



Salinización incipiente de un arroyo de alta montaña en los Andes de Patagonia (Argentina)

Incipient salinization of a high mountain stream in the Andes of Patagonia (Argentina)

Pizzolon, Lino ^{1,2}✉ - Omad, Guillermo ^{1,3} - Weidl, Mariana ¹ - Claverie, Horacio ⁴

Recibido: 18 de noviembre de 2015 • Aceptado: 12 de mayo de 2016

Resumen

*La calidad del agua del A° Plantamura (cuenca binacional del Futaleufú-Yelcho) se monitoreó durante la década 2000-2010 en el Centro de alta Montaña de La Hoya (Esquel-Chubut) con el objeto de evidenciar impactos del turismo invernal. En este trabajo se analizan los resultados de pH, conductividad eléctrica (CE) y alcalinidad total (AT) en muestras mensuales tomadas desde junio hasta octubre en una estación situada a 1400 m s.n.m y en algunas muestras complementarias tomadas en sitios de control. El análisis estacional destacó un pulso de CE a comienzos del deshielo (setiembre), 2,33 veces superior al valor basal, significativamente diferente de los demás meses (p menor que 0,01) en el ANOVA. El pulso fue causado por la disolución y arrastre de la sal utilizada como anticongelante en playas de estacionamiento y no se verificó o fue mucho menor en sitios sin aportes salinos. El análisis interanual destacó la correlación significativa (p menor que 0,05) entre precipitación máxima y CE y pH mínimo anual. El máximo absoluto de CE ocurrió en el año 2007, el más seco del período. El máximo absoluto AT y de pH se registró en setiembre del 2008, seis meses luego de la caída de cenizas del volcán Chaitén. Los valores de base de CE, AT y pH fueron determinados principalmente por la litología de las cuencas. Se observaron ejemplares ribereños de *Nothofagus pumilio* muertos en pie efecto de la desecación osmótica.*

Palabras clave: turismo invernal, impacto de rutas, cabeceras de cuenca, conductividad eléctrica, deshielo, Patagonia.

Abstract

Water quality of the Plantamura stream (Futaleufú-Yelcho binational watershed) was monitored during the 2000-2010 decade at La Hoya High Mountain Centre (Esquel, Chubut) to show impacts of winter tourism. This report analyzes pH, electrical conductivity (CE) and total alkalinity (AT) from monthly samples, taken from June to October in a place at 1400 m o.s.l. Seasonal analyses underlined an annual pulse of CE at the beginning of snowmelt (September), 2,33 times

1. Laboratorio de Ecología Acuática, Facultad de Ciencias Naturales
✉ lino@unpata.edu.ar
2. Observatorio del Agua, Secretaría de Ciencia y Técnica.
3. Dirección actual: L.I.E.S.A. – CONICET - Facultad de Ciencias Naturales
- 1,2,3 Universidad Nacional de la Patagonia SJB., Sarmiento 849, CP 9200, Esquel, Chubut, Argentina
4. Subsecretaría de Bosques. Provincia de Chubut.

significantly higher than baselines (ANOVA, p minor than 0,01). This pulse was caused by dissolution and and transport of salt utilized as antifreezing on parking spots. The interannual analyses underlined the significantly correlation (p minor than 0,05) between maximum rainfall and minimum CE and pH. CE absolute maximum occurred in 2007, the dryer of the period. AT and pH absolute maximum were recorded in September 2008, six moths after the ashfal from Chaiten volcano. CE, AT and pH baselines weremainly determined by basin's lithology. Some standing dead specimens of riparian *Nothofagus pumilio*, due to osmoticdessionation, were observed.

Keywords: winter tourism, road impact, headwaters, electrical conductivity, snow-melt, Patagonia.

