes*; *Eleocharis elegans*; *Polygonum punctatum*; *Typha latifolia*; *Solanum glaucophyllum*; *Cyperus virens*; *Rynchospora corimbosa*.

c) Pajonales de paja colorada

Se encuentran en la media loma, apenas 50 cm por encima del nivel de base del estero. Tienen cortos períodos de anegamiento, de uno a tres meses; si bien durante los fenómenos “El Niño” se cubren con agua durante seis meses. Tienen suelos arenosos, pudiendo presentar un horizonte impermeable, de materiales finos a 1-1,2 m de profundidad.

La vegetación corresponde a una formación homogénea, dominada por *Andropogon* laterales, que forma cojines de 30 - 50 cm de diámetro, separados por 1-3 m. Estos cojines tienen gramíneas fasciculadas, cuyas raíces exploran hasta los 80 cm de profundidad.

Estos cojines se encuentran distribuidos en una matriz herbácea, dominada por gramíneas bajas que pueden cubrir el 80 % de la superficie del suelo, con alto menor de 30 cm.

Cuando se altera el escurrimiento del agua y su tiempo de permanencia en el suelo, se produce un desequilibrio entre la superficie ocupada por la matriz herbácea baja y la cobertura de las matas de paja. Esto determina cambios en la productividad del ecosistema, modificaciones en la susceptibilidad a los incendios y aumento del riesgo de erosión del suelo. Presentan facies de suelo seco y facies de suelo anegado, en las que los ensambles florísticos renuevan las especies respondiendo a la fluctuación de la lámina del agua: *Nymphoides indica*; *Eleocharis acutángula*; *E. bonariensis*; *E. elegans*; *Ludwigia peploides*; *Pontederia lanceolata*; *Sagitaria montevidensis*; *Leersia hexandra*; *Alternanthera phyloxeroides*; *Hydrocotyle ranuncuoides*; *Paspalum dilatatum*; *Axonopus affinis* y una treintena de especies más.

d) Bosques higrófilos

Apenas 20 cm por sobre el nivel topográfico que corresponde a los pajonales descritos anteriormente, se encuentran isletas de monte nativo de hasta 12 m de alto, que forman “manchas” de 30-100 m de diámetro, densas, constituidas por latifoliadas nativas de origen parense. Llegan a coexistir 10-20 especies de árboles de copa globosa que forman 2-3 estratos de plantas leñosas.

El sotobosque, cuando existe, es ralo y está constituido por gramíneas bajas, de hasta 20 cm de alto, que forman un estrato cespitoso laxo, cuya cobertura está condicionada por el espesor de la capa de hojarasca y por el sombreado que producen los estratos más altos. El perímetro, en una faja de cinco o más metros, está habitado por bromeliáceas heliófilas (caraguatá, cardo gancho, clavel del aire) que pueden cubrir el suelo en forma permanente, produciendo hasta 30 % de cobertura. Estos bosques son sitios de alta diversidad, especialmente de aves, anfibios, reptiles y grandes mamíferos. Son elementos permanentes del paisaje: *Tabebuia heptaphyla*; *Cereus argentinensis*; *Celtis pubescens*; *Sapium haematospermum*; *Eriothina crista-galli*; *Cecropia adenopus*; *Nectandra longifolia*; *Arecastrum romanzofianum*; *Tylandtia spp.*; *Osmunda regalis*; *Blechnum serrulatum*; entre otras.

F. Paleoclima y la biodiversidad actual del Iberá

La presencia y la distribución de plantas y animales sobre la faz de la Tierra son el resultado de un largo proceso de ajuste entre la variabilidad del ambiente y las posibilidades adaptativas de los organismos. De manera que la configuración biótica de los ecosistemas actuales y la posibilidad que pueda mantenerse o modificarse en el tiempo requieren conocer, en alguna medida, la historia del proceso de selección y adaptación natural.

De todos los factores forzantes de la estructura ecosistémica, el clima, el relieve y la disponibilidad de agua en suelo son los que indican la mayor parte de la variabilidad biótica. En tal sentido, se intenta explicar la evolución del paisaje actual del Iberá, enfatizando algunas características de la vegetación, por ser el elemento más condicionante de toda la diversidad biótica. El análisis de la serie de tiempo puede tener un origen tan antiguo como la vida misma. Algunas de las plantas que viven hoy en Iberá se originaron en el Terciario medio, como las plantas flotantes de los géneros *Salvinia* y *Azolla*. Pero, además de la dificultad de contar con registros fósiles tan antiguos en la región del Iberá y lo incompleto del conocimiento, parece pertinente considerar un horizonte de tiempo pretérito más estrecho, el cual permita explicar cómo se originó el Iberá que hoy conocemos, su paisaje actual.

Durante el Plioceno, la región del Iberá, en el NO de Corrientes y SE de Paraguay, constituyó la amplia planicie de un río de diseño trenzado, cuyos canales estaban separados por cordones arenosos.

Movimientos dentro de la corteza terrestre alteraron y transformaron la estructura del subsuelo, lo cual se correspondió con cambios en el paisaje, produciéndose alteraciones de pendientes y del sentido del escurrimiento. El río, hoy conocido como Paraná, abandonó gradualmente los esteros del Iberá y el río Corriente para construir su cauce actual. La planicie abandonada quedó cubierta por numerosos lagos interconectados, alimentados en la actualidad por lluvias y, posiblemente, por aportes del río Paraná en las cabeceras del Iberá (Orfeo y Neiff, 2008).

El objeto de este capítulo es analizar:

- si la vegetación actual (como expresión de la biodiversidad biótica) atravesó por situaciones de estrés climático iguales o mayores a las que predice el modelo PRECIS para las tres últimas décadas del siglo XXI.
- la posible existencia de paleofloras, porque este hecho podría indicar que la vegetación no estuvo en condiciones de responder a los cambios climáticos que se dieron, en escala geológica.

El agua embebe permanentemente el suelo de los embalsados. En las islas del Paraná, las aguas provienen de este río y llenan los grandes lagos (Cambá Cué, La Hermosa) en crecientes extraordinarias, manteniendo su entorno de fluctuación hidrométrica mediante el aporte de las lluvias. En Iberá, la fuente principal de alimentación son las lluvias locales, por no existir actualmente conexión superficial con el río Paraná.

Los resultados de este estudio han sido publicados en parte (Cuadrado y Neiff, 1993), por lo que sólo corresponde presentar algunos resultados y conclusiones, los de mayor interés.

1. Interpretación geológica y paleoclimática

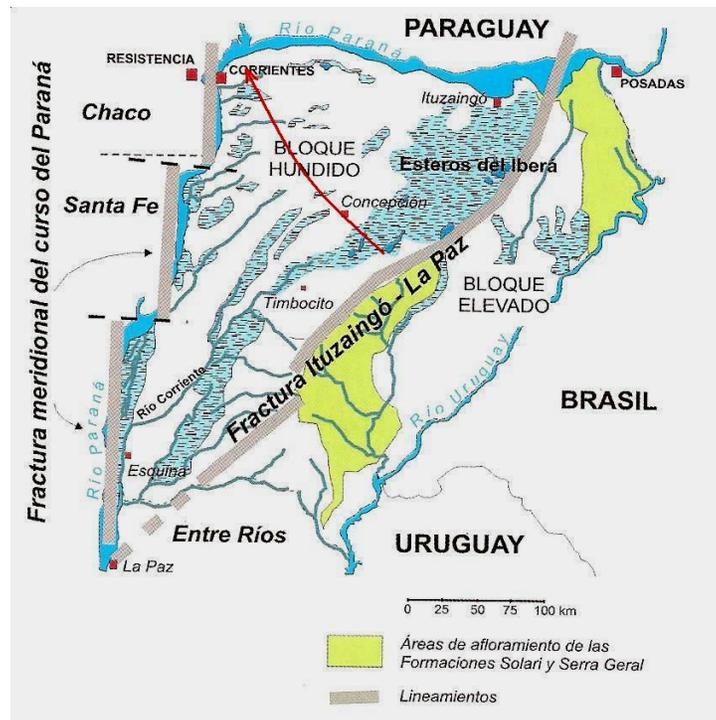
Durante el Cenozoico, el levantamiento de la cordillera de los Andes en el oeste del continente ejerció, aún en esta región, una compresión que provocó la ruptura o fractura de la cubierta basáltica y su fragmentación en bloques que, a su vez, fueron inclinados. A principios del Neógeno, durante el Mioceno, un mar de aguas poco profundas y cálidas, llamado Mar Paranense, penetró por el actual río de La Plata y alcanzó la latitud de la ciudad de Corrientes (Teruggi, 1970), dejando depósitos marinos. Durante su retroceso, se generaron extensas áreas palustres con depósitos arcillosos, con carbonatos y yeso (Teruggi, 1970).

A partir del Plioceno hasta la actualidad, el río Paraná ha construido sobre el territorio conocido como Iberá un modelo sedimentario, caracterizado por la formación de fajas aluviales controladas por fracturas y, finalmente, abandonadas por avulsión (Iriondo, 1991; Castellanos, 1965). El cauce del río

Paraná fue migrando hacia el NO, hasta ocupar su posición actual a fines del Pleistoceno, hace unos 10.000 años (Orfeo y Neiff, 2008).

En Corrientes se reconocen, al menos, dos lineamientos estructurales de gran extensión que corresponderían a zonas de falla (Orfeo y Neiff, 2008).

MAPA 4
LÍNEAS DE FALLA ORIGINADAS EN LOS MOVIMIENTOS TECTÓNICOS Y LAS ÁREAS DE AFLORAMIENTO, HOY CONOCIDAS COMO FORMACIÓN SOLARI Y FORMACIÓN SERRA GERAL^a



Fuente: Tomado de Orfeo y Neiff, 2008.

^a El trazo gris son las líneas de falla originadas en los movimientos tectónicos. La línea roja indica la dirección en que se produjeron sucesivas migraciones de cauce del Paraná.

