

CONTRIBUCION AL CONOCIMIENTO GEOMORFOLOGICO DE LAS CUENCAS HIDROGRAFICAS DE LOS LAGOS LANALHUE Y LLEULLEU *

MARIA MARDONES FLORES
Departamento de Ciencias de la Tierra
Universidad de Concepción

RESUMEN

Se analizan las características geomorfológicas de las hoyas hidrográficas de dos sistemas lacustres litorales de Chile central: los lagos Lanalhue y Lleulleu y se propone una interpretación genética de éstos.

Se reconocen los distintos tipos de dunas que modelan la planicie litoral, siete niveles de terrazas de abrasión marina en la zona de contacto con la montaña y cordones de erosión y superficies de erosión de origen continental en la cordillera de Nahuelbuta.

Se relaciona el origen de los lagos con los sollevamientos neotectónicos de tipo co-sísmico de la plataforma de Arauco, durante el Pleistoceno, y particularmente con la independencia estructural de ésta en relación a la cordillera de Nahuelbuta.

ABSTRACT

The geomorphological characteristics of two coastal lake basins from central Chile are analuzed: lake Lanalhue and lake Lleulleu, and a genetic interpretation is proposed for them.

Different types of dunes the litoral plain are recognized, seven levels of marine abrasion terraces in the contact zone of the mountain with the terrace and the erosion mountain chain and erosion surfaces of continental origin in the cordillera de Nahuelbuta.

A relationship is made between the origen of the lakes and the neotectonic uprisings of the co-sismic type of the Arauco continental shelf, during the pleistocene and particulary with the structural independence of the latter in relation to the cordillera de Nahuelbuta.

*Este trabajo expone resultados del proyecto Fondecyt 1960600 titulado "Análisis integrado de cinco cuencas lacustres de Chile central: caracterización ambiental y proposición de criterios de ordenamiento territorial". Se agradece la colaboración de Ricardo Muñoz, Lidia Esparza y Fabiola Herrera, en la digitalización y preparación de las figuras.

INTRODUCCION

La creciente demanda de agua dulce despierta el interés por conservar la calidad de este recurso en lagos y lagunas. En Chile existe una gran diversidad de sistemas dulceacuícolas de tipo lacustre, que presentan variadas condiciones geográficas y de intervención humana, cuyo conocimiento es necesario para apoyar un uso sostenible (CIPMA, 1992).

Los lagos se originan por la obstrucción del drenaje superficial debido particularmente a factores morfogenéticos y conforman una estructura temporal en la historia erosional de los sistemas geográficos (Bellair y Pomerol, 1977; Mosetti, 1977). Ellos reciben aportes sólidos y líquidos de su cuenca de drenaje mediante escurrimiento lineal, laminar y subterráneo, razón por la cual la calidad del agua y de las comunidades biológicas allí presentes reflejan los efectos acumulados de todos los aportes de agua y materiales procedentes del entorno (Ryding y Rast, 1992). Con el tiempo, las cuencas se colmatan lentamente de sedimentos orgánicos e inorgánicos, hasta transformarse en un pantano (Margalef, 1983).

A nivel mundial, la eutrofización o enriquecimiento de nutrientes de las aguas de los lagos es uno de los problemas ambientales más comunes. Si el proceso es natural, su evolución tarda muchos miles de años, las aguas mantienen su calidad y en ellas vive una comunidad biológica variada. Sin embargo, tanto el uso directo de las aguas de un lago como la presión de uso que se hace sobre sus riberas y su cuenca de drenaje, acelera este proceso, reduce temporalmente la vida del cuerpo de agua, generando lo que se denomina un proceso de eutrofización cultural (Rast y Holland, 1988; Ryding y Rast, 1992).

Diversos autores han destacado la estrecha relación existente entre el estado trófico de un sistema léntico y las condiciones geográficas y particularmente geomorfológicas de su cuenca de drenaje (Ryding y Rast, 1992). Sin embargo, pocos son los estudios relativos a la influencia que el origen geomorfológico de la cuenca lacustre tiene sobre la vida de ésta.

El período de vida de un sistema lacustre está muy relacionado con la batimetría y extensión del cuerpo de agua; lagos pequeños, bajo las mismas condiciones ambientales, se colmatan más rápidamente que aquellos de mayor tamaño y profundidad. Ambos aspectos se relacionan estrechamente con los procesos genéticos de la cuenca lacustre.

Los lagos pueden ser formados por numerosos factores: existen lagos de sobreexcavamiento glacial, lagos de barrera (litoral, eólica, glacial, volcánica, etc), lagos que ocupan cráteres y calderas volcánicas y lagos de origen tectónico, creados en regiones con una tectónica distensiva (Anguita y Moreno, 1993). Entre estos últimos, destacan aquellos que ocupan el fondo de fosas tectónicas que se forman en bordes constructivos incipientes de las placas litosféricas (como los lagos Victoria y Tanganica en África oriental) y los que ocupan cuencas generadas en etapas distensivas durante la construcción de las cadenas montañosas, como es el caso del lago Titicaca.

Israde (1995) describe para los sectores de Chapala y Acambaro, en México, la migración de cuencas lacustres durante el Cenozoico inferior y medio, ligada al control estructural de la tectónica de placas. El período de funcionamiento de estos lagos habría estado condicionado por factores climáticos (evaporación) o tectónicos (percolación del agua por la presencia de numerosas fracturas en el fondo de las cuencas). En el norte de Chile, Jensen (1992) y Chong (1992) han destacado la presencia de secuencias lacustres depositadas desde el Cenozoico al Reciente, cuyas cuencas registran la influencia de la tectónica en su evolución paleogeográfica. Por otra parte, Adams (1981) estudia la incidencia de la paleosismicidad durante los últimos miles de años, en lagos originados por deslizamientos sísmicos en Nueva Zelanda.

OBJETIVOS Y METODOS

En la costa de la VIII Región existen a lo menos 9 cuerpos lacustres, entre los que destacan los lagos Lanahue y Lleulleu, tanto por el tamaño de sus cuencas como por el potencial uso turístico que ofrecen estos sistemas.

El principal objetivo de este trabajo es analizar las características geomorfológicas de las hoyas hidrográficas de los lagos Lanalhue y Lleulleu, determinar el origen de los cuerpos lacustres y estimar la incidencia que tienen los procesos genéticos en el ciclo de vida de éstos.

El levantamiento geomorfológico detallado se ha efectuado mediante fotointerpretación de 320 fotogramas de los vuelos SAF (1994-1995) y de un vuelo particular (1996) solicitado por los investigadores. El sistema morfogenético fue clasificado basándose en criterios morfológicos, morfométricos, sedimentológicos, litológicos y de uso del suelo, aspectos que fueron analizados y evaluados directamente en terreno. El reconocimiento de la llanura litoral se apoyó en los estudios realizados previamente por Tavares (1996).

LOCALIZACION Y ANTECEDENTES GENERALES

El área de estudio se sitúa en el margen sur de la provincia de Arauco (VIII Región, Chile), en la vertiente occidental de la cordillera de Nahuelbuta y en el contacto de ésta con las llanuras y plataformas litorales. Los sistemas lacustres se enmarcan entre los $37^{\circ}50'15''$ y $38^{\circ}17'50''$ S y los $73^{\circ}04'30''$ y $73^{\circ}25'30''$ O (Figura 1).

Como se ha mencionado anteriormente, los lagos Lanalhue y Lleulleu son los sistemas lacustres costeros de mayor tamaño de la Región del Biobío. La mayor dimensión la acusa el lago Lleulleu, el cual tiene una cuenca de $578,9 \text{ km}^2$, un espejo de agua de 37 km^2 y una profundidad media de $15,9 \text{ m}$. El lago Lanalhue se inserta en una cuenca de $359,8 \text{ km}^2$; el área del lago es de $32,05 \text{ km}^2$ con una profundidad media de $12,7 \text{ m}$.