INTRODUCCIÓN

Los deportes invernales en la alta montaña constituyen una importante actividad económica, pero al mismo tiempo producen numerosos impactos en ecosistemas de naturaleza muy frágil (Gosz 1977; Kangas et al., 2012) y en las poblaciones situadas aguas abajo. En especial, la apertura y mantenimiento de caminos causa severos disturbios, entre ellos, la generación y transporte de sedimentos (Molles y Gorz 1980; Forman y Alexander 1998) y la dispersión de cloruro de sodio y de otras sustancias utilizadas como anticongelantes en el período invernal (Likens 1992; Kelting y Laxson 2010; Aghazadeh et al. 2012). Los impactos de la sal suelen ser minimizados en la práctica corriente, pero existen evidencias crecientes sobre sus efectos negativos a largo plazo: acidificación, movilización de metales tóxicos del suelo, disrupción del ciclo del nitrógeno, alteraciones en la comunidad de invertebrados acuáticos y del suelo, muerte del bosque, entre otros (Gosz 1977; Blasius y Merrit 2002; Kaushal et al. 2005; Green et al. 2008, Amundsen et al. 2010).

El Centro de Alta Montaña (CAM) La Hoya, es un centro de dimensiones intermedias, que recibe alrededor de 30000 visitantes por temporada. Al comienzo del deshielo parte de la sal utilizada como anticongelante en playas de estacionamiento y en el camino de acceso, se disuelve y es arrastrada hacia el A° Plantamura, una de las fuentes de agua de la ciudad de Esquel. Monitoreos de control realizados del 2000 al 2010 (Pizzolon et al. 2001, 2005, 2006 y 2008), destacaron un pico anual de conductividad eléctrica (CE) al comienzo del deshielo. En este trabajo se analiza y discuten los datos de la química de base obtenidos durante ese período, con particular atención a la CE como indicadora de salinización. La CE es una variable de fácil medida, económica usada extensamente para identificar flujos hídricos de diferente origen y salinidad (Backstrom et al. 2004; Hayashi 2004; Occhi 2009; Kangas et al. 2012) y correlaciona en forma altamente significativa con el cloruro y con el sodio en el monitoreo de procesos de salinización (Daley et al. 2009; Moore et al. 2013; Stranko et al. 2013).

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se ubica en las cabeceras del A° Esquel, ubicado en el cordón Esquel, límite oriental de la cuenca del Futaleufú-Yelcho, de desagüe al Pacífico (Figura 1). Las alturas máximas superan apenas los 2100 metros s.n.m. La base del CAM La Hoya se encuentra a 42° 50' 6,33" S; y 75° 15' 29,67" W) y a 1400 m.s.n.m., en un valle con exposición al sur (Figura 2).

La cuenca del A° Plantamura se encuentra en la formación Leleque, un complejo intrusivo granodiorítico del Jurásico superior. La vecina cuenca del A° Los Guanacos (Figura 1),

utilizada como sitio de control, se encuentra en su totalidad en la formación Piltriquitrón (Jurásico inferior), en la que dominan sedimentitas y vulcanitas (González Bonorino 1979; Lizuain Fuentes 1980). La precipitación media anual del período 2000-2010 fue de 518 mm en la estación meteorológica del Aeropuerto Esquel, ubicada a 10 km hacia el este y a 793 m s.n.m. (datos del Servicio Meteorológico Nacional). El 55,8 % de las precipitaciones anuales del 2000 al 2010 se registró entre mayo y agosto; junio fue el mes más lluvioso del año (19 %), seguido por julio (13,4 %) y mayo (13,1 %). A mayor altura estas precipitaciones caen por lo general en forma nívea; el CAM suele abrirse al público a comienzos de julio. El pico de deshielo se produce en octubre-noviembre, siendo febrero-marzo el período más seco.

El caudal, registrado bimensualmente en 1991-2, osciló entre 1,10 y 0,23 m³ s⁻¹ en E1 y entre 1,29 y 0,13 m³ s⁻¹ en E2 (Miserendino y Pizzolon 2000). El cordón Esquel se encuentra en el ecotono bosque andino-estepa de Patagonia (Paruelo et al. 1998), caracterizada por el predominio de la estepa herbácea y, por encima de los 800 m snm, por manchas discontinuas de bosques de lenga (*Nothofagus pumilio*), como única especie arbórea nativa.

