

La ecología de las lagunas de las Pampas

Rolando Quirós

Profesor Titular Regular del Área de Sistemas de Producción Acuática

Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires

Av. San Martín 4453, 1417 Buenos Aires, Argentina. quiros@agro.uba.ar

Los humedales de las Pampas

El humedal pampeano cubre una superficie de unos 100000 km² de la planicie de las Pampas, constituyendo una de las zonas de humedales más extensas de América del Sur. Esta región tiene suaves pendientes y una actividad neotectónica significativa. La geomorfología de la llanura pampeana corresponde a un paisaje con un clima mucho más árido que el subhúmedo actual. Durante el pasado geológico reciente, los antiguos depósitos arenosos de origen fluvial fueron reelaborados por los fuertes vientos del sudoeste, bajo condiciones áridas, formando extensos campos de dunas en el “mar de arena” pampeano. La hidrología actual de la región es resultado de los cambios climáticos, la geomorfología y el accionar humano. La porción noroeste de la región pampeana era naturalmente arreica y el este es exorreico cursado por ríos efímeros que bajan de las sierras de Tandilia pero que también presenta zonas arreicas y endorreicas a medida que la pendiente disminuye hacia el mar. Los extensos humedales pampeanos se extienden desde las sierras de Tandilia y Ventania al sur hasta la pampa plana en el noroeste, pasando por la extensa “depresión del Salado”. Estos humedales han sido modificados en grado variable desde fines del siglo XIX, a nivel local y regional, por extensas canalizaciones que drenan parcialmente el humedal para su utilización para las actividades agropecuarias. La modificación de los sistemas hidrológicos en el ámbito local es, en la mayoría de los casos, irreversible desde el punto de vista práctico y, si esas modificaciones se siguen multiplicando, pueden llevar finalmente a generar impactos ambientales a nivel regional.

La sucesión de períodos climáticos secos y húmedos, en el marco de la plana

geomorfología de la región, llevó, hacia fines del Cuaternario, a un importante desarrollo de sistemas de humedales y lagos someros (lagunas), en las áreas más deprimidas. Muchas de las lagunas de las Pampas tuvieron origen en procesos de deflación eólica ocurridos durante esa época pero un número importante ha sido remodelado por acción fluvial; algunas tuvieron origen en la acción tectónica o la disolución cárstica, y también en el aislamiento en cadena de antiguos cauces fluviales, lagunas costeras y pretéritos estuarios. Una cantidad no poco significativa de las lagunas mayores es resultado de la construcción de diminutas presas sobre pequeñas lagunas o bajos inundables.

La mayor extensión de humedales y la mayor densidad de lagunas se encuentran situadas en las zonas más planas, deprimidas y húmedas de las Pampas, sobre una vasta región que se extiende desde la pampa plana situada al noroeste de la región hacia la pampa deprimida ubicada hacia el sudeste. En estas zonas planas o deprimidas el relieve del paisaje varía entre menos de 0.03 y unos 0.40 m/km.

Las lagunas de las Pampas

Las lagunas son el componente central del humedal pampeano. Como lagos de llanura, son muy poco profundos y no estratifican térmicamente excepto por períodos muy breves. Su origen geomorfológico prácticamente en común se ve reflejado en la similar morfología de sus cubetas. Como es de esperar, tanto la profundidad media como la profundidad máxima de una laguna varía en función de la superficie inundada. Sin embargo, en la comparación entre lagunas, aunque la profundidad máxima y la profundidad media están altamente relacionadas entre sí, ambas

profundidades están mucho menos relacionadas con la superficie del espejo de agua. La profundidad media de una laguna pampeana típica, cualquiera sea su tamaño, corresponde aproximadamente al 70% de su profundidad máxima. Tanto la profundidad relativa (0.02 - 0.6 %) como la pendiente promedio de las lagunas (0.3 - 12 m/km) cuantifican

adecuadamente cómo se continua el suave relieve del humedal pampeano (0.25 - 0.40 m/km) en las cubetas de sus lagunas. El drenaje de lagunas, especialmente de las más pequeñas, y la canalización creciente, en búsqueda de la "agriculturización" del humedal, está llevando a que su abundancia y tamaño estén disminuyendo constantemente.

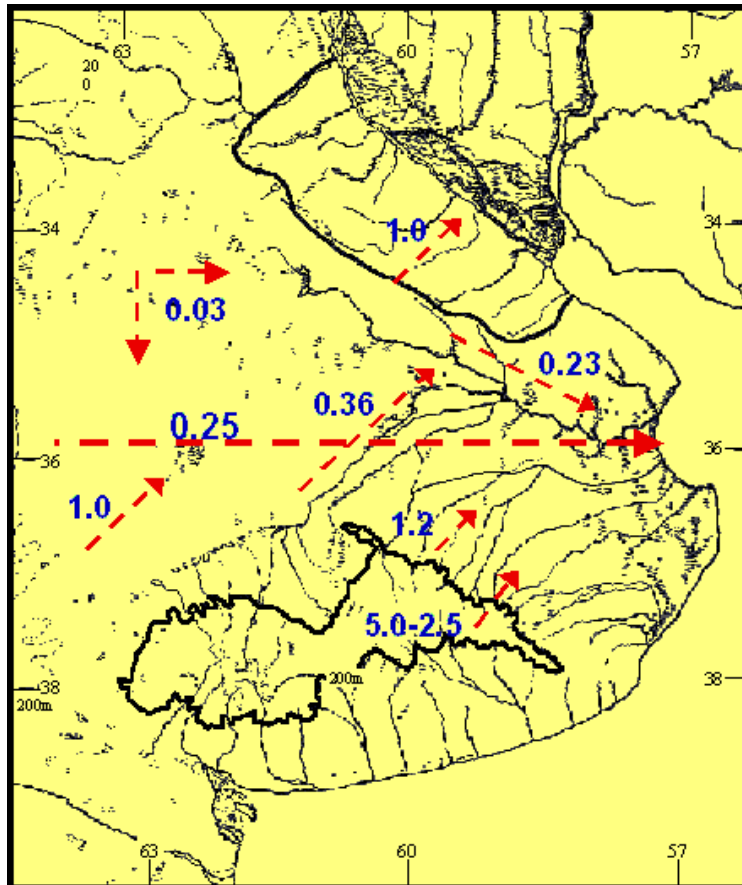


Figura 1. La región de las Pampas está situada en el cono sur de Sudamérica, extendiéndose al norte de la Patagonia y al este de las últimas estribaciones orientales de la Cordillera de los Andes. Los extensos humedales pampeanos se extienden sobre las zonas más planas y depresivas de la región, como puede observarse de las bajas pendientes del paisaje (expresadas en metros por kilómetro).