Características climáticas

Por su situación en latitud, ambas cuencas se emplazan al interior del dominio templado húmedo de costa occidental, con influencia mediterránea (Fuenzalida, 1971). Según CIER-SERPLAC (1976) los promedios pluviométricos aumentan de oeste a este, por el efecto de barrera climática que ejerce la cordillera de Nahuelbuta. Se registra en isla Mocha un promedio de $1.227,5 \text{ mm}$ de precipitaciones anuales, las que aumentan ostensiblemente en Contulmo (1.939 mm); en tanto, las cabeceras de las cuencas de drenaje lacustre reciben entre 2.000 a 2.500 mm anualmente. Prácticamente en toda el área de estudio no existen meses secos, aunque las lluvias se concentran principalmente en invierno. Estos montos de lluvia anual proporcionan a los lagos una alimentación regular y explican la débil fluctuación estacional del espejo de agua.

La temperatura media anual del área de estudio es de $12,5^{\circ}\text{C}$ al oeste y 13°C al este, con una oscilación térmica anual moderada por la influencia marina, la cual que se incrementa en el mismo sentido de 6 a 8°C .

Los vientos dominantes son de oeste a norte entre mayo y agosto y de sur a suroeste, en los meses restantes. Estos acompañan un invierno húmedo y fresco y un verano relativamente cálido y seco. Esta alternancia se debe a las influencias anticiclónicas durante el verano y ciclónicas, con perturbaciones atmosféricas introducidas por el avance del frente polar, en invierno (Devynck, 1970).

Antecedentes geológicos

Dos grandes litotipos dominan en el sector: la cordillera de Nahuelbuta está conformada por rocas intrusivas y metamórficas, y la franja costera estructura da en rocas sedimentarias clásticas y sedimentos de origen marino, fluvial y eólico.

En el margen nororiental de la cuenca del lago Lanalhue, en el sector situado en las cabeceras del río Calebu y estero Provoque, aflora el batolito de la costa (unidad informal), el cual contiene rocas

intrusivas, entre las que predominan: granitos, tonalitas, granodioritas y dioritas, con zonas de migmatitas y gneises. Este emerge en la parte central de la cordillera de Nahuelbuta, intruye al Basamento metamórfico y ha sido datado del Paleozoico superior (Ferraris, 1981).

Al norte del lago Lanalhue-Villa Elicura se presenta el Basamento metamórfico Serie Oriental, conformado por metagrauvascas, filitas rocas córneas y gneises, asociados a granitoides, de edad Paleozoico superior.

Al sur del lago Lanalhue y en toda la hoya del lago Lleulleu, el relieve está formado por la Serie Occidental del Basamento metamórfico. Esta serie comprende principalmente micaesquistos y metacherts, muy deformados; profundamente meteorizados por los diferentes agentes climáticos, los que han generado suelos arcillosos de color rojizo-castaño, interestratificado con depósitos de ladera (Endlicher y Mäkel, 1985).

En la sección costera, las plataformas están esculpidas en rocas del Terciario. Las formaciones más antiguas son de edad Eocénica y las más recientes, corresponden a rocas de la Formación Tubul, de edad Plioceno superior. En ambos casos, predominan rocas del tipo lutitas y areniscas (Ferraris y Bonilla, 1981).

Sobre las llanuras occidentales, situadas en el margen frontal de las cuencas lacustres, se distribuyen depósitos de dunas y playas, constituidos principalmente por arenas poco cementadas, que sobreyacen a todas las unidades más antiguas.

Desde el punto de vista tectónico, el rasgo más destacado es la foliación fuertemente penetrativa de la Serie metamórfica Occidental, la que está asociada a un proceso de metamorfismo-deformación y fallamientos en bloque, de edad Postmiocénica; deformaciones que según Collao et al. (1979) se relacionan con el alzamiento de la cordillera de Nahuelbuta. Las fracturas de gran ángulo (mayor de 45°), la mayoría con manteo cercano a la vertical, parecen corresponder a movimientos de tipo normal, presentando rumbos generalmente ENE y NW. Dichas fracturas son fundamentales para comprender la morfología de las cuencas lacustres y el trazado de la red hidrográfica.

Hidrografía

La red hidrográfica está formada por pequeñas cuencas costeras exorreicas que drenan las laderas de la cordillera de Nahuelbuta y cuyo nivel de base son los lagos Lanalhue y Lleulleu. Estos lagos a su vez son drenados por los ríos Paicaví y Lleulleu, respectivamente (Figuras 2 y 3).

La red de drenaje se caracteriza por distintos patrones y densidades de canales, debido al control geológico y estructural del área. Sobre el Basamento cristalino, el patrón de drenaje es dendrítico con densidad media. En la plataforma Terciaria, en cambio, se observa un patrón de drenaje paralelo, con orientación principal de NNE a SSW. Según Ferraris y Bonilla (1981), esto se debe a una adaptación de los cursos fluviales a los lineamientos estructurales. Aquí la densidad de drenaje es gruesa, debido a la alta permeabilidad de estas rocas, lo que además permite el desarrollo de valles encajonados y de fondo plano.

Similar densidad se registra en la llanura litoral, a causa de la alta permeabilidad de los sedimentos inconsolidados que forman esta unidad. Además, las pendientes débiles y la poca profundidad de la napa freática generan extensas áreas que se mantienen temporalmente inundadas, dado el carácter estacional de la precipitación.

En la planicie, los ríos presentan patrones de drenaje paralelo, debido al control efectuado por las dunas; los ríos Paicaví y Lleulleu recorren varios kilómetros paralelamente al litoral antes de desembocar al océano. Durante la estación seca de verano los sistemas de drenaje disminuyen considerablemente su caudal y son bloqueados por las dunas activas. Durante el invierno este bloqueo se rompe en diversos puntos o se generan humedales detrás de los cordones dunarios.

Vegetación y uso del suelo

Sobre la llanura litoral y especialmente en las dunas quedan retazos del bosque esclerófilo de boldo-peumo descrito por Oberdorfer (1960), en los valles costeros de Chile central. Se trata de un bosque bajo, que crece en depresiones y quebradas protegidas, cerca del litoral, influenciado por las neblinas costeras. Las especies dominantes son *Peumus boldus* y *Cryptocarya alba*; el sustrato no presenta suelos bien desarrollados, sino solamente una litera bajo el estrato arbustivo y arbóreo.

En el dominio montañoso, este mismo autor informa de un piso bajo con formación de roble y un piso de altura con formación de roble-raulí. No obstante, la observación de terreno y la interpretación de fotos aéreas han permitido constatar que la cordillera de Nahuelbuta está colonizada fundamentalmente por plantaciones de pino insigne y eucaliptus, mientras que la llanura es preferentemente utilizada para ganadería y agricultura de papas y cereales.

EL PATRON GEOMORFOLOGICO DE LAS CUENCAS DE LOS LAGOS LANALHUE Y LLEULLEU (MAPAS 1 Y 2)

Las cuencas de los lagos Lanalhue y Lleulleu se inscriben en antiguos valles emplazados en la vertiente occidental de la cordillera de Nahuelbuta, disectan en su frente varios niveles de terrazas de abrasión marina de edad Terciaria, de diferentes altitudes y apoyan sus riberas occidentales sobre una extensa llanura litoral.

La llanura litoral

Se trata de una planicie arenosa, de origen marino-eólico, de 6 km de ancho en el sector norte, la cual se estrecha paulatinamente hacia el sur del área de estudio, de modo que en el sector de Quidico las estribaciones cordilleranas llegan directamente al mar, formando acantilados rocosos.

