

Comparación ambiental, mediante registros sedimentarios, entre las condiciones prehispánicas y actuales de un sistema lacustre

Environmental comparison, through sedimentary records, between pre-Hispanic and current conditions of a lacustrine system

MARCO CISTERNAS¹, LAURA TORRES, ROBERTO URRUTIA, ALBERTO ARANEDA & OSCAR PARRA

Centro Eula-Chile, Universidad de Concepción, e-mail: mcisterv@udec.cl

RESUMEN

Se comparan, a través de registros sedimentarios, palinológicos y diatomológicos, dos momentos de la historia ambiental del sistema lacustre de San Pedro. El primero, corresponde al periodo prehispánico, representando a las condiciones prístinas o línea base del sistema. El segundo periodo, el más reciente, representa aproximadamente a los últimos diez años de intervención antrópica. Para lograr lo anterior, se recolectaron muestras verticales de sedimento del fondo en los dos lagos del sistema lacustre de San Pedro (Lagunas Grande y Chica). Se realizaron análisis cronológicos (C^{14}), palinológicos y diatomológicos de los estratos superiores e inferiores de la columna sedimentaria. Los resultados indican que el sistema lacustre de San Pedro ha experimentado drásticos cambios desde la llegada de los españoles, evolucionando desde una cobertura vegetal natural, predominantemente nativa, a una fuerte presión de uso forestal. Del mismo modo, el estado cualitativo del agua presenta una variación en sus características tróficas, reconociéndose una evolución desde aguas oligotróficas a eutróficas, en Laguna Grande, y de oligotrofia a mesotrofia en Laguna Chica. Finalmente, se propone la incorporación del análisis de los registros sedimentarios en los estudios ambientales y planes de manejo de los sistemas lacustres. De esta forma será posible conocer la línea base (condiciones prehispánicas) y la respuesta del ecosistema acuático a las influencias antrópicas.

Palabras clave: comparación ambiental, registros sedimentarios, diatomeas, polen, lagos.

ABSTRACT

Two moments of the environmental history of San Pedro lacustrine system are compared through sedimentary, pollen and diatom records. The first one corresponds to the pre-Hispanic period, representing the pristine conditions or background of the system. The second period, more recently, represents the human disturbance conditions during the late ten years. To achieve the above mentioned, sediment cores were collected from the bottom of two lakes that conform the San Pedro lacustrine system (Laguna Grande and Chica). Chronological (C^{14}), pollen and diatom analysis of superior and inferior layers of the cores were carried out. The results indicate that the San Pedro lacustrine system has undergone drastic changes since Spanish settlement. Evolving from a natural vegetation, predominantly native, to an intense pressure of forestry use. In the same way, the qualitative water state presents a variation in its trophic features, showing a evolution from oligotrophic to eutrophic waters in Laguna Grande and from oligotrophic to mesotrophic in Laguna Chica. Finally, it is suggested the incorporation of sedimentary records analysis in the study of environmental impact and management of lakes. In this way, it will be possible to know the background (the existing pre-Hispanic conditions) and the response of aquatic ecosystem to the human influences.

Key words: environmental comparison, sedimentary records, diatoms, pollen, lakes.

INTRODUCCION

La obtención de información ambiental histórica desde los sistemas naturales es importante, ya que permite evaluar el grado de intervención humana (Smol, 1992). Sin embargo, la correcta evaluación sólo se logra cuando se conocen primero las condiciones ambientales prístinas del sistema (Charles et al. 1994).

La falta de información ambiental pretérita es un grave problema para los países subdesarrollados, cuando intentan realizar estudios de impacto ambiental, pues no cuentan con la "línea de base" del sistema. Así por ejemplo, en Chile, el interés por las problemáticas ambientales es reciente, por lo que no hay suficiente información de las condiciones prístinas (e.g., prehispánicas) de los sistemas acuáticos (Cisternas et al. 1995¹).

De acuerdo con el actual conocimiento científico, existen cuatro medios a través de los cuales es posible obtener la información de las condiciones pasadas de un sistema acuático: i) mediciones históricas, que generalmente son escasas o no utilizaron métodos estándar; ii) simulaciones computacionales, que normalmente no cuentan con la suficiente data; iii) sustituciones de espacio por tiempo, comparando al sistema en estudio

con un sistema similar no intervenido, lo que no siempre se puede conseguir; y iv) los registros sedimentarios (Charles et al. 1994).

Durante la última década se ha reconocido el valor de los sedimentos (especialmente lacustres), como almacenadores de información ambiental histórica (Flower et al. 1989, Dearing 1991, Smol 1992, Dixit et al. 1995, Auer et al. 1996, Fritz 1996). En un lago, los sedimentos decantan lentamente y con poca perturbación, archivando entre sus capas más profundas registros (físicos, químicos y biológicos) de las condiciones naturales del lago y su cuenca.

El sistema lacustre de San Pedro (VIII Región, Chile) está dotado de una vegetación particular, tanto terrestre como acuática, que sustenta a numerosas especies animales. Lamentablemente, debido a la falta de planificación, estos lagos se han convertido en áreas degradadas y con graves problemas ambientales, producidos principalmente por el poblamiento de sus áreas ribereñas. La tala y quema de bosques, la construcción de viviendas y caminos en sus riberas, entre otros, han aumentado los aportes de sedimentos y nutrientes al interior de los lagos (Parra et al. 1989²). Debido a su temprana intervención antrópica, casi paralela a la conquista española (Oliver & Zapatta 1950, Morales 1980), no se cuenta con registros relativos a sus condiciones ambientales prístinas, imposibilitándose, de este modo, la obtención de una línea base con fundamento científico.

En este contexto, la presente investigación pretende realizar una primera comparación ambiental entre las condiciones prehispánicas y actuales de Lagunas Grande y Chica de San Pedro. Esto se logrará mediante estudios geocronológicos, palinológicos y diatomológicos de los estratos sedimentarios inferiores (representando a las condiciones prístinas) y de las capas sedimentarias superficiales (condiciones actuales).

MATERIALES Y METODOS

Area de estudio

Al sur de Concepción se localiza el sistema lacustre de San Pedro (Fig. 1). Laguna Grande y Chica se insertan en la vertiente noroccidental de la

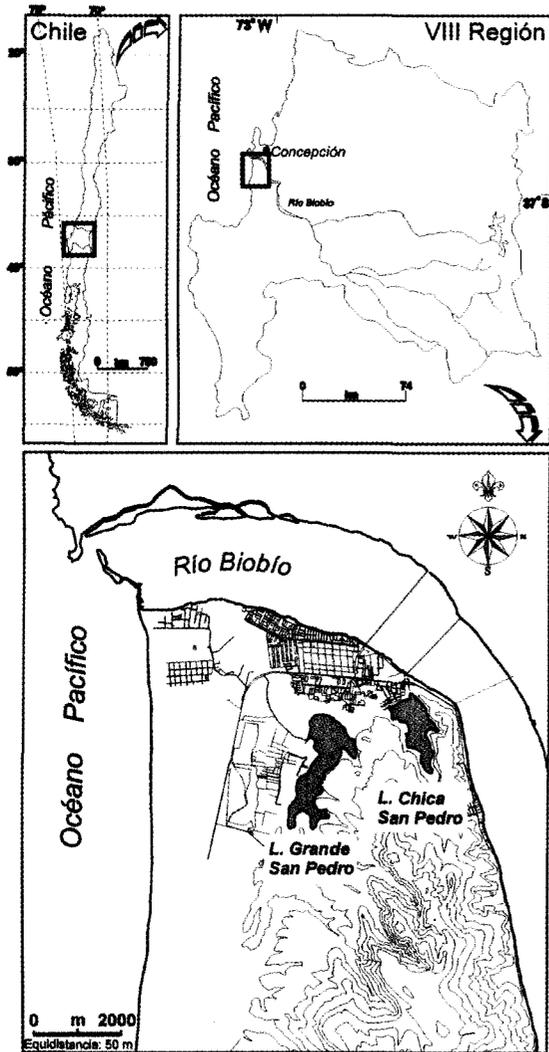


Fig. 1. Localización del sistema lacustre de San Pedro.