El clima de las Pampas se puede definir como templado húmedo sin temporada seca y con un verano cálido. Las precipitaciones medias anuales aumentan desde el sudoeste hacia el noreste, con un claro patrón de aumento oeste-este hacia el norte, en

las zonas más extensas del humedal. La región como un todo no posee un régimen de precipitaciones estable y normalmente existen ciclos de sequía-inundación interanuales que se reflejan profundamente en el funcionamiento del humedal y sus lagunas.

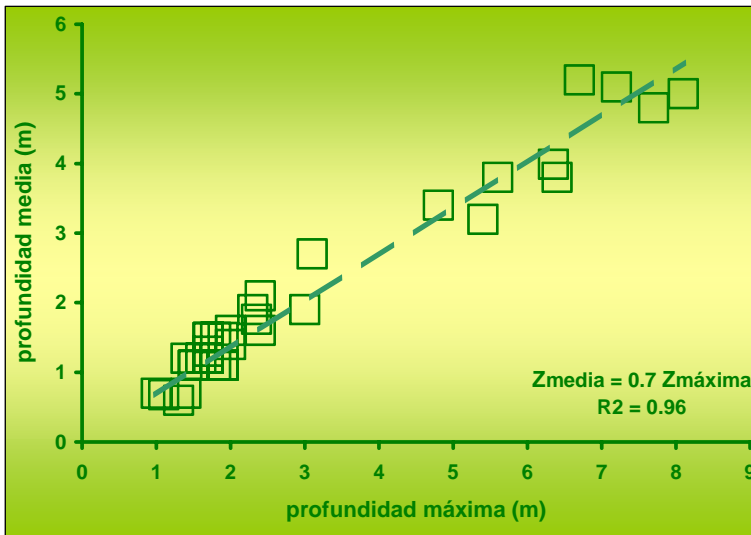


Figura 2. El origen geomorfológico en común se refleja en una similar morfología lagunar. La profundidad media de una laguna pampeana típica, cualquiera sea su tamaño, es de aproximadamente un 0.7 de su profundidad máxima ($P < 10^{-6}$), siendo su forma la de un semi-elipsoide de revolución.

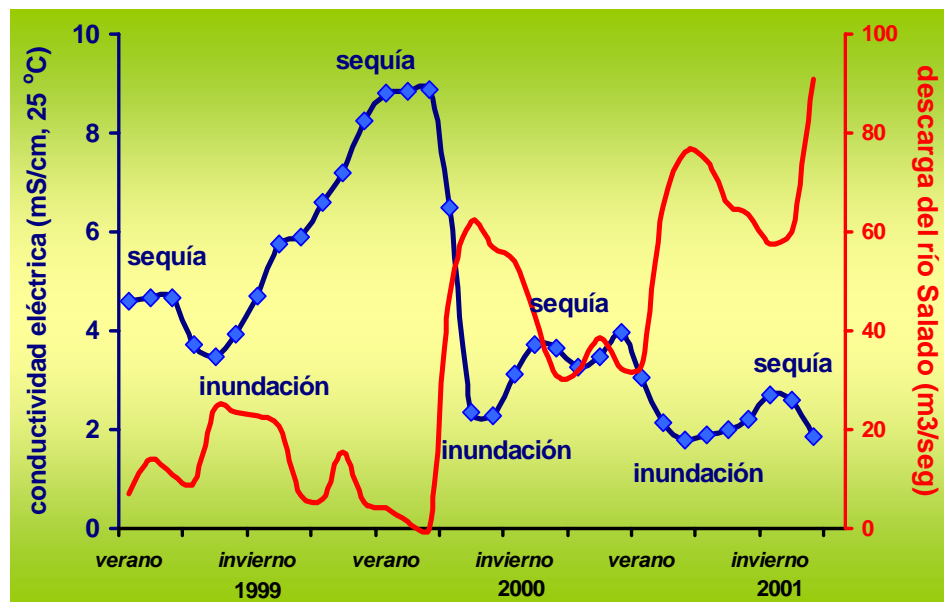


Figura 3. La concentración salina de una laguna pampeana sigue tanto a la variación anual como interanual de las precipitaciones. Una laguna puede diluirse o concentrarse apreciablemente entre años sucesivos. Son de resaltar las sequías estacionales relativas durante los años húmedos así como las inundaciones relativas durante los años secos. La descarga del río Salado es un indicador del nivel de inundación en el humedal pampeano.

Las lagunas de las Pampas pueden caracterizarse como lagos someros, con tiempo de permanencia del agua y salinidad altamente variables, naturalmente eutróficos, y actualmente bajo estrés ambiental manifiesto que incrementa aún más sus naturalmente altos contenidos de nutrientes. En las áreas no salinas y con menor impacto de origen antrópico, la vegetación arraigada generalmente cubre, en parches y con

extensión variable, la superficie de las lagunas. Como lagos de llanura, su hidrología es altamente dependiente de las precipitaciones “in situ”. Las lagunas presentan una hidroquímica altamente variable, situándose las lagunas más salinas en las cuencas más aisladas hidrológicamente. Su concentración salina permite clasificarlas como lagos subsalinos y salinos y en algunos pocos

casos como lagos de agua dulce ($< 0.5 \text{ g.l}^{-1}$ de sólidos disueltos totales).

El grado de salinidad de las lagunas pampeanas es altamente variable, aunque la gran mayoría de ellas está dominada por el catión Na^+ . Aquellas lagunas cercanas al piedemonte de las sierras situadas en la planicie (Tandilia y Ventania), poseen los menores contenidos de sólidos disueltos ($300\text{-}600 \text{ mg.l}^{-1}$), aguas carbonatadas y bajas relaciones $\text{Cl}^-:\text{Na}^+$. A medida que la pendiente del paisaje disminuye, hacia el norte y el noreste de la región (pampas plana y deprimida), la salinidad de las lagunas aumenta paulatinamente en forma apreciable ($600\text{-}5000 \text{ mg.l}^{-1}$) así como lo hacen la concentración de Cl^- y la relación $\text{Cl}^-:\text{Na}^+$. Este último grupo es el que mejor representa a una laguna pampeana típica. Por último, existen tres grupos de lagunas de menor importancia relativa.

