



GOBIERNO DE CHILE
COMISION NACIONAL
DEL MEDIO AMBIENTE

000557

Circ. N° 48 /2008.-

Ref. Adjunta 2° Informe Parcial del
Estudio Diagnóstico de la Calidad de Las Aguas
del Lago Villarrica y solicita revisión.

Temuco, 30 de julio de 2009.-

De : Comisión Nacional del Medio Ambiente – Región de La Araucanía
Directora Regional
Sra. Jovanka Pino Delgado

A : Según distribución

A través del presente y en el marco del desarrollo del Estudio Diagnóstico de la Calidad de Las Aguas del Lago Villarrica, financiado por el FNDR, adjunto a la presente el Segundo Informe Parcial del estudio.

Ruego a Ud. revisar dicho informe, y en consideración a los antecedentes establecidos en los Términos de Referencia y la propuesta del consultor, realizar sus observaciones y/o comentarios si corresponde.

Asimismo, le solicito tenga a bien, enviar su respuesta a esta Dirección Regional de CONAMA, hasta el día viernes 15 de agosto de 2008.

Sin otro particular, le saluda atentamente.



Jovanka Pino Delgado
Directora Regional de CONAMA
Región de La Araucanía

JPD/MHG/PYV/meq
Distribución:

- Director Regional DGA - Región de La Araucanía
- Director Regional del SAG – Región de La Araucanía
- Director Regional de DOH – Región de La Araucanía
- División de Análisis y Control de Gestión Gobierno Regional de La Araucanía
- Archivo

**UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS**



Segundo Informe parcial

**“DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS DEL LAGO
VILLARRICA”**

Presentado por:

Universidad Austral de Chile

Financiamiento

**FONDO NACIONAL DE DESARROLLO REGIONAL
Región de La Araucanía**

RESUMEN EJECUTIVO

Este informe da conocimiento sobre la validación de la base de datos para el lago Villarrica, y las actividades realizadas entre diciembre 2007 y julio 2008.

INDICE	PAG.
1. Introducción.....	3
2. Objetivos del Estudio.....	3
3. Metodología.....	4
4. Resumen Actividades.....	5
5. Resultados obtenidos.....	9
5.1. Comparación de metodologías.....	9
5.2. Cambios y correcciones realizados en la base de datos.....	11
5.2.1 PRIMERA FASE – evaluación empírica.....	11
5.2.2 SEGUNDA FASE – evaluación estadística.....	19
5.2.3 TERCERA FASE – eliminación de datos	49
ANEXO 1.....	
ANEXO 2.....	
ANEXO 3.....	

1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo a la propuesta técnica, en este informe se da a conocer el estado de validación de la base de datos para el lago Villarrica, y las actividades realizadas entre diciembre 2007 y julio 2008.

Hay que señalar que el proyecto ha tenido un atraso de aproximadamente 3 meses debido al incendio de la Facultad de Ciencias de la Universidad Austral de Chile a principios de diciembre 2007. Este incendio destruyó todos los resultados de los análisis químicos (todavía no estaban digitalizados), toda la literatura sobre el proyecto y todos los instrumentos científicos necesarios para tomar y analizar las muestras de agua (p.e. fotómetro, material de vidrio, pipetas, insumos etc.). Por esta razón fue necesario comprar nuevos instrumentos de laboratorio (en Alemania) y re-estructurar las salidas a terreno por falta de una lancha. Sin embargo y no obstante de las dificultades ya mencionadas, fue posible seguir la ejecución del proyecto en forma relativamente conforme con el plan de trabajo (mas detalles ver abajo, parte actividades).

2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

Según la propuesta técnica, en este informe se muestra el avance del proyecto y las actividades realizadas durante diciembre 2007 – julio de 2008. Durante este período, correspondía enfocarse en la realización de actividades para responder el objetivo 3.2., que dice lo siguiente:

3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO 2: ACTUALIZAR Y VALIDAR LA BASE DE DATOS DEL LAGO VILLARRICA.

- **Actividad 1. la actualización de cada parámetro (físico, químico y biológico) al año 2006**
- **Actividad 2. un análisis científico (crítico) de la calidad de los datos existentes.**

3. METODOLOGÍA

3.2 Actualización de cada parámetro y análisis científico (crítico) de la calidad de los datos existentes

Comparación de la metodología

Previo al chequeo de los datos se compararon la metodología utilizadas por la DGA, UACH y la Directemar para encontrar diferencias entre los diferentes bases de datos. En el caso de los datos de la DGA todavía no fue posible verificar la metodología en detalle, porque faltaron en parte informaciones al respecto. Sin embargo fue posible realizar averiguaciones al respecto por comunicaciones telefónicas con el laboratorio de la DGA en Santiago y conversaciones personales en terreno con el Sr. José Ortiz. De este modo fue posible aclarar varias dudas respecto a las unidades y la metodología de los parámetros de la DGA (ver abajo).

Actualización y análisis de datos

La base de datos en EXCEL (hoja “**Master Villarrica sin corrección**”) esta actualizado hasta 2006. Esta fue chequeada respecto a la calidad de los datos con el fin de

determinar aquellos datos que finalmente serán incluidos en la base de datos para la elaboración de la Norma Secundaria. El análisis de los datos se realizó en tres fases consecutivas:

1. En la primera fase se definieron los parámetros, revisaron y homologaron las unidades para los casos donde habían diferencias y/o dudas. Finalmente se destacaron los datos dudosos/erróneos según los criterios definidos por los consultores.
2. En la segunda fase se realizó un análisis estadístico para corroborar y/o identificar valores fuera de lugar ("outliers") usando varios métodos estadísticos (ver abajo).
3. En la tercera fase se compararon los resultados de las dos primeras fases con el fin de definir la base final de los datos eliminando datos identificados como dudosos/erróneos.

El procedimiento y la metodología para las diferentes fases fueron lo siguiente:

PRIMERA FASE – evaluación empírica

1) Definición de parámetros. Se elimina los datos sobre arroyos/ríos porque no son el objetivo de este análisis. Se elimina los metales, grasas y iones principales (Ca, Mg, Na, K) por no ser relevante para el objetivo del estudio (los iones principales son conservadores). Se decide enfocar en los parámetros tróficos (secchi, oxígeno, amonio, nitrato, nitrito, nitrógeno total, fósforo soluble, fósforo total, clorofila). En segundo lugar se analizaron también temperatura, conductividad y pH por ser parámetros básicos importantes. Otros parámetros como productividad primaria y fitoplancton no se analizaron porque no está dentro de los parámetros monitoreados por la DGA y/o porque no existían muchos datos.

2) Revisión y destacar datos dudosos/erróneos. La revisión de los datos se hizo en primer lugar por origen de datos (DGA, UACH, Directemar) usando los AUTOFILTROS marcando valores altos o muy bajos o errores tipográficos o valores obviamente

erróneos (p.e. oxígeno: 0,26 mg O₂/L, nitrito: 2000 µg N_nitrito/L). Los criterios para destacar valores altos/bajos están explicados con más abajo (resultados y archivo EXCEL).

En primera instancia se verificó las diferentes unidades de los parámetros y homologaron las unidades. Respecto a este último aspecto, hay que mencionar que las unidades para los nutrientes en la base de datos de la DGA fueron equivocadas y tuvieron que ser corregidos (ver abajo).

Criterios básicos para detectar valores dudosos fueron:

- La relación entre la fracción soluble y total de nitrógeno (NT) y fósforo (PT): la suma de nutrientes no puede ser mayor que NT o PT.
- La relación entre la fracción orgánica de nitrógeno (N_{org.}) y nitrógeno total: tiene que ser coherente, N_{org.} No puede ser mayor que NT.
- La existencia de incoherencias entre perfiles verticales de los parámetros, p.e. cambios bruscos (curvas de fiebre).
- La existencia de incoherencias entre diferentes parámetros, p.e. alta presencia de amonio en condiciones oxigenadas, mayores concentraciones de amonio que nitrato, mayores concentraciones de nitrito en comparación con nitrato etc.

Finalmente se destacaron los valores dudosos con diferentes colores:

verde = dudoso

rojo = muy dudoso/probablemente erróneo

fucsia = erróneo

SEGUNDA FASE –evaluación estadística

Identificación de outliers

Un outlier es una observación o un conjunto de observaciones que están fuera del patrón de distribución de los datos. La principal característica de un dato outlier es que este puede influir de manera negativa sobre nuestros análisis, conduciéndonos a errores en el momento de hacer inferencias acerca de las características del conjunto de datos (por ejemplo tendencia, promedio, desviación estándar). Sin embargo, es muy importante destacar que los datos outliers **no necesariamente son erróneos**, más aun

pueden entregar importante información sobre eventos puntuales, sean estos naturales o de origen antropogénico. Por lo anterior, previo a remover este tipo de datos resulta fundamental que estos sean críticamente analizados por un experto del área, el cual indicará finalmente si el o los datos outliers identificados deben ser eliminados.

En este Proyecto se utilizaron las siguientes técnicas para identificar datos outliers: el Rango intercuartil (RIC), la Desviación Absoluta de la Mediana (DAM) y la prueba estadística de Rosner.

Rango intercuartil (RIC): esta técnica incluye el cálculo de los percentiles 25 (Q1) y 75 (Q3) y de la mediana (percentil 50, Q2). Se calcula la diferencia entre $Q3 - Q1$, lo que es conocido como el (RIC). Aquellos valores que se encuentren bajo $1,5 - Q1*RIC$ o sobre $1,5 + Q3+RIC$ pueden ser considerados como outliers “suaves” en tanto que aquellos valores bajo $3,0 - Q1*RIC$ o sobre $3,0 + Q3+RIC$ pueden ser considerados como **outliers extremos**. En este trabajo se utilizó un criterio conservador, es decir se consideraron outliers aquellos datos que cumplieran con el primer supuesto. Conjuntamente con este análisis se construyeron los Box-Plot, los cuales permiten identificar gráficamente los outliers. Estos gráficos dividen los datos dentro de cuatro áreas de igual frecuencia. Una caja encierra el 50% de los datos, donde la mediana es marcada con una estrella, los extremos de la caja representan el cuartil 25 (Q1) y el cuartil 75 (Q3), además líneas horizontales llamadas “barbas” se extienden desde una distancia de 1,5 veces de los extremos de la caja.

Desviación Absoluta de la Mediana (DAM): esta técnica es una vía para estimar la variabilidad de un conjunto de datos y una de sus principales ventajas es su robustez frente a la presencia de datos outliers. El primer paso en el análisis es calcular la mediana de todos los datos. Luego se calcula la desviación de cada dato de la mediana de todos los datos (valor absoluto). Finalmente se calcula la mediana del set de diferencias calculadas anteriormente. La DAM es utilizada posteriormente en la estimación del z “score” para cada una de los datos, reemplazando la desviación estándar por la MAD. Valores mayores a 3,5 pueden ser considerados datos outliers.

Prueba estadística de Rosner: Esta prueba estadística permite identificar hasta 10 valores outliers simultáneamente, en un conjunto de datos de 25 o más valores. Esta prueba asume que los datos deben presentar una distribución normal. Debido a que en muchos de los parámetros analizados se entregan los valores del límite de detección del análisis (y por lo tanto existen muchos valores iguales) el supuesto de normalidad de los datos no se cumplió. A pesar de esto, el análisis fue desarrollado igual, aunque su interpretación fue más cuidadosa y estuvo en función de los análisis anteriores. Es importante destacar que los resultados de esta prueba fueron muy concordantes con el RIC y la DAM.

TERCERA FASE – Eliminación de datos

En esta fase se compararon los resultados de las dos primeras fases con el fin de definir la base final de los datos eliminando datos identificados como dudosos/erróneos. Para esta meta se usaron principalmente los outliers identificados con el método **Rango intercuartil** dado las implicaciones y limitaciones mencionados en la metodología (falta de normalidad de los datos etc.).

Sin embargo, los criterios para la decisión final que más pesaron y los cuales no fueron reflejado en los test estadísticos, son los criterios empíricos explicados arriba.

4. RESUMEN ACTIVIDADES

Durante el período diciembre 2007 – julio 2008 se realizaron además las siguientes actividades:

- Actualización y análisis de la calidad de la base de datos.
- Muestreo del Lago Villarrica (11 profundidades) y los Ríos Pucón y Toltén (Arroyos Molco y Correntoso en julio 2008) en las siguientes fechas: 13.12.2007, 24.01.2008, 12.02.2008, 04.03.2008, 03.04.2008, 07.05.2008, 11.06.2008, 02.07.2008. Se presenta fotos de estas salidas a terreno en ANEXO 1.
- Análisis de las muestras de agua a partir de mayo 2008, en el nuevo laboratorio del investigador principal (ver fotos). Hasta ahora se analizaron principalmente los nutrientes, oxígeno, temperatura y conductividad. Se presenta algunos resultados preliminares en ANEXO 2.
- Desarrollo de reuniones informativas y de discusión con la contraparte:
 - 13.12.07:** Reunión con contraparte en Temuco: se discute los resultados del primer informe y los problemas relacionados con el incendio de la Facultad de Ciencias de la Universidad Austral de Chile.
 - 3.6.08:** Reunión con contraparte y comité técnico de la Norma Secundaria en Temuco: se presenta el estudio y avances.
- Análisis de cobertura de Uso Actual del Suelo sobre la cuenca del Lago Villarrica. La metodología y los resultados preliminares están presentados en el ANEXO 3.
- Recopilación de información sobre diferentes fuentes de nutrientes, p.e. sobre las descargas de pisciculturas y la planta de tratamiento Pucón. La recopilación de otros datos esta en pleno proceso y evaluación.

5. RESULTADOS OBTENIDOS

5.1. Comparación de metodologías

DGA

La DGA analiza las muestras según las normas chilenas con algunas excepciones. Para amonio usa el método de Nessler, para fósforo soluble el método ascórbico y heptamolibdato. Estos métodos tienen una mayor sensibilidad, necesaria para determinar los bajos valores presentes en los lagos araucanos.

Respecto a la determinación de nitrógeno y fósforo total todavía no se obtuvo la información correcta por parte de la DGA; puesto que en la base de datos no se establece claramente el uso de la metodología empleada en estos análisis.

Respecto a la metodología de las otras bases de datos, en general las metodologías de la DGA parecen ser comparables a la que usa la UACH y en parte la Directemar (otros límites de detección).

UACH

La metodología utilizada corresponde principalmente a las descritas en el APHA y a Zahradnik, en especial respecto a la determinación de nitrato (Método de Salicilato) y de nitrógeno total. Esta última es una digestión abierta con ácido sulfúrico y H_2O_2 y posteriormente determinación de nitrógeno como amonio, o sea es una digestión completa tipo Kjeldahl reduciendo todo el nitrógeno a amonio.

Directemar

La Directemar entregó los métodos de los análisis en forma muy detallada (tabla 1). Llama la atención los límites de detección que fueron altos para amonio ($0,01 - 0,09 \mu g NH_4/L$), NT, PT y ortofosfato ($200 \mu g P/L$), especialmente a partir del año 2000. No está claro porque los límites de detección empeoraron después de este año, porque anteriormente a esta fecha fueron considerablemente más bajos para nitrógeno total y fósforo total entre otros parámetros.

Tabla 1. Metodología de análisis de la DIRECTEMAR

METODOLOGÍAS DE ANÁLISIS						
PARÁMETRO	ANÁLISIS					
Nitrato	Standard Method Ed. 20, 1998. Método 4500 NO3 B Espectrofotometría					
Fosfato	Standard Method Ed. 20, 1998. Método 4500-P C. Ácido Ascórbico UV-VIS.					
Amonio	Standard Method Ed. 21, 2005. Método 4500 NH3 D Electrodo Específico.					
Fósforo Total	Standard Method Ed. 20, 1998. Método 4500-P C. Ácido Ascórbico UV-VIS.					
Nitrógeno Total kjeldhal	Standard Method Ed. 21, 2005. Método 5210-N B.					
Clorofila a	Standard Method Ed. 20, 1998. Método 10200 H.					
DBO5	Standard Method Ed. 21, 2005. Método 5210 B. Incubación 5 días.					
DQO	Standard Method Ed. 21, 2005. Método 5220 D Reflujo Cerrado-Calorimétrico					
METODOLOGÍA DE MUESTREO						
Límites de Detección						
AGUA ESTUDIO	1993-1996	1997-1999	2000	2001	2002-1°C 2003	2003-2006
Clorofila a mg/m3	-----	0,01	0,08	0,16	0,5	0,5
Fósforo Total mg /L	-----	0,002	0,005	0,045	0,2	0,2
Nitrógeno Kjeldahl mg /L	-----	0,02	0,01	0,9	0,2	0,2
Nitrato mg /L	0,04	0,001	0,01	0,01	0,01	0,01
Amonio mg /L	0,01	0,02	0,01	0,09	0,05	
Coliformes Fecales NMP/100 ml	2	1,8	2	2	2	2
DBO5 mg /L	-----	0,1	2	4	2	2
DQO mg /L	----	0,4	1	1,1	20	20
fosfato mg /L	0,02	0,005	0,005	0,045	0,2	0,2

5.2. Cambios y correcciones realizados en la base de datos

5.2.1 PRIMERA FASE – evaluación empírica

Consideraciones generales.

- 1) La base inicial de datos fue la hoja “**Master Villarrica sin corrección**”. Esta hoja se copió y se realizaron en la primera fase de trabajo los datos. El nombre de esta hoja es “**Master con correcciones**”, mientras la hoja con las explicaciones de los cambios realizados se llama “**Descripción cambios**”.
- 2) Se decidió mantener en la hoja “**Master con correcciones**” las columnas con los datos originales de la DGA, UACH y Directemar para facilitar cualquier revisión posterior de los originales. Estas columnas están agrupadas (+) y pueden ser revisadas fácilmente (Fig. 1).

	AM	AP	AT	AV	BK	BI	BJ
1	Alk invc	N_NH3 µg/L	N-NO3 µg/L	N-NO2 µg/L	N_tot µg/L	Fosforo ar.	P-Total
2							
3							
4							
5							
6		1.0				1.00	2.70
7							
8							
9							
10							

	AP	AQ	AR	AS	AT
1	N_NH3 µg/L	Nitrato	Nitrato	nitrato	N-NO3 µg/L
2		6240	Directemar	UACH	
3		Nitrato		nitrato	
4		Espectro		N_NO3 µg/L spectronic 10	
5		mg/L NO3		ug/l Spectronic100	
6	1.0				
7	13.0				
8	15.0				
9	3.0		0.09		90.0
10	5.0		0.05		50.0

Stufen Woelfli;
segun archivo 2692
y conversacion con DGA
Santiago es 10 mg/L

Fig. 1. Hoja “**Master con correcciones**”, se destaca las columnas agrupadas (+) y se muestra para nitrato las columnas escondidas

- 3) Durante la revisión de los datos se observaron diferencias significativas entre los datos de diferentes orígenes – especialmente entre los datos de la DGA y el resto de las fuentes consultadas. Surgieron dudas respecto a las unidades de los parámetros

nitrato, nitrito, amonio y fosfato provenientes de la DGA. En la base original de la DGA estos parámetros figuraron como muestra la tabla 2:

Tabla 2. Ejemplo de las unidades de la base original de datos de la DGA

6240	I	6260	I	6282	I	6310	I	6311
Nitrato		Nitrito		Nitrogeno Amoniacal		Fosforo		Fosforo
Espectro		Ned-Dicl		Titulaci		Kjeldahl Colorimetria		Kjeldahl Titulación
mg/l NO ₃		mg/l		mg/l NO ₂		mg/l PO ₄		mg/l PO ₄

Sin embargo, en una base de datos de la DGA de 2002 (que la DGA había mandado en aquella ocasión al investigador principal) las unidades para éstos parámetros fueron distintas refiriéndose siempre a N dentro de nitrato, nitrito y P dentro de fosfato pe. (N_NO₃, N_NO₂, P_PO₄), similar a los otros bases de datos (UACH, Directemar). Recién el 17 de junio se pudo verificar mediante una comunicación telefónica con la DGA Santiago (Sr. Fredy Actudillo, 02-4493860), que las unidades entregadas por la DGA para este estudio, fueron erróneas. La DGA siempre entrega los datos refiriéndose a N_ y P_ (como en la base de datos 2002) y no a NO₃, NO₂ etc.. Este grave error obviamente (p.e. NO₃ es 4x mas alto que N_NO₃, o sea 100 µg/L de NO₃ corresponden a 25 µg/L de N_NO₃) causó problemas y un atraso considerable en el análisis de los datos. Finalmente se corrigió este error y se revisaron los datos.