La excelente preservación de rasgos morfológicos típicamente fluviales permite suponer que la última faja ocupada por el río Paraná, antes de la actual, fue la línea Iberá-río Corriente-Bajo de los Saladillos (Santa Fe), exenta de depósitos loésicos (Iriondo, 1991).

Durante el Holoceno, inferior y medio, la región estuvo sometida a clima húmedo, como se constata en Bajo de los Saladillos y áreas vecinas por sedimentos lacustres y palustres de 2 a 3 m de espesor (Iriondo, *op cit.*). Dichos depósitos fueron fuertemente erodados durante el clima seco del Holoceno superior, originándose por deflación grandes depresiones elípticas de hasta 10 km de diámetro, indicando dirección SSE-NNO para los vientos dominantes; los cuales habrían formado gran parte de las lagunas redondeadas en las cuencas de los ríos Batel, Batelito y Santa Lucía (zona oeste de Iberá).

En Corrientes, el viento formó campos de dunas con orientación principal SSE-NNO, removiendo las arenas parcialmente edafizadas durante el Holoceno, inferior y medio. La superficie de la arena fue modificada por numerosas depresiones elípticas formadas por deflación (Iriondo, *op. cit.*). En el área de Itatí (cuenca del Riachuelo), son muy frecuentes depresiones que miden unos 500 m de diámetro con el eje mayor orientado en sentido ESE-ONO, generalmente ocupadas por lagunas.

La época actual está caracterizada por clima húmedo, en una fase que comenzó alrededor del año 1000 AP (Iriondo, 1991). Debido al exceso de agua en el paisaje y a la inexistencia de redes fluviales con capacidad para evacuar los excesos, en el oeste de Corrientes se formaron grandes extensiones anegables (denominadas localmente “esteros”) y lagunas.

El caso más notable lo constituye el denominado *macrosistema Iberá* (Popolizio, 1981), donde las áreas anegables de la gran depresión iberana ocupan 200 km de longitud y 60 km de ancho máximo. En este ambiente se forma, desde el comienzo del período húmedo, turba tropical por la alta producción de materia orgánica y la baja tasa de descomposición de la vegetación.

Desde el Este del macrosistema Iberá hasta el río Paraná, se extiende una sucesión de lomadas arenosas cribadas de lagunas y con algunos valles intercalados. Esta fisonomía, que atraviesa toda la provincia de Corrientes con una dirección general NE-SO, está indicando cauces antiguos del río Paraná (Iriondo, 1981).

MAPA 5
PALEOABANICO QUE FORMÓ EL RÍO PARANÁ EN UN PERÍODO MÁS HÚMEDO QUE EL ACTUAL
Y LA MIGRACIÓN DEL CAUCE, DEJANDO LOMADAS ARENOSAS
SUB-PARALELAS AL EJE PRINCIPAL DEL SISTEMA



Fuente: Modificado de Orfeo y Neiff (2008), imagen Landsat (gentileza de CONAE, Argentina).

Esta región fue posteriormente sometida a la influencia generalizada de vientos del SE que redistribuyeron las arenas durante el clima seco, alteraron la antigua morfología y transformaron la zona en un paisaje típicamente eólico.

Se observan, en general, dunas parabólicas que habrían migrado desde las lomadas arenosas fluviales hacia el NO. Son frecuentes las hoyas de deflación entre las dunas, en lo alto de las lomadas o cordones arenosos, que poseen formas circulares y elípticas. Estas últimas se habrían producido por efecto directo del viento dominante, mientras que las primeras estarían originadas por la acción de remolinos verticales, característicos de las regiones semiáridas en épocas estivales. Los procesos de edafización se observan sólo en algunos sectores de la región, sugiriendo la existencia de dos períodos secos, de los cuales el último es muy reciente (Iriondo, 1995).

Las antiguas fajas deprimidas del paisaje eólico (que probablemente fueron valles de arroyos intermitentes, anchos y someros, o bien fajas de erosión eólica generalizada) se han transformado en

grandes esteros con muy escasa pendiente y abundante vegetación, por los que escurren lentamente las aguas superficiales.

Los principales afluentes del río Paraná en la Provincia de Corrientes (ríos Corriente, Santa Lucía, Batel, entre otros) tienen cuencas poco definidas en sus nacientes, debido a la escasa declividad del paisaje, lo que determina también frecuentes transfuencias, mostrando amplias zonas anegadizas que no funcionan como ambientes fluviales del paisaje sino como complejo de humedales de la región del Iberá.

Los cauces sólo están bien definidos en la última parte de su recorrido, sin alcanzar el perfil de equilibrio, mostrando mayor pendiente en el tramo inferior debido a la fácil erodabilidad del sustrato y al mayor caudal de agua que conducen luego de las lluvias. La escasa pendiente del curso determina que en la proximidad de la desembocadura -y aun hacia el tramo medio- se genera un remanso hidrodinámico cuando el Paraná (receptor) se encuentra en aguas altas. Como consecuencia, estos ríos pueden correr en sentido inverso a lo largo de muchos kilómetros, o formar un extenso abanico de derrames laterales, lo que permite explicar los patrones de distribución de la vegetación local. Los organismos que allí viven soportan una amplia fluctuación hidrométrica, la cual determina una alternancia irregular de fases de anegamiento y sequía.

El análisis de formas y depósitos descritos con anterioridad permite ensayar la caracterización climática de un período anterior al presente. En primer lugar, es evidente el dominio de vientos del sudeste, ya que tanto los corredores de deflación como los trenes de dunas parabólicas indican esa dirección. Aunque no es posible precisar el grado de aridez, los vientos del sudeste debieron ser más fuertes y necesariamente más secos que los actuales para producir la movilización de sedimentos arenosos. Según Iriondo (1997; ver también: Iriondo y García, 1993), durante el Holoceno superior, un centro anticiclónico estacional produjo condiciones climáticas semiáridas y vientos secos en la llanura argentina y regiones vecinas, erodando el loess del pleistoceno y sedimentando una capa delgada de loess en una superficie próxima a 1.600.000 km² y varios campos de arena. Esta conclusión de Iriondo ratifica la importancia de la actividad eólica en tiempos muy recientes.

Tal como señala Iriondo (1981, 1994), la corriente de las Malvinas habría tenido un carácter frío más acentuado durante todo el período seco, cuya duración probable fue de unos 2.000 años (Iriondo y Scotta, 1978).

De acuerdo con la clasificación americana (USDA, Soil Taxonomy, 1975), los suelos orgánicos pueden ser categorizados según la degradación de los tejidos orgánicos originarios; siendo los de particulometría más fina los más antiguos, correspondiendo al tipo Hemist (o hémicos), en tanto que los de formación más reciente permiten distinguir aún los tejidos vegetales y se los llama Fibrist (o fíbricos). Una condición intermedia entre ambos es la que corresponde a los Saprist (o sápricos).

En las estaciones 1, 2, 3, y 10 se encuentran suelos de 3 a 4 m de potencia, con un horizonte fíbrico de 50 - 80 cm superficiales, muy liviano (densidad de 0,60-0,70), de color castaño (10 YR/3/2 a 10 YR/5/1), con abundantes raíces vivas y muertas, y restos de hojas y rizomas. El contenido de materia orgánica es de 60 a 87 % y el pH es de 5-6 unidades. Entre 100 y 150 cm, el perfil tiene abundancia de materiales finos, si bien es posible distinguir restos de tejidos entremezclados en forma heterogénea. El color es pardo oscuro (10 YR3/1-2) a negro (10 YR/2/1), con menor volumen de poros, un 45 a 70 % de materia orgánica y pH 4,5-5,0. La base del suelo orgánico, hasta 3-4 m de profundidad, tiene predominancia de materiales finos a muy finos, no se reconocen estructuras, si bien hay restos de epidermis y polen. El contenido de materia orgánica es más variable, generalmente entre 40 y 65 % y el pH es frecuentemente de 4,5-5,0 unidades, con valores puntuales de 3,8. El color es gris muy oscuro (10 YR/2,5/1) a gris oscuro (10 YR/4/1), con valores de densidad de 0,95-1,03 g / cm³.

Los suelos de las estaciones 8, 9 y 12 tienen características semejantes. Son poco evolucionados, con una potencia generalmente no mayor de 1,20 m, mayor frecuencia de los suelos laxos, de 70-95 cm de profundidad. El horizonte fíbrico ocupa los primeros 70-90 cm superficiales del perfil, y la base del suelo tiene características sápricas. El color es castaño claro (10 YR8/3) a castaño grisáceo muy oscuro (10 YR/3/2) en superficie, a pardo grisáceo oscuro (10 YR/4/2) en la base del perfil. El contenido de materia orgánica es de 70-85 % en superficie y de 68-80 % en el horizonte sáprico basal. El pH en todo el perfil es de 5 a 6 unidades y la densidad del suelo húmedo es de 0,75 a 0,94 g / cm³.

Los suelos de las estaciones 4, 5, 6, 7 y 11 no difieren demasiado cualitativamente, respecto de la estructura de los ya citados (distribución vertical de los materiales, pH, color). Sin embargo, tienen un espesor de 1,3 a 2,4 m. Los materiales orgánicos son más seleccionados por su tamaño, con variable participación de materiales sápricos y fibricos. Están asentados sobre arenas finas y limos.