Se reconocen en la llanura una secuencia de cordones dunarios de diferentes edades. En el lago Lanalhue las dunas más próximas al cuerpo de agua quedan distantes unos 4 km del frente del lago, de modo que sus riberas están modeladas en areniscas de edad Terciaria. Los cordones dunarios más cercanos a la línea de costa actual son dunas manejadas, distribuidas en una franja de más o menos 800 m de ancho y de hasta 16 m de altitud. Hacia el interior predominan las dunas naturalmente estabilizadas, caracterizadas por cordones con altitudes entre 16 y 47 m, separados por superficies planas u onduladas de hasta 800 m de ancho.

En el frente del lago Lleulleu, la llanura litoral tiene cerca de 2,6 km de ancho y las dunas se aproximan al frente mismo del lago, observándose allí que los sedimentos eólicos sobreyacen una formación de rocas sedimentarias de edad probablemente Eocénica. A partir de la playa, y en una extensión de 746 m hacia el este, dominan las dunas libres en una franja cercana a 1 km, con altitudes de hasta 5,8 m. Hacia el interior se aprecian las dunas estabilizadas naturalmente, registrándose allí los cordones de mayor altura (>30 m de altitud).

Las dunas estabilizadas naturalmente son formas ya fijadas por la vegetación natural. Estas comprenden las dunas más antiguas existentes en el área de estudio, correlativas a la edad Holocénica y presentan generalmente una estructura remanente de antiguos campos de duna libre. Las dunas upsiloidales, longitudinales y parabólicas, los blowouts, las depresiones interdunarias y las superficies onduladas son las formas más comúnmente encontradas; se presentan asociadas en forma compleja siendo las longitudinales el modelado más significativo del paisaje. Dichos cordones son así denominados por su orientación aproximadamente paralela a la de los vientos dominantes más eficaces (S-SW). La orientación azimutal media de las dunas longitudinales es de 201°, variando entre 190° y 225°, con

una longitud media de 2,6 km y entre 5-20 m de altura. La pendiente media en la cara barlovento (oeste) es de 15,9° y de 22,6° en la cara sotavento (este). El índice de cobertura vegetal varía de 30-80% , dominando formaciones herbáceas con excepción de la base de la cara sotavento, donde se desarrollan arbustos y árboles. Estos cordones están separados entre sí por llanuras de más de 500 m de ancho, cubiertas por vegetación herbácea, arbustiva y humedales.

Las dunas libres son formas arenosas de origen eólico caracterizadas por la ausencia de cobertura vegetal. Estas están compuestas por dunas barjanas, barjanoidales, transversas, oblicuas, mantos de arena y superficies de deflación eólica. Antes de 1966, fecha en que CONAF inicia el manejo de las dunas litorales del sector, este tipo de modelado tenía mayor extensión. Su altitud se incrementa hacia el este, de 3 a 4 m.

En general, las dunas longitudinales determinan el límite interior de las dunas libres, posibilitan la acumulación de una gran masa de arena y la formación de dunas transgresivas, correspondientes al frente de avance del campo de dunas. En el área de estudio, las tasas de avance de estas dunas varían según Tavares (1996) entre 4 y 10 metros/año.

Las dunas manejadas son dunas artificiales formadas por la estabilización de dunas libres debido a la intervención antrópica de *ammophila arenaria* o uso de empalizadas; se forman así dunas monticulares suavizadas y niveladas para la forestación. La cobertura vegetal varía entre 15-50%. Entre estos cordones se constituyen depresiones interdunarias, donde se acentúan las superficies de deflación y los humedales.

La duna bordera es el tipo más importante de duna manejada y ésta puede alcanzar hasta 16 m.

En la zona de contacto de las dunas con las terrazas marinas, se forma una depresión de disposición paralela al escarpe, la cual orienta el drenaje y aloja terrenos anegadizos.

La planicie costera está drenada por dos ríos principales: el río Paicaví que recibe las aguas del río Puyehue, principal desagüe del lago Lanalhue, y el Lleulleu, que drena el lago homónimo. Los ríos, en la llanura arenosa litoral, constituyen barreras efectivas frente al avance de las dunas. Al norte del río Paicaví la actividad eólica es menor, lográndose preservar el paisaje de dunas longitudinales. Igual situación se observa en el río Lleulleu, cuyo curso se orienta paralelamente a la línea de costa hacia el norte, y reduce la mayor actividad eólica en una franja de 500 m entre la playa y su lecho.

Hacia el este, la llanura está limitada por un escarpe rocoso, relativamente paralelo a la línea de costa, con pendientes topográficas superiores a 25° y desniveles que generalmente superan los 50 m. El contacto con la cordillera de Nahuelbuta se ejecuta a través de varios niveles de terraza, que dibujan franjas paralelas a la costa o se adosan a las laderas de los valles costeros ocupados por los sistemas lacustres.

Las terrazas de abrasión marina

La morfología plana, su disposición en franjas paralelas a la línea costera, el afloramiento de rocas sedimentarias marinas de edad Terciaria, testigos de antiguas fases de transgresión marina, permiten asumir que estos niveles transicionales hacia la cordillera de Nahuelbuta son terrazas de abrasión marina.

Existen 7 niveles de terrazas de abrasión, según su altitud; sin embargo, es difícil determinar si todos los niveles registran eventos distintos del nivel del mar o si algunos de ellos tiene origen estructural y ha sido originado por el fallamiento de un mismo nivel. En cuanto a la composición litológica, al oeste de la curva de nivel de 200 m, las terrazas se estructuran en rocas sedimentarias de edad Terciaria, mientras que al este las superficies de abrasión truncan la roca metamórfica, de edad Paleozoica.

Los niveles de terraza mejor desarrollados son aquellos situados más próximos a la costa, suponiéndose por esta razón que son también los más jóvenes. Ellos se distribuyen irregularmente entre los 25-30 m, 50 m y 70-80 m de altitud.

El nivel más bajo de abrasión marina (25-30 m) tiene la forma de una depresión periférica de deflación eólica, situada en el contacto entre las dunas longitudinales y las terrazas marinas adosadas a

la cordillera. Se prolonga de sur a norte desde el río Pocuno hasta el río Chalamía, y reaparece al norte del río Paicaví. También se observa este nivel al oeste del Cerro Malo, paralelo a la falla que accidenta el sector, inscrito en niveles aterrazados más antiguos. Esta unidad está conformada por areniscas coherentes, dispuestas en estructura subhorizontal, de edad probable Terciario superior a Cuaternario antiguo. Por su posición al abrigo de las dunas longitudinales, se forma aquí una cadena de lagunas de obstrucción eólica, entre las que destacan las lagunas Antiquina, Quilaco y Junquillos.

El nivel aterrazado de 50 m de altitud está ampliamente representado en el frente del lago Lanalhue. Es este nivel el que forma y obtura el frente del lago, no observándose ninguna influencia eólica en la formación de éste. La terraza además se extiende por la ribera norte, hacia el interior del valle ocupado por el lago, testimoniando la presencia de una amplia ría, al momento de su formación. En el lago Lleulleu, el nivel de 50 m está débilmente representado en la ladera norte del Cerro Malo y al oeste del estero Chalamía, donde parece encontrarse ligeramente basculado hacia el ONO.

Una de las terrazas mejor representadas en el lago Lleulleu es la de los 75-80 m. Se desarrolla en los márgenes oeste y noroeste del lago, entre Puerto Choque y Ranquihue Grande y en el sector frontal, entre los esteros Huinihuco por el este y el estero Chalamía por el oeste.

El resto de las terrazas está representado por retazos muy fragmentados con excepción del nivel de 200 m de altitud, el que presenta mayor continuidad, no obstante la erosión hídrica.

La cordillera de Nahuelbuta

La cordillera está modelada por cordones y restos de superficies de erosión de origen continental. Al sur del Lanalhue, el contacto entre la baja terraza y la cordillera se realiza por un escarpe de más de 200 m, mientras que en el frente de los dos lagos la transición entre las dos unidades se efectúa progresivamente a través de los distintos niveles de terraza.