Consideraciones específicos

En la tabla 3 y el respectivo archivo EXCEL se explican los cambios realizados y cuales valores fueron destacados.

Adicionalmente se puede mencionar aquí lo siguiente:

DATOS de la DGA

Estos datos corresponden a muestras tomadas en 3-4 profundidades en 4 estaciones de muestréo entre 0-30 m y 0-80 m (una estación). Los registros parten en 1986 hasta

la fecha (2006). En general presentan problemas en diferentes análisis, especialmente de nitrógeno.

Temperatura: Problemas el 21/08/03 (fila 142-144), estación Villarrica: Los datos son muy bajos 5,56-6,33 °C, se destaca.

Amonio: Los valores varían entre 4 y 173 $\mu\text{g N}_{\text{NH}_4}/\text{L}$. A partir de 1990 el valor más bajo fue 10,0 $\mu\text{g N}_{\text{NH}_4}/\text{L}$, lo que deja suponer que este valor corresponde al límite de detección, lo cual es demasiado alto para ser aceptado. En muchos casos (después de 1987) llama la atención, que aprox. 50% de los valores de amonio son mas altos que $\text{N}_{\text{nitrate}}$. En condiciones oxigenadas esto es muy improbable, porque las bacterias nitrificantes rápidamente nitrifican (oxidan) el amonio a nitrato (ganando energía). Seguramente el bajo límite de detección en parte producía artificialmente esta alta relación de amonio versus nitrato. Se marcó todos los valores, donde la relación $\text{N}_{\text{NH}_4} / \text{N}_{\text{nitrate}}$ es mayor que 1. Por supuesto podría existir también el caso en que el nitrato fue medido erróneamente subestimándolo, pero una comparación con los valores históricos y actuales de la UACH muestran que la concentración de nitrato en aguas superficiales es siempre bajo ($< 20 \mu\text{g N}_{\text{nitrate}}/\text{L}$).

Nitrato y NT: Había varios valores muy altos de nitrato ($> 100 \mu\text{g N}_{\text{nitrate}}/\text{L}$) que fueron mas altos que NT. Además es muy probable que también la determinación de NT fallara, ya que había incoherencias con otros parámetros, p.e. P soluble y amonio.

Fósforo soluble y fósforo total: Llama la atención que la unidad de P soluble es mg/l y la de P total es $\mu\text{g/l}$. También llama la atención que se repiten muchos valores de 0,01 mg/l para P soluble (hasta 2005 incluso) (destacado en verde), lo que deja suponer que este valor fue el límite de detección. Generalmente a partir de 2000 aparecen también valores $< 0,01 \text{ mg P/l}$ de P soluble, lo que deja suponer que se produjo un cambio de método y/o de sensibilidad. En muchos casos se observó que P soluble fue mayor que P total (destacado en rojo), lo que obviamente no puede ser.

Clorofila a: Dado que la metodología para determinar la clorofila normalmente no muestra demasiado problemas y el hecho de que no se observaron datos evidentes fuera de lugar o incoherentes, no se destacó ningún valor, a pesar de que había también valores indicativos para un estado mesotrófico ($> 5 \mu\text{g/l Chl a}$) e incluso eutrófico.

DATOS de la UACH

Incluyen datos desde 1978 hasta 2005, con menos datos a partir de 1991. Las profundidades llegan desde 1978-1985 hasta 100 m, 1984/85 hasta 25 m, 1991 hasta 160 m, 1997 hasta 30 m y 2004/5 hasta 40 m. Esto significa que los datos de la UACH son los únicos registros de las concentraciones históricos en profundidades > 80 m (profundidad máxima de la base de datos de la DGA).

Oxígeno, temperatura: ningún problema observado.

Amonio: Se mide recién a partir de 1986. Muestra algunos valores muy altos, especialmente en las bahías. Estos valores que parcialmente sobrepasaron los valores de nitrato (muy improbable) fueron destacados.

Nitrato/N Total: Muestra en algunas ocasiones muy altos niveles, que se reflejan también en el nitrógeno total. Antes de de 1991 había problemas con el cálculo de las concentraciones que fue corregido (ver tabla). Recién a partir de 1991 se analiza también N total. Hay algunos valores altos, todos en bahías con poca profundidad (La Poza). El 02/12/1991 se observó una muy alta concentración de nitrato/ NT y fósforo, lo que podría indicar alguna contaminación puntual importante.

Fósforo soluble y fósforo total: La determinación de P soluble en general parece confiable, con pocas excepciones altas. Sin embargo en varios ocasiones se observa incoherencias en perfiles verticales. El P total muestra valores altos (> 20

$\mu\text{g P/l}$), especialmente antes de 1991. Sin embargo la confiabilidad de los datos parece buena.

Clorofila a: No se observaron valores dudosos (pero si altos).

DATOS de la Directemar:

Corresponden sin excepción a muestras superficiales, tomadas en la cercanía de las orillas. Los registros comienzan en 1993 hasta la fecha. Los datos muestran valores altos y en general mucho mas altos que los datos de la DGA y de la UACH para el nitrógeno total y en parte también para P total. Los límites de detección, en general; son relativamente altos y/o muy altos (P total) (ver arriba) por lo cual se repiten muchos valores (p.e. 200 $\mu\text{g P/l}$). Sobre el oxígeno, la temperatura y clorofila a no hay registros.

Columnas finales	Parámetro	Columna original	Problemas, cambios		
si	Conductividad	W	Problemas, cambios se marca valores dudosos (verde) y muy dudosos (falsos ?), rojo se elimina valores, porque estan fuera de lugar	13/03/1990 27/05/1997 27/05/1997 23/04/1991 02/12/1991 02/12/1991 02/12/2004	117 103 91.9 99.2 95.4
			resto es o.k.		
si	pH	X	ningun cambio		
si	Solidos	Y	ningun cambio de datos, pero si de tabla equivocada en esta parte (fila 413-465)		
si	Tot-Seston	Z	se marca valores muy dudosos, valores son 5x mayores parece un error de medicion, en columna de agua en el centro es muy improbable encontrar tales concentraciones	09/08/1984 13/06/1985	38.24 77.92
			parametro no considerado, porque hay pocos datos (solamente UACH)		
si	Org-ses	AA	ningun cambio,parametro no considerado, porque hay pocos datos (solamente UACH)		
si	Solidos Tot.	AB	ningun cambio,parametro no considerado, porque hay pocos datos (solamente UACH)		
si	Ino-ses	AC	ningun cambio,parametro no considerado, porque hay pocos datos (solamente UACH)		
si	Turbiedad	AD	ningun cambio,parametro no considerado, porque hay pocos datos (solamente UACH)		
si	Color	AE	ningun cambio, sin embargo llama la atencion algunos valores altos pero en general solamente existen pocos valores (N=11)		
si	Oxigeno	AF	se marca valor erroneo	07/05/2002	
si	Oxigeno	AG	se cambia la unidad, obviamente es % de saturación de O2		
			ningun cambio,habria que discutir si se considera en base de datos o no		
si	Demanda Quimica Oxigeno	AH	ningun cambio, pocos datos disponibles		
si	DBO5 mg/L	AI	ningun cambio, pocos datos disponibles		

Columnas finales	Parámetro	Columna original	Problemas, cambios	
si	Conductividad	W	se marca valores dudosos (verde) y muy dudosos (falsos ?): rojo se elimina valores, porque estan fuera de lugar	13/03/1990 27/05/1997 27/05/1997 23/04/1991 02/12/1991 02/12/1991 02/12/2004
			resto es o.k.	
si	pH	X	ningun cambio	
si	Solidos	Y	ningun cambio de datos, pero si de tabla equivocada en esta parte (fila 413-465)	
si	Tot-Seston	Z	se marca valores muy dudosos, valores son 5x mayores parece un error de medicion, en columna de agua en el centro es muy improbable encontrar tales concentraciones	09/08/1984 13/06/1985
			parametro no considerado, porque hay pocos datos (solamente UACH)	
si	Org-ses	AA	ningun cambio,parametro no considerado, porque hay pocos datos (solamente UACH)	
si	Solidos Tot.	AB	ningun cambio,parametro no considerado, porque hay pocos datos (solamente UACH)	
si	lno-ses	AC	ningun cambio,parametro no considerado, porque hay pocos datos (solamente UACH)	
si	Turbiedad	AD	ningun cambio,parametro no considerado, porque hay pocos datos (solamente UACH)	
si	Color	AE	ningun cambio, sin embargo llama la atencion algunos valores altos pero en general solamente existen pocos valores (N=1)	
si	Oxigeno	AF	se marca valor erroneo	07/05/2002
si	Oxigeno	AG	se cambia la unidad, obviamente es % de saturación de O2	
	Demanda Quimica			
si	Oxigeno	AH	ningun cambio,habria que discutir si se considera en base de datos o no	
si	DBO5 mg/L	AI	ningun cambio, pocos datos disponibles	

Columnas finales	Parámetro	Columna original	Problemas, cambios		
			se elimina columna, solamente 2 datos	13/03/1990	64,4
si	Bicarbon	AK	ningun cambio	13/03/1990	37,7
			se unifica valores de UACH con columna Bicarbon (= iguales), se elimina, no hay valores		
si	Alk mval	AL	no se cambia todavía nada, a pesar de los problemas detectadas por Woelfi (2003) (sobrestimado por 1/0,625), se deja marcada los valores dudosos		
	Nitrogeno de Amonio	AM	datos DGA en ppm, según archivo de 2002 unidad es N_NH4 y no NH4, se multiplica con 1000x y copia a AO		
	Amonio µg/l	AN	valores DIRECTEMAR, se transforma ppm en µg/L, x 14/17x1000, valores finales en AO, ejemplos → solamente valores de la Directemar estan involucrado Datos UACH sin cambio, DGA carece de datos	N_NH3 µg/L	ppm Amonio
				0,690	
				0,432	
				1,090	
si	N_NH3 µg/L	AO	se marca valores > 100 sin accion todavía, son muchos datos valores de amonio, todavía sin eliminacion de valores, solamente marcadas valores > 20 verde (valores altos), Rojo: amonio > nitrato (muy improbable) valores de DGA, en ppm nitrato, pero según archivo 2002 es N_NO3 x 1000, estos valores estan finalmente en columna AS		
	Nitrato	AP	datos DGA (en ppm N_NO3 ?) y directemar en NO3 ppm		
	N_Nitrato_ppm	AQ	valores Directemar en N_NO3 en ppm, se transforma en µg/l y copia a AQ		
	nitrato	AR	Datos UACH		
si	N-NO3 µg/L	AS	se marca verde valores > 100, algunos valores son >>1000, marcados en rojo		
	Nitrato	AT	valores en ppm y/o en NO2		
si	N_NO2 µg/L	AU	valores finales de nitrito		

Columnas finales	Parámetro	Columna original	Problemas, cambios
	Nitrogeno Kjeldahl	AV	1986-1990 graves problemas, valores son bajisimos, imposible: suma de Nke+ Nitrate+amonio es inferior a Ntot (<1, debería ser 1), se marca se copia a BA y cambia la unidad a µg N/L, se marca valores dudosos
	9900 DGA		
	Nitrogeno total	AW	valores DGA, unidad cambia, hasta 1998 mg/L despues en µg N/L Graves problemas con Nkel y/o Ntotal
	Nkel+nitrato+nitrato/Ntot	AX	Nkel+nitrato+nitrato/Ntot: debería ser 1, se marca valores dudosos
	N_org µg/L	AY	Datos UACH, metodo Zahradnik, se marca 0 con rojo
	N_Total ppm	AZ	datos directemar, muchos dudosos (verde) y muy dudosos (rojo)
si	N_tot µg/L	BA	se copia valores de DGA (columna AW) y se transforma en µg N/L (x1000) se calcula datos UACH: se calcula Ntot = Norg.* amonio + nitrato + nitrito
			Directemar: se copia datos (columna AZ) y transforma a µg/L (x 1000)
	Fosforo	BB	Datos DGA con unidad errónea: mg/l PO4, pero es mg P_PO4/l según archivos originales de la DGA (2000) la unidad es P_PO4 y no PO4 corresponde a fosforo soluble
	Fosfato_ppm	BC	Se introduce columna nueva, porque datos Directemar son diferentes a DGA (BB)
			Se mueve datos de BB a BC
	Fosforo	BD	según archivos originales de la DGA (2000) la unidad es P_PO4 (mg/L) y no PO4 (mg/L)
			corresponde a P total
	Ortofosfato spectronic 100	BE	Datos P soluble UACH, se copia a BH
	P_Total_ppm	BF	Datos Directemar, se copia a BI y transforma valores de mg P/L en µg P/L (x1000)
	TP µgP/l spectronic 100	BG	datos UACH, sin cambios se copia a BI
si	Fosforo soluble reactivo	BH	Datos finales de P soluble reactivo ("ortofosfato") en µg P/L con marcas
si	P-Total	BI	Datos finales de P total en µg P/L con marcas

Columnas finales	Parámetro	Columna original	Problemas, cambios
	Silice	BJ	Datos DGA, según archivo 2002 de la DGA es SiO2 mg/L y no Si (mg/L), ningún cambio
	SiO2 mg/L Spectronic	BK	Datos UACH: se copia a BL sin cambios
si	Silice	BL	Datos finales
	Sulfato	BM	Datos DGA, según archivo 2002 unidad es SO4 mg/L, se copia a BO
	SO4 mg/L spectronic 100	BN	Datos UACH, se copia a BO
si	Sulfato	BO	Datos finales sulfato en SO4 mg/L
si	Clorofila A	BP	sin cambios
si	Produccion primaria	BQ	sin cambios
	Fitoplancton mg/m3	BR	sin cambios y sin revision (no se considerara en Norma secundaria)
	Colif. fec. NMP. 100ml	BS	sin cambios y sin revision (no se considerara en Norma secundaria)
	Colif. tot. NMP. 100ml	BT	sin cambios y sin revision (no se considerara en Norma secundaria)

000568

5.2.2 SEGUNDA FASE – evaluación estadística

Conductividad

La identificación de outliers para este parámetro se realizó para el total de valores que contenía la base de datos (1001 datos), es decir, el análisis no consideró aspectos tales como origen de los datos, fecha de medición, sector o profundidad, entre otros. Esto debido a la baja variabilidad espacio temporal que registra este parámetro naturalmente en la naturaleza (Fig.2).

RIC: aquellos valores de conductividad que sean menores 41,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ o mayores a 63,0 pueden ser considerados como outliers. Aquellos valores que en el gráfico aparecen sobre y bajo las barras (i.e. más de $1,5 \cdot \text{RIC}$) pueden ser considerados outliers.

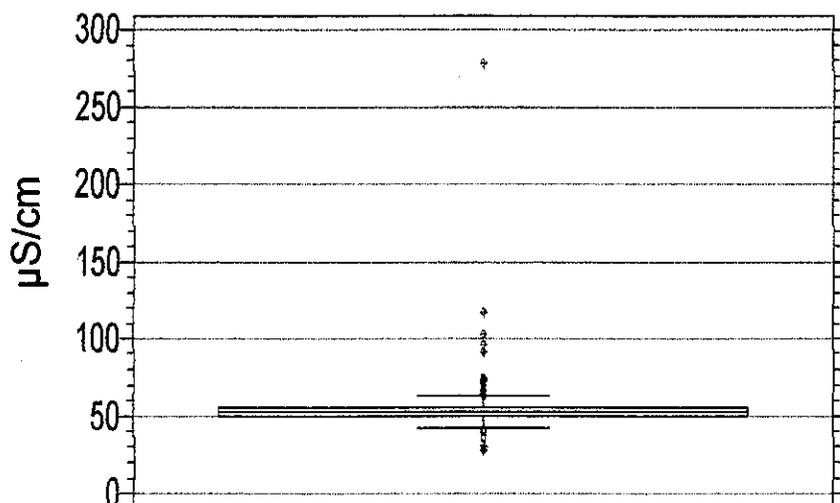


Fig. 2. Box –Plot Conductividad

DAM: aquellos valores $\leq 36,5 \mu\text{S}/\text{cm}$ y $\geq 65,1$ pueden ser considerados como outliers.

Prueba de Rosner: valores de conductividad **278,0; 117,0; 103,0; 96,2; 91,9; 28,0; 29,0** y **30,0** $\mu\text{S}/\text{cm}$, son outliers estadísticamente significativos ($P < 0,05$).

Oxígeno disuelto

La identificación de outliers para este parámetro se realizó por origen y localidad en que fueron obtenidos los datos.

Origen de los datos: DGA

Los resultados gráficos de este análisis se muestran en el siguiente Box-Plot (Fig. 3).

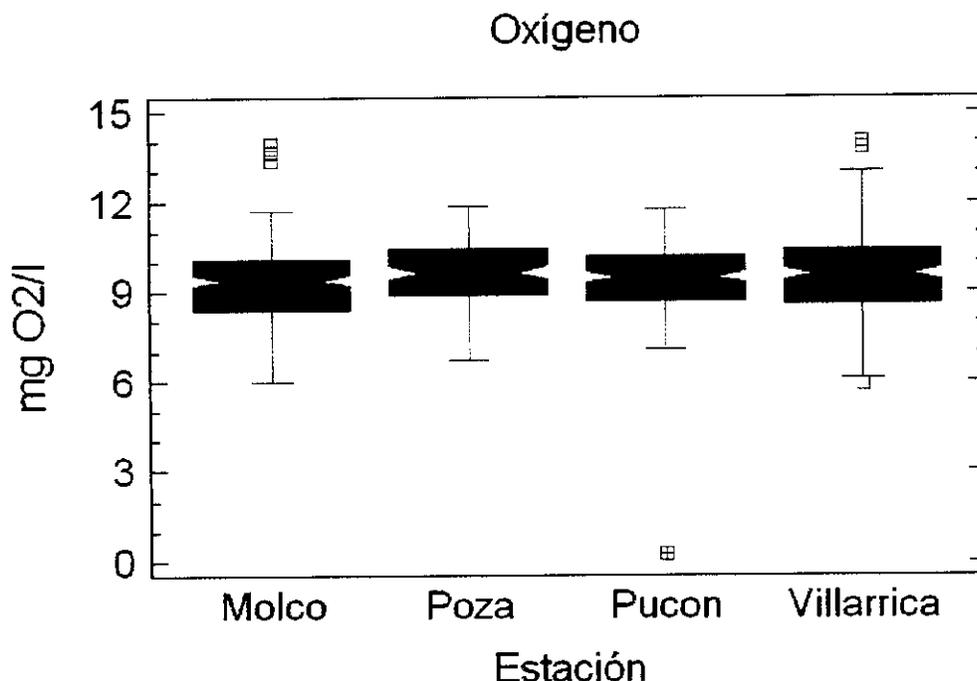


Fig.3 Oxígeno en las 4 estaciones de la red de monitoréo de la DGA

Localidad: Bahía Pucon - N° de datos: 166

RIC: aquellos valores de oxígeno que sean menores 6,5 mg/l o mayores a 12,4 mg/l pueden ser considerados como outliers. Aquellos valores que en el gráfico aparecen sobre y bajo las barras (i.e. más de $1,5 \cdot \text{RIC}$) pueden ser considerados outliers. En este caso el único valor que puede ser considerado como outlier es 0,26 mg/l.

DAM: el valor de concentración de oxígeno de 0,26 mg/l puede ser considerado un outlier.

Prueba de Rosner: esta prueba indica que el valor de concentración de oxígeno de **0,26 mg/l**, es un outlier estadísticamente significativo ($P < 0,05$).

Localidad: La Poza - N° de datos: 133

RIC: este análisis no indica la presencia de outliers en los datos.

DAM: este análisis no indica la presencia de outliers.

Prueba de Rosner: esta prueba estadística no muestra datos outliers.