MATERIALES Y MÉTODOS

La calidad del agua se monitoreó en los meses de junio a octubre del año 2000 al 2010 -con una interrupción en los años 2001-2003-, en una estación principal, E1, ubicada en el A° Plantamura a 1400 m s.n.m., inmediatamente aguas abajo del estacionamiento (Figura 1). En total se tomaron 36 muestras. Con menor regularidad se tomaron muestras en otros meses y se presentan a título ilustrativo (n=12). Se utilizaron como control las muestras tomadas en la misma estación antes del comienzo y luego de finalizado el período de deportes invernales. Para evitar los efectos del ciclo diario de congelamiento/deshielo, las muestras se tomaron alrededor de las 16 hs. Un registro horario desde las 8:00 a las 20:00 hs. a comienzos de agosto, evidenció un aumento del 28 % en la CE (72 a 52 μS cm⁻¹).

Se realizaron además muestreos complementarios en E2: estación de control ubicada en el A° Los Guanacos a 1160 m s.n.m. y de fácil acceso, con muestreos quincenales en el año 2008. E3: estación aguas abajo para evidenciar la extensión longitudinal del impacto; muestreos quincenales, año 2008. E0: estación de control, ubicada aguas arriba en el A° Plantamura a 1600 m s.n.m. (muestreos de junio-noviembre 2014). C1-C4: estaciones de control en el A° Calera, en la misma formación geológica que el A° Plantamura este (junio 2014).