El primero de ellos corresponde a lagunas situadas en cuencas arreicas o endorreicas, cuyo contenido salino es apreciablemente alto ($6000\text{-}150000 \text{ mg.l}^{-1}$) y con relaciones $\text{Cl}^-:\text{Na}^+$ que oscilan entre 0.6 y 0.8. Un segundo grupo está constituido por aquellas lagunas situadas por fuera del humedal pampeano propiamente dicho, en el árido oeste pampeano, y con influencia desde la Cordillera de los Andes. Sus salinidades son generalmente altas ($4000\text{-}6000 \text{ mg.l}^{-1}$) al igual que sus relaciones $\text{Cl}^-:\text{Na}^+$, y están caracterizadas por altas concentraciones relativas de sulfatos y cloruros. El tercer grupo menor lo constituyen aquellas lagunas situadas en cercanías del Océano Atlántico y con evidente influencia oceánica indirecta. Este grupo está caracterizado por relaciones $\text{Cl}^-:\text{Na}^+$ cercanas a la del agua de mar (1.17) y salinidades medias a altas ($2000\text{-}5000 \text{ mg.l}^{-1}$).

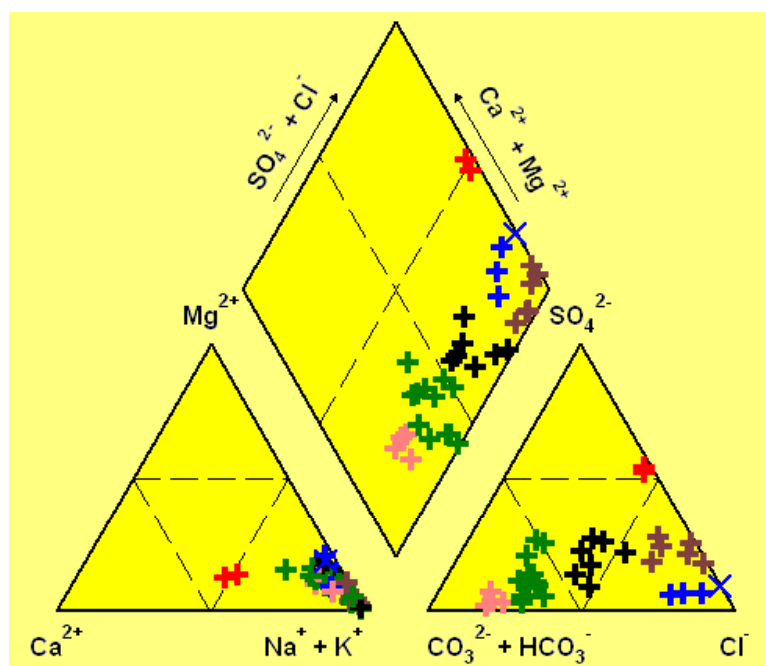


Figura 4. El agua de las lagunas cambia su composición iónica a medida que la misma transcurre a través del humedal. El diagrama triangular muestra la composición iónica relativa de las lagunas pampeanas. Las lagunas situadas en la zona de sierras (en rosado, triángulo inferior derecho) tienen aguas carbonatadas que se van clorurando, y parcialmente sulfatando, a medida que se sitúan en zonas planas o deprimidas (en verde y negro) culminando en aquellas lagunas salinas situadas en zonas endorreicas (en marrón) o sólo clorurando en aquellas lagunas bajo influencia oceánica indirecta (en azul). El catión sodio (Na^+) es el dominante en la gran mayoría de las lagunas, con excepción de aquellas que tienen influencia andina directa (en rojo, triángulo inferior izquierdo y diamante superior).

El estado trófico de las grandes lagunas pampeanas varía desde eutrófico hasta altamente hipertrófico. Algunas lagunas presentan una relativamente alta transparencia del agua mientras otras se muestran verdosas y turbias. Dada la particular morfología de las lagunas pampeanas, y con fines de cuantificar el grado de “claridad” o de “turbidez” de las mismas, hemos

utilizado la relación entre la profundidad media y la profundidad de la zona fótica ($Z_{media} : Z_{fótica}$). Esta relación constituye, además, un buen indicador de la capacidad de la laguna de ser colonizada por la macrofitia arraigada; cuando tal relación es menor o cercana a uno, es altamente probable que la laguna en cuestión presente un alto desarrollo de la macrofitia.