Localidad: Molco - N° de datos: 214

RIC: aquellos valores de concentración de oxígeno que sean menores 5,9 mg/l o mayores a 12,7 mg/l pueden ser considerados como outliers. Aquellos valores que en el gráfico aparecen sobre y bajo las barras (i.e. más de $1,5 \cdot \text{RIC}$, $> 12,7$ mg/l) pueden ser considerados outliers (**13,38; 13, 65; 13,72 y 13,98 mg/l**).

DAM: los valores de concentración de oxígeno (mg/l) **13, 65; 13,72 y 13**, pueden ser considerados como outliers.

Prueba de Rosner: esta prueba estadística no muestra datos outliers.

Villarrica - N° de datos: 163

RIC: aquellos valores de concentración de oxígeno que sean menores 6,0 mg/l o mayores a 13,1 mg/l pueden ser considerados como outliers. Aquellos valores que en el gráfico aparecen sobre y bajo las barras (i.e. más de $1,5 \cdot \text{RIC}$, $> 13,1$ mg/l) pueden ser considerados outliers. En este caso tres valores están por sobre el límite (**13,82; 13, 99 y 14,01**) y uno debajo el límite de 6,0 mg/l (**5,9**).

DAM: este análisis no indica la presencia de outliers.

Prueba de Rosner: esta prueba estadística no muestra datos outliers.

Amonio

La identificación de outliers para este parámetro se realizó por origen y localidad en que fueron obtenidos los datos.

Origen de los datos: DGA

Los resultados gráficos de este análisis se muestran en el siguiente Box-Plot (Fig. 4).

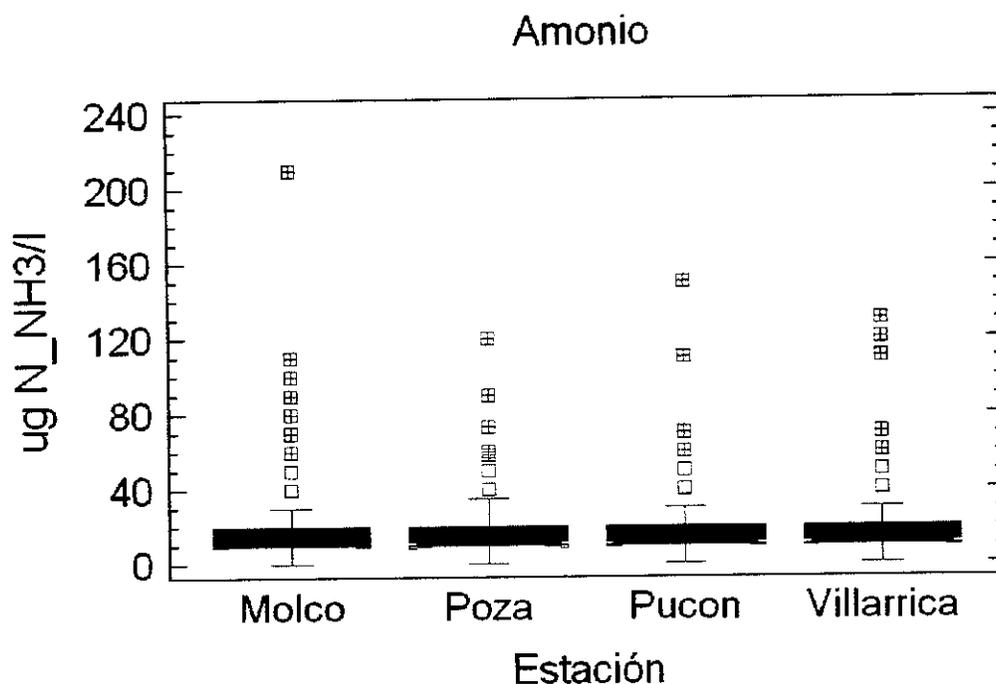


Fig.4 Amonio en las 4 estaciones de la red de monitoréo de la DGA

Localidad: Bahía Pucon - N° de datos: 161

RIC: aquellos valores de concentración de N_NH3 que sean menores 0,0 $\mu\text{g/l}$ o mayores a 35,0 $\mu\text{g/l}$ pueden ser considerados como outliers. Aquellos valores que en el gráfico aparecen sobre y bajo las barras (i.e. más de $1,5 \cdot \text{RIC}$, $>35,0 \mu\text{g/l}$) pueden ser considerados outliers(40,0; 50,0; 60,0; 70,0; 110,0 y 150,0). Es importante señalar aquí que muchos de estos valores ocurren más de una vez en la base de datos analizada,

por lo que el número total de outliers no se refleja necesariamente en la identificación de los mismos.

DAM: este análisis no pudo ser desarrollado debido a que la mediana de la desviación absoluta de la mediana fue cero.

Prueba de Rosner: esta prueba indica que los valores de concentración de N_{NH3} (µg/l) **60,0, 70,0, 110,0 y 150,0**, son outliers estadísticamente significativos ($P < 0,05$).

Localidad: La Poza- N° de datos: 116

RIC: aquellos valores de concentración de N_{NH3} que sean menores 0,0 µg/l o mayores a 35,0 µg/l pueden ser considerados como outliers. Aquellos valores que en el gráfico aparecen sobre y bajo las barras (i.e. más de $1,5 \cdot RI$, $> 35,0$ µg/l) pueden ser considerados outliers (**40,0; 50,0; 58,0; 60,0; 60,0; 60,0; 73,0; 73,0; 90,0; y 120,0**). Es importante señalar aquí que muchos de estos valores ocurren más de una vez en la base de datos analizada, por lo que el número total de outliers no se refleja necesariamente en la identificación de los mismos.

DAM: este análisis no pudo ser desarrollado debido a que la mediana de la desviación absoluta de la mediana fue cero.

Prueba de Rosner: esta prueba indica que los valores de concentración de N_{NH3} (µg/l) **58,0; 60,0; 60,0; 60,0; 73,0; 73,0; 90,0; y 120,0**, son outliers estadísticamente significativos ($P < 0,05$).

Localidad: Molco - N° de datos: 213

RIC: aquellos valores de concentración de N_{NH3} que sean menores 0,0 µg/l o mayores a 35,0 µg/l pueden ser considerados como outliers. Aquellos valores que en el gráfico aparecen sobre y bajo las barras (i.e. más de $1,5 \cdot RIC$, $> 35,0$ µg/l) pueden ser considerados outliers (**40,0; 50,0; 60,0; 70,0; 80,0; 90,0; 100,0 y 210,0**). Es importante señalar aquí que muchos de estos valores ocurren más de una vez en la base de datos analizada, por lo que el número total de outliers no se refleja necesariamente en la identificación de los mismos.

DAM: este análisis no pudo ser desarrollado debido a que la mediana de la desviación absoluta de la mediana fue cero.

Prueba de Rosner: esta prueba indica que los valores de concentración de N_{NH3} ($\mu\text{g/l}$) **70,0; 80,0; 90,0; 100,0 y 210,0**, son outliers estadísticamente significativos ($P < 0,05$).

Localidad: Villarrica- N° de datos: 163

RIC: aquellos valores de concentración de N_{NH3} que sean menores 0,0 $\mu\text{g/l}$ o mayores a 35,0 $\mu\text{g/l}$ pueden ser considerados como outliers. Aquellos valores que en el gráfico aparecen sobre y bajo las barras (i.e. más de $1,5 \cdot \text{RIC}$, $> 35,0 \mu\text{g/l}$) pueden ser considerados outliers (**40,0; 50,0; 60,0; 70,0; 110,0; 120,0 y 130,0**). Es importante señalar aquí que muchos de estos valores ocurren más de una vez en la base datos analizada, por lo que el número total de outliers no se refleja necesariamente en la identificación de los mismos.

DAM: este análisis no pudo ser desarrollado debido a que la mediana de la desviación absoluta de la mediana fue cero.

Prueba de Rosner: esta prueba indica que los valores de concentración de N_{NH3} ($\mu\text{g/l}$) **50,0; 60,0; 70,0; 110,0; 120,0 y 130,0**, son outliers estadísticamente significativos ($P < 0,05$).

Nitrato

La identificación de outliers para este parámetro se realizó por origen y localidad en que fueron obtenidos los datos.

Origen de los datos: DGA

Los resultados gráficos de este análisis se muestran en el siguiente Box-Plot (Fig. 5).

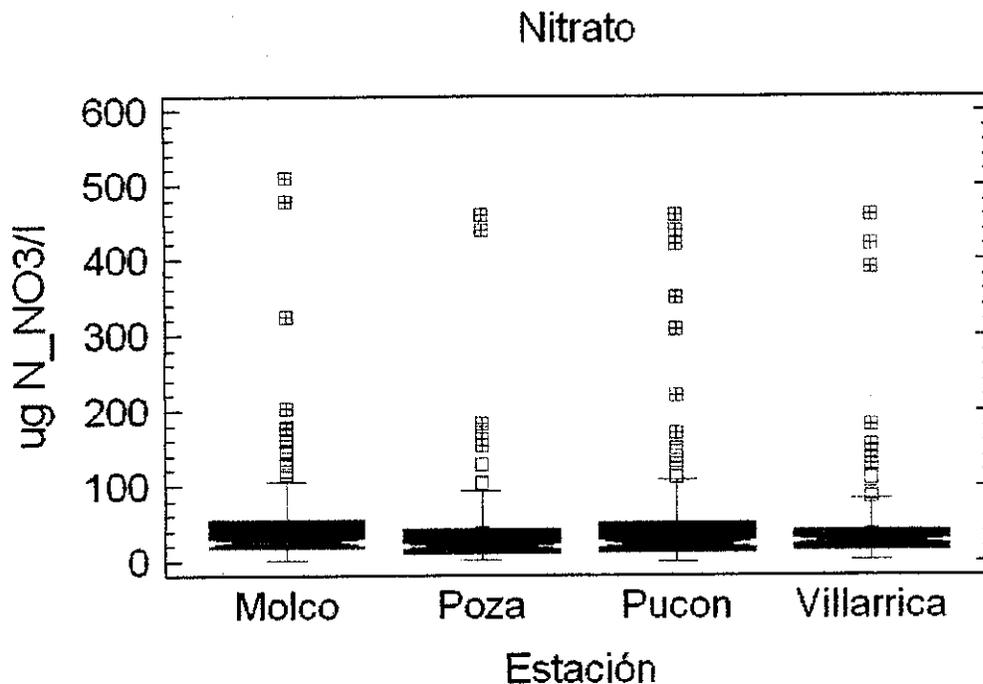


Fig.5 Nitrato en las 4 estaciones de la red de monitoréo de la DGA

Localidad: Bahía Pucon - N° de datos: 146

RIC: aquellos valores de concentración de N_{NO_3} que sean menores $0,0 \mu\text{g/l}$ o mayores a $108,4 \mu\text{g/l}$ pueden ser considerados como outliers. Aquellos valores que en el gráfico aparecen sobre y bajo las barras (i.e. más de $1,5 \cdot \text{RIC}$, $>108,4 \mu\text{g/l}$) pueden ser considerados outliers (**109,0; 113,0; 129,0; 130,0; 133,0; 140,0; 145,0; 150,0; 170,0; 221,0; 308,0; 350,0; 420,0; 440,0 y 460,0**). Es importante señalar aquí que al menos uno de estos valores puede ocurrir más de una vez en la base datos analizada,

por lo que el número total de outliers no se refleja necesariamente en la identificación de los mismos.

DAM: los valores iguales o mayores a 102,0 µg/l de concentración de N_NO3 pueden ser considerados como outliers.

Prueba de Rosner: esta prueba indica que los valores de concentración de N_NO3 (µg/l) **170,0; 221,0; 308,0; 350,0; 420,0; 440,0 y 460,0**, son outliers estadísticamente significativos ($P < 0,05$).

Localidad: La Poza - N° de datos: 102

RIC: aquellos valores de concentración de N_NO3 que sean menores 0,0 µg/l o mayores a 92,5 µg/l pueden ser considerados como outliers. Aquellos valores que en el gráfico aparecen sobre y bajo las barras (i.e. más de $1,5 \cdot \text{RIC}$, $>92,5$ µg/l) pueden ser considerados outliers (**93,0; 105,0; 130,0; 154,0; 170,0; 184,0; 440,0 y 460,0**). Es importante señalar aquí que al menos uno de estos valores puede ocurrir más de una vez en la base datos analizada, por lo que el número total de outliers no se refleja necesariamente en la identificación de los mismos.

DAM: los valores iguales o mayores a 90,0 µg/l de concentración de N_NO3 pueden ser considerados como outliers.

Prueba de Rosner: esta prueba indica que los valores de concentración de N_NO3 (µg/l) **130,0; 154,0; 170,0; 184,0; 440,0 y 460,0**, son outliers estadísticamente significativos ($P < 0,05$).

Localidad: Molco - N° de datos: 190

RIC: aquellos valores de concentración de N_NO3 que sean menores 0,0 µg/l o mayores a 115,5 µg/l pueden ser considerados como outliers. Aquellos valores que en el gráfico aparecen sobre y bajo las barras (i.e. más de $1,5 \cdot \text{RIC}$, $>115,5$ µg/l) pueden ser considerados outliers (**117,0; 121,0; 128,0; 129,0; 130,0; 144,0; 146,0; 147,0; 154,0; 163,0; 177,0; 180,0; 205,0; 325,0; 480,0 y 510,0**). Es importante señalar aquí que al menos uno de estos valores puede ocurrir más de una vez en la base datos analizada, por lo que el número total de outliers no se refleja necesariamente en la identificación de los mismos.

DAM: los valores iguales o mayores a 117,0 $\mu\text{g/l}$ de concentración de N_NO_3 pueden ser considerados como outliers.

Prueba de Rosner: esta prueba indica que los valores de concentración de N_NO_3 ($\mu\text{g/l}$) **177,0; 180,0; 205,0; 325,0; 480,0 y 510,0**, son outliers estadísticamente significativos ($P < 0,05$).

Localidad: Villarrica - N° de datos: 145

RIC: aquellos valores de concentración de N_NO_3 que sean menores 0,0 $\mu\text{g/l}$ o mayores a 84,0 $\mu\text{g/l}$ pueden ser considerados como outliers. Aquellos valores que en el gráfico aparecen sobre y bajo las barras (i.e. más de $1,5 \cdot \text{RIC}$, $>84,0 \mu\text{g/l}$) pueden ser considerados outliers (**86,0; 90,0; 110,0; 129,0; 144,0; 154,0; 182,0; 390,0; 420,0 y 460,0**). Es importante señalar aquí que al menos uno de estos valores puede ocurrir más de una vez en la base datos analizada, por lo que el número total de outliers no se refleja necesariamente en la identificación de los mismos.

DAM: los valores iguales o mayores a 110,0 $\mu\text{g/l}$ de concentración de N_NO_3 pueden ser considerados como outliers.

Prueba de Rosner: esta prueba indica que los valores de concentración de N_NO_3 ($\mu\text{g/l}$) **110,0; 129,0; 144,0; 154,0; 182,0; 390,0; 420,0 y 460,0**, son outliers estadísticamente significativos ($P < 0,05$).

Nitrito

La identificación de outliers para este parámetro se realizó por origen y localidad en que fueron obtenidos los datos.

Origen de los datos: DGA

Los resultados gráficos de este análisis se muestran en el siguiente Box-Plot (Fig. 6).

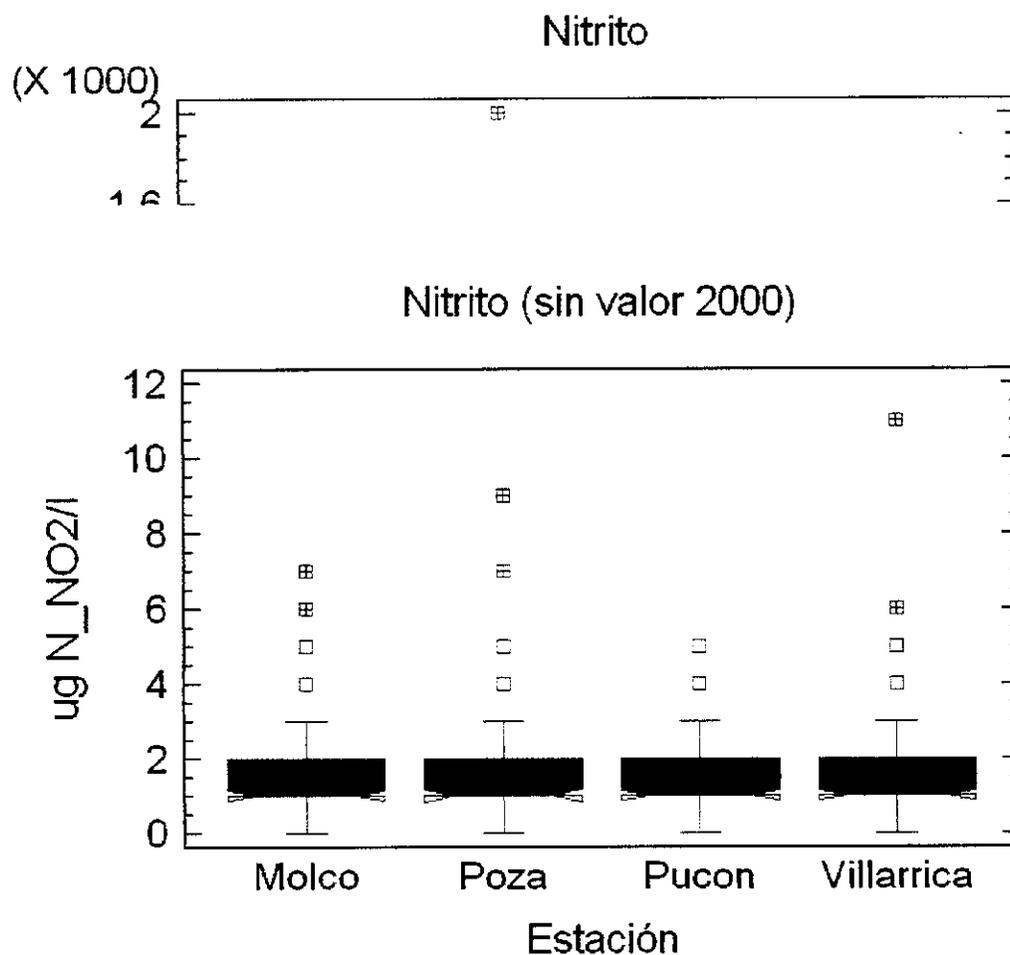


Fig.6 Nitrito en las 4 estaciones de la red de monitoréo de la DGA. La estación Poza muestra un outlier de 2000 µg/l (parte arriba del gráfico)

Bahía Pucon - N° de datos: 152

RIC: aquellos valores de concentración de N_{NO_2} que sean menores $0,0 \mu\text{g/l}$ o mayores a $3,5 \mu\text{g/l}$ pueden ser considerados como outliers. Aquellos valores que en el gráfico aparecen sobre y bajo las barras (i.e. más de $1,5 \cdot \text{RIC}$, $>3,5 \mu\text{g/l}$) pueden ser considerados outliers (**4,0 y 5,0**). Es importante señalar aquí que al menos uno de estos valores puede ocurrir más de una vez en la base datos analizada, por lo que el número total de outliers no se refleja necesariamente en la identificación de los mismos.

DAM: este análisis no pudo ser desarrollado debido a que la mediana de la desviación absoluta de la mediana fue cero.

Prueba de Rosner: esta prueba estadística no muestra datos outliers.

Localidad: La Poza - N° de datos: 105

RIC: aquellos valores de concentración de N_{NO_2} que sean menores $0,0 \mu\text{g/l}$ o mayores a $3,5 \mu\text{g/l}$ pueden ser considerados como outliers. Aquellos valores que en el gráfico aparecen sobre y bajo las barras (i.e. más de $1,5 \cdot \text{RIC}$, $>3,5 \mu\text{g/l}$) pueden ser considerados outliers (**4,0; 5,0; 7,0; 9,0 y 2000,0**). Es importante señalar aquí que al menos uno de estos valores puede ocurrir más de una vez en la base datos analizado, por lo que el número total de outliers no se refleja necesariamente en la identificación de los mismos.

DAM: este análisis no pudo ser desarrollado debido a que la mediana de la desviación absoluta de la mediana fue cero.