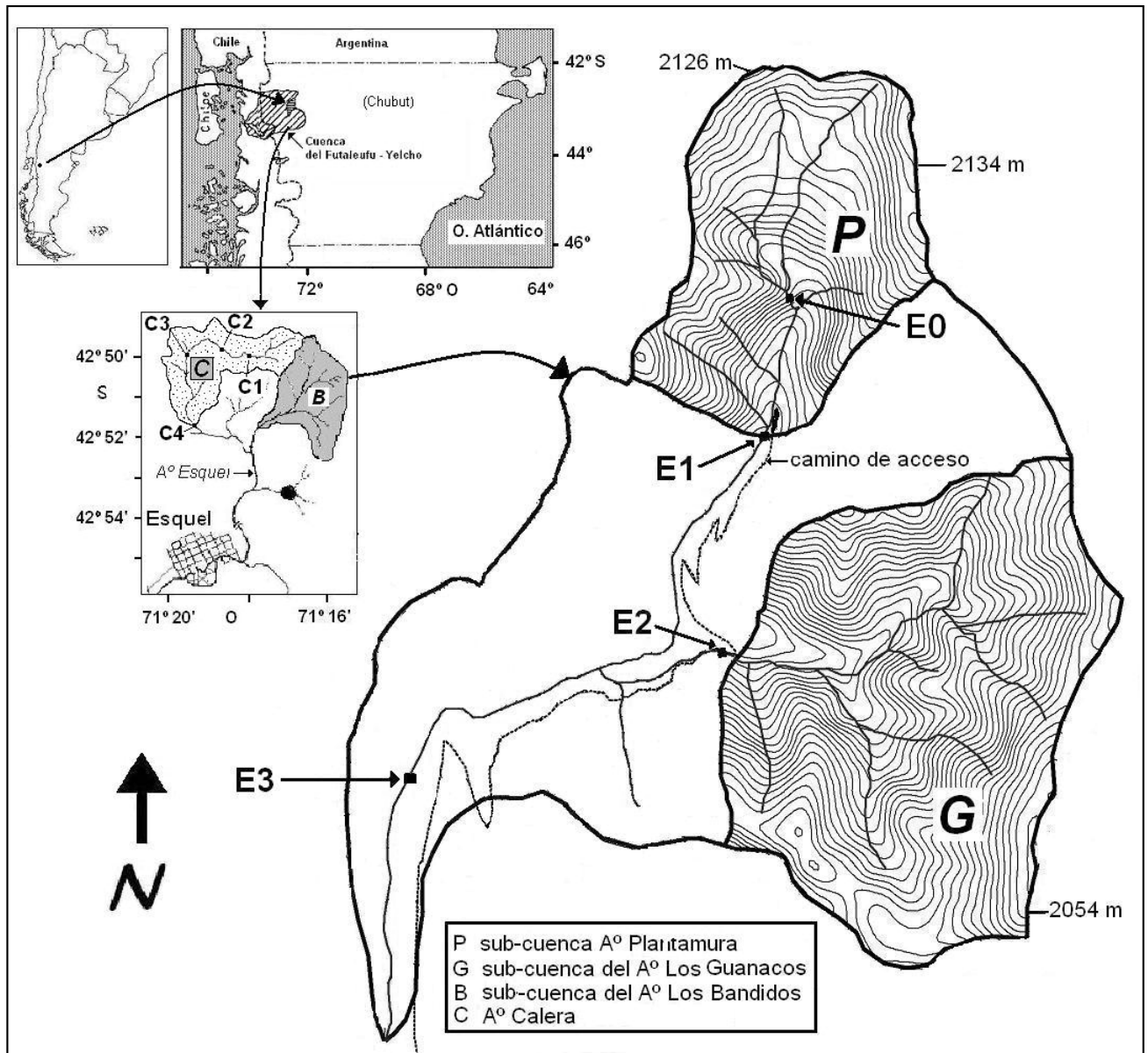


Figura 1. Cabeceras del A° Esquel, en la cuenca del río Futaleufú-Yelcho. Curvas de nivel cada 30 metros. E0, E1, E2 y E3: estaciones de muestreo en las cabeceras de cuenca. C1-C4 estaciones de muestreo en el A° Calera.

Los parámetros analizados fueron conductividad eléctrica (CE), alcalinidad total (AT) y pH. Entre los años 2005-2008 se analizó también la dureza (H) (Tabla 1). La CE y pH se midieron a temperatura ambiente de laboratorio y se expresaron a 20°C. Los análisis se realizaron por lo general al día siguiente de tomadas las muestras. Puesto que la conductividad eléctrica de una muestra equivale a la suma de la conductancia específica de cada uno de los iones mayoritarios que la componen, y que en aguas diluidas como las de este estudio, equivale al total de iones mayoritarios disueltos (TSD) (Golterman *et al* 1978; Talling 2009), por simplificación los términos CE, TSD y salinidad se emplean en forma indistinta en el texto. El área de la cuenca y los parámetros morfométricos se calcularon mediante el modelo digital del terreno ASTER.

Los datos meteorológicos (precipitación y temperatura mensual) registrados en el Aeropuerto de Esquel, ubicado a 10 km al este de la zona de estudio y a 790 m s.n.m. y los registrados en la estación meteorológica del Km 4, ubicada 10 km al oeste de la zona estudiada y a 570 m s.n.m. fueron proporcionados gentilmente por el Servicio Meteorológico Nacional y por la Universidad Nacional de la Patagonia SJB., respectivamente.

Los resultados se analizaron mediante el análisis de correlación y regresión. La existencia de diferencias significativas entre grupos (meses, años) se verificó mediante el ANOVA simple de una vía, y la prueba posterior de Tukey. Previamente se realizó la prueba de Levene para verificar la homogeneidad de la varianza y en los casos necesarios se utilizó el logaritmo natural de los datos originales. Los análisis estadísticos se realizaron mediante el paquete estadístico STATISTICA, Release 8

(StatSoft 2007). Puesto que las precipitaciones en altura por lo general en invierno caen en forma de nieve y no tienen un efecto inmediato en el caudal sino con retardo de hasta meses (Dettinger y Diaz 2000), en el análisis de correlación interanual se incluyó la precipitación acumulada de mayo a octubre de cada año.