CUADRO 4
ESPECIES REGISTRADAS EN EL SISTEMA IBERÁ E ISLA APIPÉ GRANDE
EN LOS SITIOS DE MUESTREO

	1	2	3	4	5	6	7	8
Pteridophyta	—	—	x	—	—	—	—	—
<i>Adiantopsis chlorophylla</i> (SO) Fée	x	x	—	—	—	—	—	—
<i>Blechnum</i> aff. <i>brasiliensis</i> Desv.	x	x	x	—	—	x	—	x
<i>Osmunda regalis</i> L.	x	x	x	—	—	—	—	x
<i>Pityrogramma calomelanos</i> (L.) Link	—	—	x	—	—	x	x	x
<i>Thelypteris interrupta</i> (Willd.) Iwatsuki	—	—	—	—	—	—	—	—
Angiospermae (Monocotyledoneae)	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>Cladium jamaicense</i> Crantz	—	—	—	—	—	—	x	—
<i>Commelina diffusa</i> Burm. F.	x	x	x	—	—	x	—	—
<i>Cyperus haspan</i> L.	—	—	—	—	—	x	x	x
<i>Cyperus odoratus</i> L.	—	—	—	—	—	x	x	x
<i>Cyperus giganteus</i> Vahl.	—	—	—	—	—	x	—	x
<i>Echinodorus longiscapus</i> Arech.	—	—	—	—	—	x	—	x
<i>Eleocharis</i> cf. <i>contracta</i> Maury	—	—	—	—	—	x	—	—
<i>Eleocharis minima</i> Kunth	—	—	—	—	x	x	—	—
<i>Fuirena robusta</i> Kunth	—	—	—	—	—	x	x	x
<i>Habernaria paucifolia</i> Lindl.	—	—	—	x	—	x	—	—
<i>Panicum grumosum</i> Nees	—	—	—	x	—	—	—	x
<i>Thalia multiflora</i> Horkel	—	—	—	x	x	x	—	—
<i>Zizaniopsis bonariensis</i> (Balansa et Poitr.) Speg.	—	—	—	—	x	x	—	—
Angiospermae (Dicotyledoneae)	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>Aeschynomene montevidensis</i> Vog.	—	—	—	x	x	x	—	x
<i>Alternanthera philoxeroides</i> (Mart.) Griseb.	x	—	—	x	x	—	x	x
<i>Begonia cucullata</i> Willd.	x	x	x	—	—	—	x	x
<i>Cecropia pachystachya</i> Trecul.	x	x	x	—	—	—	—	—
<i>Cephalanthus glabratus</i> (Spreng.) K. Schum.	—	—	—	—	—	x	x	x
<i>Croton urucurana</i> Baillon	—	—	x	—	—	—	—	—
<i>Eriocaulon magnum</i> Abbiatti	x	x	x	—	—	x	—	—
<i>Erythrina crista-galli</i> L.	x	x	x	—	—	x	—	—
<i>Hibiscus lambertianus</i> H.B.K.	—	—	—	—	—	x	—	x
<i>Hibiscus sonoriensis</i> L.	—	—	—	—	—	x	—	—
<i>Hydrocotyle ranunculoides</i> L.	—	—	—	—	—	x	—	x
<i>Hyptis lappacea</i> Benth.	—	—	x	x	—	—	—	—
<i>Ludwigia longifolia</i> (DC.) Hara	—	—	—	x	—	x	—	x
<i>Ludwigia uruguayensis</i> (Camb.) Hara	—	—	—	—	x	x	x	x
<i>Mikania periplocifolia</i> Hook. et Arnott	—	—	—	x	x	x	—	x
<i>Nectandra microcarpa</i> Meissn.	x	x	x	—	—	—	—	—
<i>Vigna adenantha</i> (G.F. Meyer) Mar. Masch. et Stain.	—	—	—	—	x	—	—	x
<i>Polygonum stelligerum</i> Cham.	—	—	—	x	—	—	x	x
<i>Sapium haematospermum</i> Mull. Arg.	x	x	x	—	—	—	—	—
<i>Rhabdadenia ragonesei</i> Woods.	—	—	—	—	—	—	x	x
<i>Urera aurantiaca</i> Wedd.	—	—	x	—	—	—	—	—
<i>Xyris jupicai</i> L.C. Rich.	—	—	—	x	—	x	x	—

Fuente: Modificado de Cuadrado y Neiff, 1993.

Nota: 1 = Laguna Galarza (bosque de embalsado). 2 = Laguna Iberá (bosque de embalsado). 3 = Laguna Iberá (bosque de laurel). 4 = Oeste Laguna Iberá (embalsado de carrizo). 5 = Laguna Iberá (embalsado de *Typha latifolia*). 6 = Laguna Iberá (embalsado mixto de carrizos). 7 = Laguna Trin (juncales de *Cladium jamaicense*). 8 = Laguna Sirena (embalsado de carrizo). Referencia tabla: x = presencia; — = ausencia.

Cuadro 5 (conclusión)

Espesor del suelo/ Especies	Laguna Galarza (bosque de embalsado)				Laguna Iberá (bosque de embalsado)				Labuna Iberá (bosque de laurel)				Oeste Laguna Iberá (embalsado de carrizo)				Laguna Iberá (embalsado de Typha latifolia)				Laguna Iberá (embalsado mixto de carrizos)				Laguna Trin (juncales de Cladium jamaicense)				Laguna Sirena (embalsado de carrizo)											
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D								
<i>Schinus sp.</i>	6																																							
<i>Ludwigia sp.</i>									42				36				78				+				45				15				30				45			
<i>Mimosa sp.</i>	15	21	+	+																																				
<i>Myriophyllum sp.</i>	15	18																																						
<i>Polygonum sp.</i>									30				54								15				60				75											
<i>Prosopis algarrobilla</i> Gris.	18																																							
<i>Prosopis nigra</i> (Gris.) <i>Hieron</i>	12	30	+	+																																				
<i>Rumex sp.</i>																													30		15									
<i>Ruprechtia sp.</i>									30				60												30				60				+							
<i>Sapium haematosp ermum</i> Mull. Arg.	24	54	90		27		24																																	
Tricolporate type 1	9	18	+	+																																				
Tricolporate type 2	12																																							
Tipos polen/ espesor	23	13	5	5	6	-	-	-	11	11	4	2	6	6	-	-	4	3	8	-	-	8					11	9	2											
Número total de tipos de polen p/embalsado	23				6				11				6				4				8				8				11											
Número de granos por estrato	300	300	30	10	300	-	-	-	300	300	20	10	300	300	-	-	300	-	20	-	300	-	-	-	300					300	300	20								

Fuente: Modificado de Cuadrado y Neiff, 1993.

Nota: Espesor del suelo: A = 0,50 m B = 1 m C = 1,50 m D = 2 m += presencia

2. Análisis polínico

El análisis de la abundancia y distribución de los granos de polen, y la riqueza de formas encontradas tienen una probada utilidad para conocer la evolución del paisaje. No hay demasiada información para turberas tropicales, aún cuando las contribuciones publicadas para pantanos de clima templado frío (Moore y Bellamy, 1976) han demostrado la posibilidad de relacionar la presencia de polen con eventos climáticos.

De los 12 perfiles analizados, tres de las lagunas del Iberá y uno tomado en la Isla Apipé Grande (estero de la Laguna Sirena) no tuvieron polen. No se puede explicar por el entorno ambiental desfavorable para la conservación del polen, debido a que las condiciones imperantes (pH de tendencia ácida y escaso oxígeno) favorecen la preservación de los granos. Otras muestras, tomadas en los mismos ambientes, contenían abundante polen.

De las 8 muestras restantes, cuya flora polínica se presenta en los cuadros 4 y 5, es posible remarcar algunos indicadores de tendencias evolutivas a partir de la distribución y abundancia de los granos:

- El polen tuvo mayor concentración en los primeros 50 a 100 cm de profundidad, con una brusca caída de la abundancia de granos a partir del primer metro. La presencia de polen en los segmentos inferiores del suelo turboso es rara. Es posible pensar que la caída abrupta en la densidad de polen esté relacionada con la mayor permanencia del suelo saturado a partir de 80 - 100 cm, lo que generaría una “frontera de mayor densidad”, representada por el suelo completamente embebido de agua la mayor parte del tiempo.
- No hay tendencias claras en la concentración de polen aún dentro de ambientes cercanos, en los que la estructura florística y condiciones climáticas pudieron ser semejantes.
- Los tipos polínicos y las esporas encontradas en las muestras pertenecen a la flora que actualmente crece en el Iberá y a otras plantas de territorios de tierra firme que rodean al sistema. No hay indicios de floras relictuales ni de plantas que no sean las presentes.

Lo expresado en 1, 2, y 3, lleva a pensar que el paisaje de los esteros tuvo un clima semejante al actual en los últimos milenios, con períodos de seca que no produjeron bajantes del nivel del agua del sistema por debajo de 0,80-1,00 m, respecto del piso actual de los esteros.

Los resultados del análisis geoisotópico indican una antigüedad de 2.376 años AP (con una desviación de 122 años) para los materiales de suelo tomados a 0,90 cm de profundidad y de 2.895 años AP (con una desviación de 157 años) para la parte inferior del perfil de suelo.

Si bien estos resultados requieren ser completados con un programa de muestreo en el que se incluyan otros sitios del Iberá, es posible delinear algunas ideas:

- En la posición topográfica en que fueron tomadas las muestras⁸, ha permanecido sin interrupciones una lámina de agua que permitió el desarrollo de vegetación semejante a la actual⁹ lo que, a su vez, ratifica la existencia de un período de oferta climática (especialmente: lluvias/evapotranspiración) que varió en un entorno semejante al de los últimos cien años.
- No hay diferencia importante en la antigüedad asignada por el análisis de C¹⁴ a las muestras de la base y de la mitad del perfil de suelo. Esto abre varias especulaciones: 1) que exista una importante lixiviación de partículas hacia la base del suelo; 2) que la acumulación de materiales orgánicos en el suelo sea un proceso muy lento debido a la actividad de diferentes procesos que aún hoy actúan: oxidación de la materia orgánica, fuego, otros.

⁸ 1,5 y -3,5 m respecto de la superficie del suelo actual.

⁹ Como se concluye del análisis polínico de estos suelos.

- En otro sentido, si se acepta la primera hipótesis, la cantidad de carbono orgánico transferido por el sistema, principalmente a la atmósfera, se podría pensar que la temperatura del aire varió en un rango semejante al actual en la serie de 2.500 a 3.000 años AP. Sin embargo, no es posible afirmar que la duración de las fases de seca y de anegamiento hayan tenido duración semejante cuando se especula para una serie mayor de 100 años.