Prueba de Rosner: esta prueba indica que los valores de concentración de N_{NO_2} ($\mu\text{g/l}$) **4,0; 5,0; 7,0; 9,0 y 2000,0**, son outliers estadísticamente significativos ($P < 0,05$).

Localidad: Molco - N° de datos: 201

RIC: aquellos valores de concentración de N_{NO_2} que sean menores $0,0 \mu\text{g/l}$ o mayores a $3,5 \mu\text{g/l}$ pueden ser considerados como outliers. Aquellos valores que en el gráfico aparecen sobre y bajo las barras (i.e. más de $1,5 \cdot \text{RIC}$, $>3,5 \mu\text{g/l}$) pueden ser considerados outliers (**4,0; 5,0; 6,0 y 7,0**). Es importante señalar aquí que al menos uno de estos valores puede ocurrir más de una vez en la base datos analizada, por lo que el número total de outliers no se refleja necesariamente en la identificación de los mismos.

ANEXO 3

ANÁLISIS DE COBERTURA DE USO ACTUAL DEL SUELO SOBRE LA CUENCA DEL LAGO VILLARRICA

El propósito de este trabajo es la aplicación de técnicas de procesamiento digital, en imágenes de satélite Landsat 7 ETM+, para la obtención de la cobertura de Uso Actual del Suelo sobre la cuenca del Lago Villarrica. Para esto se utilizó corrección atmosférica, ajuste geométrico, corrección topográfica, realce espectral MSAVI y clasificación digital, también se validó la exactitud de la clasificación mediante el análisis estadístico multivariante discreto Kappa (K^{\wedge}).

Una vez concluida la corrección atmosférica se observa que hubo una disminución del efecto de los gases atmosféricos (Scattering de Rayleigh). La aplicación de la corrección topográfica permitió eliminar gran parte de las sombras generadas por la baja iluminación y moderar el efecto de mayor reflectividad en las laderas con exposición al sol.

Finalmente se realizó una clasificación supervisada con 12 categorías de uso de suelo a saber, Areas Urbanas e Industriales, Terrenos Agrícolas, Praderas, Matorrales, Plantaciones Forestales, Bosque Nativo Adulto, Bosque Nativo Renoval, Humedales, Areas Desprovistas de Vegetación, Nieves y Glaciares, Cuerpos de Agua y Areas no Reconocidas, las que posteriormente serán utilizadas como insumo en el estudio "Diagnostico de la calidad de las aguas del Lago Villarrica.

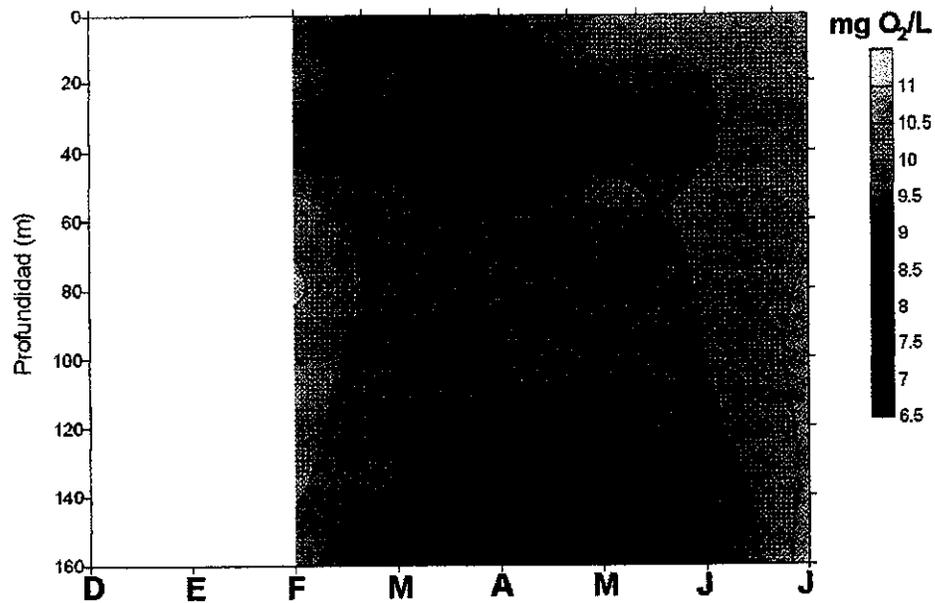
METODOLOGÍA

Introducción

El lanzamiento de la serie de satélites Landsat a partir de 1972 propone un nuevo medio para adquirir información acerca de los recursos naturales y con ello la potencialidad de estudiar nuevas técnicas de análisis digital para su identificación y mapeo (Bauer *et al.* 1994, Wolter *et al.* 1995), permitiendo acceder a información de una manera más rápida, a menor costo en comparación con la metodología tradicional a la vez que cubre grandes áreas geográficas con vistas periódicas. Es por ello que la tecnología existente en imágenes de percepción remota se ha transformado en un elemento clave para la elaboración de cartografía digital e identificación de las clases de uso de suelo, esto es así porque a igual escala ofrecen una mayor cantidad de observaciones que un levantamiento terrestre (Speranza y Zerda 2005).

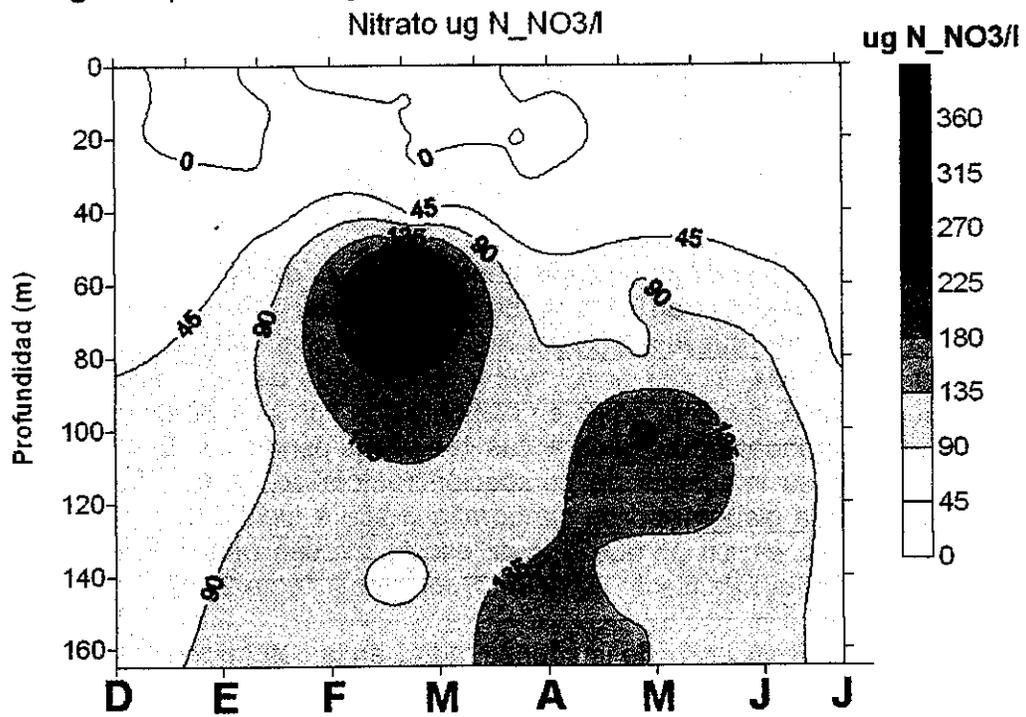
El sentido de la clasificación de imágenes radica en la determinación y localización de los distintos tipos de coberturas del terreno, en ese contexto, la meta de este estudio es identificar los tipos de cubiertas existentes en la cuenca del Lago Villarrica, luego de utilizar algunos procesos digitales, tales como corrección atmosférica, ajuste geométrico, corrección topográfica y NDVI, para mejorar los valores de reflectancia de las imágenes y a la postre la discriminación de las coberturas del suelo.

Procesamiento Digital de las Imágenes



2008

Anexo2 Fig. 3 Isopletas del oxígeno disuelto en el centro del L.Villarrica



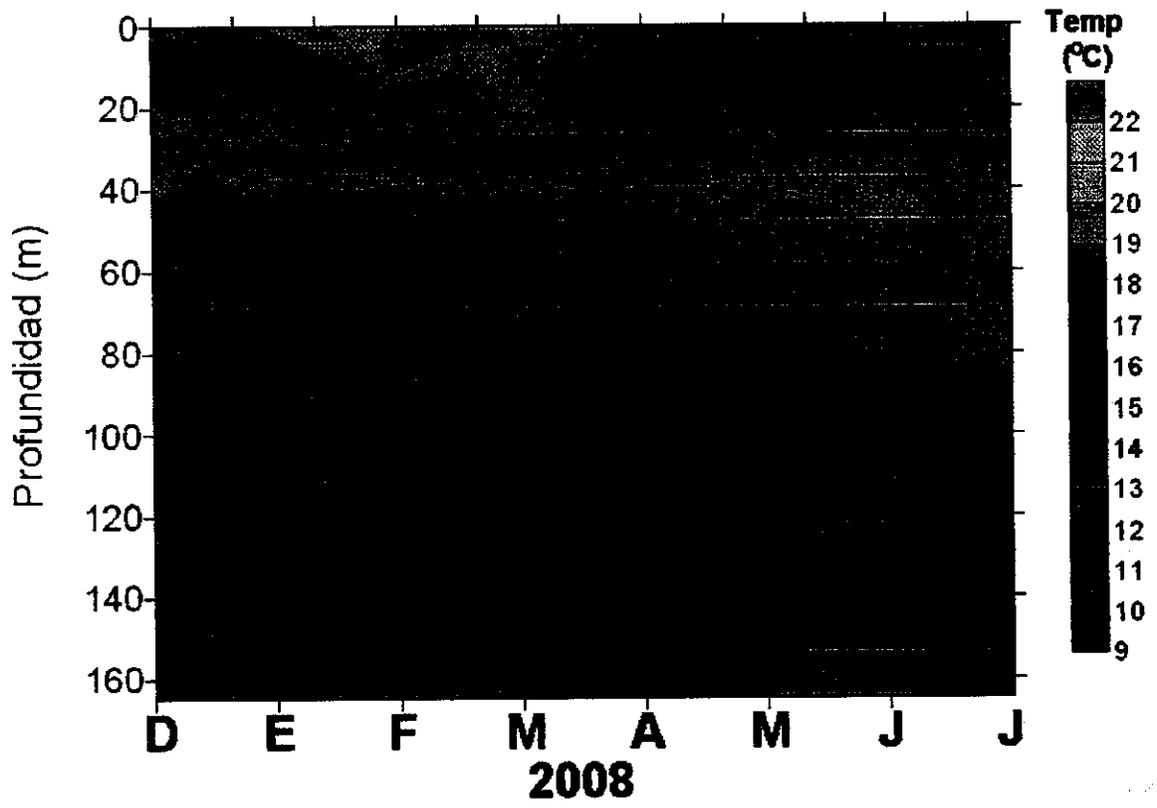
2008

Anexo2 Fig. 4 Isopletas de nitrato ($\mu\text{g N}_{\text{NO}_3/\text{l}}$) en el centro del L.Villarrica (sin datos de febrero 2008)

ANEXO 2



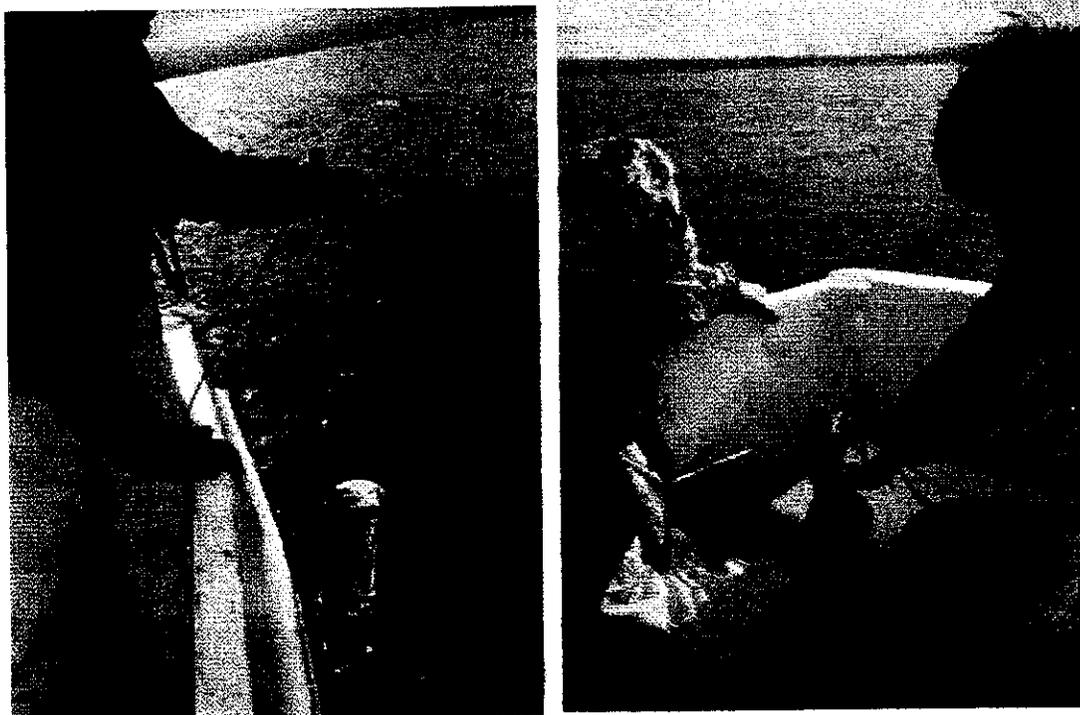
Anexo 2 Fig. 1 Laboratorio químico nuevo con (Izq.) Modul autoanalyzer para medición de nitrato, nitrito (y nitrógeno total después de digestión con Persulfato) y (der.) con fotospectrometro ZEISS Spekol 11



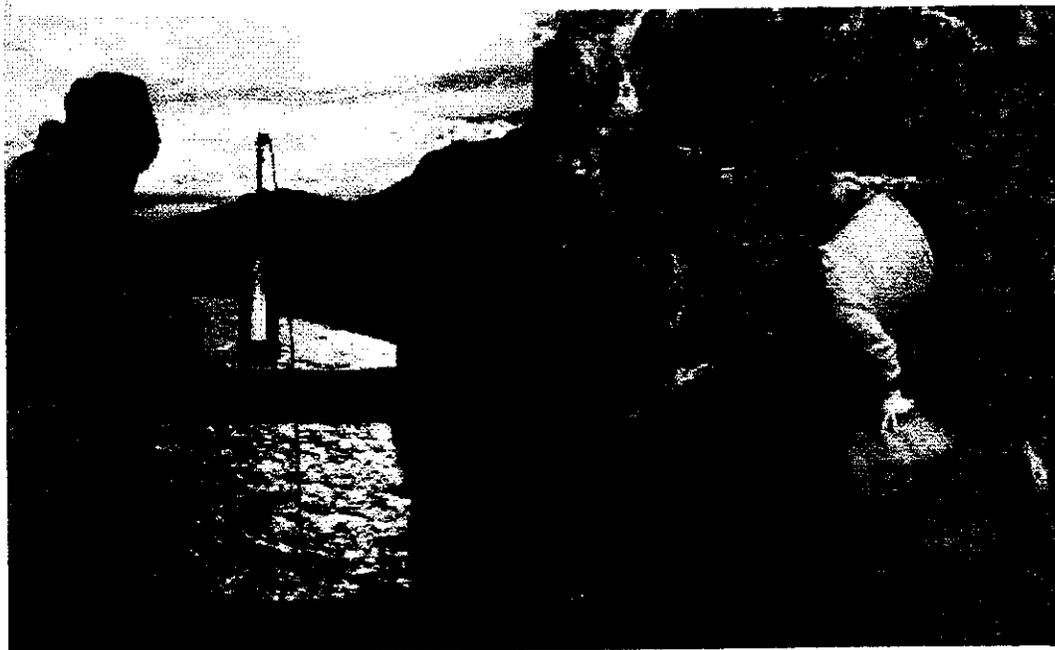
Anexo2 Fig. 2 Isopletras de la temperatura en el centro del L.Villarica

ANEXO 1

Toma de muestras en el Lago Villarrica – Medición de oxígeno



Toma de muestras en río Trancura y en el arroyo Correntoso



ANEXO 1 FIG.1 Fotos de salida a terreno (Julio 2008)

eliminar estos datos hasta poder actualizar los datos a la fecha y obtener más informaciones acerca de la metodología.

Datos UACH: En ningún caso se observó problemas en la relación de P soluble y P total. Todos los valores de P soluble fueron inferiores a P total. Como outliers fueron identificados valores $> 6,7 \mu\text{g P/L}$ (P soluble) y $> 23 \mu\text{g P/L}$ para el P total. Se elimina valores incoherentes en la estación Centro, pero no en las otras estaciones. Sin embargo se deja destacado valores muy altos, para ser considerados en su posible eliminación posterior (después de realizar los análisis pendientes y la comparación con los datos de la DGA).

19. **Sílice:** no se eliminó ningún valor. Todos los valores son confiables.

20. **Clorofila a:** no se eliminó ningún valor. Todos los valores son confiables.

17. N Total: La evaluación estadística mostró pocos outliers. Sin embargo este parámetro tiene muchos valores dudoso. Datos DGA: NT muestra durante los años grandes variaciones, especialmente antes del año 2000. Se nota, que habían problemas metodológicos en su determinación, porque en varios casos la concentración de NT fue inferior a la de nitrato o amonio. Se elimina datos con el valor 0, por no ser posible. Antes del año 2000 se elimina los valores marcado como rojo, porque fueron menores que nitrato. A partir del año 2000 no se elimina ningún valor, aunque los análisis estadísticos indican outliers $> 120 \mu\text{g/l}$. Sin embargo, valores altos pueden ser observados, especialmente en bahías y en las profundidades de lagos. Datos UACH: N total fue calculado como suma de amonio + nitrito + nitrato + N orgánico. Se eliminó solamente un valor altísimo por ser un valor extremo basado en una concentración muy alta de amonio que es muy improbable en un ambiente bien oxigenado (fila 1070). Sin embargo, valores altos quedan todavía marcadas.

18. P soluble y P Total: Estos parámetros muestran grandes variaciones durante el intervalo de medición. Se encuentra una gran cantidad de outliers y muchos datos quedan destacados como dudosos. Aunque se elimina varios datos, queda pendientes una revisión final después de verificar mejor la metodología (conversación con DGA Santiago, ya se tomó contacto y se obtuvo informaciones preliminares sobre la metodología).

Datos DGA: Llama mucho la atención la repetición de ciertos valores como 3,0, 10,0, lo que deja suponer, que estos son los límites de detección. Antes de 2000 parece que $10,0 \mu\text{g/l}$ fue en la mayoría de los años el límite de detección, mientras a partir del año 2000 el límite de detección fue $3,0 \mu\text{g/l}$. A parte de este problema llama la atención que en una cantidad de datos considerables el P soluble fue mayor que el P total. Llama la atención que la DGA no corrige y/o elimina estos datos erróneos. Por la falta de análisis de P total en muchas ocasiones, es difícil identificar todos estos valores erróneos y muy dudosos. Recién a partir del año 2000 mejora la situación. Sin embargo, todavía se observa aprox. 25-30% de datos erróneos/dudosos. Se decide todavía no

5. Se eliminó Sulfato por no ser relevante para este estudio.
6. **Secchi:** no se eliminó ningún valor.
7. **Temperatura:** se eliminó valores $< 8,3$ °C (fila 142-144), porque se considera imposible esta temperatura en el Lago Villarrica (menos en 30 m de profundidad).
8. **Conductividad:** Se eliminó valores $< 36,5$ $\mu\text{S/cm}$ y valores > 74 $\mu\text{S/cm}$, por ser definitivamente outliers y ser incoherentes con los otros mediciones de conductividad. Quedan valores dudosos (< 45 $\mu\text{S/cm}$).
9. **pH:** no se eliminó ningún valor. Sin embargo hay valores dudosos (verde).
10. **Turbidez:** no se eliminó ningún valor. Todos los valores son confiables.
11. **Oxígeno:** se eliminó el valor 0,26 mg/l. Valores altos y considerados outliers se mantendrán en la base de datos, principalmente porque, es posible observar altos valores de oxígeno. Sin embargo los valores $> 12,4$ mg/l quedan destacados.
12. **Demanda Química Oxígeno:** no se eliminó todavía ningún valor, pero falta revisar mejor este parámetro (metodología).
13. **Bicarbon:** no se eliminó ningún valor. Todos los valores son confiables.
14. **Amonio:** Datos DGA: Después de 2000 el valor mas bajo es 10 $\mu\text{g/l}$. Habría que eliminar este parámetro por la falta de sensibilidad del método. Sin embargo, no se elimina todavía este parámetro hasta resolver el problema de los límites de detección. Se deja marcado con color gris.
Datos UACH: se elimina algunos valores altos, el resto se mantiene, porque el límite de detección es $\ll 10$ $\mu\text{g/l N-NH}_4$.
15. **Nitrato:** Datos DGA: A partir del año 2000 no se elimina ningún valor, porque todos parecen correctos, aún cuando los análisis estadísticos indican outliers > 120 $\mu\text{g/l}$. Pero estos valores son posibles considerando que en las bahías y en la profundidad 80 m se pueden encontrar valores más altos. Sin embargo se mantiene destacados algunos valores > 150 $\mu\text{g/l}$.
Datos UACH: no se eliminó ningún valor. Sin embargo se deja destacado valores muy altos (> 500 $\mu\text{g/l}$) y muy bajos (0 $\mu\text{g/l}$) para su posterior revisión.
16. **Nitrito:** Se elimina solamente el valor 2000 $\mu\text{g/l}$ (fila 473).