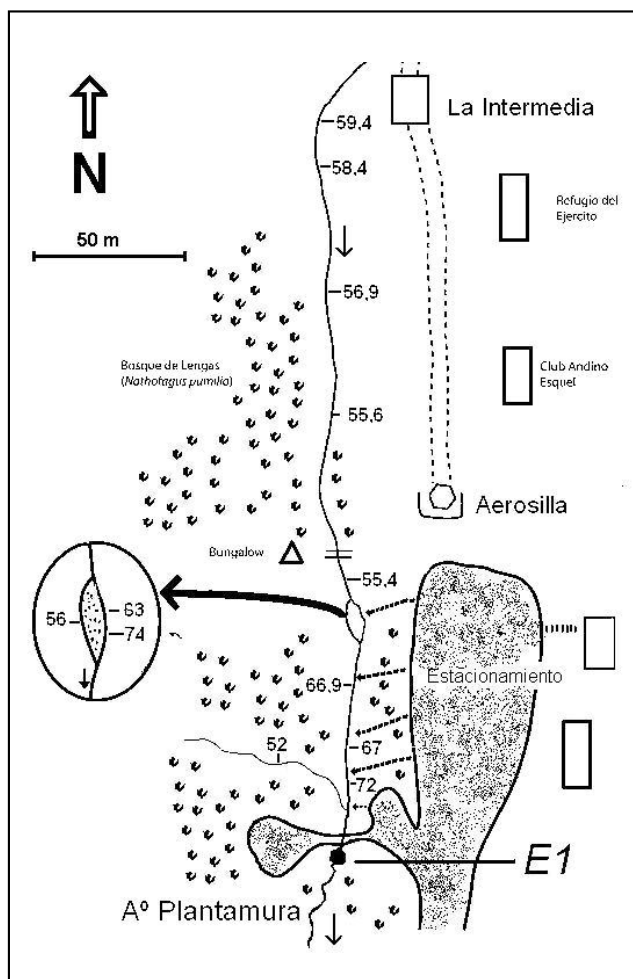


Figura 2. Base de centro de alta montaña de la Hoya hacia el año 2000, mostrando el incremento de la conductividad eléctrica (cifras en $\mu\text{S cm}^{-1}$) al comienzo del deshielo en el tramo del A° Plantamura paralelo al estacionamiento. Las flechas indican escurrimientos salinos hacia el arroyo.

RESULTADOS

Anualmente se utilizaron alrededor de 150.000 kg de sal, de los cuales el 60 % se dispersó en el estacionamiento principal y el resto en el camino de acceso desde los 1000 m s.n.m.; estas cifras fueron constantes a lo largo de la década (I.A. Palma, Dirección de Vialidad Provincial, com. pers.). Durante el deshielo o lluvias parte de la sal esparcida es lixiviada hacia el arroyo, aguas arriba de E1. En condiciones basales el A° Plantamura se caracterizó por aguas muy diluidas, de $46 \mu\text{S cm}^{-1}$ de CE media ($n=17$) y con un espectro iónico de tipo bicarbonato cálcico (alcalinidad total: 346; sulfatos: 16; cloruros: 28; calcio: 359; magnesio: 33; sodio: 65 y potasio: 8 – unidades en $\mu\text{eq L}^{-1}$) (muestra recolectada el 13-6-2000). Se asumió como condición de flujo basal para este sistema, la de los meses previos al esparcido anual de sal y posteriores al deshielo (noviembre a junio), en ausencia de lluvias. El efecto de la sal en el A° Plantamura se observó inicialmente mediante un monitoreo a comienzos del deshielo en un sitio aguas arriba del estacionamiento -La Intermedia- y aguas abajo del mismo, E1 (Figura 2), en el que se evidenció un aumento de CE de 59 a $134 \mu\text{S cm}^{-1}$. El registro detallado de CE evidenció que el aumento se producía a partir del tramo receptor de escurrimientos salinos (Figura 2 y 3). En el sector de la isla, el aumento de CE se observó solo en el brazo adyacente al estacionamiento, no en el opuesto (Figura 2).