Location of the San Pedro lacustrine system.

¹ CISTERNAS M, H CID & C ALBORNOZ (1995) Utilización de un radioisótopo natural (Pb210) en la determinación de impacto ambiental del uso de cuencas lacustres: una propuesta de aplicación a lagos chilenos. CIPMA 5° Encuentro científico sobre el medio ambiente. Universidad de la Frontera, Temuco. pp 88-95.

² PARRA O, C JARA & F GUZMAN (1989) Las lagunas intraurbanas de Concepción: Estado actual y perspectivas de recuperación y uso. CIPMA 3° Encuentro científico sobre medio ambiente, Universidad de Concepción, Concepción. pp 301-313.

cordillera de Nahuelbuta, un cordón montañoso (400 m) metamórfico compuesto geológicamente por esquistos, filitas y gneises (Aguirre et al. 1972). Al NW de ambos lagos se desarrolla una extensa llanura sedimentaria de arenas basálticas, en que se asienta una importante zona urbana (Villa San Pedro). Laguna Grande, con una cuenca hidrográfica de 12,5 km², recibe aportes principalmente pluviales. El cuerpo de agua, con una superficie de 1,55 km², presenta una profundidad máxima de 13,5 m (8,3 m la media). Laguna Chica, inmediatamente al W de Laguna Grande, con una cuenca de 4,5 km², tiene un espejo de agua de 0,87 km² y una profundidad máxima de 17 m (10,3 m la media, Parra 1989, Leone et al. 1993).

Morfométricamente, ambos lagos están conformados por cubetas que presentan bordes de fuertes pendientes en las riberas oeste, sur y este, mientras que en las costas septentrionales se observan suaves degradaciones batimétricas (Fig. 2). Los fondos están conformados por planicies que tienen sus mayores profundidades en los sectores centrales (Cisternas 1999).

Las características batimétricas de los lagos responden a los procesos que los originaron y a los factores morfogenéticos que actúan en la actualidad. Se trata del fondo de dos quebradas cordilleranas de altas pendientes (costas abruptas), mientras que los bordes septentrionales (sua-

ves pendientes) son el resultado de la sedimentación que represó las aguas. El proceso finalizó con la formación de las planicies del fondo, producto de la colmatación realizada por los materiales aportados desde la cuenca (Cisternas 1999).

Respecto a las características limnológicas, la Tabla 1 resume la información obtenida hasta la fecha por Dellarossa et al. (1976), Parra (1989) y Scasso (1996) de Laguna Grande y Chica de San Pedro.

Metodología

Obtención de los núcleos de sedimento: Utilizando un ecógrafo, se determinó el punto de mayor profundidad en ambos lagos. Una vez estabilizada la embarcación, se recolectó un núcleo sedimentario en cada punto, mediante buceo autónomo, evitándose la resuspensión del sedimento (Fig. 2). Verticalmente, se introdujeron tubos de plexiglass, de 5 cm de diámetro por 1 m de longitud, en el substrato sedimentario, obteniéndose columnas de aproximadamente 90 cm de sedimento. Los núcleos recolectados desde Laguna Grande y Chica se denominaron LG y LCH, respectivamente.

Obtención de las muestras: Mediante la aplicación de un embolo en la parte inferior de cada núcleo se extrajo la columna de sedimento fresco.

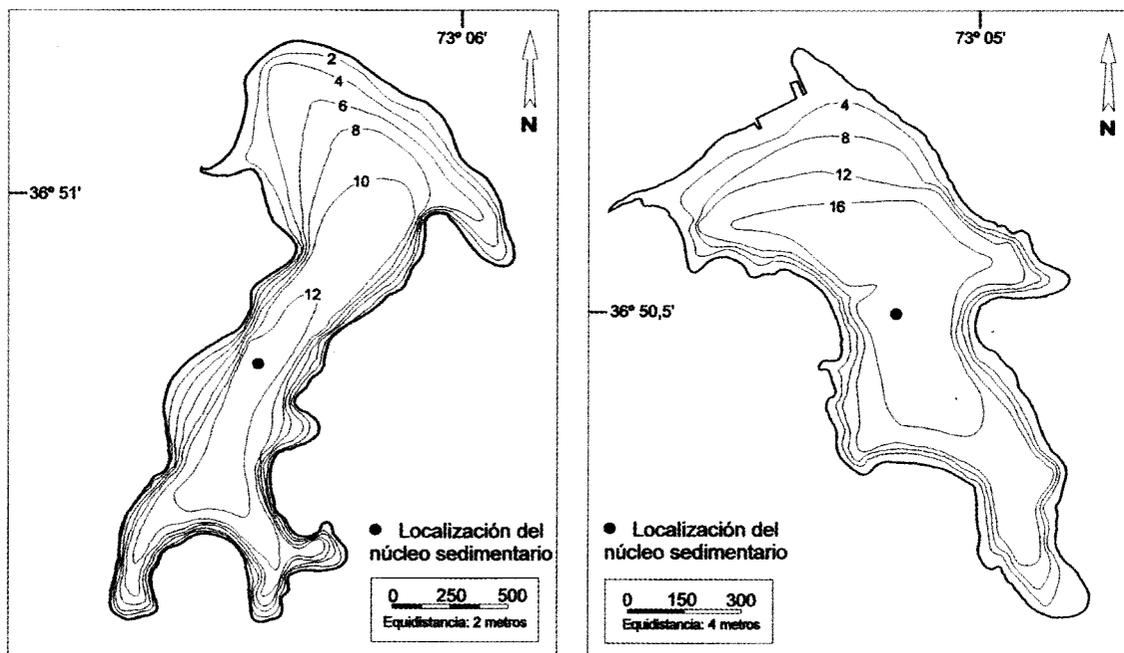


Fig. 2. Mapa batimétrico de Laguna Grande y Laguna Chica de San Pedro con los puntos de muestreo. Bathymetric map of Laguna Grande and Laguna Chica de San Pedro with the sampling sites.

Se recolectaron los centímetros superiores de LG y LCH, que contienen a los sedimentos que han sido depositados durante los últimos años, representando a las condiciones ambientales actuales. Posteriormente, se rebanaron las capas más profundas para obtener los sedimentos prehispánicos, que representan a las condiciones prístinas o de "línea base" del sistema lacustre. Considerando los estudios cronológicos (Pb^{210}) realizados por Cisternas et al. (1997), para Laguna Chica, se realizaron extrapolaciones de la cronología estratigráfica de ambos lagos, asumiendo para Laguna Grande una tasa de sedimentación similar a la de Laguna Chica. De este modo, se extrajeron desde LG y LCH los centímetros 1 y 67.

Análisis cronológico con C^{14} de los estratos inferiores: Con el fin de conocer la antigüedad real de los estratos profundos, se procedió a su fechamiento con C^{14} . Debido a la falta de macrorestos orgánicos en los sedimentos, se realizaron las dataciones mediante Espectrometría de Aceleración de Masa (AMS). Se envió parte de los estratos (1 g) al INSTAAR-AMS Radiocarbon Laboratory en la Universidad de Colorado, Estados Unidos, donde se siguieron los métodos propuestos por Karlen et al. (1968), Stuiver (1980) y Vogel et al. (1987). Este procedimiento permite realizar fechamientos de materiales con bajos contenidos de materia orgánica, pudiéndose aplicar directamente sobre sedimento. Debido a las características de las aguas del sistema lacustre y a la geología de su cuenca, la corrección del "efecto reservorio" no se consideró necesaria.