5.2.3 TERCERA FASE – eliminación de datos

Consideraciones generales

En esta fase se eliminó datos considerados muy dudosos/erróneos considerándose como outliers de acuerdo a la evaluación estadística. Como ya se mencionó, el criterio empírico – que incluye mucho más parámetros que la evaluación estadística – fue finalmente el criterio directriz. Sin embargo se quiere destacar aquí, que esta tercera fase; todavía no está terminada por completo, porque falta aún la actualización de la base de datos incluyendo los valores a partir de 2006 y los datos del consultor que están todavía en proceso. Por lo tanto el resultado presentado aquí; corresponde a la base de datos preliminar, que puede ser modificado posteriormente en el transcurso de este proyecto (o sea, podría ocurrir el caso que se incluye un dato eliminado en esta etapa cuando existen nuevos antecedentes).

La base de datos de esta tercera fase se llama "**Master final preliminar**". Las eliminaciones se destacaron con el color gris .

Consideraciones específicos

1. Se eliminó todos los valores de la DIRECTEMAR porque tienen límites de detección demasiado altos (ortofosfato, PT, NT, amonio). Para estos datos se omitió un análisis estadístico por esta razón.
2. Se eliminó las columnas que contenían solamente datos de la DIRECTEMAR.
3. Se eliminó las columnas donde la DGA no tiene datos.: DBO, Sólidos, Tot-Seston, Org-ses, Sólidos Tot. Ino-ses, color, mgCO₂, Alk mval, fitoplancton, producción primaria.
4. Se eliminó la columna **Oxígeno Elect 6001** por no tener la unidad correspondiente (que es saturación), por no ser calculado para todas las mediciones de oxígeno y por ser calculable en base de las mediciones de oxígeno.

Clorofila a

N° de datos: 132

Rango intercuartil (RIC): este análisis indica que aquellos valores de concentración de Clorofila a que sean menores 0,0 $\mu\text{g/l}$ o mayores a 4,2 $\mu\text{g/l}$ pueden ser considerados como outliers. Los resultados gráficos de este análisis se muestran en el Box-Plot más abajo. Aquellos valores que en el gráfico aparecen sobre y bajo las barras (i.e. más de $1,5 \cdot \text{RIC}$) pueden ser considerados outliers. En este caso los valores outliers ocurrieron por sobre el límite 4,2 $\mu\text{g/l}$ y estos fueron **4,86; 4,94; 5,03; 5,34; 5,39; 5,83; 5,85; 6,23; 6,79 y 8,04**. Es importante señalar aquí que al menos uno de estos valores puede ocurrir más de una vez en la base datos analizada, por lo que el número total de outliers no se refleja necesariamente en la identificación de los mismos.

Desviación absoluta de la mediana: este análisis indica que los valores de concentración de Clorofila a ($\mu\text{g/l}$) **4,86; 4,94; 5,03; 5,34; 5,39; 5,83; 5,85; 6,23; 6,79 y 8,04** pueden ser considerados como outliers.

Prueba de Rosner: esta prueba indica que los valores de concentración de Clorofila a ($\mu\text{g/l}$) de **4,86; 4,94; 5,03; 5,34; 5,39; 5,83; 5,85; 6,23; 6,79 y 8,04** son outliers estadísticamente significativos ($P < 0,05$).

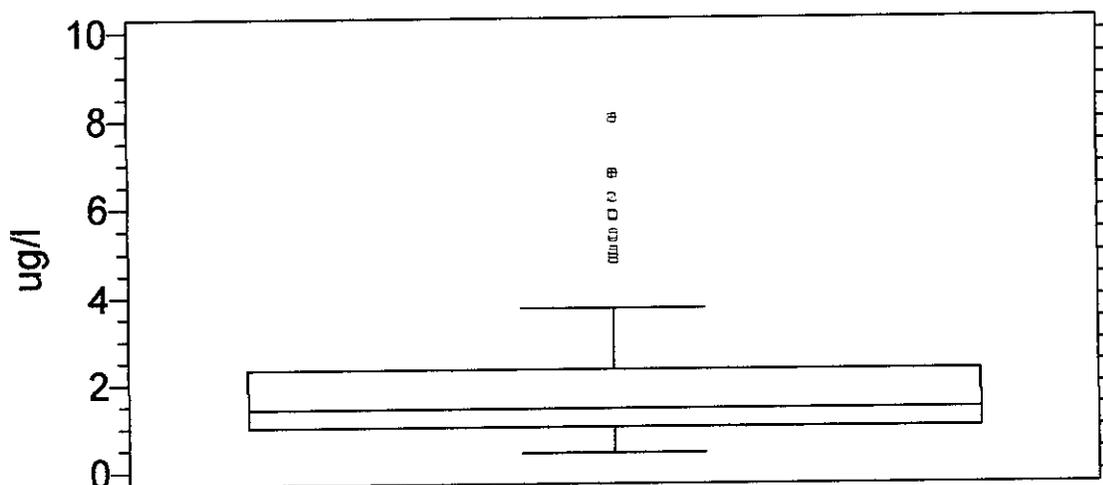


Fig.12 Clorofila a en el L.Villarrica (datos UACH)

Fósforo total

N° de datos: 333

Rango intercuartil (RIC): este análisis indica que aquellos valores de concentración de Fósforo total que sean menores 0,0 µg/l o mayores a 23,1 µg/l pueden ser considerados como outliers. Los resultados gráficos de este análisis se muestran en el Box-Plot más abajo. Aquellos valores que en el gráfico aparecen sobre y bajo las barras (i.e. más de 1,5*RIC) pueden ser considerados outliers. En este caso los valores outliers ocurrieron por sobre el límite 23,1 µg/l y estos fueron **23,3; 23,5; 23,6; 23,7; 24,3; 24,6; 25,0; 25,7; 26,8; 27,3; 27,9; 28,3; 29,3; 30,2; 30,9; 31,6; 32,3; 32,4; 34,3; 35,0; 36,0; 37,9; 43,4; 43,5; 47,1; 57,8; 79,8; 104,4; 109,1; 130,9 y 194,5**. Es importante señalar aquí que al menos uno de estos valores puede ocurrir más de una vez en la base datos analizada, por lo que el número total de outliers no se refleja necesariamente en la identificación de los mismos.

Desviación absoluta de la mediana: este análisis indica que los valores de concentración de Fósforo total (µg/l) **22,2; 22,3; 22,7; 23,0; 23,3; 23,5; 23,6; 23,7; 24,3; 24,6; 25,0; 25,7; 26,8; 27,3; 27,9; 28,3; 29,3; 30,2; 30,9; 31,6; 32,3; 32,4; 34,3; 35,0; 36,0; 37,9; 43,4; 43,5; 47,1; 57,8; 79,8; 104,4; 109,1; 130,9 y 194,5** pueden ser considerados como outliers.

Prueba de Rosner: esta prueba indica que los valores de concentración de Fósforo total (µg/l) de **37,9; 43,4; 43,5; 47,1; 57,8; 79,8; 104,4; 109,1; 130,9 y 194,5** son outliers estadísticamente significativos ($P < 0,05$).

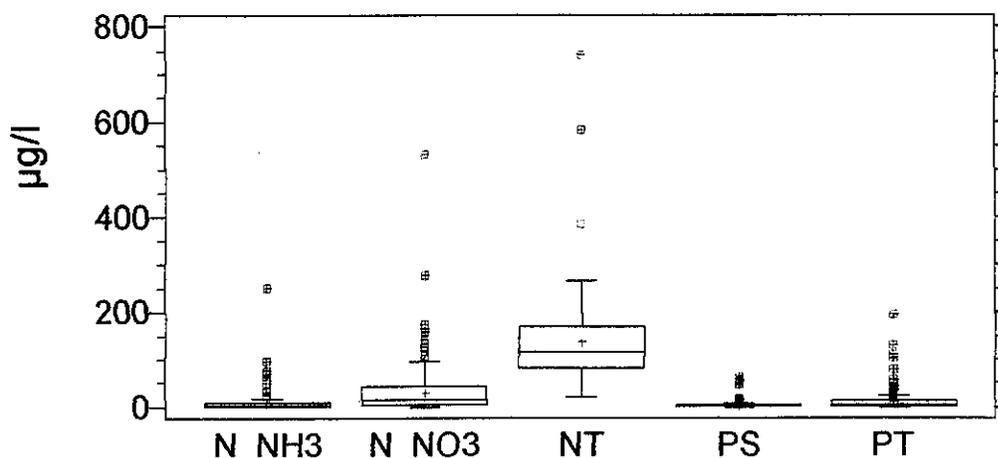


Fig.11 Amonio, nitrato, NT, P soluble y PT en el L.Villarrica (datos UACH).

(i.e. más de $1,5 \cdot \text{RIC}$) pueden ser considerados outliers. En este caso los valores outliers ocurrieron por sobre el límite $301,4 \mu\text{g/l}$ y estos fueron **386,1; 584,7 y 742,1**.

Desviación absoluta de la mediana: este análisis indica que los valores de concentración de Nitrógeno total ($\mu\text{g/l}$) **386,1; 584,7 y 742,1** pueden ser considerados como outliers.

Prueba de Rosner: esta prueba indica que los valores de concentración de Nitrógeno total ($\mu\text{g/l}$) de **386,1; 584,7 y 742,1** son outliers estadísticamente significativos ($P < 0,05$).

Fósforo soluble reactivo

N° de datos: 336

Rango intercuartil (RIC): este análisis indica que aquellos valores de concentración de Fósforo soluble que sean menores $0,0 \mu\text{g/l}$ o mayores a $6,7 \mu\text{g/l}$ pueden ser considerados como outliers. Los resultados gráficos de este análisis se muestran en el Box-Plot más abajo. Aquellos valores que en el gráfico aparecen sobre y bajo las barras (i.e. más de $1,5 \cdot \text{RIC}$) pueden ser considerados outliers. En este caso los valores outliers ocurrieron por sobre el límite $6,7 \mu\text{g/l}$ y estos fueron **6,8; 6,9; 7,1; 7,2; 7,7; 8,0; 8,2; 9,1; 9,7; 10,2; 10,4; 10,6; 12,7; 12,9; 13,1; 13,3; 13,4; 13,6; 13,7; 14,2; 14,5; 15,5; 16,2; 16,7; 18,4; 47,6; 52,8; 57,8 y 64,9**. Es importante señalar aquí que al menos uno de estos valores puede ocurrir más de una vez en la base datos analizada, por lo que el número total de outliers no se refleja necesariamente en la identificación de los mismos.

Desviación absoluta de la mediana: este análisis indica que los valores de concentración de Fósforo soluble ($\mu\text{g/l}$) **7,2; 7,7; 8,0; 8,2; 9,1; 9,7; 10,2; 10,4; 10,6; 12,7; 12,9; 13,1; 13,3; 13,4; 13,6; 13,7; 14,2; 14,5; 15,5; 16,2; 16,7; 18,4; 47,6; 52,8; 57,8 y 64,9** pueden ser considerados como outliers.

Prueba de Rosner: esta prueba indica que los valores de concentración de Fósforo soluble ($\mu\text{g/l}$) de **9,1; 9,7; 10,2; 10,4; 10,6; 12,7; 12,9; 13,1; 13,3; 13,4; 13,6; 13,7; 14,2; 14,5; 15,5; 16,2; 16,7; 18,4; 47,6; 52,8; 57,8 y 64,9** son outliers estadísticamente significativos ($P < 0,05$).

Nitrato**N° de datos: 367**

Rango intercuartil (RIC): este análisis indica que aquellos valores de concentración de N_NO3 que sean menores 0,0 µg/l o mayores a 98,8 µg/l pueden ser considerados como outliers. Los resultados gráficos de este análisis se muestran en el Box-Plot más abajo. Aquellos valores que en el gráfico aparecen sobre y bajo las barras (i.e. más de 1,5*RIC) pueden ser considerados outliers. En este caso los valores outliers ocurrieron por sobre el límite 98,8 µg/l y estos fueron **102,6; 103,3; 108,5; 117,2; 125,3; 128,0; 129,2; 135,1; 140,1; 144,0; 149,0; 155,9; 158,8; 167,7; 173,6; 278,2 y 533,5**. Es importante señalar aquí que al menos uno de estos valores puede ocurrir más de una vez en la base datos analizada, por lo que el número total de outliers no se refleja necesariamente en la identificación de los mismos.

Desviación absoluta de la mediana: este análisis indica que los valores de concentración de N_NO3 (µg/l) **75,9; 77,0; 78,8; 79,0; 80,8; 81,8; 83,0; 83,2; 87,0; 87,8; 88,2; 89,4; 92,0; 93,7; 102,6; 103,3; 108,5; 117,2; 125,3; 128,0; 129,2; 135,1; 140,1; 144,0; 149,0; 155,9; 158,8; 167,7; 173,6; 278,2 y 533,5** pueden ser considerados como outliers.

Prueba de Rosner: esta prueba indica que los valores de concentración de N_NO3 (µg/l) de **125,3; 128,0; 129,2; 135,1; 140,1; 144,0; 149,0; 155,9; 158,8; 167,7; 173,6; 278,2 y 533,5** son outliers estadísticamente significativos ($P < 0,05$).

Nitrógeno total**N° de datos: 72**

Rango intercuartil (RIC): este análisis indica que aquellos valores de concentración de Nitrógeno total que sean menores 0,0 µg/l o mayores a 301,4 µg/l pueden ser considerados como outliers. Los resultados gráficos de este análisis se muestran en el Box-Plot más abajo. Aquellos valores que en el gráfico aparecen sobre y bajo las barras

RIC: este análisis indica que aquellos valores de concentración de clorofila a que sean menores 0,0 µg/l o mayores a 6,2 µg/l pueden ser considerados como outliers. Aquellos valores que en el gráfico aparecen sobre y bajo las barras (i.e. más de 1,5*RIC) pueden ser considerados outliers (**13,2; 15,0 y 16,8**).

DAM: este análisis indica que los valores de concentración de clorofila a (µg/l) **13,2; 15,0 y 16,8** pueden ser considerados como outliers.

Prueba de Rosner: esta prueba indica que los valores de concentración de clorofila a (µg/l) de **13,2; 15,0 y 16,8** son outliers estadísticamente significativos ($P < 0,05$).

Origen de los datos: UACH

Amonio

N° de datos: 141

Rango intercuartil (RIC): este análisis indica que aquellos valores de concentración de N_{NH3} que sean menores 0,0 µg/l o mayores a 19,6 µg/l pueden ser considerados como outliers. Los resultados gráficos de este análisis se muestran en el Box-Plot más abajo. Aquellos valores que en el gráfico aparecen sobre y bajo las barras (i.e. más de 1,5*RIC) pueden ser considerados outliers. En este caso los valores outliers ocurrieron por sobre el límite 19,6 µg/l y estos fueron **21,6; 33,3; 51,6; 58,1; 70,5; 72,6; 76,9; 98,6 y 252,2**. Es importante señalar aquí que al menos uno de estos valores puede ocurrir más de una vez en la base datos analizada, por lo que el número total de outliers no se refleja necesariamente en la identificación de los mismos.

Desviación absoluta de la mediana: este análisis indica que los valores de concentración de N_{NH3} (µg/l) **33,3; 51,6; 58,1; 70,5; 72,6; 76,9; 98,6 y 252,2** pueden ser considerados como outliers.

Prueba de Rosner: esta prueba indica que los valores de concentración de N_{NH3} (µg/l) de **21,6; 33,3; 51,6; 58,1; 70,5; 72,6; 76,9; 98,6 y 252,2** son outliers estadísticamente significativos ($P < 0,05$).

DAM: este análisis indica que los valores de concentración de clorofila a ($\mu\text{g/l}$) **9,5; 15,8; 17,2 y 17,6** pueden ser considerados como outliers.

Prueba de Rosner: esta prueba indica que los valores de concentración de clorofila a ($\mu\text{g/l}$) de **9,5; 15,8; 17,2 y 17,6** son outliers estadísticamente significativos ($P < 0,05$).

Localidad: La Poza -Nº de datos: 98

RIC: este análisis indica que aquellos valores de concentración de clorofila a que sean menores $0,0 \mu\text{g/l}$ o mayores a $6,4 \mu\text{g/l}$ pueden ser considerados como outliers. Aquellos valores que en el gráfico aparecen sobre y bajo las barras (i.e. más de $1,5 \cdot \text{RIC}$, $> 6,4 \mu\text{g/l}$) pueden ser considerados outliers (**6,6; 7,3; 7,5; 8,7; 9,7; 11,5; 16,2; 18,1; 19,2 y 26,6.**) Es importante señalar aquí que al menos uno de estos valores puede ocurrir más de una vez en la base de datos analizada, por lo que el número total de outliers no se refleja necesariamente en la identificación de los mismos.

DAM: este análisis indica que los valores de concentración de clorofila a ($\mu\text{g/l}$) **6,6; 7,3; 7,5; 8,7; 9,7; 11,5; 16,2; 18,1; 19,2 y 26,6** pueden ser considerados como outliers.

Prueba de Rosner: esta prueba indica que los valores de concentración de clorofila a ($\mu\text{g/l}$) de **7,3; 7,5; 8,7; 9,7; 11,5; 16,2; 18,1; 19,2 y 26,6** son outliers estadísticamente significativos ($P < 0,05$).

Localidad: Molco - Nº de datos: 173

RIC: este análisis indica que aquellos valores de concentración de clorofila a que sean menores $0,0 \mu\text{g/l}$ o mayores a $4,8 \mu\text{g/l}$ pueden ser considerados como outliers. Aquellos valores que en el gráfico aparecen sobre y bajo las barras (i.e. más de $1,5 \cdot \text{RIC}$, $> 4,8 \mu\text{g/l}$) pueden ser considerados outliers (**5,0; 8,5; 11,3 y 19,1**).

DAM: este análisis indica que los valores de concentración de clorofila a ($\mu\text{g/l}$) **8,5; 11,3 y 19,1** pueden ser considerados como outliers.

Prueba de Rosner: esta prueba indica que los valores de concentración de clorofila a ($\mu\text{g/l}$) de **8,5; 11,3 y 19,1** son outliers estadísticamente significativos ($P < 0,05$).

Localidad: Villarrica -Nº de datos: 135

Clorofila a

La identificación de outliers para este parámetro se realizó por origen y localidad en que fueron obtenidos los datos.

Origen de los datos: DGA

Los resultados gráficos de este análisis se muestran en el siguiente Box-Plot (Fig. 10).