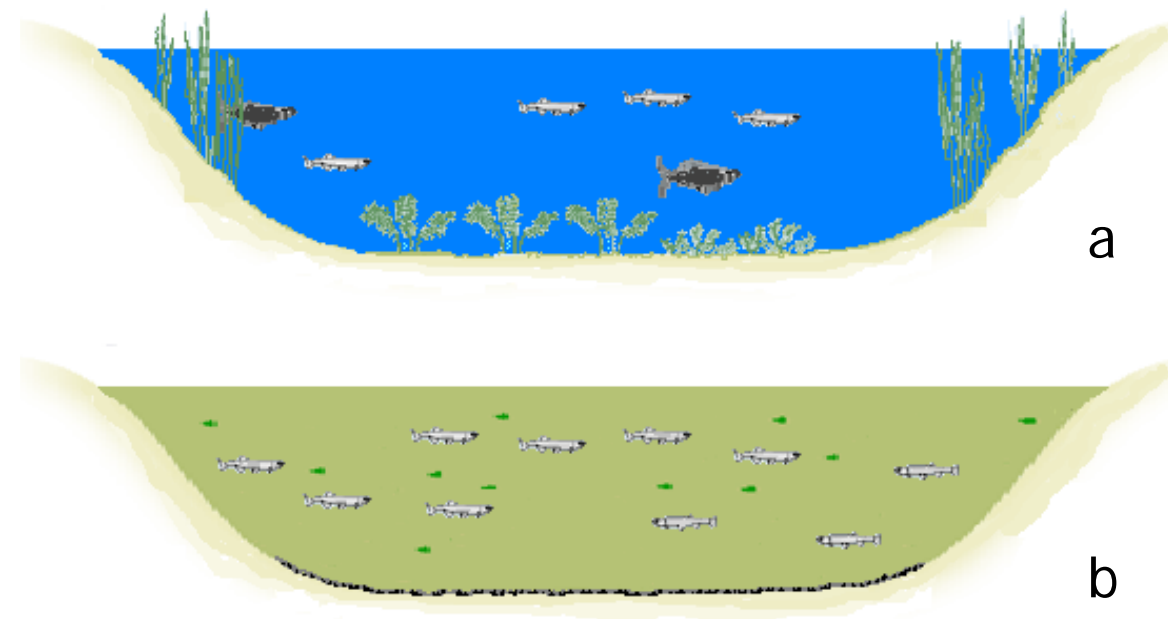


Figura 5. Una típica laguna pampeana en estado cuasi prístino se caracteriza por la alta transparencia de sus aguas que permite que la luz solar llegue al fondo y este se encuentre colonizado por la macrofitia arraigada (a, laguna “clara”); la comunidad de peces es relativamente menos abundante pero más diversa. Por el contrario, una laguna pampeana impactada por altas entradas de nutrientes, provenientes de las actividades agropecuarias y la urbanización, se caracteriza por una alta abundancia del fitoplancton y con sedimentos comúnmente anóxicos en gran parte de su extensión (b, laguna “turbia”); la comunidad de peces es relativamente más abundante pero menos diversa.

Los determinantes más generales de la productividad de las lagunas pampeanas

Los humedales de las Pampas se asientan sobre suelos con un alto potencial productivo. En condiciones naturales, la riqueza en nutrientes de los suelos se ve reflejada en la alta productividad biológica de sus lagunas. Es un hecho que las lagunas “claras”, con mayor transparencia del agua, están generalmente dominadas por la macrofitia acuática, especialmente por las macrofitas sumergidas y emergentes. Las

concentraciones de fósforo total (TP) de las lagunas “claras” son relativamente menores, pero siempre dentro del rango eutrófico-hipertrófico. Sin embargo, para este grupo de lagunas, la biomasa algal es relativamente mas baja. Por otra parte, las lagunas “turbias”, con baja transparencia del agua, están dominadas, en grado variable, por el fitoplancton. Su biomasa algal es apreciablemente mayor a la de las lagunas “claras”; sin embargo, ese patrón no es claramente reflejado por su concentración de fósforo total. Otras características que

también distinguen a las lagunas "claras" de las "turbias", están relacionadas con cambios que se producen en la columna de agua y en la interfase agua-sedimento, y relacionados con la carga y el procesamiento de la materia orgánica. A medida que las lagunas aumentan su trofismo y pasan del estado de "aguas claras" al estado de "aguas turbias" se produce un importante aumento en la biomasa de la macrofitia que va conduciendo a un paulatino deterioro en las condiciones de oxigenación de la interfase agua-sedimento que, en las lagunas "altamente turbias", llega a la anoxia casi permanente de la misma. Dentro de éste último grupo, las lagunas "altamente turbias", directamente impactadas por efluentes urbanos y pecuarios no tratados, presentan las mayores concentraciones de fósforo total y de clorofila. Estas lagunas se encontrarían así en un estado de alta hipertroficidad, caracterizado por sedimentos anóxicos, baja o nula capacidad de sus sedimentos de retener el fósforo y frecuentes floraciones de cianobacterias. Sin embargo, pese a su alta hipertroficidad ($TP > 1000 \text{ mg.m}^{-3}$), este tipo de lagunas es frecuente que pase por breves estadios estivales de aguas claras, cuando las abundantes cianobacterias del género *Microcystis* se encuentran en el fondo de la laguna o formando pequeños cúmulos en la columna de agua. En estos casos, aunque la luz solar alcanza el fondo de la laguna, el desarrollo de la macrofitia sumergida está impedido por la habitual anoxia en la interfase agua-sedimento. Una vez perdido el valor protector de la carpeta de macrofitia, el efecto de resuspensión del sedimento por acción de los vientos es un factor de importancia en el funcionamiento de las lagunas pampeanas, debido principalmente a su baja profundidad media.

Es de esperar que ante el aumento de las concentraciones de nutrientes en un lago, aumenten las biomásas de todas sus comunidades pelágicas. Esta generalización también se cumple

para las grandes lagunas pampeanas. Tanto la biomasa del fitoplancton, como las del microzooplancton y el zooplancton de crustáceos, y la biomasa de la comunidad de peces están positiva y significativamente relacionadas con las concentraciones de fósforo y de nitrógeno en la columna de agua. En otras palabras, las lagunas que presentan los mayores niveles de nutrientes totales, también presentan las mayores biomásas de las distintas comunidades bióticas en aguas abiertas. Con respecto a la biomasa de las comunidades dependientes de la interfase agua-sedimento, a medida que el estado trófico de la laguna aumenta, es de esperar un aumento inicial y una posterior caída, que siga al enriquecimiento en nutrientes de un sedimento óxico y su paulatino pasaje a un sedimento anóxico poco apto para un desarrollo importante de la biomasa. La disminución de la biomasa de las macrófitas arraigada en las lagunas "turbias" y "altamente turbias" puede inferirse a partir de la baja transparencia del agua y la anoxia en los sedimentos. Con respecto a la biomasa del bentos, es altamente probable que la misma aumente con la concentración de nutrientes hasta un punto en el cual la anoxia de la interfase agua-sedimento limite gravemente su desarrollo.

Algunas de las singularidades a nivel específico lo constituyen la relaciones directas entre la abundancia de los planctívoros visuales (pejerrey pampeano, *Odontesthes bonariensis*) y de los planctívoros filtradores (bagarito, *Parapimelodus valenciennesi*) con la concentración de fósforo total. En otras palabras, al igual que lo que ocurre con las cianobacterias del fitoplancton, la biomasa de peces planctívoros, sean estos visuales o filtradores, también aumenta significativamente con el estado trófico de las lagunas. Este aumento de la biomasa de ciertas especies con el estado trófico lagunar generalmente conduce a una simplificación de las comunidades bióticas y a una importante pérdida de biodiversidad sopesada.