Preparación y análisis de las muestras palinológicas: Otra parte de los estratos se secó a temperatura ambiente, evitando la contaminación aérea. Se pesaron 0,5 g de sedimento homogeneizado, que posteriormente fue disgregado y sometido a un tratamiento químico con ácido clorhídrico (HCL), ácido fluorhídrico (HF), hidróxido de potasio (KOH), ácido sulfúrico (H_2SO_4) anhídrido acético y ácido acético, para la limpieza de los granos de polen (Howarbw 1964). Posteriormente, las muestras fueron lavadas y centrifugadas con agua destilada, para, finalmente, ser montadas en cubreobjetos con gelatina-glicerina.

Utilizando un microscopio fotónico, con un aumento de 1000x, se identificaron cualitativamente entre 200 y 250 palinomorfos (granos de polen y esporas), sobre una transecta arbitrariamente definida. El reconocimiento se realizó sobre la base de anteriores estudios morfológicos de polen para taxa chilenos (Heusser 1971).

Preparación y análisis de las muestras diatomológicas: De la muestra restante, se obtuvo 0,1 g de sedimento homogeneizado para los análisis diatomológicos. El material fue oxidado con ácido sulfúrico, permanganato de potasio y ácido oxálico concentrados (Hasle & Fryxell 1970). Posteriormente, se realizaron preparaciones permanentes con resina Hyrax (IR= 1,7) y se contó un mínimo de 500 valvas de diatomeas por estrato, utilizando un microscopio fotónico con aumento 1000x. La identificación taxonómica se realizó siguiendo la literatura especializada y

TABLA 1

Resumen de las características limnológicas observadas por Dellarossa et al. (1976), Parra (1989) y Scasso (1996) en Laguna grande y Chica de San Pedro

Summary of the limnological characteristics observed by Dellarossa et al. (1976), Parra (1989) and Scasso (1996) in Laguna grande y Chica de San Pedro

Parámetros	Laguna Grande			Laguna Chica		
	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo
Transparencia (m)	1,8	4,2	5,0	4,0	6,8	7,0
Temperatura superficial (°C)	10,0	18,2	23,1	10,0	17,2	23,8
pH	6,4	6,8	7,8	6,1	6,8	7,5
Conductividad (µs/cm)	59,0	99,2	190,0	68,0	80,9	90,0
Oxígeno disuelto (mg/l)	0,2	8,8	10,9	5,6	10,0	10,9
Alcalinidad (meq/l $CaCO_3$)	0,46	0,49	0,53	0,34	0,40	0,46
STD(mg/l)	42,45	52,58	71,60	36,95	42,31	53,75
P-total (µg/l)	0,002	0,040	0,748	0,003	0,002	0,530
N-total (µg/l)	0,016	0,270	0,664	0,180	0,220	0,290
	Zona fótica					
Clorofila a(µg/l)	0,90	6,42	17,0	0,90	1,20	2,08
Producción primaria (mgC/m ³ /h)	10,56	22,68	40,63	0,75	2,44	4,32

sobre la base de trabajos específicos para el área de estudio (Rivera 1970, Rivera et al. 1973, Rivera 1974, Rivera et al. 1982). El análisis cuantitativo se logró mediante la utilización de una cámara de vidrio reticulada (hemacitómetro), conteniendo un volumen conocido de muestra en solución.

Tratamiento de datos: Se determinó la diversidad taxonómica de las asociaciones de diatomeas y granos de polen mediante la adaptación del

índice de diversidad específica de Shannon y Weaver (1949):

$$H' = \sum \frac{n_i}{n} \log \frac{n_i}{n}$$

donde H' es la diversidad taxonómica, S es la sumatoria desde $i=1$ hasta s , que es el número de taxas en una muestra de la comunidad, n_i es el número de individuos de la especie i y n es el número de individuos de la muestra total.

Con la finalidad de cuantificar el grado de semejanza de las comunidades diatomológicas y polínicas, entre los periodos prehispánico y contemporáneo, se aplicó el coeficiente de Disimilitud no-métrica de Bray-Curtis (Bray & Curtis 1957):

$$d_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^s |Y_{ij} - Y_{ik}|}{\sum_{i=1}^s (Y_{ij} + Y_{ik})}$$

donde Y_{ij} = valor de la especie i en la muestra j ; Y_{ik} valor de la especie i en la muestra k ; d_{jk} disimilitud entre las muestras j y k . d_{jk} presenta un rango desde 0 (muestras idénticas) a 1 (muestras totalmente diferentes).

RESULTADOS

Laguna Chica de San Pedro

Cronología C^{14} del estrato inferior: De acuerdo al análisis de radiocarbono, que entrega resultados en años antes del presente (AP), considerando el "presente" como el año 1950, el estrato 67 de la columna LCH tiene una edad de 880 ± 35 años AP (NSRL-10642).

Polen: Como se aprecia en la Fig. 3, la vegetación de la cuenca de Laguna Chica de San Pedro, ha sufrido drásticos cambios entre los periodos temporales estudiados. En condiciones prehispánicas se observa una abundancia distribuida equitativamente entre grupos vegetacionales, mientras que en la actualidad existe un dominio casi absoluto de la especie *Pinus radiata*.

Hace 880 ± 35 AP, predominaban la familia Proteaceae (20%; Avellano y *Lomatia*) y los hongos (17%). La menor representación correspondía a *Nothofagus* (3%; Raulí, Ñirre, Coihue, Roble o Lengua), y a la familia Amaranthaceae (3%; *Alternanthera*). Ultimamente, ha existido un claro dominio de la especie *Pinus radiata* (88%; Pino), muy por debajo las Gramíneas (4%) y los

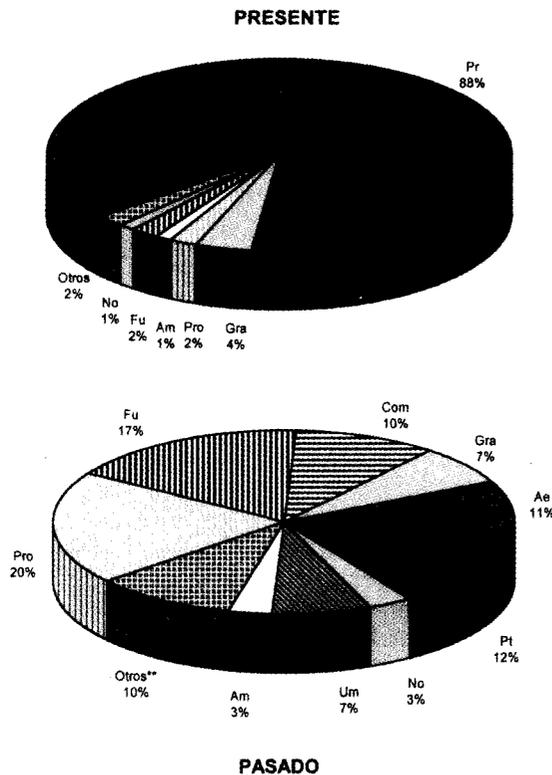


Fig. 3. Composición taxonómica del polen y esporas, bajo condiciones prehispánicas y actuales, en Laguna Chica. *Amaranthaceae* (Am); *Aextoxicon punctatum* (Ae; olivillo); *Compositae* (Com); *Fungi* (hongos; Fu); *Proteaceae* (Pro); *Gramíneas* (Gra); *Nothofagus* (No); *Pteridophyta* (Pt; helechos); *Pinus radiata* (Pr; pino); *Umbelliferae* (Um). * Incluye especies con porcentaje inferior a 1%. ** Incluye especies con porcentaje inferior a 4%.