De lo expresado en 1 y en los párrafos a), b) y c), y de las fuentes bibliográficas consultadas, se remarca que:

- Hay coherencia entre los resultados y especulaciones sobre la evolución del Iberá, sobre la base de distintas fuentes de información (geoclimática, geológica, geomorfológica, edáfica, palinológica y ecológica) y los resultados de este estudio.
- La información comentada indica que el paisaje actual del Iberá tuvo un origen reciente, quizás Holoceno, sobre la depresión de edad Terciaria elongada NE-SO, con un modelado fluvial y eólico muy intenso posterior, como consecuencia de variaciones climáticas de alcance regional y suprarregional que alternaron fases húmedas y secas, a partir del Plioceno.

No hay dudas del origen fluvial (paranense) de los sedimentos que forman los suelos del Iberá, y que son los mismos que se encuentran en los Esteros de Ñeembucú, sobre la margen derecha del curso actual del río Paraná (República del Paraguay), y en las islas más antiguas del cauce de este río (Apipé Grande, Talavera, algunas cubiertas por las aguas del embalse Yaciretá).

El paisaje actual es la consecuencia de la continuidad de un período climático húmedo, que ha favorecido una alta producción de materia orgánica¹⁰, por captura de valores elevados de CO₂ de la atmósfera en forma continua, en ese período con clima cálido y húmedo. Iberá funciona como una trampa de CO₂ atmosférico, con una emisión gaseosa a la atmósfera y en agua, a través del río Corriente, producto de la respiración del sistema.

La parte más deprimida del sistema, como son las grandes lagunas del sector oriental, habrían permanecido (quizás con diferencias en la superficie ocupada por sus espejos de agua) por unos 3.000 años.

La información extraída de los perfiles polínicos de una amplia gama de ambientes del Iberá (Cuadrado y Neiff, 1993) evidencian que los tipos polínicos encontrados en todo el perfil del suelo orgánico no difieren de los actuales, y que el ambiente fue semejante al actual. No hay restos de una palinoflora diferente.

Las muestras analizadas indican que las lagunas situadas al este del Iberá tienen suelos de mayor profundidad, con mayor evolución del perfil edáfico y con presencia de abundantes materiales particulados finos y húmicos en la base del suelo, donde se pueden encontrar condiciones de mayor acidez en el agua intersticial y mayores valores de densidad aparente.

Las muestras del borde occidental del Iberá no son sustancialmente distintas de las que se tomaron en los Esteros de las islas más antiguas del Alto Paraná. Los suelos de este grupo tienen materiales más gruesos, con mayor abundancia de materiales fibricos gruesos hasta de textura mediana. El espesor de estos suelos fue siempre menor que el de las muestras tomadas en lagunas del borde Este del sistema. El agua intersticial del suelo es levemente ácida y con menor contenido de compuestos húmicos disueltos.

Evidencias recogidas en el sector occidental de las lagunas muestran que el viento es, aún hoy, un factor importante en el remodelado de los suelos. Durante las grandes tormentas, el viento produce oleaje de suficiente magnitud y duración para movilizar hojarasca del fondo -y de extensos sectores de la costa- y materia más gruesa, como pequeños troncos, acumulándolos sobre los suelos turbosos ya existentes. A partir de la deposición de estos materiales en capas orgánicas, se produce una colonización

¹⁰ La acumulación de materia orgánica en la cubeta Ibereana representa un balance positivo P/R lo que sólo se da en un clima húmedo como el actual.

por vegetación palustre que fija los materiales depositados e incrementa la cantidad de materia orgánica que se acumula por producción anual de la vegetación.

El viento del SE habría tenido una gran importancia en la acumulación de materiales orgánicos en los suelos situados en los sectores oeste y noroeste de las lagunas del Iberá, al considerar una serie larga de tiempo.

G. Posibles modificaciones en la biodiversidad y en los sistemas productivos, en relación al cambio climático

El análisis de la información de temperaturas y lluvias producido mediante el modelo PRECIS no plantea escenarios catastróficos para el futuro del Iberá como consecuencia del cambio climático previsto. En términos generales, los elementos y procesos del sistema están preparados para responder a fluctuaciones de intensidad y duración más importantes que la resultante del uso de este modelo.

Sin embargo, es posible que las condiciones previstas por el modelo para el período 2080 - 2100 sean agudas para algunos sectores del Iberá ubicados en la planicie del río Corriente y en el extenso sistema de bañados de Iberá- Ñeembucú. En este supuesto, caben las siguientes consideraciones.

1. Cambios en la vegetación y en el paisaje

Como fuera descrito anteriormente, la vegetación es el elemento más conspicuo de los ecosistemas, la base de las mallas tróficas y el soporte para distintas formas de la vida silvestre.

Como se explicitara, las poblaciones de los bañados y lagunas son las que primero responden a las modificaciones del régimen de pulsos. Los efectos de retención que producen los terraplenes y otras instalaciones tan precarias como los alambrados no han sido muy notorios hasta hoy, debido a que el sistema se encuentra en un período de seca, que comenzó en 1999. Por lo tanto, no se registran excedentes hídricos, excepto durante períodos muy cortos, que produjeron encharcamientos inferiores a un mes de duración, en octubre de 2007.

Sin embargo, un terraplén como el de Yahaveré, en el Oeste de Iberá y próximo a Concepción (Corrientes), de 1,5 m de alto, deja sentir el efecto de retención del agua 10-15 km al norte del mismo, teniendo en cuenta la baja declividad natural del relieve y la alta rugosidad del terreno. A su vez, aguas abajo del terraplén, para una lámina de 1,5 m de tirante, ha de generarse menor humectación del suelo hasta una distancia no menor de 15 Km. Esto genera asimetría hídrica en ambos lados de la obra, que conduce a cambios en la estructura y dinámica de la vegetación.

2. Alteración del carácter ecológico del humedal

Como bien ha postulado la Convención de Ramsar, la configuración ecológica o tipo de humedal, sus procesos funcionales, las características físicas y químicas, están condicionados por la dinámica del agua en y sobre el suelo, y por la producción orgánica de la vegetación. De tal manera, puede esperarse modificaciones en los ensambles de especies vegetales en caso de producirse un cambio climático por período prolongado (mayor a una o dos décadas). O también, en corto tiempo, en el caso de alteraciones en el régimen hídrico consecuente de la implantación de terraplenes, lo que se comprobará porque las comunidades a ambos lados del terraplén resultarán gradualmente diferentes, modificando la oferta de hábitat para la vida silvestre.

El aumento permanente de retención del agua genera la producción de plantas con tejidos duros, como los pirizales, totorales y peguajozales, que tienen muy lenta tasa de mineralización de la materia orgánica, demorándose más de 500 días la desintegración total de la vegetación muerta. Esta materia orgánica se descompone muy lentamente debido a que el oxígeno disuelto se consume y, por lo tanto, la actividad bacteriana está muy limitada. Se generan condiciones definidamente reductoras, con lo que el oxígeno del agua es tomado por las bacterias, primeramente de los nitratos, luego de los sulfatos y finalmente se reducen compuestos menos lábiles. El hierro, que en estos ambientes se encuentra en el

suelo y en el agua en su forma oxidada, ante condiciones reductoras fuertes, pasa al estado ferroso, resultando muy tóxico para muchos organismos celulares y aún para las raíces.

La materia orgánica es atacada por hongos que sólo logran la descomposición parcial, generando compuestos húmicos y ácidos fúlvicos, que son transferidos al agua del estero, confiriéndole color pardo, consumiendo rápidamente los nutrientes disueltos y liberando sustancias bacteriostáticas como la lignina y otros. Al mismo tiempo, el agua se acidifica y, cuando su pH llega a un valor próximo a cinco unidades, se produce la indisponibilidad del fósforo, con lo que muy pocas plantas pueden persistir en ese ambiente.

En condiciones de suelo emergente, predominan los procesos oxidativos debido al menor tiempo de permanencia del agua. Si bien algunos procesos (como la mineralización de la materia orgánica) pueden verse favorecidos en ciertos períodos climáticos, la mayor parte del tiempo se caracteriza por la ausencia de la fase de anegamiento del suelo, aireación excesiva del mismo, aumento de la amplitud térmica diaria y estacional, y deficiencia del contenido de humedad. Estos cambios determinan que sólo las formas oxidadas de nitrógeno estén disponibles y que el amonio se encuentre en muy baja proporción. El alargamiento de la fase de seca producirá la rotura de la estacionalidad del sistema, lo cual tiene gran importancia ecológica ya que plantas y animales tienen sus fases reproductivas ajustadas según ritmos climáticos estacionales.

Estas modificaciones en la calidad de las aguas pueden tener impactos importantes sobre las comunidades, especialmente sobre el plancton y las plantas acuáticas y sus organismos asociados, lo cual también ha sido postulado por otros autores (Cozar et al., 2005).

3. Pérdida de hábitat

Los cambios comentados tienen influencia directa sobre las propiedades del humedal en cuanto a disponibilidad de recursos alimentarios (materia orgánica de forraje, producción de semillas y frutos), recursos de refugio (homogenización de la vegetación y el paisaje, menor celularidad espacial y vertical) y nidificación. Se espera que las colectividades más impactadas sean los peces, anfibios, reptiles y grandes mamíferos. Las aves pueden ser segregadas del ambiente, escapar temporalmente de estos cambios desfavorables.

Otro efecto a tener presente es la mayor susceptibilidad al fuego, especialmente en aquellos sectores del Iberá en los que aumente la duración de la fase de sequía, pudiendo convertirse en focos de incendio que se propaguen a otros sectores del humedal.