La cordillera se eleva progresivamente hacia el este, a través de bloques quebrados por un sistema de fallas ONO-ESE y ENE-OSO. En relación con estos bloques estructurados por la tectónica, restos de antiguas superficies de erosión se elevan de manera irregular hacia el este, existiendo retazos a los 500, 700, 750 y 800 m de altitud. No tenemos claridad acerca del nivel 400-420 m, el cual por su posición más occidental podría representar el nivel más antiguo de terrazas de abrasión marina.

Modelados costeros similares descritos por Laugenie (1982) en la cordillera de la Costa de la Región de Los Lagos y por Borde (1966) en Chile central han sido atribuidos al Terciario medio.

Siguiendo las mismas direcciones estructurales citadas anteriormente, los ejes de los lagos se han emplazado en antiguos valles adaptados a la estructura, tal como se aprecia por su morfología y batimetría (Figuras 4 y 5). Del mismo modo, las cuencas hidrográficas de ambos sistemas presentan trazados angulosos que evidencian la influencia estructural.

Las cuencas lacustres

El lago Lanalhue se sitúa a 12 m de altitud, inunda un estrecho valle de orientación SE-NO, que drena la ladera occidental de dicha cordillera (Foto 1). Tiene un perímetro de 58,6 km y ha sido calificado desde el punto de vista trófico, como eutrófico. Considerando la morfología (carta anexa) y batimetría (Figuras 4 y 5), el lago se divide en tres secciones: la sección interior es la menos profunda (4 m) y de fondo plano; se dispone en dirección norte-sur, el espejo de agua tiene aproximadamente 3 km de longitud y 1,5 km de ancho; una vista aérea ha permitido observar en este lóbulo gran cantidad de material en suspensión, lo que otorga al cuerpo de agua una coloración diferente (Foto 2). Esta parte del sistema lacustre está parcialmente seccionada por el delta de los ríos Elicura y Calebu y se comunica a través de un estrecho (Punta El Sapo) con el resto del lago. Considerando su débil profundidad, esta sección aparece colgada en relación a la que le sucede.

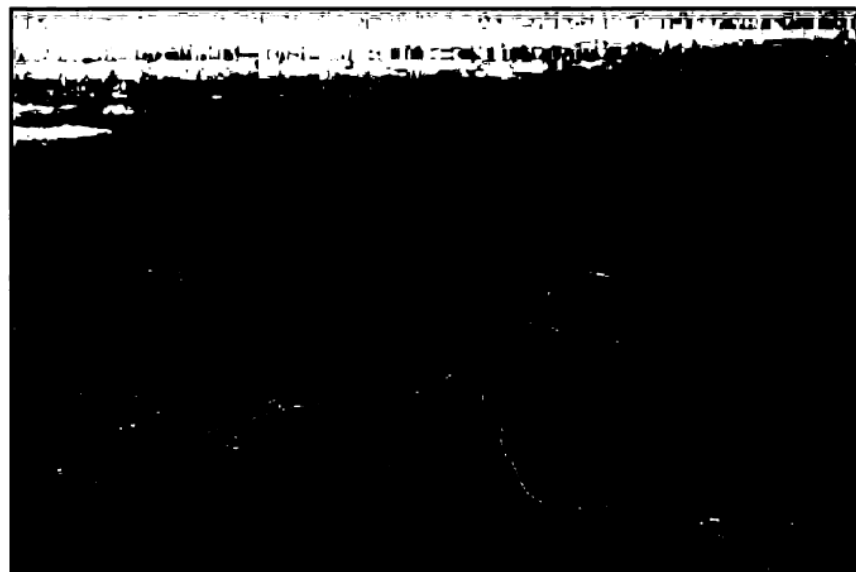


Foto 1.-El lago Lanalhue inunda un estrecho valle de la cordillera de Nahuelbuta. Vista aérea hacia el este. En primer plano se observa la terraza de abrasión marina de 50 m de altitud que obstruye el drenaje.

Foto 2.-Sección interna del lago Lanalhue; el color gris-claro del agua se debe al material en suspensión. En primer plano, la llanura aluvial del estero Elicura.



La parte central o cuerpo lacustre principal tiene 8 km de longitud y 2-3 km de ancho; se dispone en dirección SE-NO y su fondo tiene la forma de un estrecho canal, de laderas irregulares, cuya profundidad aumenta en dirección a la costa, de 14 a 22 m bajo el nivel del mar. El trazado de las riberas se presenta accidentado por penínsulas y ensenadas. Finalmente, el sector frontal es el más estrecho y profundo: tiene la forma de una T volcada hacia el oeste, 3 km de largo, entre 0,5 y 0,8 km de ancho y 24 m bajo en nivel del mar de profundidad. Hacia el este, una península estructurada por rocas sedimentarias de la terraza de abrasión marina localizada en el sector de El Banquete genera un umbral que dificulta la conexión entre las dos últimas secciones.

La morfología y batimetría del cuerpo lacustre tienen estrecha relación con los accidentes tectónicos que estructuran la cuenca. El frente mismo del lago sigue las direcciones estructurales de las

fracturas de dirección NNE-SSO, que accidentan tanto a la plataforma como al frente cordillerano. Por otra parte, y como ya se ha descrito, en el frente del lago Lanahue no se observan depósitos eólicos; la obstrucción al drenaje se relaciona directamente con la terraza de abrasión de los 50 m, la que presenta una intensa fracturación y/o fallamiento de orientación NNE-SSO. Una de estas fallas disloca la terraza a la latitud de la localidad de Peleco y orienta el drenaje del río Paicaví. La falla presenta mirador hacia el este, dejando el bloque interior aproximadamente 2 m más bajo, razón por la cual el río se orienta hacia el sur buscando su salida al mar, allí donde la dislocación se pierde.

La morfología del lago Lleulleu muestra mucho más claramente la influencia de la tectónica. El cuerpo lacustre tiene una forma lobulada (Foto N° 3), angulosa, cuyo trazado repite las direcciones estructurales observadas en la cordillera: NNE-SSO y O-E. Se ha formado por la obstrucción de dos valles principales de dirección E-O: los valles de Huillínco y Mahuilque y un eje de dirección NNE-SSO, casi paralelo a la línea costera, situado en la falla que separa la cordillera de Nahuelbuta de las terrazas litorales.

El cuerpo de agua se sitúa a 20 m de altitud, tiene entre 0,5 y 3 km de ancho y el eje mayor, de dirección NNE-SSO, se extiende por aproximadamente 17 km de longitud. Su perímetro es casi el doble que el anterior (93,3 km) y ha sido clasificado en estado oligotrófico (Parra et al., 1998). En cuanto a su batimetría, la parte frontal del lago que se inserta en las terrazas litorales es la de menor profundidad (10 m), mientras que en los lóbulos internos se ha estimado en más de 40 m. La compartimentación batimétrica del sistema, al igual que en el Lanahue, se relaciona con líneas de falla que accidentan el borde cordillerano.