ANÁLISIS ESTACIONAL

Los cambios más abruptos de CE ocurrieron regularmente en el mes de setiembre, a comienzos del deshielo en E1 (Figura 4a), con tendencias a adelantarse a agosto hacia el final del período de muestreo (Figura 5). En promedio, el pico de setiembre fue 2,33 veces superior al valor de base. El ANOVA simple de una vía sobre los datos de junio a octubre ln-transformados, y la prueba de Tukey evidenciaron que setiembre fue significativamente diferente de los demás meses al 99,99 % de probabilidad. El pico de setiembre se registró en todos los años de monitoreo, excepto en el 2004 y el 2009, los años más lluviosos (Figura 6). Durante el período de deshielo (set/oct-dic) la CE fue en disminución, alcanzando los valores mínimos anuales en diciembre (Figura 4a).

El promedio de AT de junio a octubre fue $0,46 \text{ meq L}^{-1}$, con dos máximos en julio y setiembre (Figura 4b). La media de pH junio-octubre fue 7,46, la media mínima se verificó en julio. El ANOVA simple de una vía con los datos ln-transformados no evidenció diferencias significativas de AT y pH entre meses.

Tabla 1. Variables analizadas y metodología empleada.

Variable	Sigla	Método e instrumental	Precisión	Unidad
Conductividad eléctrica a 20 °C	CE	Electrométrico. Conductímetro WTW. Mod. LF 320, celda TetraCon 325	2 %	$\mu\text{S cm}^{-1}$
pH	pH	potenciometría, Orion 720, electrodo de Ross	0.3	unidades log
Alcalinidad total	AT	titulación potenciométrica doble p. final	0.3	meq L^{-1}
Dureza	H	titulación colorim. c/negro Eriocromo	0,5	$\text{mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$
Sodio	Na	Fotometría de llama		mg Na L^{-1}

A.P.H.A., 1992; Tartari y Mosello 1998.



Figura 3. Imagen del estacionamiento principal en un fin de semana; el bosque marginal del arroyo A° Plantamura se observa en el cuadrante superior derecho.

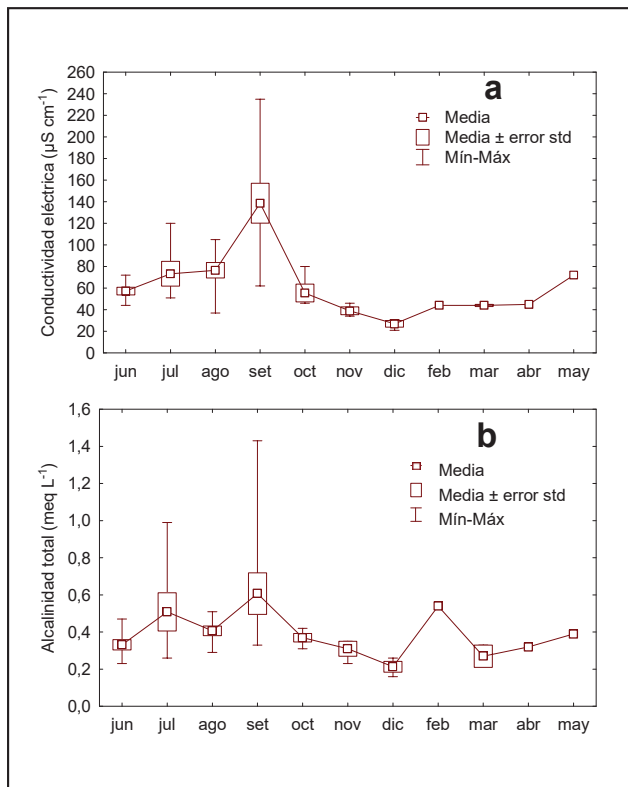


Figura 4. Media mensual, error estándar de la media, máximas y mínimas en el período 2000-2010 de conductividad eléctrica (a) y alcalinidad total (b) en E1, con datos regulares de junio a octubre (n=36), ocasionales de noviembre a diciembre (n=7) y de enero a mayo (n=5).