Taxonomic composition of spores and pollen, under pre-Hispanic and current conditions at the Laguna Chica. *Amaranthaceae* (Am); *Aextoxicon punctatum* (Ae; olivillo); *Compositae* (Com); *Fungi* (Fu; hongos); *Proteaceae* (Pro); *Gramíneas* (Gra); *Nothofagus* (No); *Pteridophyta* (Pt; helechos); *Pinus radiata* (Pr; pino); *Umbelliferae* (Um). * Including species with porcentaje inferior to 1%. ** Including species with porcentaje inferior to 4%.

restantes grupos. Las representaciones minoritarias corresponden a la familia *Amaranthaceae* (1%; *Alternanthera*; *Amaranthus*) y al género *Nothofagus* (1%). Comparativamente, respecto al pasado, se reconoce la desaparición de dos familias vegetales (*Compositae* y *Umbelliferae*).

La diversidad taxonómica del polen de Laguna Chica, medida a través del índice de Shanon, fue mayor (1,1) en las condiciones prehispanicas que

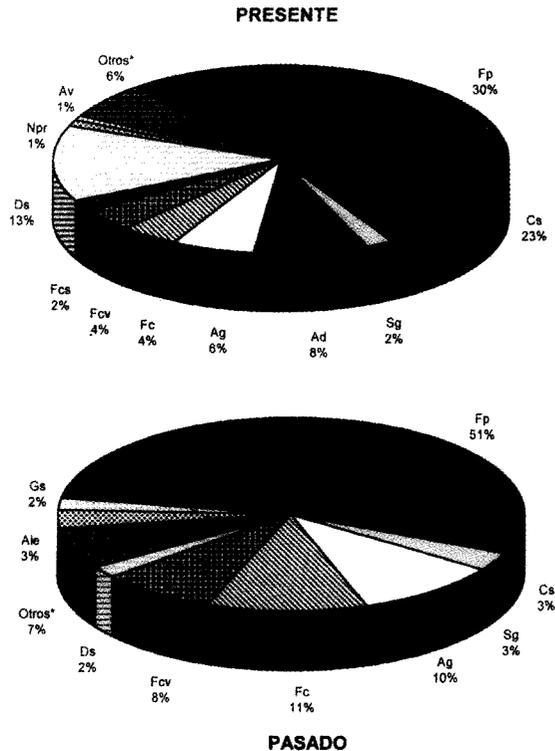


Fig. 4. Composición taxonómica de las diatomeas, bajo condiciones prehispanicas y actuales, en Laguna Chica. *Achnanthes lanceolata v. elliptica* (Ale); *Amphora veneta* (Av); *Aulacoseira distans* (Ad); *Aulacoseira granulata* (Ag); *Cyclotella stelligera* (Cs); *Diploneis subovalis* (Ds); *Fragilaria construens* (Fc); *Fragilaria construens v. subsalina* (Fcs); *Fragilaria construens v. venter* (Fcv); *Fragilaria pinnata* (Fp); *Gyrosigma spencerii* (Gs); *Navicula pupula v. rectangularis* (Npr); *Surirella guatemalensis* (Sg). * Incluye especies con porcentaje inferior a 1%.

Taxonomic composition of the diatoms, under pre-Hispanic and current conditions at the Laguna Chica. *Achnanthes lanceolata v. elliptica* (Ale); *Amphora veneta* (Av); *Aulacoseira distans* (Ad); *Aulacoseira granulata* (Ag); *Cyclotella stelligera* (Cs); *Diploneis subovalis* (Ds); *Fragilaria construens* (Fc); *Fragilaria construens v. subsalina* (Fcs); *Fragilaria construens v. venter* (Fcv); *Fragilaria pinnata* (Fp); *Gyrosigma spencerii* (Gs); *Navicula pupula v. rectangularis* (Npr); *Surirella guatemalensis* (Sg). * Including species with percentage lower than 1%.

en la actualidad (0,2). De este modo, es posible inferir que la comunidad vegetal de la cuenca fue más diversa que la actual. Además, la composición polínica presentó un alto grado de disimilitud entre los periodos estudiados (0,88). De acuerdo a esto, se puede afirmar que tanto cualitativa como cuantitativamente la composición de la cobertura vegetal ha sido modificada en más de un 80%, durante los últimos 880 ± 35 años AP.

Diatomeas: En Laguna Chica, el cambio en composición y abundancia relativa de las comunidades de diatomeas no ha sido drástico (Fig. 4). En ambas condiciones temporales se observa el predominio de la especie *Fragilaria pinnata*, disminuyendo de 51%, en el pasado, a 30% en el presente. Sin embargo, se reconocen notorias modificaciones en las especies co-dominantes. Hace 880 ± 35 AP co-predominaban las especies *Fragilaria construens* (11%) y *Aulacoseira granulata* (10%), mientras que en los sedimentos superficiales lo hacen *Cyclotella stelligera* y *Diploneis subovalis* con 23% y 13%, respectivamente. Las especies minoritarias en condiciones prehispanicas son *Gyrosigma spencerii* (2%) y *Diploneis subovalis* (2%), en cambio, actualmente lo son *F. construens v. subsalina* (2,3%) y *Surirella guatemalensis* (1,8%). Es interesante reconocer que *Diploneis subovalis* incrementa en 11% su presencia actual.

La abundancia absoluta de las comunidades diatomológicas de Laguna Chica, durante las condiciones ambientales prehispanicas, alcanzó a 77×10^5 valvas por gramo de sedimento, aumentando a más del doble en la actualidad (192×10^5 valvas). Las formas de vida (bentónicas/planctónicas) de las diatomeas presentaron una inversión entre ambos periodos temporales. Hace 880 ± 35 años AP predominaban las especies bentónicas (68%), mientras que en la actualidad lo hacen las especies planctónicas (60%).

En tiempos prehispanicos, las comunidades de diatomeas presentaban un índice de diversidad de 1,8, mientras que en la actualidad lo han disminuido notoriamente (0,85). Paralelamente, el grado de disimilitud entre las diatomeas existentes 880 ± 35 años AP y las recientes alcanza a 0,46. De acuerdo a esto, casi la mitad de las especies han sido reemplazadas, cualitativa o cuantitativamente, por otras nuevas.

Laguna Grande de San Pedro

Cronología C^{14} del estrato inferior: El análisis de radiocarbono entregó, para el estrato inferior de la columna sedimentaria LG, una edad de 1970 ± 35 años AP (NSRL-10641).

Polen: Los resultados del análisis palinológico de los sedimentos de Laguna Grande muestran una evolución similar a la de Laguna Chica (Fig. 5). Se reconoce un reemplazo de la flora nativa por vegetación exótica, evolucionando, desde abundancias distribuidas equitativamente entre

las diferentes especies, a la dominancia mayoritaria de una.

Hace 1970 ± 35 años AP, la cuenca del lago presentaba un predominio de hongos (30%) y de gramíneas (28%); le seguían el Olivillo (*Aextoxicon punctatum*; 7%), la familia Umbelliferae (5%) y los helechos (5%). Presencia minoritaria tenía la familia Proteaceae (2%; *Gevuina* y *Lomatia*). Es interesante reconocer que esta última familia predominaba en Laguna Chica, siendo minoritaria en Laguna Grande. Una situación inversa ocurría con las gramíneas, que antiguamente presentaban abundancia minoritaria en Laguna Chica, mientras que en Laguna Grande aparecían como dominantes. Esta diferencia podría ser explicada por la distancia temporal existente entre ambas muestras basales. En la actualidad, existe en Laguna Grande un dominio total de *Pinus radiata* (89%), quedando muy por debajo el resto de los grupos.