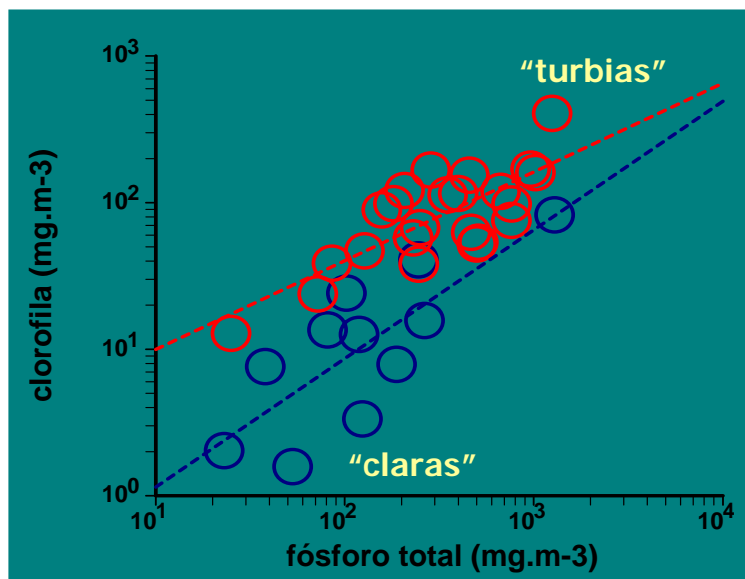


Figura 6. La relación entre la biomasa algal (Chl) y la concentración de fósforo total (TP) en grandes lagunas pampeanas. A concentraciones de TP menores a 250 mg.m^{-3} las grandes lagunas se presentan tanto en estados “turbios” como “claros”. Por encima de 250 mg.m^{-3} , la gran mayoría de las lagunas sólo se presentan en estado “turbio”, totalmente dominadas por el fitoplancton o, eventualmente, en estados “claros” con sedimentos claramente anóxicos.

El estado trófico de una laguna pampeana puede rastrearse hasta su origen en los ecosistemas terrestres que la circundan. La intensidad de uso de la tierra en la cuenca de drenaje de una laguna se ve reflejada en las características del ecosistema lagunar. Las lagunas ubicadas en drenajes con alta intensidad de uso de la tierra agropecuario y urbano se muestran “turbias” y con las mayores concentraciones de nutrientes totales (fósforo (TP) y nitrógeno (TN)). Por otra parte, aquellas lagunas ubicadas en las zonas deprimidas del humedal, donde se practica una ganadería de baja intensidad, generalmente se presentan como “claras”. El aumento de la intensidad de uso de la tierra está también relacionado con una disminución de la relación TN:TP en las aguas abiertas de las lagunas; en aquellas lagunas más pequeñas, completamente inmersas en la agricultura intensiva, las relaciones TN:TP alcanzan valores muy por debajo de los habituales en la composición de la materia viva o de los usuales en los fertilizantes inorgánicos. Ello estaría reflejando en las lagunas los efectos de la erosión en los ecosistemas terrestres que aportan grandes cargas de fósforo, principalmente ligado a las arcillas. Resumiendo, la inmensa mayoría de las lagunas “claras” presenta una relativamente baja intensidad de uso de la tierra en sus cuencas de drenaje mientras todas las

lagunas con alta utilización humana de sus drenajes se ubican entre las “turbias”.

Una ordenación ambiental de las lagunas de las Pampas

La ordenación estadística de las grandes lagunas pampeanas resume sus principales características ecológicas. Las variables utilizadas en la ordenación son las concentraciones totales de fósforo (TP, mg.m^{-3}) y nitrógeno (TN, mg.m^{-3}), la concentración de clorofila (Chl, mg.m^{-3}) como correlato de la biomasa del fitoplancton, la relación entre las concentraciones de clorofila y la concentración de fósforo total (Chl:TP), y la transparencia del agua estimada como la profundidad a la cual desaparece la visión del disco de Secchi (SDL, cm). Para un conjunto de 34 lagunas pampeanas, los primeros dos ejes de la ordenación explican un 89% de la variabilidad total entre lagunas (ver Figura 7). La ordenación permite separar notoriamente las grandes lagunas de las Pampas en dos grandes grupos, el de las lagunas “claras” colonizadas por la macrofitia y el de las “turbias” dominadas por el fitoplancton. Todas las lagunas “claras” consideradas se encuentran en las zonas deprimidas del humedal pampeano, con baja intensidad de uso de la tierra en sus

cuenca de drenaje, tal como ganadería extensiva y baja densidad poblacional urbana.

El primer eje ordena las lagunas según su estado trófico mostrando la alta relación que existe entre la biomasa del fitoplancton, la turbidez del agua y las concentraciones de fósforo y de nitrógeno total en la columna de agua. El primer factor de ordenación pondera lagunas eutróficas e hipertróficas, con alta turbidez algal, dominadas por cianobacterias y peces planctívoros, y con cuencas de drenaje situadas en las regiones más explotadas, como opuestas a lagunas eutróficas, más claras, con

comunidades de peces más balanceadas, situadas en las regiones de menor intensidad de uso de la tierra. Según este eje se ordenan las lagunas de acuerdo a las biomásas de sus restantes comunidades pelágicas: microzooplancton, zooplancton de crustáceos y abundancia total de peces. Resumiendo, el primer eje de la ordenación nos muestra que cuanto menos transparente y más “verdosa” sea una laguna, mayores serán las concentraciones de nutrientes de sus aguas así como mayores serán las biomásas de todas y cada una de sus comunidades pelágicas.

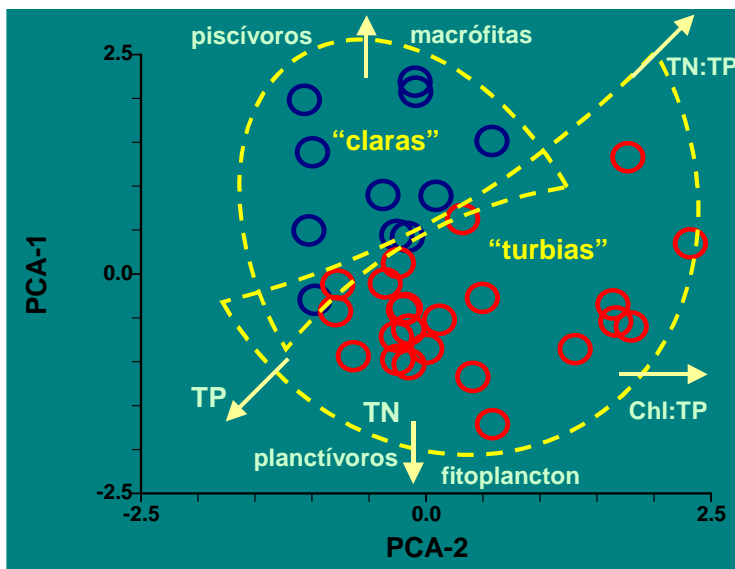


Figura 7. Una ordenación multivariada por el método de componentes principales permite separar las grandes lagunas de las Pampas en dos grandes grupos, el de las lagunas “claras” colonizadas por la macrofitia y el de las “turbias” dominadas por el fitoplancton. Sin embargo, un continuo de estados se presenta entre las lagunas plenamente claras (en azul, a la izquierda arriba) y las lagunas enteramente turbias (en rojo, a la derecha abajo).