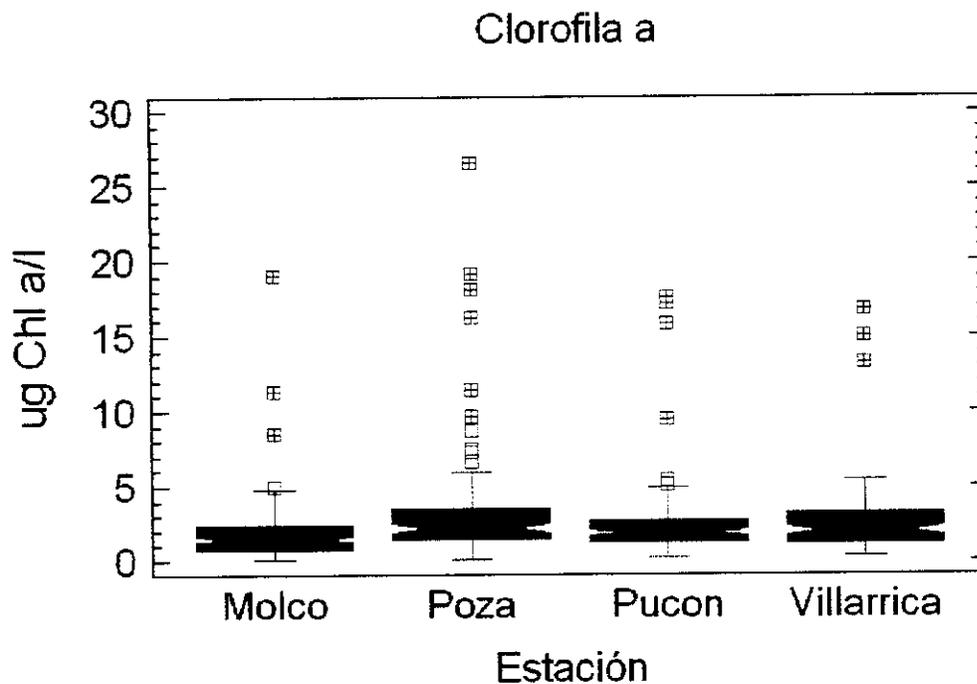


Fig.10 Clorofila a en las 4 estaciones de la red de monitoréo de la DGA.

Localidad: Bahía Pucon - N° de datos: 128

RIC: este análisis indica que aquellos valores de concentración de Chl a que sean menores $0,0 \mu\text{g/l}$ o mayores a $4,8 \mu\text{g/l}$ pueden ser considerados como outliers. Aquellos valores que en el gráfico aparecen sobre y bajo las barras (i.e. más de $1,5 \cdot \text{RIC}$, $>4,8 \mu\text{g/l}$) pueden ser considerados outliers (**4,9; 5,1; 5,4; 9,5; 15,8; 17,2 y 17,6**).

Prueba de Rosner: esta prueba indica que los valores de concentración de fósforo total ($\mu\text{g/l}$) de **31,7; 33,5; 34,2; 44,2; 48,4; 53,9; 55,0; 60,0; 61,6** y **67,2** son outliers estadísticamente significativos ($P < 0,05$).

Localidad: Villarrica - N° de datos: 123

RIC: este análisis indica que aquellos valores de concentración de fósforo total que sean menores $0,0 \mu\text{g/l}$ o mayores a $27,0 \mu\text{g/l}$ pueden ser considerados como outliers. Aquellos valores que en el gráfico aparecen sobre y bajo las barras (i.e. más de $1,5 \cdot \text{RIC}$, $27,0 \mu\text{g/l}$) pueden ser considerados outliers (**27,8; 31,1; 33,3; 46,1; 47,8; 52,5; 55,5** y **60,6**).

DAM: este análisis indica que los valores de concentración de fósforo total ($\mu\text{g/l}$) **33,3; 46,1; 47,8; 52,5; 55,5** y **60,6** pueden ser considerados como outliers.

Prueba de Rosner: esta prueba indica que los valores de concentración de fósforo total ($\mu\text{g/l}$) de **31,1; 33,3; 46,1; 47,8; 52,5; 55,5** y **60,6** son outliers estadísticamente significativos ($P < 0,05$).

puede ocurrir más de una vez en la base datos analizada, por lo que el número total de outliers no se refleja necesariamente en la identificación de los mismos.

DAM: este análisis indica que los valores de concentración de fósforo total ($\mu\text{g/l}$) 33,3; 39,0; 45,3; 60,3; 65,8 y 68,8 pueden ser considerados como outliers.

Prueba de Rosner: esta prueba indica que los valores de concentración de fósforo total ($\mu\text{g/l}$) de **28,5; 28,8; 29,5; 33,3; 39,0; 45,3; 60,3; 65,8** y **68,8** son outliers estadísticamente significativos ($P < 0,05$).

Localidad: La Poza - N° de datos: 88

RIC: este análisis indica que aquellos valores de concentración de fósforo total que sean menores $0,0 \mu\text{g/l}$ o mayores a $38,8 \mu\text{g/l}$ pueden ser considerados como outliers. Aquellos valores que en el gráfico aparecen sobre y bajo las barras (i.e. más de $1,5 * \text{RIC}$, $>38,8 \mu\text{g/l}$) pueden ser considerados outliers (**40,0; 52,8; 54,4; 56,1; 57,3** y **90,1**).

DAM: este análisis indica que los valores de concentración de fósforo total ($\mu\text{g/l}$) 52,8; 54,4; 56,1; 57,3 y 90,1 pueden ser considerados como outliers.

Prueba de Rosner: esta prueba indica que los valores de concentración de fósforo total ($\mu\text{g/l}$) de **52,8; 54,4; 56,1; 57,3** y **90,1** son outliers estadísticamente significativos ($P < 0,05$).

Localidad: Molco - N° de datos: 152

RIC: este análisis indica que aquellos valores de concentración de fósforo total que sean menores $0,0 \mu\text{g/l}$ o mayores a $23,2 \mu\text{g/l}$ pueden ser considerados como outliers. Aquellos valores que en el gráfico aparecen sobre y bajo las barras (i.e. más de $1,5 * \text{RIC}$, $>23,2 \mu\text{g/l}$) pueden ser considerados outliers (**31,7; 33,5; 34,2; 44,2; 48,4; 53,9; 55,0; 60,0; 61,6** y **67,2**). Es importante señalar aquí que al menos uno de estos valores puede ocurrir más de una vez en la base de datos analizada, por lo que el número total de outliers no se refleja necesariamente en la identificación de los mismos.

DAM: este análisis indica que los valores de concentración de fósforo total ($\mu\text{g/l}$) 31,7; 33,5; 34,2; 44,2; 48,4; 53,9; 55,0; 60,0; 61,6 y 67,2 pueden ser considerados como outliers.

Fósforo total en la columna de agua

La identificación de outliers para este parámetro se realizó por origen y localidad en que fueron obtenidos los datos.

Origen de los datos: DGA

Los resultados gráficos de este análisis se muestran en el siguiente Box-Plot (Fig. 9).

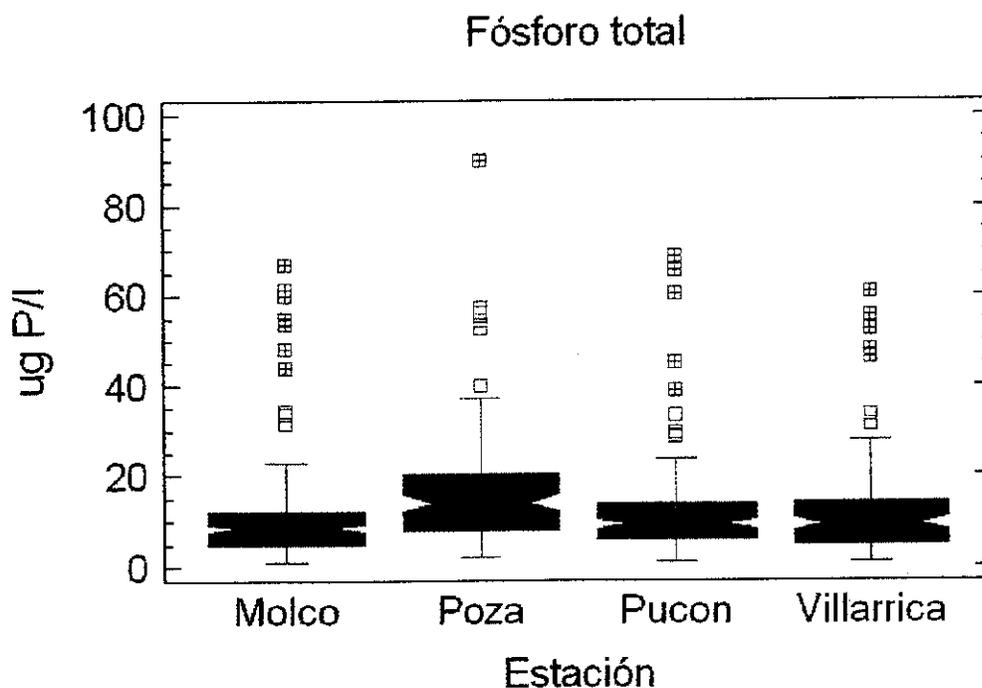


Fig.9 Fósforo total en las 4 estaciones de la red de monitoréo de la DGA.

Localidad: Bahía Pucon - N° de datos: 125

RIC: este análisis indica que aquellos valores de concentración de fósforo total que sean menores 0,0 µg/l o mayores a 25,8 µg/l pueden ser considerados como outliers. Aquellos valores que en el gráfico aparecen sobre y bajo las barras (i.e. más de $1,5 \cdot \text{RIC}$, $>25,8 \mu\text{g/l}$) pueden ser considerados outliers (28,5; 28,8; 29,5; 33,3; 39,0; 45,3; 60,3; 65,8 y 68,8). Es importante señalar aquí que al menos uno de estos valores

1,5*RIC, >36,0 µg/l) pueden ser considerados outliers (**37,0; 39,0; 40,0; 42,0; 45,0; 46,0; 50,0; 52,0; 55,0; 56,0; 59,0; 67,0; 68,0; 78,0; 163,0; 260,0 y 460,0**). Es importante señalar aquí que al menos uno de estos valores puede ocurrir más de una vez en la base datos analizada, por lo que el número total de outliers no se refleja necesariamente en la identificación de los mismos.

DAM: este análisis indica que los valores de concentración de fósforo soluble (µg/l) **42,0; 45,0; 46,0; 50,0; 52,0; 55,0; 56,0; 59,0; 67,0; 68,0; 78,0; 163,0; 260,0 y 460,0** pueden ser considerados como outliers.

Prueba de Rosner: esta prueba indica que los valores de concentración de fósforo soluble (µg/l) de **67,0; 68,0; 78,0; 163,0; 260,0 y 460,0** son outliers estadísticamente significativos ($P < 0,05$).

Localidad: Villarrica - N° de datos: 162

RIC: este análisis indica que aquellos valores de concentración de fósforo soluble que sean menores 0,0 µg/l o mayores a 34,0 µg/l pueden ser considerados como outliers. Aquellos valores que en el gráfico aparecen sobre y bajo las barras (i.e. más de 1,5*RIC, >34,0 µg/l) pueden ser considerados outliers (**36,0; 40,0; 42,0; 46,0; 50,0; 52,0; 55,0; 59,0; 68,0; 75,0; 98,0 y 130,0**). Es importante señalar aquí que al menos uno de estos valores puede ocurrir más de una vez en la base datos analizada, por lo que el número total de outliers no se refleja necesariamente en la identificación de los mismos.

DAM: este análisis indica que los valores de concentración de fósforo soluble (µg/l) **42,0; 46,0; 50,0; 52,0; 55,0; 59,0; 68,0; 75,0; 98,0 y 130,0** pueden ser considerados como outliers.

Prueba de Rosner: esta prueba indica que los valores de concentración de fósforo soluble (µg/l) de **50,0; 52,0; 55,0; 59,0; 68,0; 75,0; 98,0 y 130,0** son outliers estadísticamente significativos ($P < 0,05$).

50,0; 52,0; 58,0; 59,0; 60,0; 65,0; 68,0; 70,0; 75,0; 84,0; 94,0; 104,0; 228,0 y 326,0).

Es importante señalar aquí que al menos uno de estos valores puede ocurrir más de una vez en la base de datos analizada, por lo que el número total de outliers no se refleja necesariamente en la identificación de los mismos.

DAM: este análisis indica que los valores de concentración de fósforo soluble ($\mu\text{g/l}$) 42,0; 46,0; 49,0; 50,0; 52,0; 58,0; 59,0; 60,0; 65,0; 68,0; 70,0; 75,0; 84,0; 94,0; 104,0; 228,0 y 326,0 pueden ser considerados como outliers.

Prueba de Rosner: esta prueba indica que los valores de concentración de fósforo soluble ($\mu\text{g/l}$) de **65,0; 68,0; 70,0; 75,0; 84,0; 94,0; 104,0; 228,0 y 326,0** son outliers estadísticamente significativos ($P < 0,05$).

Localidad: La Poza - N° de datos: 116

RIC: este análisis indica que aquellos valores de concentración de fósforo soluble que sean menores $0,0 \mu\text{g/l}$ o mayores a $38,9 \mu\text{g/l}$ pueden ser considerados como outliers. Aquellos valores que en el gráfico aparecen sobre y bajo las barras (i.e. más de $1,5 \cdot \text{RIC}$, $>38,9 \mu\text{g/l}$) pueden ser considerados outliers (**39,0; 40,0; 49,0; 50,0; 52,0; 55,0; 62,0; 94,0; 100,0; 130,0; 196,0 y 326,0**). Es importante señalar aquí que al menos uno de estos valores puede ocurrir más de una vez en la base datos analizada, por lo que el número total de outliers no se refleja necesariamente en la identificación de los mismos.

DAM: este análisis indica que los valores de concentración de fósforo soluble ($\mu\text{g/l}$) **49,0; 50,0; 52,0; 55,0; 62,0; 94,0; 100,0; 130,0; 196,0 y 326,0** pueden ser considerados como outliers.

Prueba de Rosner: esta prueba indica que los valores de concentración de fósforo soluble ($\mu\text{g/l}$) de **49,0; 50,0; 52,0; 55,0; 62,0; 94,0; 100,0; 130,0; 196,0 y 326,0** son outliers estadísticamente significativos ($P < 0,05$).

Localidad: Molco -N° de datos: 213

RIC: este análisis indica que aquellos valores de concentración de fósforo soluble que sean menores $0,0 \mu\text{g/l}$ o mayores a $36,0 \mu\text{g/l}$ pueden ser considerados como outliers. Aquellos valores que en el gráfico aparecen sobre y bajo las barras (i.e. más de

Fósforo soluble reactivo

La identificación de outliers para este parámetro se realizó por origen y localidad en que fueron obtenidos los datos.

Origen de los datos: DGA

Los resultados gráficos de este análisis se muestran en el siguiente Box-Plot (Fig. 8).

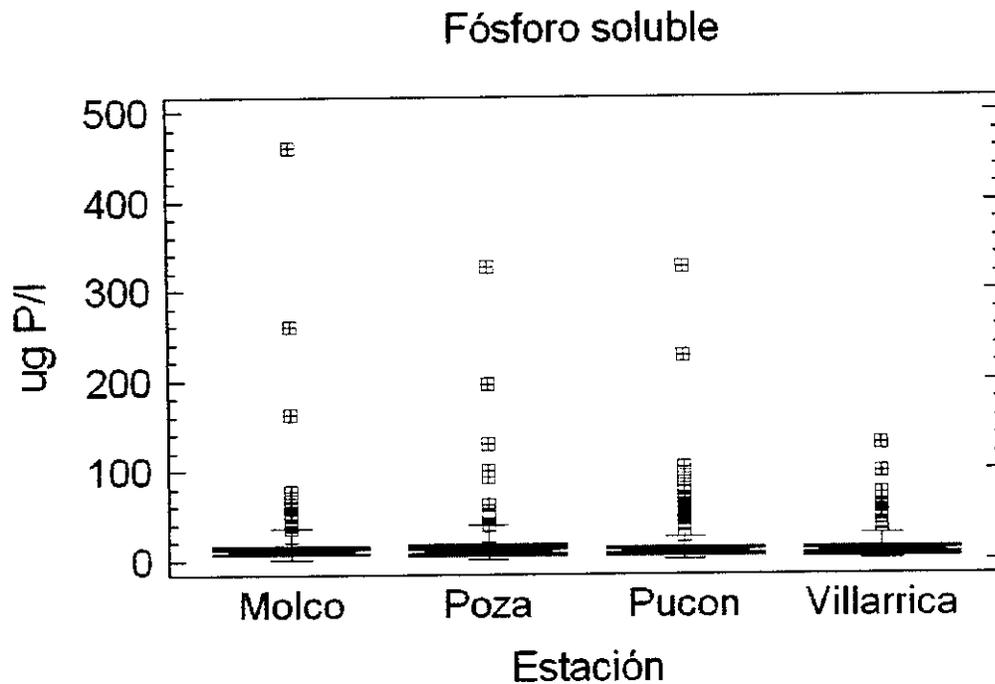


Fig.8 Fósforo soluble en las 4 estaciones de la red de monitoréo de la DGA.

Localidad: Bahía Pucon -Nº de datos: 161

RIC: este análisis indica que aquellos valores de concentración de fósforo soluble que sean menores 0,0 µg/l o mayores a 32,5 µg/l pueden ser considerados como outliers. Aquellos valores que en el gráfico aparecen sobre y bajo las barras (i.e. más de $1,5 \cdot \text{RIC}$, $> 32,5 \mu\text{g/l}$) pueden ser considerados outliers (**33,0; 39,0; 42,0; 46,0; 49,0;**

Prueba de Rosner: el valor de concentración de NT ($\mu\text{g/l}$) de **499,8** es un outlier estadísticamente significativo ($P < 0,05$).

Localidad: La Poza - N° de datos: 92

RIC: aquellos valores de concentración de NT que sean menores $0,0 \mu\text{g/l}$ o mayores a $269,9 \mu\text{g/l}$ pueden ser considerados como outliers. Aquellos valores que en el gráfico aparecen sobre y bajo las barras (i.e. más de $1,5 \cdot \text{RIC}$) pueden ser considerados outliers (**$296,5 \mu\text{g/l}$**).

DAM: este análisis no indica la presencia de outliers.

Prueba de Rosner: esta prueba estadística no muestra datos outliers.

Localidad: Molco - N° de datos: 164

RIC: aquellos valores de concentración de NT que sean menores $0,0 \mu\text{g/l}$ o mayores a $287,6 \mu\text{g/l}$ pueden ser considerados como outliers. Aquellos valores que en el gráfico aparecen sobre y bajo las barras (i.e. más de $1,5 \cdot \text{RIC}$) pueden ser considerados outliers (**$318,0$; $331,0$; $390,0$; $408,0$ y $495,3 \mu\text{g/l}$**).

DAM: los valores de NT ($\mu\text{g/l}$) $318,0$; $331,0$; $390,0$; $408,0$ y $495,3$ pueden ser considerados como outliers.

Prueba de Rosner: los valores de NT ($\mu\text{g/l}$) de **$390,0$; $408,0$ y $495,3$** son outliers estadísticamente significativos ($P < 0,05$).

Origen de los datos: DGA - Localidad: Villarrica - N° de datos: 126

RIC: aquellos valores de concentración de NT que sean menores $0,0 \mu\text{g/l}$ o mayores a $253,9 \mu\text{g/l}$ pueden ser considerados como outliers. Aquellos valores que en el gráfico aparecen sobre y bajo las barras (i.e. más de $1,5 \cdot \text{RIC}$) pueden ser considerados outliers (**$254,7$ y $284,7 \mu\text{g/l}$**).

DAM: este análisis no indica la presencia de outliers.

Prueba de Rosner: esta prueba estadística no muestra datos outliers.

Nitrógeno total (NT)

La identificación de outliers para este parámetro se realizó por origen y localidad en que fueron obtenidos los datos.

Origen de los datos: DGA

Los resultados gráficos de este análisis se muestran en el siguiente Box-Plot (Fig. 7).