4. Pérdida de extensos sectores del humedal y afectación regional de la biodiversidad

Como fuera expresado, las alteraciones en el sistema de soporte producen efectos concatenados que se amplifican desde la vegetación a los eslabones superiores de las mallas tróficas. Las modificaciones del área anegada son determinantes de la discontinuidad en los patrones de organización biótica del humedal, la reducción temporal o permanente del espectro biológico, el número de bioformas y la diversidad beta. Quizás, con menor tasa de cambio en las comunidades.

Estos cambios tienen proyección en la diversidad regional en razón que Corrientes es una provincia con gran desarrollo de tierras húmedas y alta ecodiversidad.

5. Pérdida de corredores ecológicos

El riesgo, que conllevan los cambios climáticos, tiene que ser analizado en escalas distintas. Los cambios en el hábitat pueden tener mayor o menor importancia según la colectividad de la vida silvestre que se analice. Los animales más afectados serían los que pertenecen al gremio de los que se desplazan por el suelo, ya que se pueden modificar su movilidad y sus condiciones de refugio.

A nivel regional y supra-regional, se ha planteado que el Iberá forma parte de varios corredores de aves migratorias que se desplazan entre el Delta del Paraná y las lagunas litoráneas de Brasil, al norte de Río de Janeiro. Otra corriente migratoria une los humedales de los Bajos Submeridionales de Santa Fe,

Chaco y Santiago del Estero, con las lagunas litorales del segmento Tramandaí- Florianópolis (Brasil). También, se han acreditado desplazamientos migratorios de aves entre el sistema Iberá-Ñeembucú y el Pantanal de Mato Grosso, en la alta cuenca del río Paraguay (Neiff, 2004). De producirse una reducción de la superficie de humedales, de su ecodiversidad y continuidad espacial, pueden esperarse importantes interferencias para la fauna migratoria.

Hacia finales del siglo XXI es posible alguna reducción en los niveles mínimos del gran humedal del Iberá, que estaría relacionada con el aumento previsto de la evapotranspiración (Camilloni et al., 2005). De producirse esta situación, el sector más afectado sería el subsistema tres (planicie fluvial del río Corriente), donde el descenso del agua seccionaría el río en varios tramos inconexos, interrumpiendo la migración de los peces que remontan el Corriente desde el río Paraná, hasta llegar a la laguna Fernández. En esta situación, el nicho de los grandes carnívoros será ocupado por peces de muy diferente función ecológica (y económica), como las pirañas y las tarariras.

6. Afectación del turismo natural y pérdidas socioeconómicas

El desarrollo del turismo natural en Corrientes ha tenido un nivel inesperado en la última década, a juzgar por la afluencia de personas a este destino, por las que re-visitan el área y por el ingreso de divisas que deja la actividad.

Otro indicador es el grado de organización que han logrado algunas colectividades adyacentes al Iberá. Tal es el caso de Carlos Pellegrini, ejemplo de autogestión en armonía con la naturaleza, que está brindando un número creciente de servicios a la comunidad y un mejoramiento de la calidad de vida, sin alterar la calidad del medio.

De producirse cambios notorios en la estructura y funcionamiento del paisaje que alteren sensiblemente al ambiente, ocurrirán al menos dos efectos: uno directo, por las alteraciones que produce en el hábitat. Otro indirecto, más importante aún, debido a que el turismo natural sólo valora aquellos sitios prístinos, libres de disturbios.

La posible bajante extrema del río Corriente, por períodos prolongados, producirá una fuerte caída del turismo en esa zona, que está basado fundamentalmente en la pesca recreativa.

7. Riesgos del cambio climático en la ganadería

La ganadería de razas vacunas y la cría de ovejas constituyen actividades tradicionales en los bañados que se encuentran en la periferia del Iberá, con mayor extensión en la planicie aluvial del río Corriente y en el subsistema Iberá-Ñeembucú. Esta actividad, que data de mediados del siglo XVII, no ha tenido impactos negativos importantes en la estabilidad del humedal, por la alta productividad de pastos tiernos de gran valor forrajero, que permiten sustentar tres vacas por hectárea en tiempos normales.

El aumento de la duración de las sequías, previsto para fines de este siglo, podría tener un fuerte impacto sobre la producción ganadera y también sobre los ecosistemas de bañado, debido a que los productores se verán obligados a concentrar los animales en las pasturas disponibles.

8. Impactos sobre las forestas implantadas

En la periferia de Iberá hay 101.300 ha de bosques logrados (eucaliptos + pinos), algo más de la cuarta parte del total provincial actualmente en proceso de plantación.

Todas las forestaciones situadas en las lomadas arenosas del oeste del Iberá sufrirán mermas significativas en el crecimiento y en la producción y menor calidad de madera ante extremos climáticos. Los rodales que estén plantados en la faja de fluctuación del agua, se verán afectadas durante el anegamiento extraordinario en eventos El Niño. Eventuales sequías prolongadas. No es posible, a priori, dimensionar económicamente este efecto porque no se ha cuantificado su efecto. Todas las forestaciones situadas en la parte occidental del Iberá sufrirán mermas significativas en el crecimiento y en la producción de madera.

Hay estimaciones de la cantidad de hectáreas que podrían ser afectadas en caso de incendios en sequías prolongadas. Si bien, toda el área forestada es susceptible a incendios, el riesgo ha descendido

por la implementación de consorcios de prevención y manejo del fuego. En sequías, como las que hemos atravesado (2000- 2009), se han quemado en Corrientes entre 500 a 2000 ha/año en los últimos 5 años.

9. Impactos sobre la agricultura de arroz y otras formas de agricultura

En Corrientes hay 78.700 cultivadas con arroz ha (campana 2007-2008), principalmente en la parte oriental y en la planicie del río Corriente (aproximadamente el 66% del total provincial) y 2.000 ha cultivadas con misceláneas (aromáticas, flores, hortalizas en invernaderos, etc.).

El cultivo de arroz será una actividad con mayor riesgo ante eventuales sequías de mediados de la centuria. Será conveniente controlar la utilización del agua para riego y fines de abastecimiento, en general.

El papel regulador del clima en la producción de arroz, se refleja en las estadísticas referidas a la superficie sembrada en la Argentina. Hubo una fuerte caída del rendimiento total entre 1997 y 1999, como consecuencia del fenómeno El Niño. También la sequía ejerce un efecto restrictivo de la actividad que pasó de 300 mil hectáreas a fines de los noventa, a algo más de 200 mil hectáreas en 2008, en respuesta a la prolongada sequía que comprometió a la Cuenca del Plata.

La agricultura de arroz, sólo será posible si se utilizan fuentes de agua subterránea. Esta actividad podría sufrir una reducción de 35 mil hectáreas, a menos se utilice agua subterránea y se usen variedades más rústicas. También podría pensarse en usar agua para riego desde la represa de Yacyretá (está concebido en el proyecto original del emprendimiento hidroeléctrico). No obstante, las estimaciones de Camillioni et al. (2005), indican que, para el 2100, el río Paraná podría llevar sólo el 30% de su caudal actual, por lo que esta medida de mitigación resultaría inviable en la situación mencionada.

Otras formas de producción, como la horticultura bajo cubierta y la producción de tabaco, han mostrado su extrema sensibilidad a las fluctuaciones estacionales y anuales de las lluvias. Solamente para paliar la caída de la producción de tabaco tanto en el período hiperhúmedo de 1997-1998 (El Niño), como durante la sequía extrema de 2007-2008, cuando debió otorgarse un subsidio equivalente a cinco millones de dólares a los productores. La superficie ocupada por estos cultivos entre situaciones de óptimo climático y la situación más desfavorable tiene un rango de variación de 4 a 1, según la información local.

10. Impactos y riesgos de las obras civiles en escenarios de cambio climático

Todas las acciones del hombre sobre los ecosistemas conllevan algún nivel de impacto. Se conocen diversos procedimientos de evaluación de impactos, existiendo una frondosa bibliografía en el tema. Sin embargo, como bien comenta Margalef, estos procedimientos siempre son conducidos por técnicos, están referidos al conocimiento actual de los ecosistemas, su sensibilidad, y pueden resultar adecuados en tanto la Sociedad tenga una justa valoración de la naturaleza, como bien presente y de las generaciones futuras. Cuando esto existe, es posible interpretar mejor la necesidad de cuidar la misma, contar con una gestión de posibles impactos y tratar medidas de mitigación de los mismos.

Las obras, que modifican la dinámica del agua en el sistema, han de producir disturbios sobre la biodiversidad y la estabilidad general del Iberá. La extracción abusiva de agua para el cultivo de arroz, especialmente durante las fases de sequía, las canalizaciones y, sobre todo, los terraplenes pueden potenciar los efectos de los cambios climáticos.

IV. Conclusiones

El modelo de cambio climático utilizado permitió conocer que el incremento de las temperaturas en los escenarios B2 y A2 se manifestará en forma gradual, si bien en el segundo caso se manifiesta con mayor tasa de cambio a partir de 2050. En el más duro de los escenarios (A2), el cambio en las medias térmicas sería de 3,6 grados centígrados, algo superior al esperado para la Cuenca del Plata para fines de esta centuria (Camilloni et al., 2005). En esta etapa, también aumentaría la amplitud térmica, especialmente entre las máximas anuales respecto de la primera mitad del siglo XXI.

Las lluvias, que hoy tienen promedios de 1.500-1.600 mm / año, se incrementarían en 82,6 mm / año (escenario A2) y 77,2 mm / año (escenario B2) hacia el año 2100; con montos totales algo menores a 1.900 mm / año, entre 2070 y 2100. El aumento térmico produciría un incremento de la evapotranspiración, el cual compensaría en parte el aumento de las precipitaciones (Vidal, 2009).

Las figuras generadas a partir de los datos de la serie 1961-2100 indican un cambio en la posición de las isohietas que, hacia 2070-2100, toman sentido submeridiano en el SO del sistema. Sin embargo, la distribución zonal de las lluvias sería semejante a la actual, con mayores precipitaciones en el NE y disminución gradual hacia el SO. Si se tiene presente que en el borde occidental del Iberá existen suelos excesivamente drenados (arenas medias a finas) con potencia de hasta 70 metros (INCYTH, 1978), puede esperarse que los efectos de sequías prolongadas sean más severos en la línea que une Chavarría con Concepción (Corrientes).