El análisis de correlación con la totalidad de los datos indicó que el 56 % de la variabilidad del AT dependió de CE ($r^2 = 0,46$) en forma altamente significativa (p menor que 0,000001). En particular los valores de AT correspondientes al pico CE se desvían notoriamente de la recta de regresión ($CE = 15,84 + 142,45 \cdot AT$; $n=47$) (Figura 8: # 3, 13, 17, 29 y 36). Las máximas absolutas de AT (1,46 meq L⁻¹) y de CE (235 μScm^{-1}) (Figura 8: #22) se registraron en el año 2007, el más seco de la década. Los dos picos siguientes (Figura 8: #25 y 28), corresponden a julio y setiembre del año 2008, año en el cual las cenizas del volcán Chaitén, caídas en mayo, alcanzaron un espesor de 3-4 cm en las zona de estudio. Exceptuando el mes de setiembre se obtuvo el mismo coeficiente de determinación $r^2 = 0,46$; $n = 38$) igualmente significativo (p menor que 0,00001). Los resultados con el ln natural de los datos fueron muy similares. Por el contrario de lo esperado, en los meses sin actividad en el CAM (octubre a junio) el coeficiente de determinación fue aún más bajo ($r^2 = 0,27$; p menor que 0,05; $n = 21$). El deshielo no disuelve la totalidad de la sal agregada cada año sobre el camino de acceso y estacionamiento. En primavera suelen observarse guanacos lamiendo manchas de sal remanentes en el camino de acceso (Figura 7), por lo que cabe esperar un efecto residual de la sal también en los meses sin actividad en La Hoya. CE y pH, por una parte, y AT y pH, por la otra, no correlacionaron entre sí en forma significativa.

La temperatura y dureza total (H) (Figura 9) se registraron durante un período de menor extensión (2005 al 2008 y 2010). Las temperaturas mínimas se registraron en el mes de agosto. H osciló entre 12 (julio) y 56 mg CaCO₃ L⁻¹ (setiembre) y correlacionó con la CE con un coeficiente de determinación de 0,44 altamente significativo (p menor que 0,0001; $n=22$, incluyendo datos de verano). El coeficiente de determinación con la AT fue menor ($r^2 = 0,22$, significativo al 95 % de probabilidad).