La diversidad polínica de Laguna Grande presenta una evolución similar a la de Laguna Chica. Un índice de diversidad alto (1,1) en condiciones prehispánicas que disminuye a 0,21 en el presente. Sobre la base de lo anterior, es posible afirmar que la vegetación de la Laguna Grande fue mucho más diversa que la actual. Del mismo modo, la disimilitud del polen presente en ambos estratos de LG fue extremadamente alta (0,96). Estos resultados indicarían una enorme transformación de la cobertura vegetal de la cuenca, determinada por la presencia de las plantaciones forestales.

Diatomeas: A diferencia de Laguna Chica, la composición y abundancia relativa de las comunidades diatomológicas de Laguna Grande presentan un drástico cambio entre los períodos en estudio (Fig. 6). 1970 ± 35 años AP, se reconoce el dominio de la especie *F. pinnata* con una abundancia de 38%; co-dominando *F. construens v. venter* (14%). Sin embargo, en la actualidad, *F. pinnata* se reduce sólo a un 5%, dominando mayoritariamente *A. granulata*, con más de la mitad del total (58%), muy por debajo co-dominan *Cyclotella operculata* (12%) y *Cyclotella stelligera* (5,4%).

La abundancia absoluta de diatomeas en Laguna Grande, aumentó drásticamente en más de 10 veces, entre 34×10^5 valvas por gramo de sedimento, en tiempos prehispánicos, y 372×10^5 valvas en la actualidad. Esta enorme diferencia no es comparable con los resultados de Laguna Chica, en la cual las valvas sólo se duplicaron. En forma similar a Laguna Chica, las formas de vida de las diatomeas de Laguna Grande se invirtieron, evolucionando de bentónicas (65%), en el pasado, a planctónicas (79%) en el presente.

Hace 1970 ± 35 años AP, la diversidad de la comunidad de diatomeas fue mayor (2,1) que la

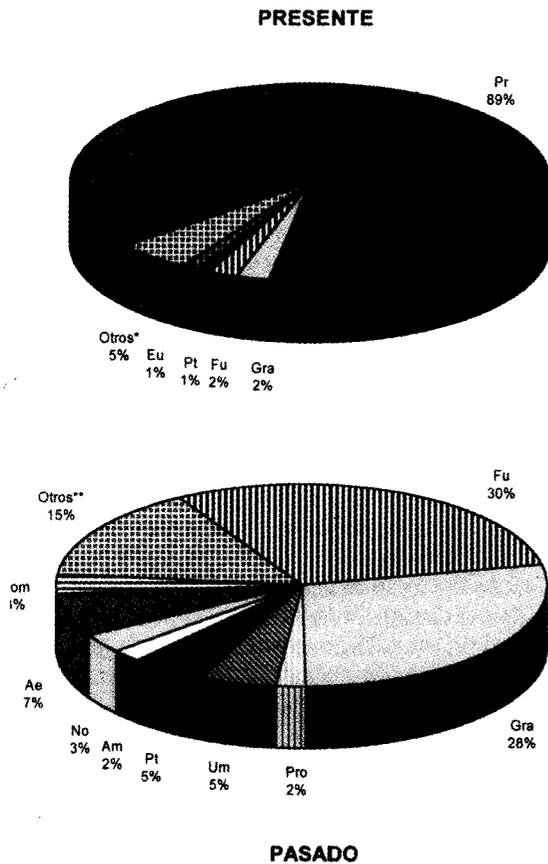


Fig. 5. Composición taxonómica del polen y esporas, bajo condiciones prehispánicas y actuales, en Laguna Grande. *Amaranthaceae* (Am); *Aextoxicon punctatum* (Ae; olivillo); *Compositae* (Com); *Eucaliptus* sp. (Eu; eucalipto); *Fungi* (hongos; Fu); *Proteaceae* (Pro); *Gramíneas* (Gra); *Nothofagus* (No); *Pteridophyta* (Pt; helechos); *Pinus radiata* (Pr; pino); *Umbelliferae* (Um). *Incluye especies con porcentaje inferior a 1%. ** Incluye especies con porcentaje inferior a 4%.

Taxonomic composition of spores and pollen, under pre-Hispanic and current conditions at the Laguna Grande. *Amaranthaceae* (Am); *Aextoxicon punctatum* (Ae; olivillo); *Compositae* (Com); *Eucaliptus* sp. (Eu; eucalipto); *Fungi* (hongos; Fu); *Proteaceae* (Pro); *Gramíneas* (Gra); *Nothofagus* (No); *Pteridophyta* (helechos; Pt); *Pinus radiata* (Pr; pino); *Umbelliferae* (Um). * Including species with percentage lower than 1%. ** Including species with percentage lower than 4%.

observada actualmente en Laguna Grande (1,6). Del mismo modo, la disimilitud de las poblaciones es bastante alto (0,71), demostrando que la composición taxonómica del sistema ha cambiado casi completamente, a diferencia de lo acontecido en laguna Chica (0,46).

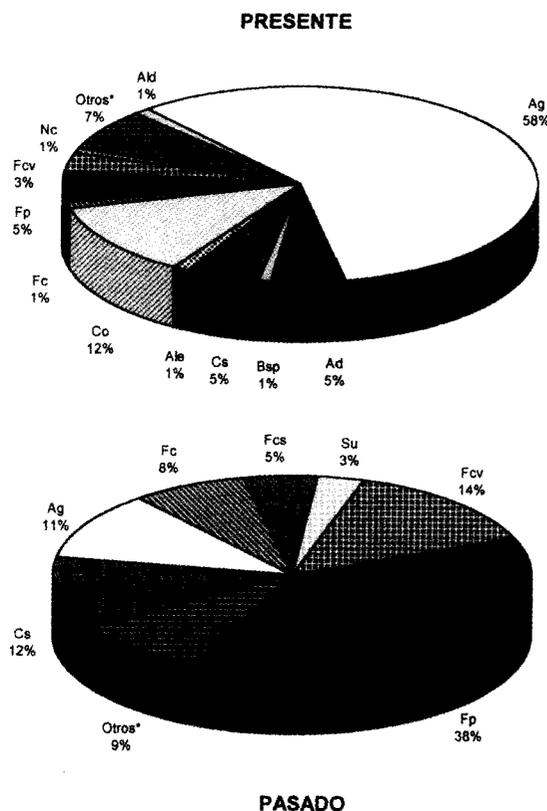


Fig. 6. Composición taxonómica de las diatomeas, bajo condiciones prehispánicas y actuales, en Laguna Grande. *Achnanthes lanceolata v. dubia* (Ald); *Achnanthes lanceolata v. elliptica* (Ale); *Aulacoseira distans* (Ad); *Aulacoseira granulata* (Ag); *Bacillaria sp.* (Bsp); *Cyclotella stelligera* (Cs); *Cyclotella operculata* (Co); *Fragilaria construens* (Fc); *Fragilaria construens v. subsalina* (Fcs); *Fragilaria construens v. venter* (Fcv); *Fragilaria pinnata* (Fp); *Navicula cocconeiformis* (Nc); *Synedra ulna* (Su). * Incluye especies con porcentaje inferior a 1%.

Taxonomic composition of the diatoms, under pre-Hispanic and current conditions at the Laguna Grande. *Achnanthes lanceolata v. dubia* (Ald); *Achnanthes lanceolata v. elliptica* (Ale); *Aulacoseira distans* (Ad); *Aulacoseira granulata* (Ag); *Bacillaria sp.* (Bsp); *Cyclotella stelligera* (Cs); *Cyclotella operculata* (Co); *Fragilaria construens* (Fc); *Fragilaria construens v. subsalina* (Fcs); *Fragilaria construens v. venter* (Fcv); *Fragilaria pinnata* (Fp); *Navicula cocconeiformis* (Nc); *Synedra ulna* (Su). * Including species with percentage lower than 1%.