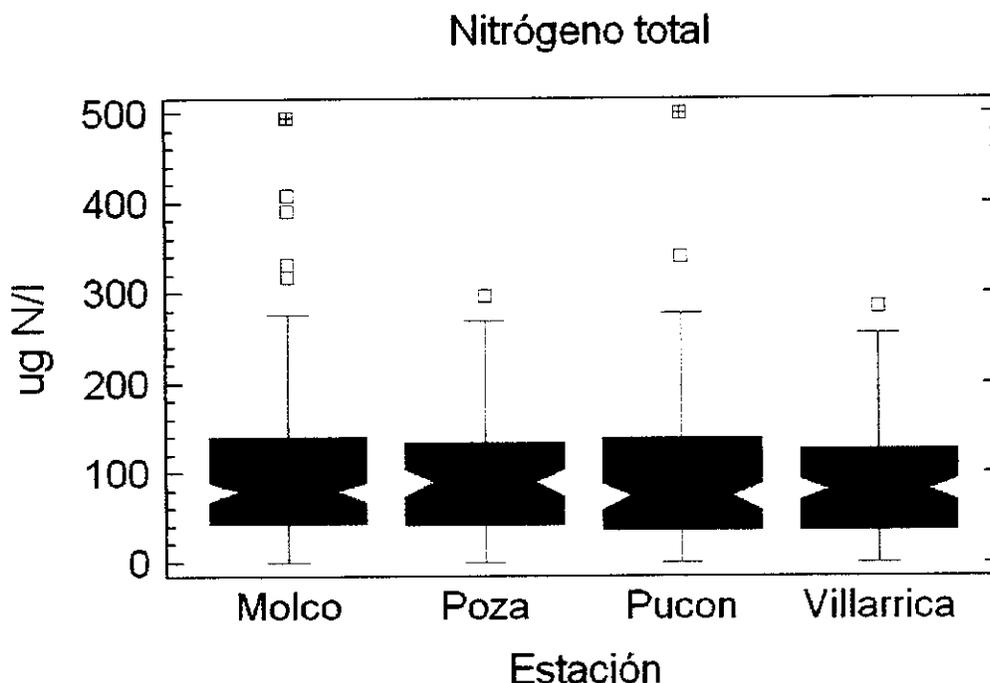


Fig.7 Nitrógeno total en las 4 estaciones de la red de monitoréo de la DGA.

Localidad: Bahía Pucon - N° de datos: 119

RIC: aquellos valores de concentración de NT que sean menores 0,0 µg/l o mayores a 291,0 µg/l pueden ser considerados como outliers. Aquellos valores que en el gráfico aparecen sobre y bajo las barras (i.e. más de 1,5*RIC) pueden ser considerados outliers (339,5 y 499,8 µg/l).

DAM: los valores 339,5 y 499,8 NT µg/l de concentración de NT pueden ser considerados como outliers.

DAM: este análisis no pudo ser desarrollado debido a que la mediana de la desviación absoluta de la mediana fue cero.

Prueba de Rosner: esta prueba indica que los valores de concentración de N_{NO_2} ($\mu g/l$) **5,0; 6,0 y 7,0**, son outliers estadísticamente significativos ($P < 0,05$).

Localidad: Villarrica - N° de datos: 151

RIC: aquellos valores de concentración de N_{NO_2} que sean menores $0,0 \mu g/l$ o mayores a $3,5 \mu g/l$ pueden ser considerados como outliers. Aquellos valores que en el gráfico aparecen sobre y bajo las barras (i.e. más de $1,5 \cdot RIC$, $> 3,5 \mu g/l$) pueden ser considerados outliers (**4,0; 5,0; 6,0 y 11,0**). Es importante señalar aquí que al menos uno de estos valores puede ocurrir más de una vez en la base datos analizada, por lo que el número total de outliers no se refleja necesariamente en la identificación de los mismos.

DAM: este análisis no pudo ser desarrollado debido a que la mediana de la desviación absoluta de la mediana fue cero.

Prueba de Rosner: esta prueba indica que los valores de concentración de N_{NO_2} ($\mu g/l$) **6,0 y 11,0**, son outliers estadísticamente significativos ($P < 0,05$).

Para este estudio el procesamiento y análisis de las imágenes de satélite fue aplicado desarrollando las siguientes etapas:

1. Selección de las imágenes de satélite correspondientes al área de estudio.
2. Selección de fotografía aérea de referencia e información del Catastro del Bosque Nativo, para control posterior.
3. Ajuste geométrico de la información.
4. Generación del modelo digital de terreno (MDT) y sus derivados (pendiente y exposición) para ser utilizados en el proceso de corrección topográfica.
5. Corrección del efecto atmosférico sobre las imágenes de satélite.
6. Corrección del efecto topográfico, que conlleva una diferente iluminación en distintas zonas de las imágenes de satélite.
7. Cálculo del Índice de Vegetación con Ajuste del Efecto de Suelo modificado.
8. Proceso de clasificación digital supervisada y validación de la exactitud de esta.

Ajuste Geométrico

Consiste en la homogenización de la información cartográfica e imágenes, en lo que se refiere a la asimilación de una proyección y datum idéntico para todos los datos.

Generación del MDT

El Modelo digital de terreno se elabora a partir de la información vectorial correspondiente al eje Z o la cota de altura en una coordenada determinada, con la nube de puntos se procede a la interpolación con el algoritmo Non-Linear Rubber Shetting de Erdas, para generar un manto que simula el relieve del terreno.

La construcción del modelo obedece a la necesidad de contar con la información de pendiente y exposición, con la que se realiza el cálculo de la corrección topográfica.

Corrección Atmosférica

Para efectuar la corrección atmosférica de las imágenes, se convirtieron a valores de reflectividad empleando el método de corrección de transmisividad de la atmósfera descendente por defecto propuesto por Chávez (1996).

$$\rho_{i,k} = \frac{D\pi((L_{sen,k} - L_{a,k})/\tau_{k,a})}{E_{0,k} \text{sen}\theta_i \tau_{k,i} + E_{di,k}} \quad [1]$$

donde $\rho_{i,k}$ es la reflectividad del píxel i para la banda k ; D es un factor que tiene en cuenta la variación de la distancia Tierra-Sol al cuadrado, la cual se deriva a partir del día juliano desde el Cuadro 1; L_{sen} es la radiancia en el sensor para esa banda ($L_{sen} = G_{aink} \times ND_k + B_{iask}$) [2]; $L_{a,k}$ la radiancia atmosférica para esa banda; $\tau_{k,a}$ transmisividad ascendente; $E_{0,k}$ es la irradiancia solar en el techo de la atmósfera; θ_i el ángulo de elevación solar; $\tau_{k,i}$ la transmisividad para el flujo descendente, y $E_{di,k}$ la

irradiancia difusa. En el método propuesto por Chávez, algunos términos se simplifican, $L_{a,k}$ se obtiene a partir del valor observado en un objeto oscuro o sombra ($L_{a,k} = Gain_k \times ND_{\min k} + Bias_k$) [3], $\tau_{k,a}$ se calcula a partir del $\cos \theta_i$ (1, para observaciones verticales); $\tau_{k,i}$ se estima a partir de valores promedio para cada banda (0,70; 0,78; 0,85; 0,91; 1; 1 para las bandas ETM1, ETM2, ETM3, ETM4, ETM5 y ETM7) y $Ed_{i,k} = 0$ (ignora irradiancia difusa) (Riaño et al 2000).

CUADRO 1
Distancia tierra – sol en Unidades Astronómicas (Chander, 2003)

Julian Day	Distance								
1	0,9832	74	0,9945	152	1,0140	227	1,0128	305	0,9925
15	0,9836	91	0,9993	166	1,0158	242	1,0092	319	0,9892
32	0,9853	106	1,0033	182	1,0167	258	1,0057	335	0,9860
46	0,9878	121	1,0076	196	1,0165	274	1,0011	349	0,9843
60	0,9909	135	1,0109	213	1,0149	288	0,9972	365	0,9833

Este procedimiento recurre a lo que se denomina extracción de objeto oscuro, para la determinación del ND mínimo de cada banda como estimación de la radiancia debido a la dispersión atmosférica, mientras que la transmisividad atmosférica para el flujo descendente se extrapola de experimentos físicos llevados a cabo sobre atmósferas reales sin cobertura nubosa. (Riaño et al 2000).

CUADRO 2
Parámetros para la conversión a reflectividad de las imágenes landsat (USGS, 2006).

Banda	$E_{0,k}$	Gain	Bias
ETM1	1969	0,77568627	-6,2
ETM2	1840	0,79568627	-6,4
ETM3	1551	0,61921569	-5,0
ETM4	1044	0,9654902	-5,1
ETM5	225,7	0,12572549	-1,0
ETM7	82,07	0,04372549	-0,35

Corrección Topográfica

Para corregir el efecto que produce el relieve se utiliza el MDT en un proceso de dos fases. Primero se calcula el ángulo de iluminación de cada píxel (considerando la posición solar y topográfica) y luego se corrige la reflectividad de entrada de acuerdo con el valor de ese ángulo (Heredia et al 2003). La iluminación se calcula a partir de los ángulos cenital solar, acimutal solar, de orientación y de pendiente de acuerdo a:

$$IL = \cos \gamma_i = \cos \theta_c \cos \theta_n + \sin \theta_c \sin \theta_n \cos(\phi_c - \phi_n) \quad [4]$$

donde IL corresponde al coseno del ángulo de iluminación, θ_c indica el ángulo cenital solar, θ_n la pendiente del terreno, θ_c el ángulo acimutal solar y θ_n el ángulo de orientación de la vertiente. Los ángulos solares se pueden obtener de la fecha y hora de adquisición de la imagen, aunque suelen aparecer en la cabecera de la misma, mientras que la pendiente y la orientación se obtienen desde el MDT. Una vez calculada la imagen con el ángulo de iluminación (que equivale a un sombreado del terreno), puede aplicarse alguna de las fórmulas para la corrección de iluminación topográfica sugeridas en la literatura (Heredia et al 2003), una factible de utilizar es la propuesta por Civco (1989):

$$\rho_{h,i,k} = \rho_{i,k} + \rho_{i,k} \frac{(IL_m - IL_i)}{IL_m} \quad [5]$$

donde $\rho_{h,i,k}$ es la reflectividad de la superficie horizontal del píxel i para la banda k , IL_m indica la media de la imagen de iluminación para toda la imagen, y IL_i es el valor de iluminación para el píxel a corregir.

Índice de Vegetación con Ajuste del efecto de Suelo Modificado (MSAVI)

El cálculo de índices de vegetación es una técnica de uso habitual en teledetección y es comúnmente utilizada para mejorar la discriminación entre dos cubiertas que presenten un comportamiento reflectivo muy distinto en dos o más bandas, por ejemplo para realzar suelos y vegetación en el visible e infrarrojo cercano, y para reducir el efecto del relieve (pendiente y orientación) en la caracterización espectral de distintas cubiertas (Chuvieco 1996).

Según Chuvieco (1996), para aplicar estos índices con rigor deberían aplicarse previamente las correcciones atmosféricas y la conversión de ND (número digital, es el valor que devuelve el sensor) a reflectividades. De todas maneras, siempre que no se pretenda conceder un valor físico a los resultados, el índice puede aplicarse directamente a los ND originales de la imagen. En este caso la valoración será relativa, pero sigue manteniéndose el mismo principio; cuanto mayor sea el resultado obtenido, tanto mayor será el vigor vegetal presente en la zona observada (Parimbelli 2005).

El MSAVI se define como:

$$MSAVI_i = \frac{2\rho_{i,IRC} + 1 - \sqrt{(2\rho_{i,IRC} + 1)^2 - 8(\rho_{i,IRC} - \rho_{i,R})}}{2} \quad [6]$$

donde $\rho_{i,IRC}$ y $\rho_{i,R}$ indican las reflectividades del píxel i en la banda del infrarrojo cercano y del rojo, respectivamente (Qi et al. (1994)).

Clasificación Digital Supervisada

En este procedimiento se seleccionan píxeles que representen los patrones de las distintas coberturas del suelo. Una vez que se identifican estos patrones, se comienza a definir las clases de coberturas del suelo y a entrenar al computador para identificar píxeles con características similares (Segura y Trincado 2003).

a) Fase de entrenamiento: El método utilizado para la selección de las áreas de entrenamiento es el denominado píxel semilla con límites espaciales. Este consiste en identificar píxeles puros que son representativos del área de entrenamiento (Chuvieco 1996). Cuando uno o más píxeles contiguos al píxel semilla son aceptados, se calcula la media espectral del área de entrenamiento. Posteriormente cada área de entrenamiento se une a una firma determinada y se calculan sus estadísticos. Una vez definidas las firmas y antes de abordar el proceso de clasificación propiamente tal, es necesario evaluar la viabilidad de que esas categorías puedan clasificarse sin grave riesgo de error (Segura y Trincado 2003).

Para la elección del grupo óptimo de bandas para la clasificación se utiliza la divergencia estadística transformada. La divergencia estadística parte de la base de que los niveles digitales en una categoría se distribuyen normalmente, considerando la separabilidad como medida del solape entre categorías vecinas. Un valor de divergencia transformada de 2.000 sugiere excelente separación de clases, sobre 1.900 provee una buena separación, mientras que bajo 1.700 indica una pobre separación entre clases (Jensen 1996).

b) Fase de asignación: El método empleado es el de máxima probabilidad, siendo el que presenta una mejor base teórica, aún cuando es considerado un método complejo y que demanda un mayor tiempo de cálculo (Chuvieco 1996). Después de finalizado el proceso de clasificación, la imagen es filtrada para remover el aspecto de sal y pimienta, para esto se utiliza un filtro de mayoría, en que el píxel central se asigna a la categoría que cuenta con la mitad más uno de los píxeles vecinos, en caso de que ninguna categoría sobrepase ese valor el píxel central mantiene su asignación anterior. Esta comparación se realiza a partir de una ventana móvil de 5 x 5 píxeles por su facilidad de aplicación y mínimo sesgo (Bauer et al 1994, Chuvieco 1996).

c) Fase de comprobación y verificación: Toda clasificación presenta un margen de error que está dado por la calidad de los datos y por el método de clasificación empleado, por ello es necesario aplicar un procedimiento de verificación que permita cuantificar el error obtenido. El diseño de muestreo empleado es el aleatorio estratificado, en que cada clase temática tiene un cierto número de puntos de muestreo de acuerdo a la superficie de cada unidad temática. Se considera un total de 256 puntos de muestreo (Segura y Trincado 2003).

Después que la información de referencia (fotografía aérea, catastro, visita a terreno) es recogida desde los puntos localizados aleatoriamente, éstos son comparados píxel a píxel con la información derivada de la clasificación digital. Las concordancias y no-concordancias son resumidas en una matriz de error (Segura y Trincado 2003).

Para el cálculo de la exactitud global (*ExG*) se relacionan los elementos de la diagonal con el total de puntos de muestreo según:

$$ExG = \frac{\sum_{i=1,a} X_{ii}}{\sum_{i=1,n} \sum_{j=1,n} X_{ij}} \quad [7]$$

donde X_{ii} son los elementos de la diagonal y los X_{ij} son el total de puntos muestreados.

Además se realiza un análisis de las relaciones múltiples entre las categorías. Para esto se recurre al análisis categórico multivariado denominado estadístico Kappa (K^{\wedge}), que mide la diferencia entre el acuerdo mapa/realidad observado y lo que se podría esperar simplemente por azar (Lillesand y Kiefer 1994). Un valor de K^{\wedge} igual a 1 indica un acuerdo pleno entre la realidad y el mapa, mientras que un valor cercano a 0 sugiere que el acuerdo observado es puramente debido al azar (Segura y Trincado 2003). El estadístico K^{\wedge} se calcula a través de la siguiente fórmula:

$$K^{\wedge} = \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r (X_{i+} \times X_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (X_{i+} \times X_{+i})} \quad [8]$$

donde r es el número de filas en la matriz, X_{ii} es el número de observaciones en la fila i y columna i , X_{i+} ; X_{+i} es el total marginal para la fila i y columna i , N es el número total de observaciones ($N=256$).

RESULTADOS (PRELIMINARES)

El área de estudio corresponde a la Cuenca Hidrográfica del Lago Villarrica la cual se sitúa en la parte alta de la Cuenca del Río Tolten, curso que nace de la desembocadura de este lago. Para cubrir toda la extensión de la cuenca fue necesario la adquisición de tres escenas del Landsat 7 ETM+ georreferenciadas a la proyección UTM, Elipsoide y Datum WGS 84 huso 18 y 19 norte, y con resolución espacial de 28,5 metros. La corrección geométrica fue ejecutada por USGS a través del sistema NLAPS (Nacional Landsat Archive Production System) (Chander y Markham 2003). Desde estas imágenes se cortó el área que pertenece a la cuenca considerando una zona de borde de 12 km. alrededor del límite de esta (figura 1), en las que se realizó la corrección atmosférica, ajuste geométrico, corrección topográfica, MSAVI y clasificación supervisada.

Desde las imágenes adquiridas; p233r087_7t20011129_z18n.img del 29-11-2001, p232r087_7t20010207_z19n.img del 07-02-2001 y p232r088_7t20011208_z19n.img del 08-12-2001, se cortó el área de estudio, dejando la escena 232-87 como imagen central ya que esta no presenta nubes y abarca la mayor parte de la superficie de la cuenca. El área faltante se completa con las otras escenas.

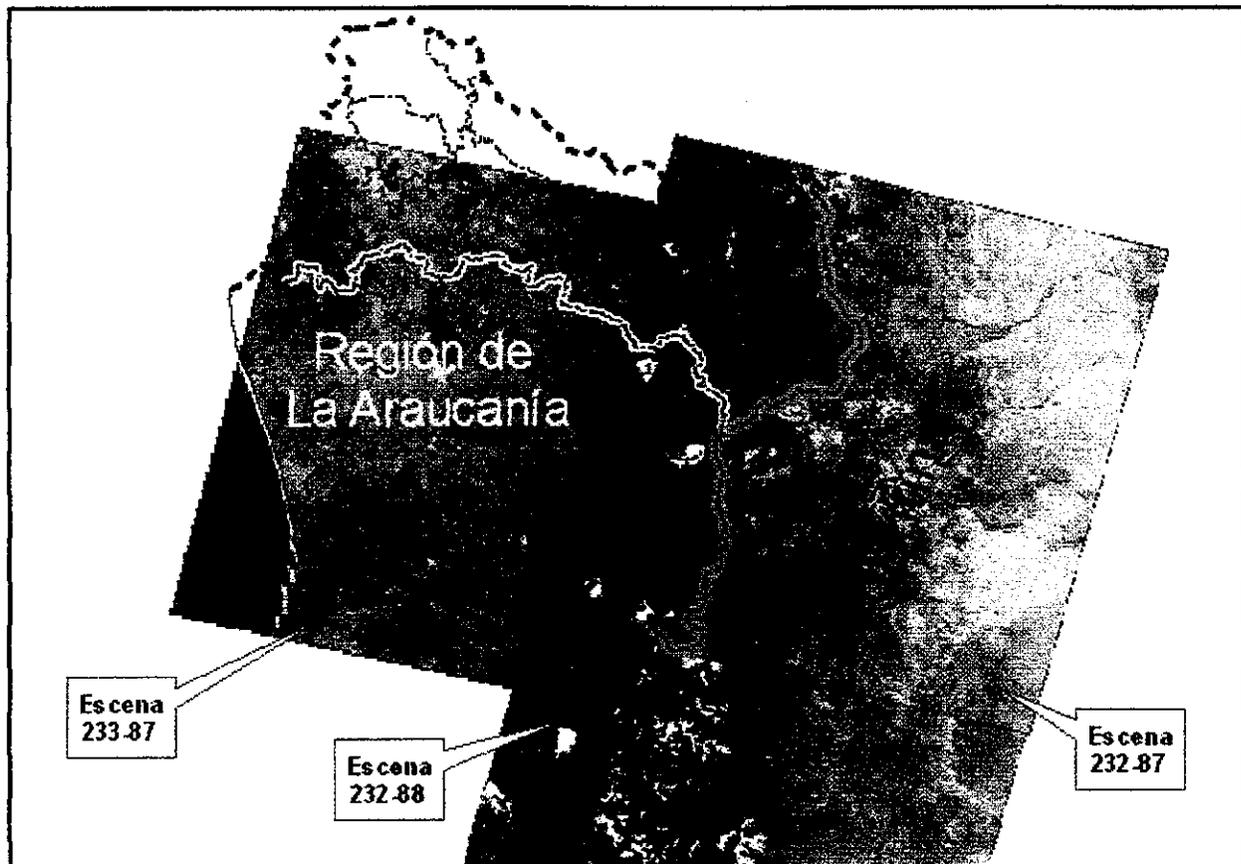


Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio y escenas adquiridas

Ajuste Geométrico

Se realizó un ajuste geométrico a las imágenes debido a que estas estaban referidas a la proyección UTM WGS84 huso 18 y 19 norte, por lo tanto la operación de ajuste produjo imágenes referidas a la proyección UTM WGS84 huso 19 sur, con lo que estas quedaron en la posición que corresponde a la zona de estudio. Además para mantener la integridad de la información, se optó por georeferenciar todo al huso 19 sur, aún cuando parte de la cuenca corresponde al huso 18 sur en el sistema de referencia UTM WGS84.