El segundo eje de ordenación separa las lagunas en función de sus contenidos de fósforo total (TP) e inversamente de los valores de la relación entre la biomasa del fitoplancton y la concentración de TP (Chl:TP). Según este eje, las lagunas con menores contenidos de TP en la columna de agua presentan las mayores biomásas de fitoplancton por unidad de fósforo total. Para las lagunas “claras” ello estaría indicando que a medida que aumenta la relación Chl:TP la laguna se desplazaría hacia un estado más cercano al de laguna “turbia”, a concentración de nutrientes totales constante. Para las lagunas “turbias”, el aumento de la relación Chl:TP, a concentración de nutrientes constante, estaría indicando el aumento del grado de biodisponibilidad del fósforo total

para el fitoplancton. Entre las lagunas “turbias”, aquellas que se encuentran inmersas en las zonas de agricultura intensiva son las que presentan los menores rendimientos de fitoplancton por unidad de fósforo total (ver Figura 7, en rojo a la izquierda abajo). Este hecho refleja en las lagunas la “huella” erosiva de la agricultura que aporta fósforo a las lagunas pero con menor grado de biodisponibilidad. Los bajísimos valores de la relación TN:TP para las lagunas “turbias” más impactadas por la agricultura refuerzan la presencia en las mismas de una alta proporción de fósforo erosivo.

La ordenación estadística discrimina los dos grandes grupos de lagunas “claras” y de lagunas “turbias”, aunque sólo parcialmente. La

existencia de un continuo de estados de laguna no puede ser rechazada. Las grandes lagunas pampeanas se distribuyen entre un neto estado de laguna “clara”, eutrófica, colonizadas por la macrófita, y con comunidades de peces más balanceadas, hasta un definido estado de laguna “turbia”, hipereutrófica, dominado por el fitoplancton y los peces planctívoros. Entre estos estados extremos de lagunas “clara” y de laguna “turbia” se ubica la mayor parte de las grandes lagunas pampeanas. Algunas de ellas, las ubicadas hacia el centro de la ordenación, pasarían con mayor facilidad de un estado a otro dependiendo del grado de influencia que sobre ellas ejerza la variabilidad de ciertos factores externos, tales como el altamente variable tiempo medio de permanencia del agua, la acción de los vientos y el tipo y calidad de los sedimentos. El ordenamiento de las lagunas pampeanas coincide, en términos generales, con aquellos resultados obtenidos para otros conjuntos de lagos someros de llanura distribuidos mundialmente.

Para concentraciones de fósforo total relativamente menores, las lagunas se presentan tanto en estados “turbios” como “claros”. Ello sugiere que los correspondientes estados estacionarios nunca son completamente expresados en la realidad, un continuo de estados se manifiesta en el ordenamiento de las lagunas pampeanas. Sin embargo, la ocurrencia de cambios aperiódicos en la tipología de una determinada laguna sería explicada por la compleja interacción entre factores climáticos y de uso de la tierra. Como lago de llanura, la cubeta de una laguna pampeana es generalmente pequeña con relación a la superficie de su espejo de agua. Ello conduce a que el tiempo de permanencia del agua en una laguna varíe directamente con el balance precipitación-evapotranspiración durante el ciclo de seca-inundación característico del paisaje pampeano. Los casos de extrema sequía o de intensas precipitaciones, así como las intensas tormentas de viento, producen cambios temporales drásticos en la estructura y el funcionamiento de una laguna pampeana típica.

La alta variabilidad anual e interanual del paisaje pampeano, se ve reflejada en el comportamiento estacional del ecosistema lagunar. Gran parte de las lagunas pasa por una fase estacional de “aguas claras” y durante el ciclo estacional se desarrollan complejas interacciones ecosistémicas que favorecen que una laguna generalmente “turbia” sea recolonizada por la macrofitia, especialmente durante la estación de crecimiento. Para las lagunas “turbias” y “altamente turbias” este proceso se ve impedido en grado directo al nivel de deterioro del sedimento. Para las últimas, la interfase agua-sedimento está altamente enriquecida en materia orgánica y la anoxias es frecuente. Episodios singulares, tales como la disminución de la profundidad de la laguna durante las sequías extremas, tendrían efectos positivos sobre la macrófita acuática. Por otra parte, las tormentas de viento provocan comúnmente la resuspensión del abundante sedimento (orgánico e inorgánico) en ambos tipos de laguna. Sin embargo, la acción del oleaje sería menor en las lagunas “claras” dada la protección mecánica ejercida por la macrofitia. Aunque el efecto de sombreado durante las tormentas o los picos de inundación podría en principio favorecer la subsiguiente colonización por la macrófita, sus efectos netos sobre la dinámica de la interacción fitoplancton-macrófita arraigada son de difícil predicción a nivel de ecosistema. La alteración del balance entre precipitación, evapotranspiración, y el nivel de la freática, puede hacer variar la concentración de los nutrientes y la salinidad. Durante la estación más seca, en aguas bajas, la disminución de la descarga y el aumento del tiempo de permanencia del agua conduce a bajas concentraciones de oxígeno disuelto en la interfase agua-sedimento, entrada de P por carga interna, aumento a concentraciones tóxicas de amonio y sulfhídrico, y la mortandad masiva de peces.

Relación entre el estado trófico y la estructura de las comunidades bióticas

Es de esperar que la estructura de las comunidades varíe con el cambio en el estado trófico de un lago. Durante el transcurso desde un estado de laguna plenamente “clara” a un estado de laguna completamente “turbia” se van reflejando pronunciados cambios en la estructura de las comunidades bióticas. El cambio más evidente es la paulatina desaparición de la macrofitia arraigada al sedimento y la creciente importancia que va adquiriendo la biomasa algal en las aguas abiertas de las lagunas. Si bien la biomasa de las comunidades bióticas de las aguas abiertas aumenta con la concentración de nutrientes en la columna de agua, esto último también está relacionado con importantes cambios en la estructura de las comunidades. Por ejemplo, la

proporción de cianobacterias en el fitoplancton no está relacionada significativamente con las concentraciones de nutrientes pero sí con la concentración de clorofila ($r = 0.38$, $n = 27$, $P < 0.05$). Si bien la proporción de cianobacterias en el fitoplancton es alta para la mayoría de las lagunas pampeanas, ésta aumenta desde las lagunas “claras” hacia las lagunas “altamente turbias”. Por otra parte, la proporción de biomasa tanto del micro como del macrozooplancton en el zooplancton total no está relacionada con las concentraciones de nutrientes; sin embargo, la relación entre la biomasa del macro con respecto a la del microzooplancton disminuye con la concentración de clorofila ($r = -0.34$, $n = 39$, $P < 0.01$) en paralelo con el aumento de la biomasa de peces planctívoros.