DISCUSION

Los resultados obtenidos muestran que el sistema lacustre de San Pedro ha experimentado drásticos cambios ambientales entre los dos períodos estudiados. Los registros biológicos (diatomeas, polen y esporas), almacenados en los sedimentos, indican en general una degradación del sistema acuático en su conjunto (cuenca y lago).

Los registros históricos indican que el accionar indígena sobre la región localizada al sur del río Biobío, fue mínimo, comparativamente con lo ocurrido a la llegada de los españoles (Bengoa 1991). Por lo anterior, es posible afirmar que los sedimentos profundos contienen información (vegetacional y de calidad del agua) de las condiciones prístinas del sistema lacustre, mientras que el estrato superior representa las características ambientales actuales de intervención.

Cambios vegetacionales

En el presente análisis, se considera que el polen encontrado en los sedimentos es, en gran medida, dependiente de las condiciones de la vegetación en la cuenca de drenaje, pues la lluvia polínica que recibe el lago ofrece una buena representación de la vegetación regional (Dupré 1992).

Los resultados polínicos indican que la cuenca del sistema lacustre sufrió la desaparición casi completa de la vegetación nativa, siendo reemplazada, por flora exótica, específicamente, monocultivos forestales de *Pinus radiata*. De este modo, se observa, en el pasado, una mayor diversidad de taxa que en la actualidad, situación corroborada por la baja similitud que entregan los índices de ambos estratos. La predominancia de los hongos, durante las condiciones prístinas, permite bosquejar las características que debió presentar la cubierta vegetal prehispánica. Un bosque con dosel cerrado y alta humedad, que permitía el crecimiento de hongos y helechos, es decir, un ecosistema muy diferente al actual. Al disminuir la diversidad, es posible suponer que también se alteran las relaciones tróficas, parasitismo, simbiosis y otras interacciones biológicas, produciéndose el empobrecimiento ecológico del sistema. Según Margalef (1995), la disminución de la cobertura vegetal provoca una disminución de nichos ecológicos y, por lo tanto, de la diversidad faunística (i.e., insectos, reptiles, anfibios, mamíferos y aves).

La calidad del registro sedimentario polínico puede ser evaluada mediante la comparación con estudios vegetacionales realizados en el área de estudio. Barrientos (1990), sobre la base de la vegetación relictiva actual, propone que en la cuenca de Laguna

Chica existían, en el periodo prehispánico, el Olivillo (*Aextoxicon punctatum*), Peumo (*Cryptocarya alba*), Boldo (*Peumus boldus*), Avellano (*Gevuina avellana*) y Arrayán (*Luma apiculata*). De estos, el análisis polínico ha reconocido la presencia del Olivillo, Avellano y Arrayán omitiendo al Peumo y Boldo. Tres hipótesis podrían explicar esta diferencia: i) que la vegetación relictas no es un buen indicador de las condiciones pretéritas, por ser un ambiente degradado; ii) que el análisis polínico no ha sido capaz de detectarlas, sea por el proceso de transporte del polen al sedimento o por la degradación química post-depositacional de la exina; y iii) que la acetólisis haya destruido a las exinas más frágiles durante el análisis.

En el sentido anterior, Barrientos (1990) propone, para el período prehispánico, la ausencia del género *Nothofagus*; sin embargo el análisis polínico del sedimento lo detecta, aun cuando en porcentajes (ca., 3%) que no demuestran necesariamente su presencia local. A pesar de lo anterior, Neger (1897), quien realiza a fines del siglo XIX un estudio vegetacional en las cuencas de San Pedro, reconoce la presencia del taxa.

Cambios en la calidad del agua

Las modificaciones estructurales en las comunidades de diatomeas, organismos altamente sensibles a los cambios tróficos (Lami et al. 1986, Whitmore 1989, Anderson et al. 1993), evidencian una drástica evolución entre las condiciones pasadas y presentes de ambos lagos. El género *Fragilaria*, indicador de aguas oligotróficas a mesotróficas (Rivera 1974, Parra 1989), predomina en los sedimentos antiguos de ambos lagos. Actualmente en Laguna Chica, este género, a pesar de disminuir, se mantiene entre las predominantes. En cambio en Laguna Grande ha sido reemplazada por *A. granulata*, una especie de amplio rango trófico, dominante en lagos chilenos tanto oligotróficos (Campos et al. 1987, Campos et al. 1990, Campos et al. 1992) como eutróficos (Rivera 1974, Parra et al. 1980, Parra et al. 1986, Parra 1989). Las especies co-dominantes, en ambos lagos, han sido reemplazadas por taxa (*C. operculata*, *D. subovalis*) que se observan generalmente asociadas a sistemas eutroficados (Rivera 1973).

El índice de disimilitud entre las comunidades de diatomeas, en los dos sistemas, demuestra las diferencias cuali y cuantitativas, entre las poblaciones existentes en los períodos estudiados. La mayor diferencia es la desaparición de las especies que presentaban una baja abundancia durante condiciones prístinas (e.g., *S. ulna*, *G. spencerii*, *A. lanceolata* v. *elliptica*). Probablemente, la al-

teración progresiva de la calidad del agua y por lo tanto la modificación de sus parámetros físicos y químicos, afectaron a las especies minoritarias haciéndolas desaparecer, lo que significaría que el estado cada vez más alterado del agua llevaría a la exclusión de las especies con poca presencia. Contrariamente, las especies que tenían una mayor presencia (e.g., *F. construens* v. *venter*, *C. stelligera*, *F. construens*, *A. granulata*) sólo han modificado su abundancia, sin desaparecer.

Ambos lagos presentan una disminución de sus índices de diversidad entre la condición prehispánica y actual. Ecológicamente, la disminución de la diversidad es producto de alteraciones en los sistemas naturales. De este modo, el índice, se ha utilizado ampliamente para realizar evaluaciones del estado ambiental de los ecosistemas dulceacuicolas, que generalmente presentan un rango de entre 0 y 5 (Branco 1984). Basándose en lo anterior, el sistema lacustre muestra índices relativamente bajos, incluso en el periodo prehispánico. Sin embargo, en la actualidad presentan menores diversidades, especialmente en el caso de Laguna Chica (0,85), que de acuerdo a Margalef (1995) es un índice típico de lagos eutroficados.

Normalmente, un aumento en la abundancia de las diatomeas, es un indicador del incremento de nutrientes (Whitmore 1989; Stoerner & Andresen 1992). De esta forma, la drástica multiplicación de las abundancias absolutas demuestra el aumento de los nutrientes disponibles en el agua, especialmente en Laguna Grande, donde la abundancia se ha multiplicado en más de diez veces.

En los dos lagos se observa una inversión en las formas de vida de las diatomeas, evolucionando desde bentónicas, bajo condiciones prehispánicas, a planctónicas en la actualidad. Generalmente, en un lago que no ha sufrido importantes cambios en el nivel de sus aguas, las especies bentónicas se encuentran asociadas a cuerpos acuáticos con una alta transparencia, e inversamente, las especies planctónicas lo hacen con aguas ricas en materiales suspendidos. Así, es posible inferir que en ambos lagos ha aumentado la turbidez del agua, corroborando, en alguna medida, el aumento de los nutrientes propuesto (Engstrom et al. 1985, Margalef 1995). Probablemente, este aumento en la carga de nutrientes se produjo por el lavado de la cuenca debido a la escorrentía superficial una vez perdida la cobertura vegetal original (Field et al. 1996).

Cambios en el sistema lacustre de San Pedro

Las modificaciones vegetacionales, ocurridas en la cuenca de ambos lagos, aparentemente afecta-

ron la calidad del agua. Tanto la vegetación de la cuenca, como las comunidades de diatomeas muestran cambios entre las condiciones prístinas y las actuales. Los índices biológicos de ambos compartimentos (cuenca y lago) presentan una tendencia a la degradación; menor diversidad específica en la cobertura vegetal e indicios de eutroficación al interior de los cuerpos lacustres.