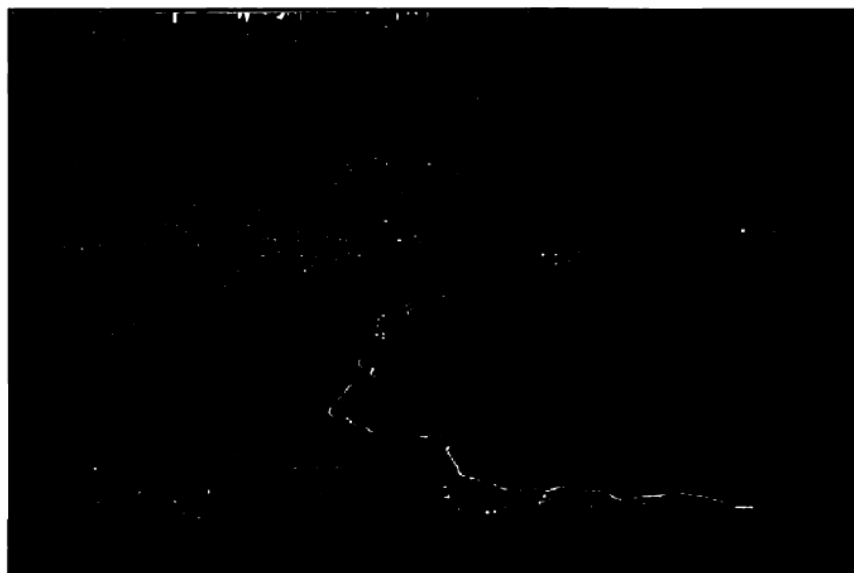


Foto 3.-Vista aérea del lago Lleulleu, desde el sur. A la izquierda, llanura y terrazas litorales. A la derecha, cordillera de Nahuelbuta.

En el lago Lleulleu, como se puede apreciar en la carta geomorfológica, los campos de duna alcanzan el borde mismo del lago, particularmente en el lóbulo correspondiente a la desembocadura del río Lleulleu. Sin embargo, dichas formas están colgadas en relación al espejo de agua, ya que se apoyan en afloramientos de arenisca Terciaria, los cuales son los responsables de la obstrucción del drenaje. En estas condiciones, en el lago Lleulleu, al igual que en el lago Lanahue, el modelado eólico no es el responsable de la obstrucción del drenaje. ¿Cuál sería entonces el factor que habría bloqueado el drenaje de estos valles cordilleranos, permitiendo la conformación de dichos cuerpos de agua?

CONCLUSION: EL ORIGEN DE LOS LAGOS LANALHUE Y LLEULLEU

Hasta el presente, estos sistemas lacustres habían sido interpretados como lagos costeros originados por la obstrucción eólica de antiguos valles de la cordillera de Nahuelbuta.

Modelos neotectónicos propuestos por Kaizuca *et al.* (1973) para la plataforma de Arauco, llevan a proponer la idea de lagos genéticamente relacionados con la tectónica Cuaternaria. Estos autores demuestran en su estudio, que las terrazas y plataformas litorales y la cordillera de Nahuelbuta, conforman dos áreas tectónicamente independientes. A partir del Pleistoceno, la plataforma de Arauco habría funcionado como un área de deformación co-sísmica, fenómeno que se relacionaría con la teoría del rebote elástico por terremoto. Dichos movimientos de emersión estarían asociados a la ocurrencia de grandes terremotos, con recurrencia de al menos uno por siglo. Ellos estiman desplazamientos medios verticales de solevantamiento de las terrazas de hasta 0,55 m por siglo en isla Mocha y de aproximadamente 0,25 m por siglo, en el sector continental cercano a los lagos aquí investigados. Estudios de Watanabe y Karzulovic (1960) estiman un levantamiento de 1,20 m de la plataforma de Arauco en el sector de Lebu durante el terremoto de 1960.

Por el contrario, la cordillera de Nahuelbuta correspondería a una zona de deformación inter sísmica cuyo solevantamiento, a un ritmo más lento que para la unidad anterior, se registraría en forma regular y fundamentalmente entre dos fases sísmicas.

En consecuencia, y a la luz de este modelo tectónico, se puede señalar que las crisis de elevación tectónica sufridas por la plataforma y las terrazas, durante cada evento sísmico, serían el factor genético fundamental de la obstrucción del drenaje cordillerano y de la formación de los lagos Lanalhue y Lleulleu. Dos aspectos apoyan esta hipótesis: las características morfológicas y batimétricas de los lagos que acusan la compartimentación tectónica y el solevantamiento de la sección frontal de sus cuencas y la carencia de una obstrucción real por parte del modelado eólico. De continuar funcionando este modelo tectónico, en cada sismo los sistemas lacustres estarían siendo rejuvenecidos y su ciclo de vida prolongado.

BIBLIOGRAFIA

- Adams, J., 1981. "Earthquake-Dammed Lakes in New Zeland". *Geology*, vol. 9, N° 5, pp. 215-219.
- Anguita, F. y Moreno, F., 1993. "Procesos geológicos externos y geología ambiental" Edit. Rueda Madrid. p. 311.
- Bellair, P. y Pomerol, Ch., 1977. "Eléments de Géologie". Edit. Collins. p. 527.
- Borde, J., 1966. "Les Andes de Santiago et Leur Avant-Pays" Thèse de Doctorat D'Etat. Université de Bordeaux. Union Française d'Impression". p. 559.
- Centro de Investigación y Planificación del Medio Ambiente, CIPMA, 1992. "Gestión Ambiental en Chile". Santiago, p. 223.
- Collao, S.; Montecinos, P.; Oviedo, L. y Oyarzún, R., 1979. "Nuevos antecedentes estructurales en la serie metamórfica occidental de la cordillera de Nahuelbuta" *Actas Tomo I, II Congreso Geológico Chileno*. Arica.
- CIER-SERPLAC, 1976. "Atlas Regional, VIII Región del Biobío-Chile".

- Chong, G., 1992. Proceedings Symposium on lacustrine sedimentation 3th Spanish Geol. Congr. VIIIth Iberoamerican Geol. Congr. I: 54-62. Salamanca. España.
- Devynck, J-L., 1970. "Contribución al estudio de la circulación atmosférica en Chile y clima de la Región del Biobío" U. de Concepción, Dep. de Geofísica, p. 174.
- Endlicher, W. y Mächel, W., 1985. "Natural Resources, land use and degradation in the coastal zone of Arauco and Nahuelbuta range". *Geojournal*, 11 (1) 43-60.
- Fuenzalida, A., 1971 "Climatología de Chile". Publ. Int. Fac. de Ciencias Físicas y Matemáticas. U. de Chile, p. 73.
- Ferraris, F. y Bonilla, R., 1981. Arauco-Lebu . Mapas Geológicos Preliminares de Chile. IIG N°6.
- Israde, I., 1995. "Migration of the lacustrine basins of the west central sector of the Mexican Volcanic Belt". In Recent and ancient lacustrine system in convergent Margins. GLOPAL-IAS Meeting. Antofagasta. Chile.
- Jensen, A., 1995 . In Abstracts IGCP-324&IAS meeting of Ancient and recent lacustrine systems in convergent margins, pp. 5-6. De. By A. Sáez. Antofagasta (Chile)-Barcelona.España
- Kaizuka, S. et al., 1973. "Quaternary tectonic and recent seismic crustal movements in the Arauco Peninsula and its environs, Central Chile. Geographical Reports of Tokyo Metropolitan University. N° 8.
- Laugenie, C., 1982. "La Region des Lacs, Chili Meridional". These de Doctorat D'Etat, Université de Bordeaux. I Tome: p. 332.
- Margalef, R., 1983. "Limnología". Edit. OMEGA. Barcelona. p. 1010.
- Mosetti, N., 1977. "Le acqua". Colección Il Notro Universo. UTET. p. 599.
- Oberdorfer, E., 1960. "Pflanzensoziologische Studien in Chile, ein Vergleich mit Europa". p. 208.
- Rast, W. y Holland, M., 1988. "Eutrophication of lakes and reservoirs: a framework for make management decisions". *AMBIO*. 17 (1): 2-12.
- Ryding, S. y Rast, W., 1992. "El control de la eutroficación en lagos y pantanos". UNESCO. De. Pirámide, Madrid. p. 375.
- Tavares, C., 1996. "Propuesta de uso del suelo en las dunas litorales de la provincia de Arauco, VIII Región, Chile". Tesis doctoral, p. 193. Centro EULA-Chile.
- Watanabe, T. y Karzulovic, J., 1960. "Los movimientos sísmicos del mes de mayo de 1960 en Chile". *Anales de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas*. Edit. Universitaria. Volumen 17: 43-87.