Corrección Atmosférica

Como se ha descrito anteriormente, la corrección atmosférica tiene como finalidad reducir el efecto de dispersión del haz de luz en el rango del espectro visible, que influye principalmente en la energía captada por el sensor en las bandas ETM1, ETM2 y ETM3.

Aplicando [1] (anexo 2) se obtiene una imagen en la que se ha atenuado el Scattering de Rayleigh o efecto de los Gases Atmosféricos. El resultado de la corrección transforma los valores de ND de 8 bits a valores de reflectancia de superficie en

formato de 32 bits, estos últimos son adimensionales hallándose en el rango de 0 a 1, luego, para efectos de reducir el espacio que ocupa en disco, se multiplican por 400 y se escalan a 8 bits obteniendo valores de reflectancia que van de 0 a 255 (USGS, 2006). Los valores resultantes de la corrección de la imagen se muestran en el Cuadro 3.

CUADRO 3
Estadísticas de las bandas de la imagen Landsat ETM+.

Bandas	p233r087			p232r087			p232r088		
	Mín.	Máx.	σ	Mín.	Máx.	σ	Mín.	Máx.	σ
ETM1	0	255	8,27	0	255	31,82	0	255	64,33
ETM2	0	255	11,66	0	255	31,25	0	255	60,54
ETM3	0	255	12,28	0	255	33,60	0	255	65,14
ETM4	0	255	56,19	0	255	28,29	0	255	30,33
ETM5	0	255	33,58	0	255	22,24	0	255	34,13
ETM7	0	255	16,29	0	255	15,07	0	255	26,97

Corrección Topográfica

La corrección topográfica requiere de la información de pendiente y orientación que se obtiene a partir del modelo digital de terreno (figura 2). Una vez construido el modelo, se procede al cálculo de la corrección topográfica, etapa en la que estamos trabajando en este momento.



Figura 2. Izq.: Modelo digital de terreno; Centro: Imagen de exposición; Der.: Imagen de pendiente.

Índice de Vegetación

En pausa hasta terminar lo anterior.

Clasificación Supervisada

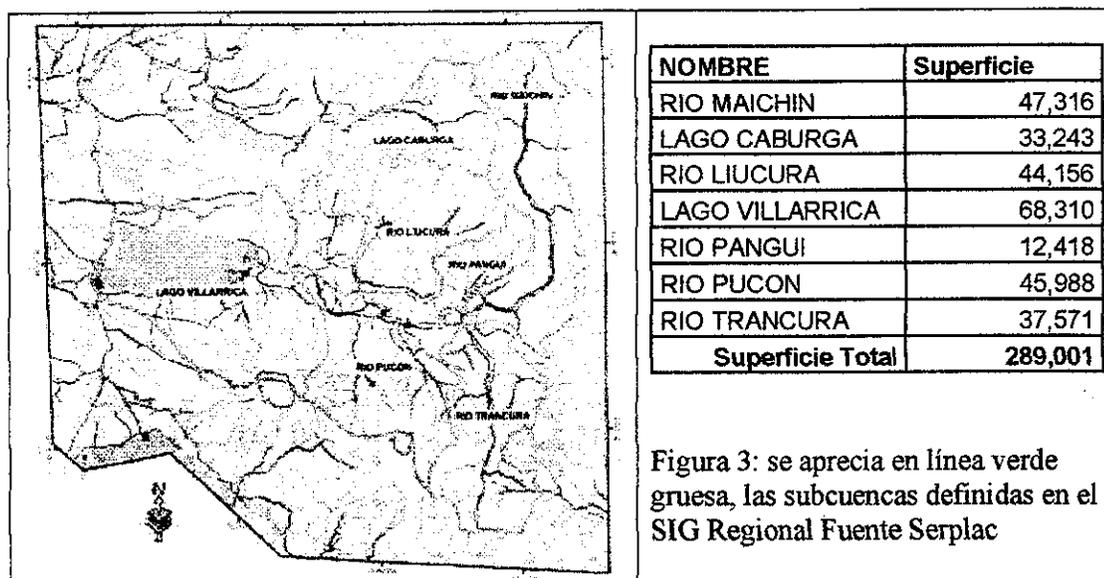
En pausa hasta terminar lo anterior.

Análisis Morfométrico de la Cuenca.

El análisis morfométrico de la cuenca, implica la determinación de una serie de parámetros, de medida, que la hagan comparable con otras cuencas de iguales o similares condiciones.

Secuencialmente los pasos son los siguientes:

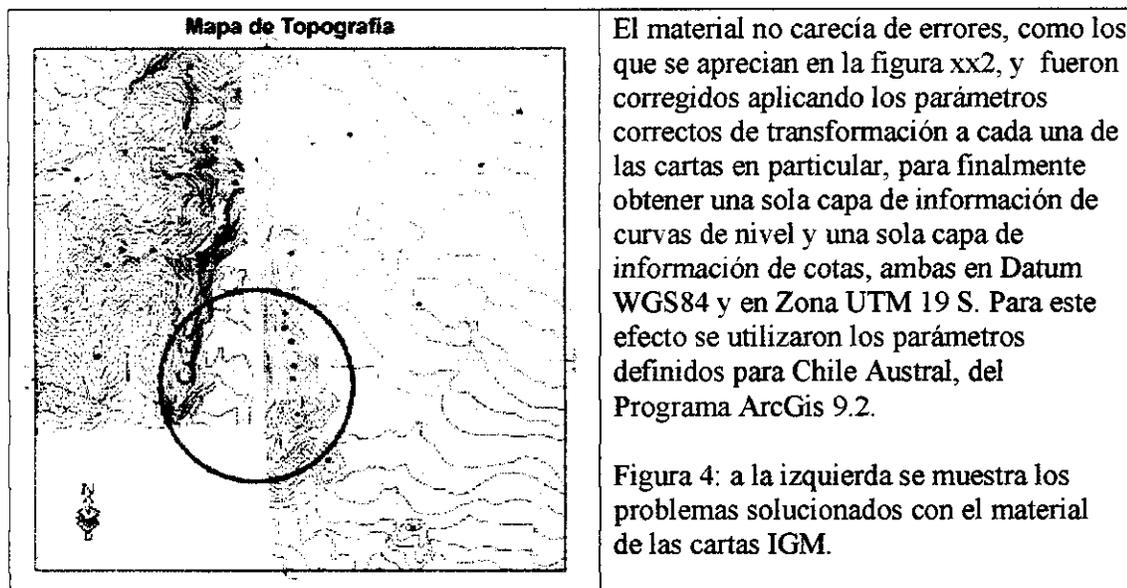
1. Determinación del área de estudio: Se define como el alcance de la cuenca que drena al Lago Villarrica. Particularmente para la novena región, existía un estudio dentro del SIG Regional, que indica las cuencas existentes para la novena región y para el área de estudio en particular. Para el área se reconocen 7 subcuencas de este estudio, las cuales son:



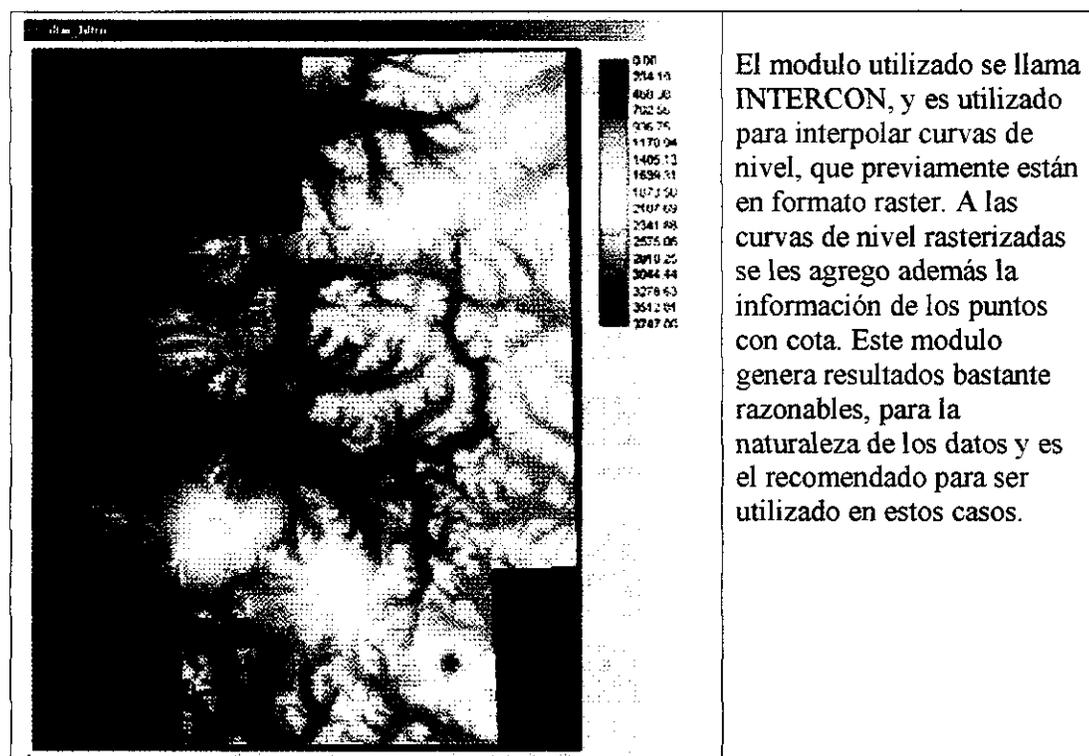
2.- Colección de las curvas: Se obtuvieron las curvas de nivel desde las cartas regulares escala 1:50.000 del IGM para el área de estudio. De estas se digitalizaron solo las curvas de nivel y los puntos de cota, luego se procedió a unir las distintas cartas para producir una sola capa de datos con las curvas de nivel como con las cotas.

Las cartas IGM regulares utilizadas son Cunco, Curarrehue, Lago Caburgua, Lago Huilpilun, Laguna de Icalma, Liquiñe, Liucura, Maitenrehue, Melipeuco, Nevados de Caburgua, Paimun, Pucón, Quiñenahuin, Reigolil, Vilcun, y Villarrica.

Este paso reviste suma importancia, debido a que el área de estudio se encuentra justo en el límite entre la zona UTM 18S Y la zona UTM 19S (Meridiano 72° E). Además las Cartas IGM regulares se encuentran proyectadas sobre el Datum Provisional Sudamericano La Canoa de 1956. Es importante este punto porque la información de curvas debe calzar entre cartas de una misma zona y entre curvas de distintas zonas.



3. Generación del DEM: con las curvas de nivel y las cotas, se procedió a la generación de un Modelo de Elevación Digital (DEM). Para este efecto se utilizó el módulo de interpolación espacial del software IDRISI Kilimanjaro.



4. Derivación de productos: a partir del DEM, se generaran una serie de subproductos,

- a. Determinación de cuencas, subcuencas (WATERSHED), esto se realizo utilizando el software IDRISI, en donde se calcula en base a un tamaño mínimo de superficie las cuencas formadas en base al Modelo de Elevación Digital (DEM). En las figuras 5 a la 6, se pueden apreciar los resultados con los distintos tamaños minimos de cuencas.



Figura 5: Cuencas de 180 has



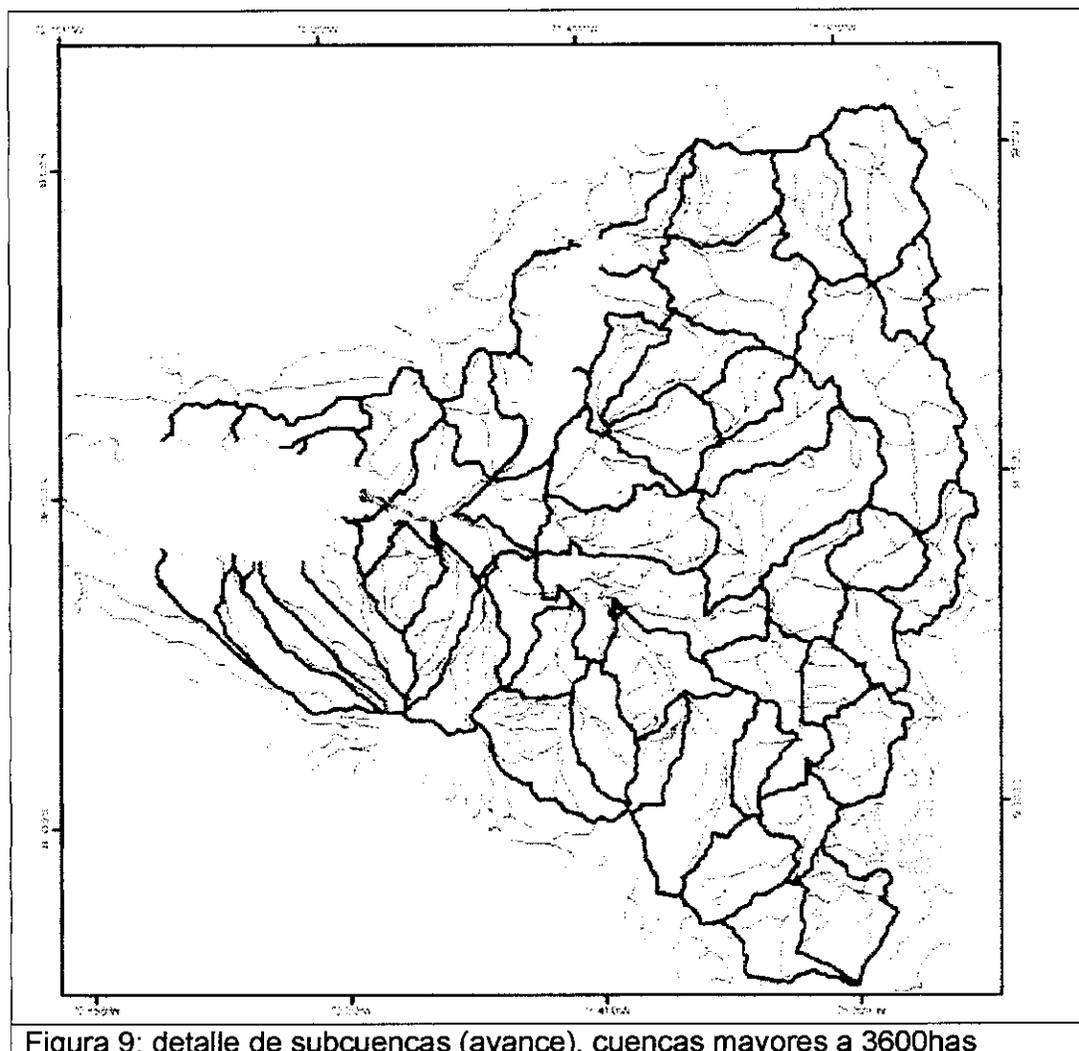
Figura 6: Cuencas de 1800 has



Figura 7 :Cuencas de 2700 has

Figura 8:Cuencas de 3600 has

En este momento se están analizando los resultados para subcuencas mayores a 3.600has.que presentados con la cartografía del proyecto se puede apreciar en la figura 9.



- b. Determinación de las rutas de escorrentía, comparación con la red de drenaje potencial con la descrita a través de Cartas IGM, y calculo de la longitud de la red de drenaje.
- c. Cálculo de las curvas hipsométricas para cada una de las cuencas y subcuencas.
- d. Derivación de un modelo de pendientes para toda el área de estudio y cálculo del largo de la pendiente, parámetros importantes para calcular la USLE.

- e. Finalmente y con la información de la imagen satelital, se puede crear una animación tridimensional y se puede recrear un vuelo, sobre la toda cuenca.

REFERENCIAS

- BAUER M., BURK T., EK A., COPPIN P., LIME S., WALSH T., WALTERS D. 1993. *Satellite inventory of Minnesota forest resources*. Final Report to NASA. Minnesota University. 25 p.
- CHANDER G., MARKHAM B. 2003. *Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges*. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 41, N° 11. pp. 2674-2677.
- CHAVEZ P. 1996. *Image-based atmospheric corrections. Revisited and improved*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. Vol. 62, N° 9. pp. 1025-1036.
- CHUVIECO E. 1996. *Fundamentos de teledetección espacial*. 3ª ed. Revisada. Madrid (España), Rialp S.A. 568 p.
- CIVCO D. 1989. *Topographic normalization of Landsat Thematic Mapper digital imagery*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. Vol. 55, N° 9. pp. 1303-1309.
- GILABERT M., CONESE C., MASELLI F. 1994. *An Atmospheric Correction Method for the Automatic Retrieval of Surface Reflectances from TM Images*. International Journal of Remote Sensing Vol. 15, N° 10. pp. 2065-2086.
- HEREDIA A., MARTÍNEZ S., QUINTERO E., PIÑEROS W., CHUVIECO E. 2003. *Comparación de Distintas Técnicas de Análisis Digital para la Cartografía de Areas Quemadas con Imágenes LANDSAT ETM+*. GeoFocus (Artículos), N° 3. pp. 216-234. ISSN: 1578-5157.
- JENSEN J. 1996. *Introductory digital image processing*. 2ª ed. Ed. Prentice hall, New Jersey, USA. 316 p.
- LILLESAND T., KIEFER R. 1994. *Remote sensing and image interpretation*. 3ª ed. New York, John Wiley and Sons. 750 p.
- PARIMBELLI M. 2005. *Cálculo de NDVI con Multispec©*. Técnicas Espaciales de Análisis. Universidad CAECE.
- PATILLO C., HONORATO R., COVACEVIC N., SANTANA A., MALEBRAN C., PEZOA E. 1997. *Aplicación de teledetección y SIG en la evaluación de los recursos pratenses en la Región de Magallanes*, Ciencia e investigación agraria. Vol. 24, N° 2. pp. 103-111.
- PINO F. 1995. *Comparación de Métodos de Clasificación Digital de Imágenes de Satélite: Una Aplicación a un Sector de la Ciudad de Santiago*. Revista Trilogía, Vol. 15, N° 23.
- QI J, A CHEHBOUNI, & A HUETE. 1994. *A modified soil adjusted vegetation index*. Remote Sensing of Environment 48: 119-126.
- RIAÑO D., SALAS J., CHUVIECO E. 2000. *Corrección Atmosférica y Topográfica, Información Multitemporal y Auxiliar Aplicadas a la Cartografía de Modelos de Combustibles con Imágenes Landsat-TM*. Tecnologías Geográficas para el Desarrollo Sostenible, Departamento de Geografía. Universidad de Alcalá. pp. 222-239.
- SEGURA R., TRINCADO G. 2003. *Cartografía digital de la Reserva Nacional Valdivia a partir de imágenes satelitales Landsat TM*. Bosque (Valdivia), Vol. 24, N° 2, p. 43-52. ISSN 0717-9200.
- SPERANZA F., ZERDA H. 2005. *Clasificación digital de coberturas vegetales a partir de datos satelitales multiespectrales*. Actas del VIII Congreso Argentino de Ingeniería Rural, Villa de Merlo, San Luis, Argentina.
- USGS. 2006. *MRLC 2001 IMAGE PROCESSING PROCEDURE REVISED MAY 22, 2006*.
- WOLTER P., MLADENOFF D., HOST G., CROW T. 1995. *Improved forest classification in the Northern lake states using multi-temporal Landsat imagery*, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. Vol. 61, N° 9. pp. 1129-1143.