Si bien no es posible validar los resultados del modelo por haber trabajado con baja definición (Vidal, 2009), pueden esperarse cambios en la dirección señalada por el modelo y, probablemente, en la magnitud de temperaturas y precipitaciones.

El análisis del comportamiento hídrico actual de lagunas y esteros del Iberá fue realizado para la laguna homónima, para la serie de datos diarios 1929-2005, evidenciándose la ocurrencia de mínimas absolutas para “años de aguas bajas” (1929-1959), de algo más de 900 mm, y otros de clima muy húmedo (1980-2005), con medias anuales de hasta 2800 mm, lo que marca una diferencia entre ambos extremos climáticos de 170 cm. Sin embargo, en igual período, la diferencia entre alturas hidrométricas máxima y mínima de la lámina de agua en laguna Iberá fue sólo de 130 cm, lo que marca el efecto de amortiguación que ejercen los esteros sobre el sistema. Es importante tener presente que lagunas y

esteros son parte del mismo complejo de estabilidad y que la homeostasis se produce por los flujos horizontales entre ambos subsistemas.

Si el cambio climático afecta a la cantidad y distribución de las lluvias, como parecen indicar los mapas generados, los cambios en el nivel del agua no implican sólo modificación del régimen de pulsos sino también del transporte de nutrientes, organismos, propágulos (información, en sentido amplio), entre lagunas y esteros, lo cual tiene implicancias en la estabilidad del humedal.

Luego del análisis de pulsos en la serie histórica surge que el Iberá, en la última centuria, ha pasado por situaciones extremas de sequía e inundación mucho más graves que las esperables para fines de 2100, según los resultados del modelo. Estas situaciones críticas pudieron producir modificaciones de corto plazo, pero no han dejado huellas de posible extinción de especies o cambios en el patrón de paisaje. No se registran antecedentes en la última centuria que indiquen una reducción en la superficie de los esteros mayores a la que documentara Vasallo (1976), la cual refiere a un mapa histórico construido y dibujado por Francisco Fouilland en 1891.

Este antecedente histórico, seguramente válido, señala una variabilidad aún mayor que la prevista por el modelo en el clima zonal.

El análisis de la diversidad de la vegetación actual en lagunas y esteros del Iberá permitió establecer que la variabilidad es baja al comparar patrones espaciales como cuando se analizan los mismos sitios luego de treinta y dos años. Esto implica reconocer que las especies, individualmente, y las poblaciones en su conjunto tienen una amplia capacidad para absorber las fluctuaciones ambientales (variaciones en el nivel del agua, ocurrencia del fuego, extremos térmicos, otras).

Al analizar series de tiempo más largas, a través del registro polínico, no se encontraron formas fósiles; por lo cual, desde el Holoceno al menos, la vegetación del Iberá es como la que se encuentra hoy. Otro aspecto importante es que la mayor concentración de polen se encuentra entre 80 y 100 cm de profundidad en los embalsados analizados (Cuadrado y Neiff, 1993), lo que marca el nivel mínimo que tuvieron las lagunas del Iberá desde los últimos 3.000 a 1.000 años antes del presente y que, en comparación con los datos de la escala hidrométrica actual, podría encontrarse unos 30 cm por debajo de la mínima histórica para el período analizado (1929-2005).

La condición de euritipia, o “plasticidad ecológica”, es propia de los ensamblajes de vegetación y de fauna que viven en los humedales, por tratarse de sistemas isodinámicos de régimen alto (Neiff, 1990, 1999, 2001); es esta característica la que les permite persistir en el tiempo.

Todas las especies presentes en el Iberá son de linaje paranense y se las encuentra en los humedales de inundación del río Paraná, donde la dinámica de pulsos del río determina fluctuaciones mucho mayores que las que regulan hoy al gran humedal del Iberá.

Sin embargo, lo expresado hasta aquí es válido para el subsistema de esteros y lagunas del Este (Neiff, 2004), o sea los ambientes ubicados en la antigua fosa que forma hoy el macrosistema de Iberá. La planicie fluvial del río Corriente y el subsistema Iberá Ñeembucú tienen diferencias estructurales y funcionales importantes, que hacen pensar en una respuesta disímil a los cambios climáticos de los escenarios B2 y A2.

En el oeste de Iberá y en la planicie del río Corriente actualmente, el nivel de fluctuación es mayor y, por ser humedales muy planos o ligeramente deprimidos y tener suelos arenosos, tienen poca posibilidad de retener el agua durante la fase seca y sequías prolongadas, determinando que el agravamiento de la fase seca pueda generar impactos mayores en esta zona.

Del conocimiento del paisaje actual, se deduce que los niveles de sensibilidad de las poblaciones y paisajes del Iberá son diferentes. Los pastizales de pastos bajos y tiernos, como los de los bañados del río Corriente, han de sufrir una reducción significativa del área cubierta, pudiendo quedar el suelo descubierto temporalmente de vegetación, si ocurren años con lluvias menores a los 1.100 mm. En estas condiciones los suelos son susceptibles a la erosión eólica. También el río Corriente, colector del sistema y afluente del Paraná, quedaría seccionado imposibilitando los flujos migratorios de peces desde y hacia

el río Paraná, favoreciendo la invasión de las pirañas (*Serrasalmus spp.*), cambios en la estructura trófica del sistema y reemplazos de las especies de grandes peces migratorios por tarariras y pirañas.

Asimismo, en las grandes lagunas son esperables condiciones distintas de las actuales, con incremento de la superficie ocupada por plantas palustres y colonización de la vegetación sumergida en las áreas limnéticas de las lagunas Paraná, Galarza, Iberá, Fernández, Medina e Itatí.

Los esteros serán más susceptibles a los incendios, por encontrarse con menor nivel del agua, requiriendo de medidas de protección para evitar las quemadas.

Las actividades humanas se verán impactadas en el valle del río Corriente y en los humedales de la zona occidental del Iberá.

El cultivo de arroz será una actividad con mayor riesgo, por la menor disponibilidad de agua, lo cual afectará a productores del Iberá. Será conveniente controlar la utilización del agua para riego y fines de abastecimiento, en general.

La ganadería sufrirá restricciones importantes por la disminución de la producción de pasturas de bañados. Deberá ajustarse la carga de ganado de acuerdo con la disponibilidad de agua y de pasturas, para evitar el sobrepastoreo y la erosión.

El turismo recibirá un fuerte impacto por la reducción de la superficie del sistema, la disminución de los escenarios diversos que hoy ofrece Iberá y una potencial merma de la fauna de grandes vertebrados (carpinchos, yacarés, lobitos), no sólo por la reducción del hábitat sino también por la ocurrencia de dolencias relacionadas con el estrés de sequía prolongada.

Las forestaciones situadas en las lomadas arenosas del oeste del Iberá sufrirán la falta de agua por períodos más prolongados que los actuales y eso determinará crecimiento más lento y menor calidad de la madera de las especies cultivadas actualmente.

Las apreciaciones anteriores no describen un escenario catastrófico, sino una situación en la que pueden darse cambios locales en la potencialidad de uso de los ecosistemas y que podrán ser ajustados en las décadas futuras con mejor información de la que hoy se dispone.

Los impactos en las condiciones socioeconómicas en los humedales del Iberá pueden ser abordados por muy variadas técnicas y criterios, pero sin descuidar los efectos de ambos extremos climáticos para series largas de tiempo y dentro del contexto regional (Girardín, 2004).

Las formas de vida presentes hoy en la región del Iberá están indudablemente más adaptadas a períodos de excesos en las precipitaciones (situación esperable para las últimas décadas de este siglo), que al estrés que podría ocasionar la ocurrencia de sequías prolongadas, previstas por el modelo para la mitad de este siglo.

Los impactos del cambio climático, en cualquiera de los escenarios comentados, serán seguramente más fuertes en el sistema socioeconómico que en el medio natural, que aparece como mucho más elástico y adaptado a fluctuaciones extremas a lo largo de períodos geológico-evolutivos.

Bibliografía

- Arbo, M.M. y S. Tressens (Eds.), (2002), "Flora del Iberá", *Eudene*, 1-603. ISBN: 950-656062-5.
- Barros, V.; M. Gonzalez; B. Liebmann e I. Camilloni (2000), "Influence of the South Atlantic Convergence Zone and South Atlantic Sea Surface Temperature on Interannual Summer Rainfall in Southeastern South America", *Theor. and Appl. Climatol.*, 67: 123-133.
- Beccaceci, M. (1994), "A census of marsh deer in Ibera Natural Reserve, its Argentine stronghold", *Oryx*, 29: 131-134.
- Blanco, D.E. (1999), "Los Humedales como Hábitat de Aves Acuáticas". En: Tópicos sobre Humedales Subtropicales y Templados de Sudamérica. Editado por A.I. Malvárez. UNESCO-ORCYT-MAB. Montevideo, 215-224 p.
- Blanco, D.E. y A.P. Parera (2001), "La inundación silenciosa. El impacto de Yacyretá sobre los esteros del Iberá", Fundación Vida Silvestre Argentina, 26 p.
- Bracchini, L.; S. Loiselle; A. Dattilo; S. Mazzuoli; A. Cózar y C. Rossi (2004a), "The spatial distribution of optical properties in the ultraviolet and visible in an aquatic ecosystem", *Photochemistry and Photobiology*, 80: 139-149.
- Bracchini, L.; A. Cózar; A.M. Dattilo; M. Falcucci; R. Gonzales; S. Loiselle y V. Hull (2004b), "Analysis of extinction in ultraviolet and visible spectra of water bodies of the Paraguay and Brazil wetlands", *Chemosphere*, 57(10): 1245-1255.
- Bracchini, L.; S. Loiselle; A. Cózar; A. Dattilo; M. Picchi y C. Rossi (2005), "Modelling the components of the vertical attenuation of ultraviolet radiation in a wetland lake ecosystem", *Ecological Modelling* (en prensa).
- Cabrera, A.L. (1976), "Regiones fitogeográficas argentinas. Enciclopedia de Agricultura y Jardinería II" (1-2), Buenos Aires, 85 p.
- Camilloni, I y V. Barros (2000), "The Paraná River response to the 1982-83 and 1997-98 ENSO events", *J. of Hydrometeorology*, 1, 412-430.
- _____ (2003), "Extreme discharge events in the Paraná River and their climate forcing", *Journal of Hydrology*, 278: 94-106.
- Camilloni, I.; R. Saurral; R. Mezher y V. Barros (2005), "Climate Scenarios for the 21st. Century: Influence on the discharges of the Plata Basin", Pp. 83-91. En: IARH (ed.): Proceedings IV Internat. Workshop on Regional Approaches to Reservoirs Development and Management in La Plata Basin. 316 p.
- Camilloni, I. y Bidegain, M. (2005), "Escenarios climáticos para el siglo XXI", En: V. Barros, A. Menéndez, y G. Nagy, eds. *El Cambio Climático en el Río de la Plata*. Buenos Aires: CIMA, 33-39.