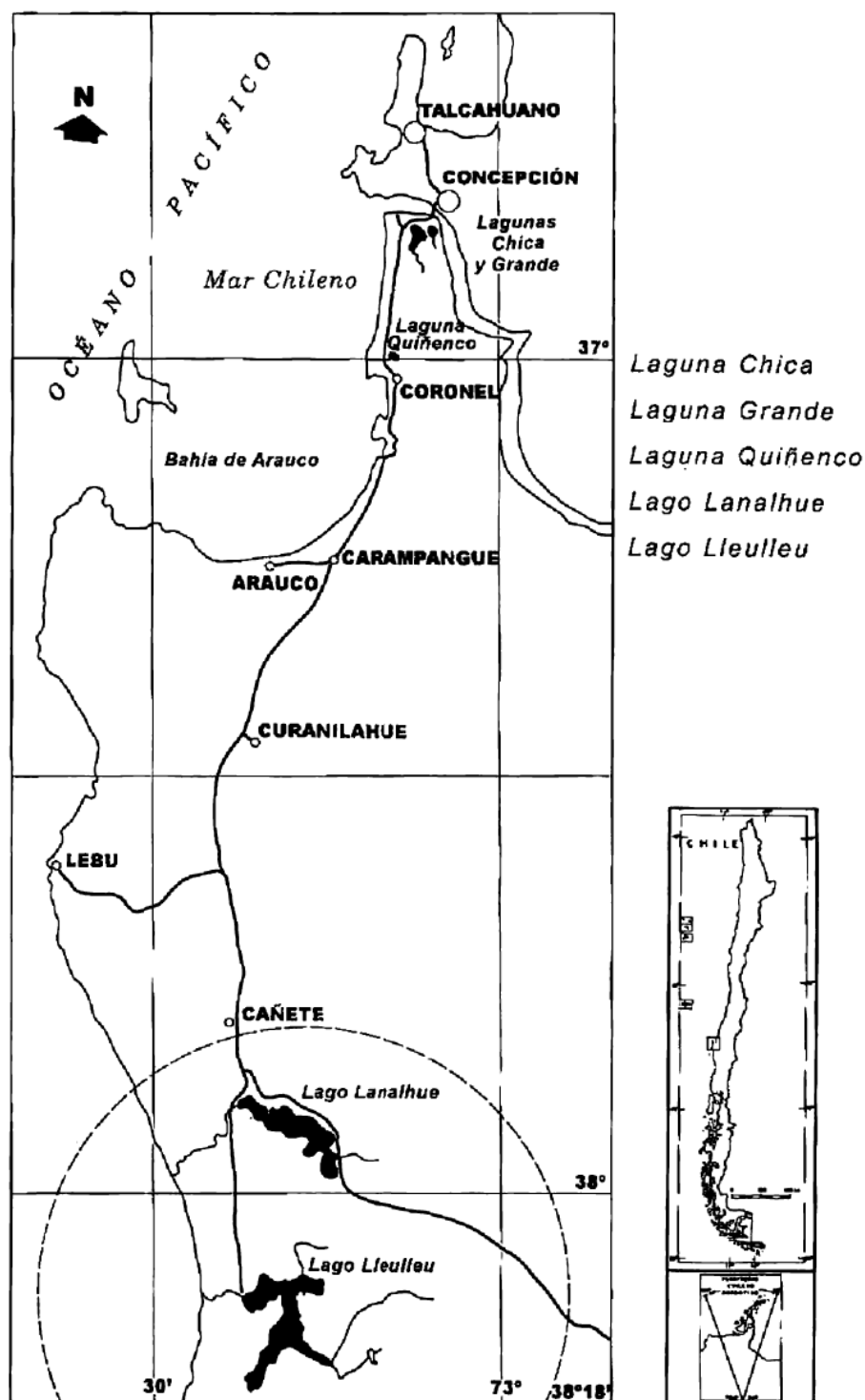


Figura 1. Ubicación del área de estudio

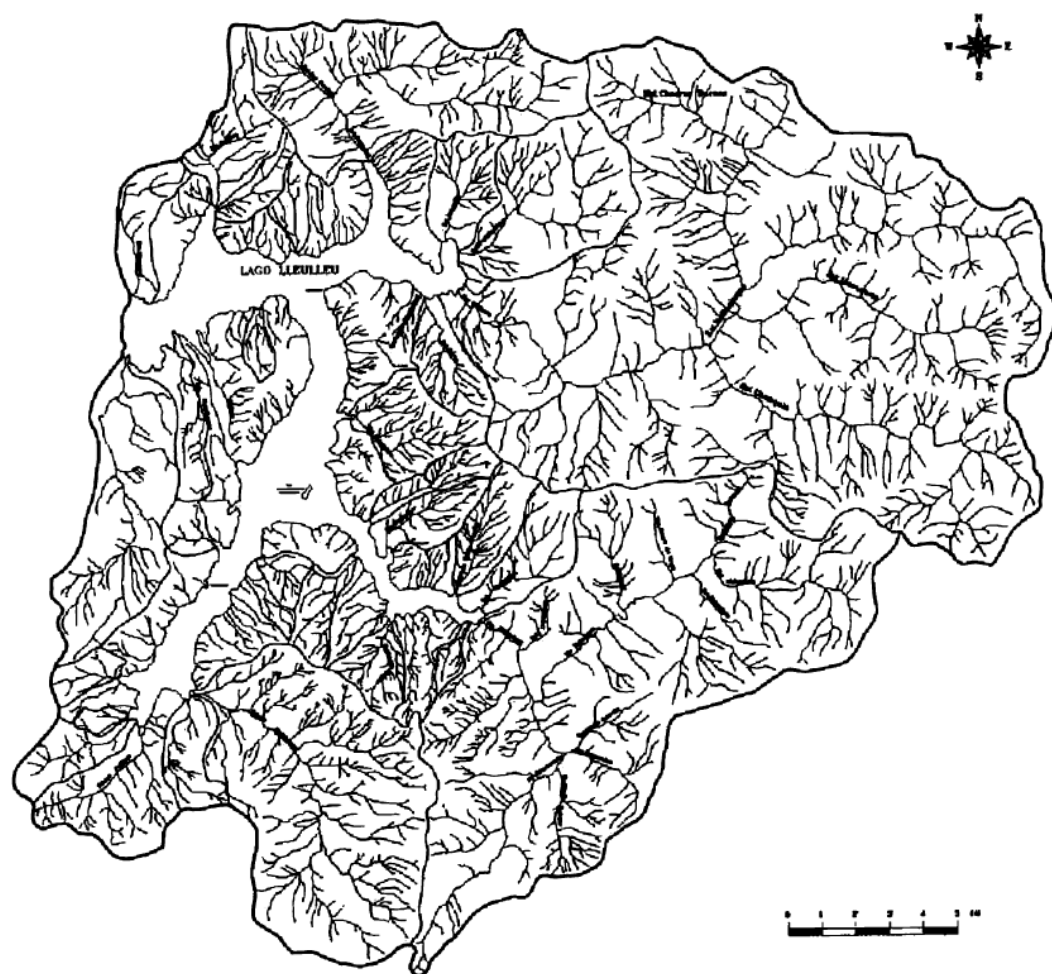


Figura 2. Subcuencas de la red hídrica del lago Lleulleu, VIII Región del Biobío, Chile.