Lara et al. (1995) destaca la importancia de mantener la vegetación nativa de una cuenca, esto principalmente por el hecho de que los mecanismos de retención de nutrientes están directamente asociados a la existencia de la comunidad boscosa original. De este modo, la remoción de la cobertura vegetal original, habría generado un desequilibrio en el balance de nutrientes. Principalmente, mediante la liberación de estos elementos desde los suelos de la cuenca hacia el lago. Los bosques costeros chilenos, reciben un escaso o nulo aporte de nutrientes desde la atmósfera por precipitación húmeda y seca, por lo que necesitan obtenerlo mayoritariamente desde el suelo (Pérez 1995). Sin embargo, el basamento rocoso cordillerano costero (e.g., Nahuelbuta), por ser muy antiguo (500-560 millones de años), está conformado por rocas altamente meteorizadas que contienen bajos niveles de nutrientes y minerales disponibles. En estas condiciones, el bosque nativo original, con sus procesos biológicos de retención, absorción y reciclaje de nutrientes, adquiere una importancia crucial para la sustentabilidad del ecosistema (Pérez 1995). Desde este punto de vista, probablemente la presencia de pino, con diferentes ciclos biológicos a los de la vegetación nativa, estaría desequilibrando el mecanismo de retención de nutrientes en la cuenca y favoreciendo el arrastre de éstos hacia lago.

A pesar de lo anterior, los parámetros biológicos utilizados indican que los lagos estudiados no han tenido una evolución exactamente similar. Laguna Grande de San Pedro evidencia haber sufrido un cambio más drástico, pasando desde un estado oligotrófico a uno eutrófico. En cambio, Laguna Chica muestra una evolución de oligotrofia a mesotrofia, a pesar de haber estado sometida al mismo nivel de intervención histórica debido a su cercanía geográfica con Laguna Grande. Un sinnúmero de factores podrían explicar estas diferencias (e.g., profundidad del lago, tasa de recambio de las aguas, cadenas tróficas); sin embargo, la principal diferencia que presentan los dos cuerpos acuáticos es la relación entre las áreas de la cuenca y del lago. Mientras mayor sea el tamaño de la cuenca (C) respecto al área del espejo de agua (L), más sensible es el lago a las

modificaciones de la vegetación natural de la cuenca y al aporte de nutrientes (Soto & Campos 1995). Coincidiendo con el supuesto anterior, Laguna Grande presenta un índice C/L mayor que Laguna Chica (8 y 5 respectivamente).

Otro factor preponderante en la regulación de los nutrientes al interior de los cuerpos lacustres, es el tiempo de renovación de sus aguas. Mientras mayor sea el tiempo de retención, mayor será el efecto de los nutrientes sobre los procesos biológicos y químicos en la columna de agua. Los dos lagos estudiados cuentan con diferentes tiempos de renovación de sus aguas, Laguna Grande requiere de 24 meses, en cambio Laguna Chica lo hace en 18 meses (Parra 1989).

Un tercer factor, que podría estar explicando los diferentes niveles de eutroficación de los lagos, es que Laguna Chica entrega sus aguas, por lo menos en invierno, a Laguna Grande, es decir, este último cuerpo además de recibir la escorrentía de su propia cuenca, recepciona aguas provenientes desde otro sistema, multiplicando estacionalmente el área de su cuenca de drenaje.

Una cuarta variable que debe considerarse, quizás la más importante, es la influencia del desarrollo urbano en los alrededores de Laguna Grande. Hacia la década del sesenta se construye Villa San Pedro, con más de 2000 viviendas, en el sector norte de la cuenca. Parra (1989), propone que el grado de eutroficación de este lago fue acelerado en gran medida por el aporte de nutrientes provenientes de los desagües de aguas servidas. Los residuos domésticos líquidos de las zonas bajas de Villa San Pedro son conducidos por gravedad hacia plantas elevadoras que impulsan el caudal hacia el río Biobío. Estas redes tienen tres rebalses de emergencia que desembocan en el lago. Las plantas elevadoras han sufrido fallas en su funcionamiento, produciendo grandes descargas de material orgánico hacia el lago (Scasso 1996). Por otro lado, la evacuación de aguas lluvias de una parte de la Villa de San Pedro se hace directamente hacia el cuerpo lacustre. Este caudal arrastra desechos de las calles y eventualmente se mezclan con las aguas del alcantarillado doméstico por filtraciones, debido a que ambos sistemas recorren el área urbana en forma paralela (Parra 1989). Durante los últimos diez años, ambos lagos han sido invadidos por una población de *Egeria densa* Planch, reafirmando las evidencias de un proceso de eutroficación en evolución. Laguna Grande fue la primera en presentar este rasgo distintivo de degradación ambiental (Parra 1989).

Finalmente, es necesario destacar la utilidad que tiene la metodología propuesta para los estudios ambientales en nuestro país, que presenta las

condiciones óptimas para su aplicación, debido a que en Chile, comparativamente con lo acontecido en Europa, el impacto antrópico sobre los sistemas naturales es sumamente reciente. De acuerdo a los resultados, es posible afirmar que los sedimentos prehispánicos han sido capaces de archivar las condiciones de línea base del sistema lacustre estudiado. Por lo anterior, es necesario que en Chile se realicen estas investigaciones antes de planificar el manejo de las cuencas, incluyéndolas en los estudios ambientales de los sistemas lacustres, para poderlos analizar desde su estado natural, información aparentemente perdida, hasta su estado actual.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido financiada por los Proyectos FONDECYT N° 1980529 y DIUC N° 96310021-1.1. Deseamos expresar nuestros agradecimientos al Dr. Clodomiro Marticorena por su constante ayuda en la identificación de los palinómorfos encontrados.