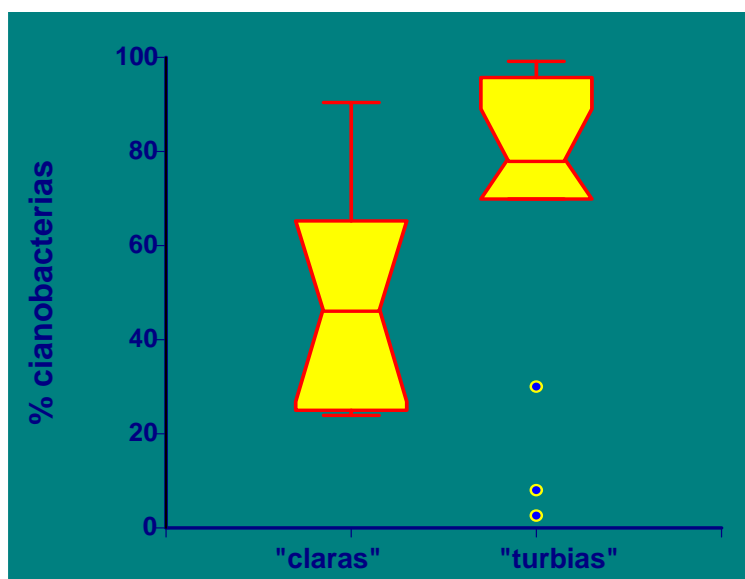


Figura 8. La proporción de cianobacterias en el fitoplancton de las lagunas “turbias” es generalmente mayor que en las lagunas “claras”. Sin embargo, en ciertas condiciones particulares de las lagunas “turbias” el fitoplancton puede estar dominado por algas verdes del orden *Chlorococcales*.

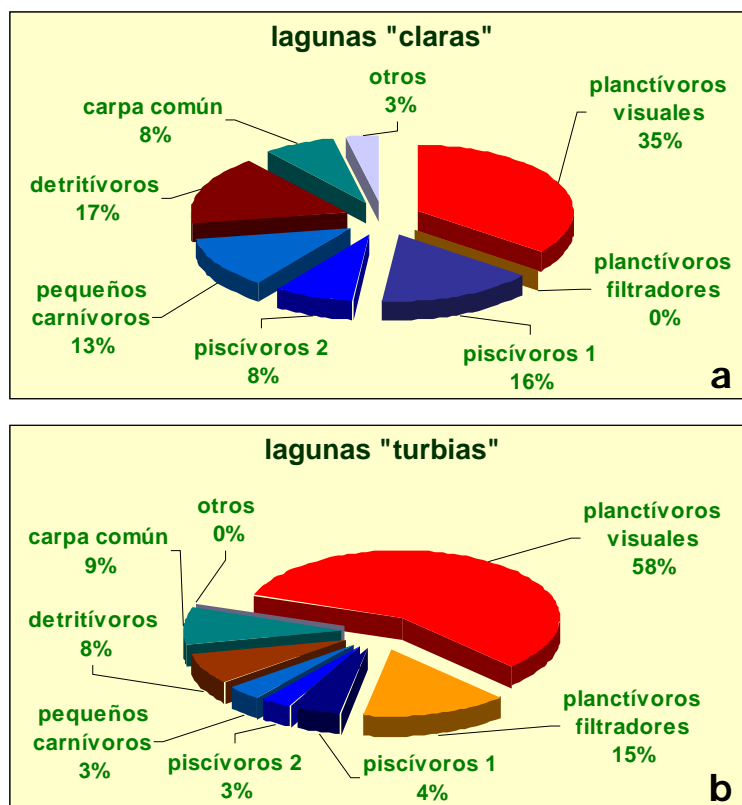
El paulatino pasaje de un estado de laguna “clara” a uno de laguna “turbia” es también acompañado por relevantes cambios en la estructura de la comunidad de peces. Tanto la biomasa total de planctívoros como su biomasa relativa aumentan significativamente, como era de esperar. Por ejemplo, la abundancia total de los planctívoros visuales (*Odontesthes bonariensis*) está más relacionada con la biomasa

del fitoplancton que con la concentración de fósforo total. Por el contrario, tanto la abundancia total como la relativa de los planctívoros filtradores (*Parapimelodus valenciennesis*) está más relacionada con la concentración de fósforo total que con la biomasa del fitoplancton. Estos resultados estarían indicando los efectos tróficos en cascada de los planctívoros visuales sobre los cladóceros del zooplancton y la disminución de la

herbivoría de éstos últimos sobre el fitoplancton. Para la ictiofauna pampeana, ha sido experimentalmente probado que los planctívoros visuales potencian los procesos de eutrofización a través de la predación sobre el zooplancton herbívoro. Por otra parte, la relación directa de la abundancia relativa de los planctívoros filtradores

con la concentración de fósforo total estaría indicando que esta especie tiende a aumentar su abundancia en condiciones de alta hipertroficidad, y alta turbidez de origen biológico, tales como las predominantes en las lagunas impactadas por descargas urbanas o pecuarias.

Figura 9. Estructura media de la comunidad de peces en lagunas "claras" (a) y "turbias" (b). Las lagunas "claras" presentan una comunidad de peces más balanceada y diversa dentro de la cual sobresalen los piscívoros tope de alto porte. Por otro lado, las lagunas "turbias" pasan a ser dominadas por planctívoros visuales que, en las lagunas "altamente turbias" son paulatinamente reemplazados por planctívoros filtradores.



La abundancia relativa de piscívoros de alto porte (tararira, *Hoplias malabaricus* y bagre sapo, *Rhamdia sapo*) disminuye drásticamente en el paso de un estado de laguna "clara" a un estado de laguna "turbia". Su abundancia relativa está negativamente relacionada tanto con la biomasa del fitoplancton como con la concentración de fósforo total en la columna de agua. Con el aumento de la turbidez de las lagunas, es común también observar una disminución en la abundancia relativa de los pequeños carnívoros (dientado, *Oligosarcus jenynsi*).