Figura 3. Subcuencas hidrográfica del lago Lanahue, VIII Región del Biobío, Chile

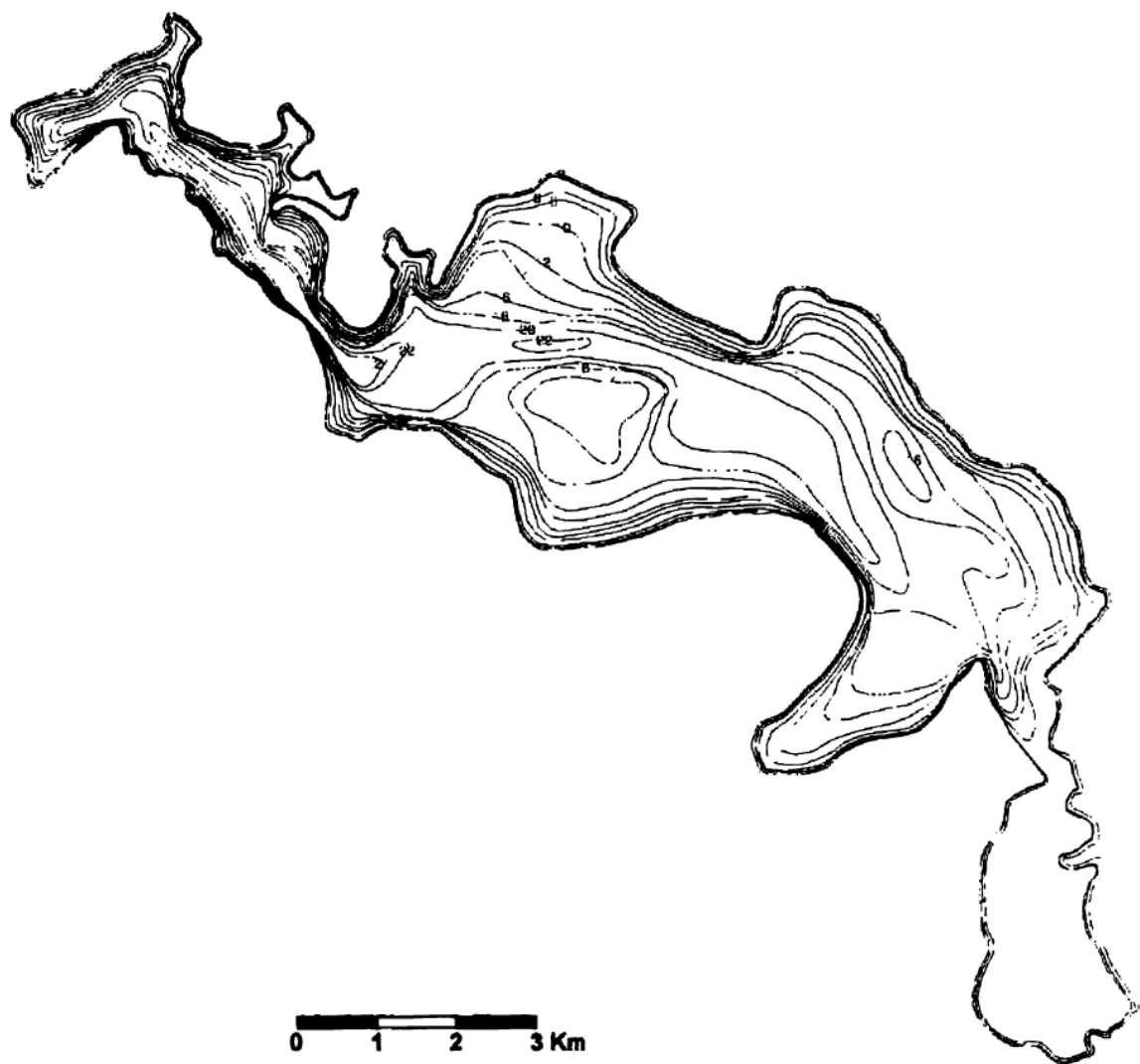


Figura 4. Mapa batimétrico del lago Lanalhue

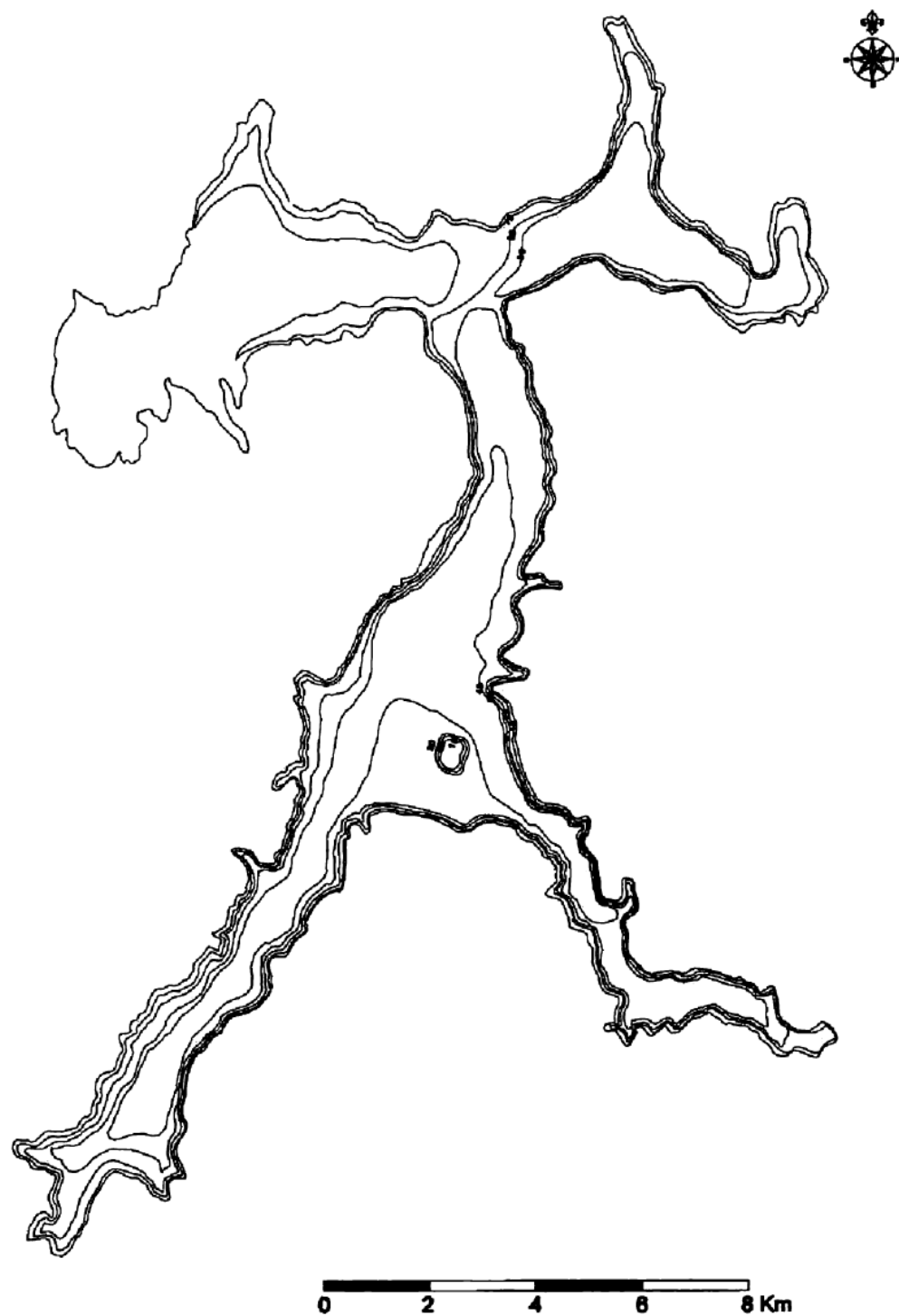
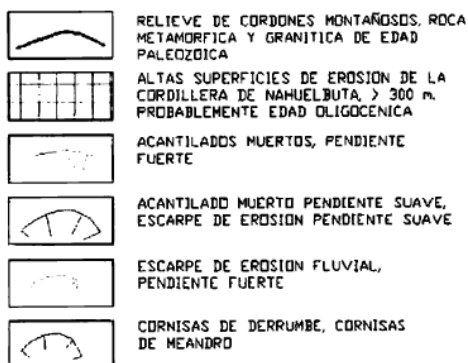
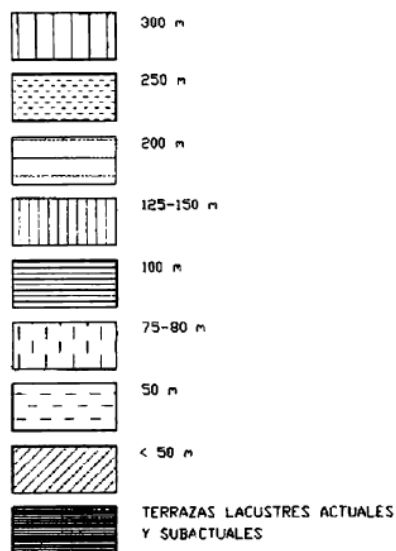