LITERATURA CITADA

- AGUIRRE L, F HERVE & E GODOY (1972) Distribution of metamorphic facies in Chile. *Kristallinum* 9: 7-19.
- ANDERSON N, B RIPPEY & C GIBSON (1993) A comparison of sedimentary and diatom-inferred phosphorus profile: implications for defining pre-disturbance nutrient conditions. *Hydrobiologia* 253: 357-366.
- AUER M, A JOHNSON, M PENN & S EFFLER (1996) Pollutant sources, depositional environment, and surficial sediments of Onongada lake, NY. *Journal of Environmental Quality* 25: 46-55.
- BARRIENTOS JC (1990) Estructura y dinámica de la vegetación en la hoya hidrográfica de la Laguna Chica de San Pedro. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Biológicas y Recursos Naturales, Universidad de Concepción, Concepción. 23 pp.
- BENGOA J (1991) Historia del pueblo Mapuche (siglos XIX y XX). Ediciones Sur, Santiago. 426 pp.
- BRANCO SM (1984) Limnología sanitaria, estudio de la polución de aguas continentales. Monografía de la Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos, Washington D.C. (28). 106 pp.
- BRAY JR & JT CURTIS (1957) An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin. *Ecology Monography* 27: 325-349.
- CAMPOS H, W STEFFENS, G AGÜERO, O PARRA & L ZUÑIGA (1987) Limnology of lake Llanquihue. *Limnológica* 18: 339-345.
- CAMPOS H, W STEFFENS, G AGÜERO, O PARRA & L ZUÑIGA (1990) Limnology study of lake Todos los Santos (Chile). Morphometry, physics, chemistry, plankton and primary productivity. *Archiv für Hydrobiologie* 117:453-484.
- CAMPOS H, W STEFFENS, G AGÜERO, O PARRA & L ZUÑIGA (1992) Limnology of lake Ranco (Chile). *Limnológica* 22: 337-353.
- CHARLES DF, JP SMOL & DR ENGSTROM (1994) Paleolimnological approaches to biological monitoring. En: Loeb S & A Spacie (eds) *Biomonitoring of freshwater Ecosystems*: 233-293. CRS Press, Boca Raton, FL.
- CISTERNAS M, A ARANEDA, O RETAMAL & R URRUTIA (1997) Variaciones históricas en las tasas de erosión-sedimentación de un cuerpo lacustre antropizado: utilización de geocronología radioisotópica. *Revista de Geografía Norte Grande (Chile)* 24: 151-156.
- CISTERNAS M (1999) Evidencias sedimentarias de intervención antrópica en los suelos de una pequeña cuenca lacustre durante los últimos 50 años (San Pedro de la Paz, VIII Región, Chile). Tesis de Doctorado. Escuela de Graduados, Universidad de Concepción, Concepción. 130 pp.
- DEARING J (1991) Lake sediments records of erosional processes. *Hydrobiologia* 214: 99-106.
- DELLAROSSA V, E UGARTE & O PARRA (1976). Estudio limnológico de las Lagunas Chica de San Pedro, La Posada y Lo Méndez. II. Aspectos cuantitativos del plancton invernal y su relación con algunas características físicas y químicas del Ambiente. *Boletín Sociedad de Biología de Concepción (Chile)* 50: 87-101.
- DIXIT SS, AS DIXIT, JP SMOL & W KELLER (1995) Reading the records stored in the lakes sediments: A method of examining the history and extent of industrial damage to lakes. En: Gunn JM (ed) *Restoration and recovery of an industrial region*: 33-44. Springer-Verlag, New York.
- DUPRE M (1992) Palinología. Geoforma Ediciones, Zaragoza, España. 30 pp.
- ENGSTROM D, E SWAIN & J KINGSTON (1985) A paleolimnological record of human disturbance from Harvey's Lake, Vermont, geochemistry, pigments and diatoms. *Freshwater Biology* 15: 261-288.
- FIELD CK, PA SILVER & A LOTT (1996) Estimating the effects of changing land use patterns on Connecticut lakes. *Journal of Environmental Quality* 25: 325-333.
- FLOWER RJ, A STEVENSON, JA DEARING, ID FOSTER, B RIPPEY, JP WILSON & PG APPLEBY (1989) Catchment disturbance inferred from paleolimnological studies of three contrasted sub-humid environments in Morocco. *Journal of Paleolimnology* 1: 293-322.
- FRITZ SC (1996) Paleolimnological records of climatic change in North America. *Limnology and Oceanography* 45: 882-889.
- LAMI A, D RUGGIU, P GUILIZZONI & P PANZANI (1986) Paleolimnology of the eutrophic lake Varesse (Northern Italy). I Subfossil diatoms remains in a short sediment core. *Memorie dell' Istituto Italiano di Idrobiologia* 44: 1-14.
- HASLE G & G FRYXELL (1970) Diatoms: Cleaning and mounting for light and electron microscopy. *Transactions of American Microscopy Society* 89: 469-474.

- HEUSSER C (1971) Pollen and Spores of Chile. Modern types of the Pteridophytas, Gimnospermae and Angiospermae. University of Arizona Press, Arizona. 167pp.
- HOWARBL (1964) Método modificado de la maceración y una técnica simple para la preparación de slides. *Micropalinología* 10: 17-22.
- KARLEN Y, IU OLSSON, P KILLBURG & S KILICI (1968) Absolute determination of the activity of two ¹⁴C dating standards. *Arkiv Geofysik* 4: 465-471
- LARA A, C DONOSO & J ARAVENA (1995) La conservación del bosque nativo de Chile: problemas y desafíos. En: Armesto J, C Villagrán & M Arroyo (eds) *Ecología de los bosques nativos de Chile*: 335-361. Editorial Universitaria, Santiago, Chile.
- LEONE NG, L URBANI & H FOX (1993) Cuadro Estratégico territorial de la recuperación y desarrollo de la cuenca del Biobío. Serie EULA Propuestas de Ordenamiento. Editorial Universidad de Concepción, Concepción, Chile. 351 pp.
- MARGALEF R (1995) *Ecología*. Ediciones Omega, Barcelona, España. 951 pp.
- MORALES J (1989). El desarrollo forestal en Concepción. Universidad Academia de Humanismo Cristiano. Serie: Abriendo Caminos. Grupo de Estudios Agro-Regionales. 341 pp.
- NEGER FW (1897) Introducción a la flora de los alrededores de Concepción. *Anales de la Universidad de Chile* 98: 209-251.
- OLIVER C & F ZAPATTA 1950. Libro de oro de la historia de Concepción. Litografía Concepción, Concepción. 639 pp.
- PARRA O, E UGARTE, L BALABANOFF, S MORA, M LIEBERMANN & A ARON (1980). Remarks on a bloom of microcystis aeruginosa Kuetzing. *Nova Hedwigia* 33: 971-1004.
- PARRA O, D AVILES, J BECERRA, V DELLAROSSA & R MONTOYA (1986) First toxic blue-green algal bloom recorded for Chile: a preliminary report. *Gayana Botánica (Chile)* 43: 15-17.
- PARRA O (1989) La eutroficación de la Laguna Grande de San Pedro, Concepción, Chile: Un caso de estudio. *Ambiente y Desarrollo* 1: 117-136.
- PEREZ C (1995) Los procesos de descomposición de la materia orgánica de bosques templados costeros: interacción entre suelo, clima y vegetación. En: Armesto J, C Villagrán & M Arroyo (eds) *Ecología de los bosques nativos de Chile*: 301-314. Editorial Universitaria, Santiago.
- QUINTANA V (1993) Caracterización faunística y florística de un humedal costero de la VIII Región, el caso del estero Lengua. *Actas Seminario internacional "Gestión de la zona costera"*, Universidad de Concepción, Concepción. 15 pp.
- RIVERA P (1970) Diatomeas de los lagos Rancho, Laja y Laguna Chica de San Pedro (Chile). *Gayana* 20: 1-23.
- RIVERA P, O PARRA & M GONZALEZ (1973) Fitoplancton del estero Lengua (Chile). *Gayana* 23 (Chile): 1-93.
- RIVERA P (1974) Diatomeas de agua dulce de Concepción y alrededores (Chile). *Gayana* 28 (Chile): 1-134.
- RIVERA P, O PARRA, M GONZALEZ, V DELLAROSSA & M ORELLANA (1982) Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales. Editorial Universidad de Concepción. 97 pp.
- SCASSO F (1996) Productividad íctica en lagos de diferente estado trófico: recomendaciones de conservación para pesca deportiva. Tesis de doctorado, Escuela de graduados, Universidad de Concepción, Concepción, Chile. 143 pp.
- SHANNON C & W WEAVER (1949) The mathematical theory of communication. University of Illinois (ed). Urbana Press, Illinois, USA. 154 pp.
- SMOL J (1992) Paleolimnology: an important tool for effective ecosystem management. *Journal of Aquatic Ecosystem Health* 1: 49-58.
- SOTO D & H CAMPOS (1995) Los lagos oligotróficos del bosque templado húmedo del sur de Chile. En: Armesto J, C Villagrán & M Arroyo (eds) *Ecología de los bosques nativos de Chile*: 317-333. Editorial Universitaria, Santiago, Chile.
- STOERMER EF & NA ANDRESEN (1992) Diatom succession in the recent sediments of Lake Okeechobee, Florida, U.S.A. *Diatom research* 7: 367-386.
- VOGEL JS, DE NELSON & JR SOUTHON (1987) ¹⁴C background levels in an accelerator mass spectrometry system. *Radiocarbon* 29: 323-333.
- WHITMORE T (1989) Florida diatoms assemblages as indicators of trophic state and pH. *Limnology and Oceanography* 34: 882-895.