- Canziani, G.; C. Rossi; S. Loiselle y R. Ferrati (Eds.) (2003), "Los Esteros del Iberá", Informe del Proyecto "El Manejo sustentable de Humedales del Mercosur", Fundación Vida Silvestre Argentina, Buenos Aires, 1-258.
- Carignan, R. and J.J. Neiff, (1992), "Nutrient dynamics in the floodplain ponds of the Paraná River (Argentina) dominated by *Eichhornia crassipes*", *Biogeochemistry*, 17 (85-121). Ed. R.W. Howarth, Holanda. An International Journal Kluwer Acad. Publ. The Netherlands. ISSN 0168-2563.
- Carignan, R., J.J. Neiff y D. Planas (1994), "Limitation of water hyacinth by nitrogen in subtropical lakes of the Paraná floodplain (Argentina)", *Limnol. Oceanogr.*, 39(2): 439-443. USA. ISSN 0024-3590.
- Carnevali, R. (1994), "Fitogeografía de la Provincia de Corrientes", INTA, 324 p.
- Carnevali, R. (2003), "El Iberá y su entorno fitogeográfico", *Eudene*, 1-112. ISBN 950-656-071-4.
- Casco, S.L. (2003), "Poblaciones vegetales centrales y su variabilidad espaciotemporal en una sección del Bajo Paraná influenciada por el régimen de pulsos", Tesis doctoral, UNNE, Argentina, 127 p.
- Castellanos, A. (1965), "Estudio fisiográfico de la Provincia de Corrientes", Publicación N° 49, Instituto de Fisiografía y Geología, Universidad Nacional del Litoral, 222 p.
- Cózar, A. (2003), "Estudio limnológico de los humedales del Iberá (Argentina): bases para la gestión", Tesis doctoral. Universidad de Cádiz. España. 223 p.
- Cózar, A.; C.M. García; J.A. Gálvez; S. Loiselle; L. Bracchini y A. Cogna (2005), "Remote sensing imagery analysis of the lacustrine system of Ibera wetland (Argentina)", *Ecological Modelling*, 186: 29-41.
- Cózar, A.; C.M. García y J.A. Gálvez (2003), "Limnología de las lagunas Iberá y Galarza". 117-153 en: Canziani, G.; Rossi, C.; Loiselle, S. y R. Ferrati (Eds.). *Los esteros del Iberá*. Informe del Proyecto "El manejo sustentable de los recursos de humedales del Mercosur". Fundación Vida Silvestre, Buenos Aires, Argentina, 1-258.
- Cuadrado, G.A. y J.J. Neiff (1993), "Palynology of embalsados in dystrophic lakes in Northeastern of Argentina", *Rev. Brasil. Biol.*, 53(3): 443-451. Brasil.
- Di Giacomo, A.S. (ed.) (2005), "Áreas importantes para la conservación de las aves en Argentina", Sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad. Temas de Naturaleza y Conservación 5. Buenos Aires: Aves Argentinas/ Asociación Ornitológica del Plata.
- Erdtman, G. (1960), "The acetolysis method", *Svensk. Bot. Tidskr.*, 54(4): 561-654.
- EVARSA (2002), "Diagnóstico hidrometeorológico del sistema Iberá", 1-40. Informe de circulación restringida.
- Figueredo, M.V. (1929), "Lecciones de Historiografía de Corrientes", *Bibl. Honor. Cam. Dip. Ctes.* 1-328.
- Girardin, O. (2004), "Estudio de evaluación económica y de servicios ambientales en el área afectada por el aumento en el nivel de agua en los Esteros del Ibera (provincia de Corrientes-Argentina)", Fundación Vida Silvestre, Buenos Aires, Argentina.
- Giraud, A.R.; M.A. Ordano; M. Chatellenaz; E.R. Krauczuk; A.H. Beltzer; C. Saibene; A.S. Di Giacomo y J. Alonso (2003), "Aves de los esteros del Ibera (Corrientes, Argentina): Patrones de diversidad, historia natural y perspectivas de conservación", Alvarez, B.B. (Ed.) Fauna del Iberá. Editorial Universitaria de la Universidad Nacional del Noreste, Corrientes.
- INCYTH (1978), "Estudios hidrogeológicos de 11 localidades de la provincia de Corrientes", Convenio Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídricas-Ministerio de Bienestar Social, Corrientes, Proyecto 1330: 1-93.
- IPCC (2000), "Emissions Scenarios", Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Nebojsa Nakicenovic and Rob Swart (Eds.) Cambridge University Press, UK. 570 p.
- ____ (2001), "Climate Change 2001, The Scientific Basis", Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Houghton J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. Van der Linden, D. Xiaosu (Ed.) Cambridge University Press, Cambridge: 944 p.
- ____ (2005), "WGII Fourth Assessment Report", Chap.17: Assessment of adaptation, practices, options, constraints and capacity. Adger, W. N. and M. Mirza (Coordinating Leaders, 51 p).
- ____ (2005), "WGII Fourth Assessment Report", Chap.18: Inter Relations between adaptation and mitigation. (Coordinating Leader Authors: Klein, R. J. T. and S. Huq., 42 p).
- Iriondo, M. (1981), "Antigüedad del último cambio climático en el litoral", *Ecología Argentina*, 6: 5-8.
- ____ (1991), "El Holoceno en el Litoral", Com. Mus. Prov. Cs. Nat. F. *Ameghino* (Nueva Serie), 3 (1): 40.
- ____ (1994), "Los climas cuaternarios de la región pampeana", Com. Mus. Prov. Cs. Nat. F. *Ameghino* (Nueva Serie), 4 (2): 48 p.

- _____ (1997), "Models of deposition of loess and loessoids in the Upper Quaternary of South America", *J. of South Amer. Earth Sci.*, 1: 71-79.
- _____ (2004), "Large wetlands of South America: a model for quaternary humid environments", *Quaternary International*, 114: 3-9.
- Iriondo, M. y N.O. García (1993), "Climatic variations in the Argentine plains during the last 18,000 years", *Paleogeogr., Paleoclimatol., Paleoecology*, 101: 209-220.
- Iriondo, M. y E. Scotta. (1978), "The evolution of the Paraná River Delta", En: *Proc. Internat. Symp. Coastal Evolution in te Quaternary*. Sao Paulo: 405-418.
- Jackson, M.L. (1970), "Análisis químico de suelos", Omega, Barcelona, 662 p.
- Magurran, A.E. (2004), "Measuring Biological Diversity", Oxford, Blackell Publishing, 256 p.
- Matveev, V.F.; C.C. Martinez; S.M. Frutos and Y. Zalocar de Domitrovic (1992), "Population control in planktonic crustaceans of a subtropical lake during seasonal succession", *Hydrobiol.*, 124 (1): 1-18.
- Middleton, B.A., (2009), "Climate change and the regeneration potencial of species in *Taxodium distichum* swamps in North America", *Aquatic Ecosystems, special Issue*. Part 1 (en prensa).
- Mitsch, W.J. y J.G. Gosselink (1993), "Wetlands", second edition. Van Nostrand Reinhold, New York, NY, USA.
- Mittermeier, R.A.; Myers, N.; Mittermeier, C. G.; Robles Gil, P. (1999), "Hotspots: Earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions", 431 p. ISBN: 9-686-39-758-2.
- Morello, J.H. (1984), "Perfil Ecológico de Sudamérica", ICI (Instituto de Cooperación Iberoamericana). Barcelona, 93 p.
- Moore, P.D. y D.J. Bellamy (1976), "Peatlands", *Elek Science*, 221 p.
- Myers, N., Russell A. Mittermeier, C.; Mittermeier, G. Fonseca, G. y J. Kent. (2000), "Biodiversity hotspots for conservation priorities", *Nature* 403, 853-858.
- 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", *Hydrobiologia*, 455: 97-110.
- Neiff, J.J. (1981a), "Tipificación de los ambientes acuáticos y de interfase del macrosistema Iberá". En *Estudio del Macrosistema Iberá*, Tomo V(1): Ecología. Editado por A. A. Bonetto. ICA-CECOAL, Corrientes, pp. 14-43.
- _____ (1981b), "Vegetación acuática y anfibia del Iberá", Tomo V(2). En: *Investigaciones ecológicas en el macrosistema Iberá*. Convenio ICA-CECOAL. Informe final. Corrientes.
- _____ (1982), "Esquema sucesional de la vegetación en islas flotantes del Chaco", *Bol. Soc. Arg. Bot.*, 21(1-4): 325-341.
- _____ (1990), "Ideas para la interpretación ecológica del Paraná", *Inter ciencia*, 15(6): 424-441. Venezuela.
- _____ (1999), "El régimen de pulsos en ríos y grandes humedales de Sudamérica", En: *Tópicos sobre Humedales Subtropicales y Templados de Sudamérica*. Editado por A. I. Malvárez. UNESCO-ORCYT-MAB, Montevideo, 97-146.
- _____ (2001a), "Diversity in some tropical wetland systems of South America", Pp. 1-60. In: Gopal, B, W.J. Junk and B. Davis (eds.): *Biodiversity in wetlands: assessment, function and conservation*. Leiden, Backhuys Publishers. 311 p.
- _____ (2001b), "Humedales de la Argentina: sinopsis, problemas y perspectivas futuras". En: Cirelli, A. F. (Ed.): *El Agua en Iberoamérica. Funciones de los humedales, calidad de vida y agua segura*. Pp. 83-112. Publ. CYTED-ISBN 987-43-3591-2. 212p.
- _____ (2003a), "Ambientes acuáticos y palustres del Iberá", *Limnología del Iberá. EUDENE, Corrientes*, 17-70.
- _____ (2003b), "Distribución de la vegetación acuática y palustre del Iberá", 17-66. En: A. Poi de Neiff (Ed.) *Limnología de Iberá. Eudene*, 1-191. ISBN 950 656-065-X.
- _____ (2004), "El Iberá...en peligro?" Ed. Fundación Vida Silvestre de Argentina. 136 p. ISBN: 930-9427-10-1.
- Neiff, J.J. y M. Neiff. 2004. PULSO versión 1.05, software para análisis de fenómenos recurrentes. Dir. Nac. de Derecho de Autor (Argentina) Nro. 236164. Buenos Aires. <http://www.neiff.com.ar>
- Neiff, J.J.; M.H. Iriondo y R. Carignan (1994), "Large Tropical South American Wetlands: An Overview", *Proceedings of the International Workshop on the Ecology and Management of Aquatic-Terrestrial Ecotones*: 156-165. Washington Seattle.
- Neiff, J.J.; Casco, S.L.; Cozar, A.; PoideNeiff, A.S.G. y B. Ubeda (2010), "Vegetation diversity in a large Neotropical wetland during two different climatic scenarios", *Biodiversity and Conservation*, 20:2007-2025.
- Nuñez, M..N. y W.M. Vargas (1998), "Bol.Inf. Techint 295", Buenos Aires, Argentina.