Figura 5. Mapa batimétrico del lago Lleulleu

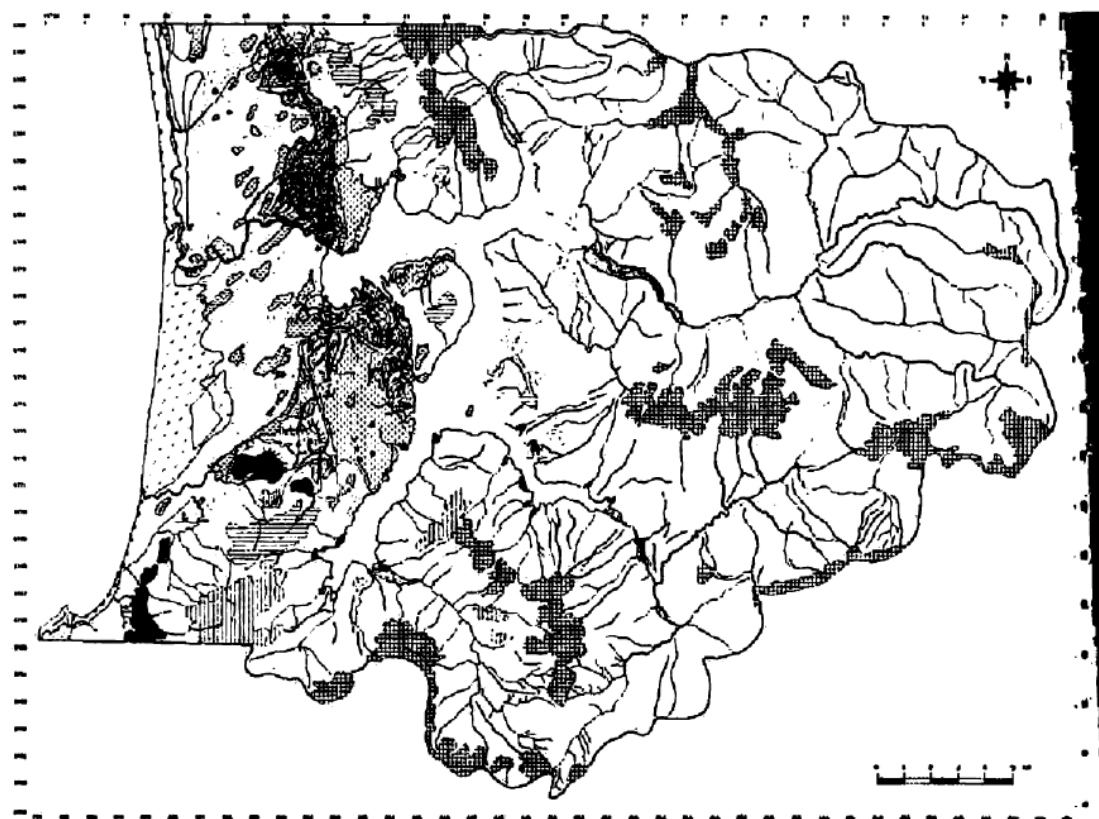
LEYENDA ANEXOS 1 Y 2: CARTAS GEOMORFOLOGICAS DE LOS LAGOS LANALHUE Y LLEULLEU

RELIEVE DE EROSION

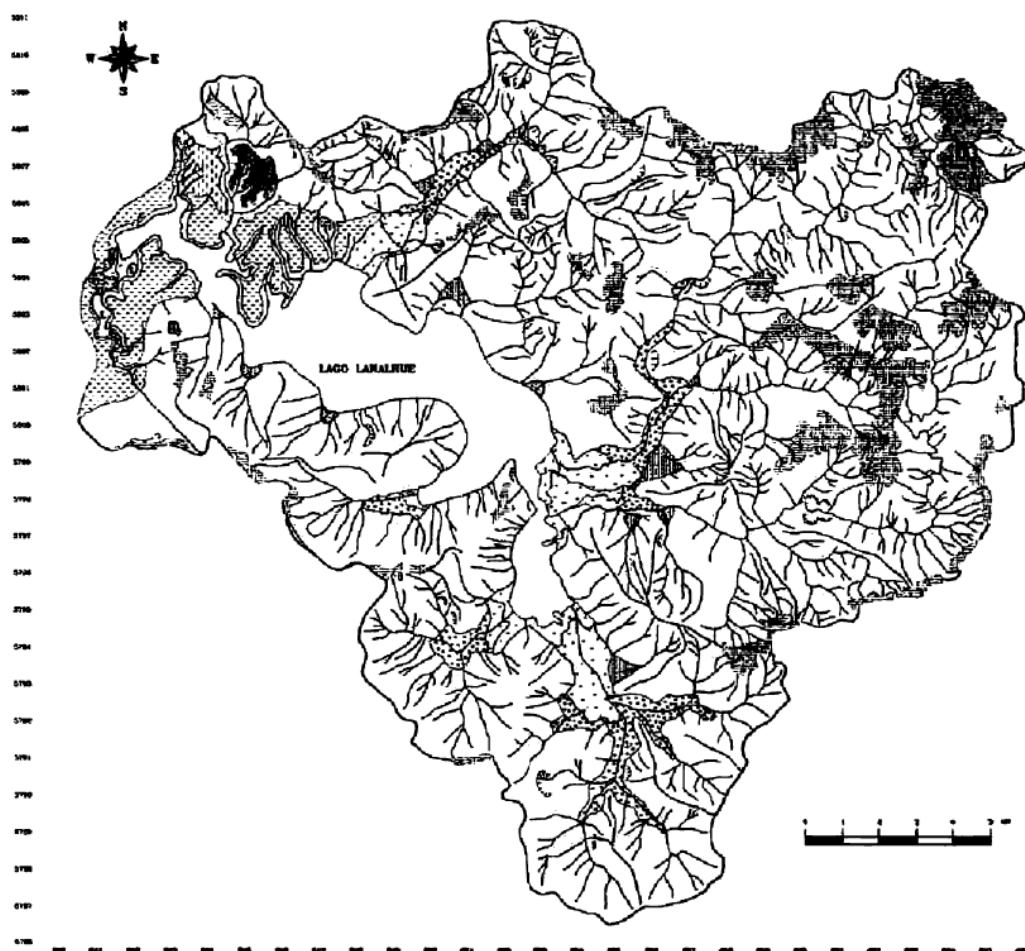
TERRAZAS DE ABRASION MARINA
(ALTITUD APROXIMADA):

RELIEVES DE ACUMULACION





Mapa 1. Carta geomorfológica de la cuenca hidrográfica del lago Lleulleu, VIII Región del Biobío, Chile



Mapa 2. Carta geomorfológica de la cuenca hidrográfica del lago Lanalhue, VIII Región del Biobío, Chile