Numerosos y diversos mecanismos pueden proponerse para explicar los cambios estructurales, sin embargo, la necesidad de la ocurrencia de los mismos, simplemente se ve ejemplificada con los cambios que se producen

en la estructura de las comunidades de las lagunas pampeanas cuando su estado trófico cambia.

El pasado y el futuro de las lagunas de las Pampas

El estado trófico de las lagunas pampeanas varía entre eutrófico y altamente hipertrófico. Las lagunas "claras", generalmente meso-eutróficas, representarían el estado de mayor similitud con el estado natural de las lagunas pampeanas en la zona de pastizales y tal como fueran descritas por los viajeros desde fines del siglo XVIII. Ello nos permite aventurar que, con excepción de los casos en los cuales la elevada salinidad impide naturalmente el abundante desarrollo de la macrofitia y el desarrollo autosostenido de ciertas especies de

peces, el estado natural de las lagunas pampeanas era uno dominado por una macrofitia altamente diversa, con el P como factor limitante de la producción acuática, de aguas relativamente más claras, y con comunidades de peces más balanceadas. El estado actual de laguna “turbia”, hipertrófica, y con comunidades de peces dominadas por planctívoros, es producto del accionar de los humanos y altamente dependiente de la intensidad de uso de la tierra en sus drenajes. Por último, las lagunas “altamente turbias” constituyen un estado avanzado de hipertrofia, caracterizado por una baja relación nitrógeno:fósforo, frecuentes floraciones algales, alta abundancia de peces planctívoros y frecuentes mortandades generalizadas de peces.

En la planicie pampeana, el tipo e intensidad del uso de la tierra se están modificando aceleradamente. La “agriculturización” intensiva de la planicie pampeana está conduciendo a que los ecosistemas terrestres estén cada vez más fragmentados mientras los ecosistemas acuáticos estén siendo constantemente drenados o convertidos en sistemas hipertróficos altamente turbios. El humedal pampeano, bajo condiciones naturales,

experimenta frecuentes desagües anuales e interanuales. El drenaje extendido y la degradación de los humedales han provocado la disminución, y aún la eliminación, de una parte importante del componente temporal del humedal. La conjunción de características externas, drenajes ubicados en suelos naturalmente ricos en nutrientes y la intensidad de uso de la tierra, nos permite explicar las elevadas biomásas de las comunidades bióticas de las lagunas. Consecuentemente, tales biomásas se muestran como alta y significativamente relacionadas con las concentraciones de nutrientes totales en la columna de agua. La abundancia relativa de lagunas “turbias” es sustancialmente importante en las zonas con mayor intensidad de uso de la tierra. Por otra parte, las lagunas “claras” predominan en las zonas de pastizales donde la acción antrópica es menor. Las lagunas pampeanas se sitúan en fértiles drenajes que naturalmente les aportan grandes cargas de nutrientes. Sin embargo, la acción antrópica está incrementando sustancialmente esas cargas; algunas de las lagunas presentan niveles de nutrientes que están entre los más altos reportados en la literatura para lagos naturales.

Bibliografía

- Boveri, M.B., and R. Quirós. 2002. Trophic interactions in Pampean shallow lakes: Evaluation of silverside cascading effects in mesocosm experiments. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 28: 1274-1278.
- Drago, E. and R. Quiros. 1996. The hydrochemistry of the inland waters of Argentina; a review. *Int. J. Salt Lake Res.* 4: 315-325.
- Fuschini Mejía, M.C. 1994. El agua en las llanuras. UNESCO/ORCYT. Montevideo, Uruguay. 54 p.
- Iriondo M. 1989. Quaternary lakes of Argentina. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology* 70, 81-88.
- Iriondo, M. 2004. Large wetlands of South America: a model for Quaternary humid environments. *Quaternary International* 114: 3-9.
- Izaguirre, I, and A. Vinocur. 1994. Typology of shallow lakes of the Salado River basin (Argentina), based on phytoplankton communities. *Hydrobiologia* 277: 49-62.
- Quiros, R., 1990. Factors related to variance of residuals in chlorophyll - total phosphorus regressions in lakes and reservoirs of Argentina. *Hydrobiologia*, 200/201: 343-355.
- Quiros, R., 1995. The effects of fish assemblage composition on lake water quality. *Lake and Reservoir Management*, 11: 291-298.
- Quiros, R., 1998. Fish effects on trophic relationships in the pelagic zone of lakes. *Hydrobiologia*, 361: 101-111.
- Quiros, R., and E. Drago. 1999. The environmental state of Argentinean lakes: An overview. *Lakes and Reservoirs: Research and Management* 4: 55-64.

Quiros, R., A. Rennella, M. Boveri, J.J. Rosso y A. Sosnovsky. 2002. Factores que afectan la estructura y el funcionamiento de las lagunas pampeanas. *Ecología Austral* 12: 175-185.

Quiros, R., J.J. Rosso, A. Rennella, A. Sosnovsky y M. Boveri. 2002. Estudio sobre el estado trófico de las lagunas pampeanas. *Interciencia* 27: 584-591.

Rennella, A.M., and R. Quirós. 2002. Relation between planktivorous fish and zooplankton in two very shallow lakes of the Pampa Plain. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 28: 887-891.

Ringuelet, R.A. 1962. *Ecología Acuática Continental*. EUDEBA, Buenos Aires, Argentina. 138 p.

Ringuelet, R.A., A. Salibián, E. Claverie, y S. Ilhero. 1967. *Limnología química de las lagunas*

pampásicas (provincia de Buenos Aires). *Physis* XXVII: 201-221.

Soriano, A., 1992. Rio de la Plata grasslands (p. 367-407). *In* R. T. Coupland (ed.) *Ecosystems of the world 8A. Natural grasslands. Introduction and western hemisphere*, Elsevier, New York, USA.

Tricart, J.F.L. 1973. *Geomorfología de la Pampa Deprimida*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Buenos Aires, Argentina. 202 p.

Vervoorst, F.B. 1967. Las comunidades vegetales de la Depresión del Salado (Provincia de Buenos Aires). *En* La vegetación de la República Argentina. Serie Fitogeográfica 7. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Buenos Aires, Argentina. 219 p.