- Nobre, P.; J. Marengo; I.A.F. Cavalcanti; G. Obregón; V. Barros; I. Camilloni; N. Campos y A.G. Ferreira (2006), "Seasonal-to-decadal predictability and prediction of South American climate", *Journal of Climate*, 19: 5988-6004.
- Núñez, M. (1993), "Cambio Climático: Sus posibles alcances en la Argentina", en el Libro: Elementos de Política Ambiental, Francisco Goin-Ricardo Goñi (Eds.), Buenos Aires, 791-796.
- ____ (2006), "Uso de Modelos Climáticos Regionales para la determinación de escenarios", Palacio San Martín, Buenos Aires. Versión ppt.
- ____ (2008), "Cambio climático en la Argentina", disertación, versión ppt. www.cima.fcen.uba.ar.
- Orfeo, O. y J.J. Neiff (2008), Esteros del Iberá, 415-425, en: SEGEMAR (Ed.), Ardolino, A. y otros. "Sitios de interés geológico de la República Argentina", T. I. 1-446, Buenos Aires. ISSN 0328-2325.
- Parera, A. (2002), "Los mamíferos de la Argentina y la región austral de Sudamérica", Editorial El Ateneo.
- Poi de Neiff, A. (1979), "Invertebrados acuáticos relacionados a Egeria naias (Planch), con especial referencia a los organismos fitófagos", *Ecosur*, 6(11): 101-109. ISSN 0325-108X.
- ____ (2003), "Macroinvertebrates living on Eichhornia azurea Künth in the Paraguay River.A", *Acta Limnologica Brasiliensia (Brazilian Society of Limnology)*, Botucatu, San Pablo, Brasil), 15 (1): 55-63.
- Popolizio, E. (1977), "Contribución a la geomorfología de la Provincia de Corrientes", *Geociencias* (Publicación del Centro de Geociencias Aplicadas, Univ. Nac. del Nordeste), N° 7 (texto) y N° 8 (ilustraciones).
- ____ (1981), "Geomorfología del Macrosistema Iberá", En: *Estudio del Macrosistema Iberá*. Gob. Prov. de Corrientes - Subsecret. Rec. Híd. de la Nación, Vol. 1 a 6, Tomo II. PRIMER-E, Versión 6 (2008), <http://www.primere.com/>.
- USDA, Soil Taxonomy, (1975), "Agriculture Handbook" N° 436, 754 p., Washington DC.
- Teruggi, M.E. (1970), "Bosquejo geológico del Paraguay y la Provincia de Corrientes", *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 11: 1-16.
- Vasallo, M. (1976), "Historial biodinámico del Iberá", *Actas, 5to. Seminario de Grandes Obras Hidroeléctricas*, Corrientes. 14 p.
- Vidal, R. (2009), "Escenario de caudales de salidas y alturas del Iberá", Informe final, Proyecto ERECC / Argentina. Agosto 2009, 31p.
- Ward, J.V.; K. Tockner and F. Schiemer (1999), "Biodiversity of floodplain river ecosystems: ecotones and connectivity", *Regulated Rivers: Research and Management*, 15: 125-139.
- Waller, T. y P.A. Micucci (1992), "Relevamiento de la distribución, Hábitat y Abundancia de los Crocodilos de la República Argentina", Informe Final, CITES, FUCEMA, CICuR, 61 p. y apéndices.
- Zalocar, Y. (2003), "Fitoplancton de lagunas y cursos de agua del sistema Iberá", 85-142, en: Poi de Neiff, A. (Ed.): *Limnología del Iberá*. EUDENE, Corrientes, Argentina: 1-191. ISBN 950-656-065-X.



NACIONES UNIDAS

Serie

CEPAL

Medio Ambiente Y Desarrollo

Números publicados

Un listado completo así como los archivos pdf están disponibles en

www.cepal.org/publicaciones

152. Evaluación de los impactos del cambio climático sobre el ecosistema natural y la biodiversidad: Esteros del Iberá (Argentina). (LC/L.3728), noviembre de 2013. Email: carlos.demiguel@cepal.org. Email: erecc.lac@cepal.org.
151. Acceso a la información participación y justicia en temas ambientales en América Latina y el Caribe. Situación actual, perspectivas y ejemplos de buenas prácticas. Valeria Torres, Carlos de Miguel (LC/L. 3549-Rev 2), octubre de 2013. Email: carlos.demiguel@cepal.org.
150. Climate change and reduction of CO₂ emissions: the role of developing countries in carbon trade markets. Carlos Ludeña, Carlos de Miguel, Andres Schuschny (LC/L.3608), diciembre 2012. Email: carlos.demiguel@cepal.org.
149. Disponibilidad futura de los recursos hídricos frente a escenarios de cambio climático en Chile. Ximena Vargas, Álvaro Ayala, Rodrigo Meza, Eduardo Rubio (LC/L. 3592), diciembre 2012. Email: carlos.demiguel@cepal.org. erecc.lac@cepal.org.
148. Efecto del cambio climático en la salud pública en Colombia: estudio de caso malaria y dengue. Viviana Cerón y Salua Osorio Mrad (LC/L.3587), marzo 2013. Email: carlos.demiguel@cepal.org. Email: erecc.lac@cepal.org.
147. Desarrollo de una función agroclimática para estimar productividad de los cultivos agrícolas en Colombia. J. Francisco Boshell V. (LC/L.3586), marzo 2013. Email: carlos.demiguel@cepal.org. Email: erecc.lac@cepal.org.
146. Panorama del cambio climático en Colombia. Javier Blanco (LC/L.3585) marzo 2013. Email: carlos.demiguel@cepal.org. Email: erecc.lac@cepal.org.
145. Análisis de la vulnerabilidad del sector hidroeléctrico frente a escenarios futuros de cambio climático en Chile. James McPhee Eduardo Rubio, Rodrigo Meza, Álvaro Ayala (LC/L.3599), diciembre 2012. Email: carlos.demiguel@cepal.org. Email: erecc.lac@cepal.org.
144. Políticas Fiscales, impactos energéticos y emisiones de CO₂ en Chile. Carlos de Miguel, Raúl O’Ryan, Mauricio Pereira y Bruno Carriquiry (LC/L.3434), diciembre 2011. Email: carlos.demiguel@cepal.org.
143. Financiamiento para el logro de los Objetivos de Desarrollo del Milenio en un contexto de crisis: Indicadores para Chile. Raúl O’Ryan, Mauricio Pereira y Carlos de Miguel (LC/L.3405), noviembre 2011. Email: carlos.demiguel@cepal.org.
142. Estimaciones de gasto social en vivienda y desarrollo urbano para algunos países de América Latina y el Caribe. Raquel Szalachman, María Paz Collinao. (LC/L.3169-P) N° de venta: S.09.II.G.142 marzo 2010. Email: Raquel.szalachman@cepal.org.
141. Gasto social en vivienda y desarrollo urbano. Raquel Szalachman, María Paz Collinao. (LC/L.3149-P), N° de venta: S.09.II.G.122, diciembre 2009. Email: Raquel.szalachman@cepal.org.
140. Síndrome holandés, regalías mineras y políticas de gobierno para un país dependiente de recursos naturales: el cobre en Chile. Mauricio Pereira, Andrés Ulloa, Raúl O’Ryan, Carlos de Miguel (LC/L.3139-P), N° de venta: S.09.II.G.112, diciembre 2009. Email: carlos.demiguel@cepal.org.

MEDIO AMBIENTE Y
DESARROLLO

152

MEDIO AMBIENTE Y
DESARROLLO

MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO

Series

C E P A L

COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE
ECONOMIC COMMISSION FOR LATIN AMERICA AND THE CARIBBEAN
www.cepal.org