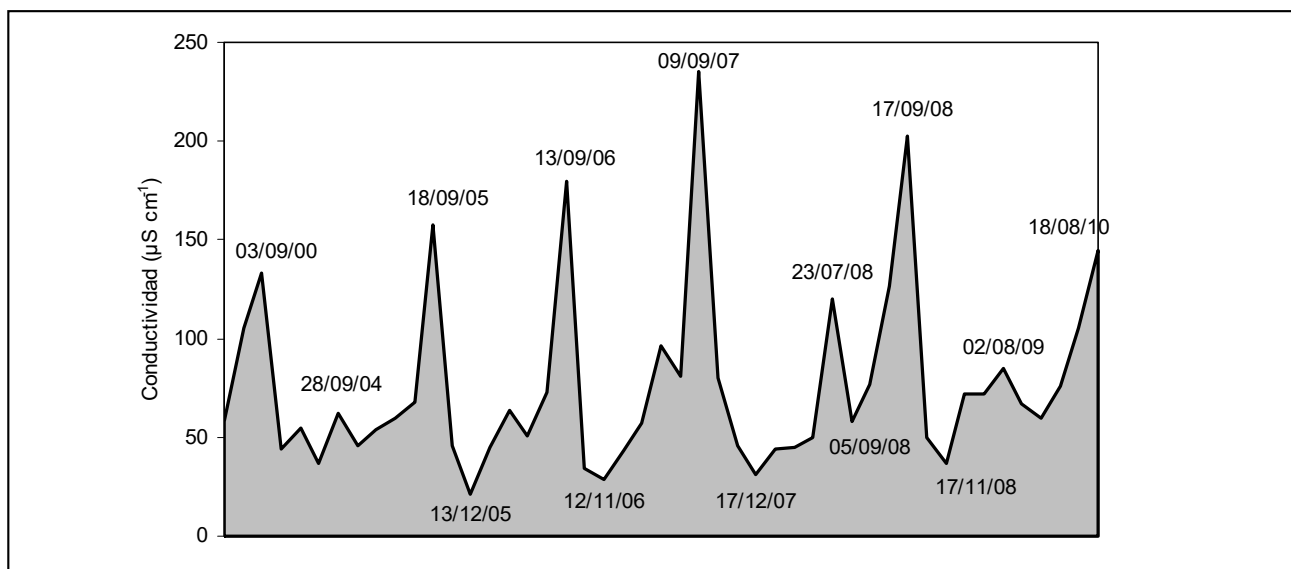


Figura 5. Datos de conductividad del A° Plantamura en E1 del año 2000 al 2010.

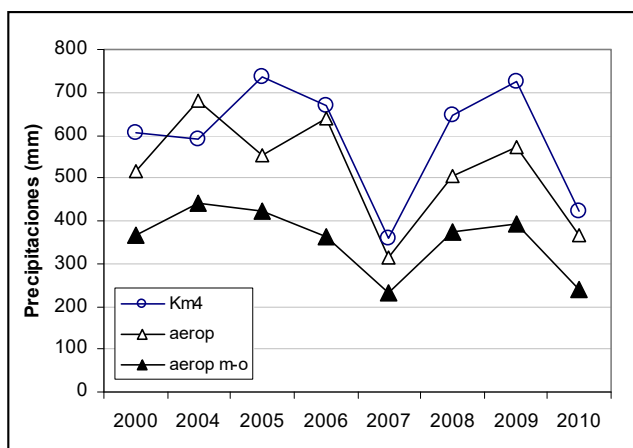


Figura 6. Precipitación anual 2000-2010 en la estación Aeropuerto (Servicio Meteorológico Nacional) (Δ) y en la estación Km 4 (UNPSJB) (\circ). Precipitación acumulada de mayo a octubre (pp m-o) en la estación Aeropuerto (\blacktriangle).

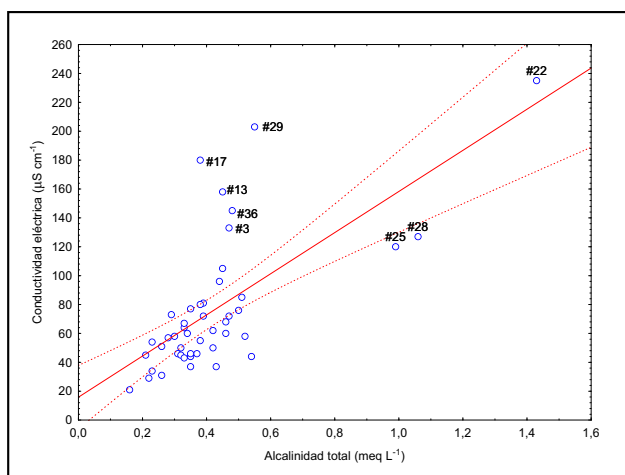


Figura 8. Correlación entre alcalinidad y conductividad en E1 en el periodo 2000-2010 (intervalos de confianza al 95 %; n=47). #3, 13, 17, 29 y 36: inicio del deshielo (set); #25 y 28: jul y set/08; #22: set/07, el año más seco.



Figura 7. Guanaco (*Lama guanicoe*) en el camino de acceso lamiendo sal remanente del deshielo.

ESTACIONES DE CONTROL Y EXTENSIÓN DEL IMPACTO AGUAS ABAJO

En el año 2008 se monitorearon en forma simultánea las estaciones E1, E2 y E3. E2 se encuentra en una cuenca vecina sin mayores impactos (Figura 1; Tabla 2). En condiciones basales, es decir sin actividad en el CAM, e hidrológicamente estables, la CE de E2 superó en 2,2 veces la E1 (119 y 54 $\mu\text{S cm}^{-1}$ respectivamente) (Figura 10a); y la AT fue 2,5 veces mayor (1,10 meq L^{-1} en E2 y 0,40 en E1 (Figura 10b). Asimismo el pH de E2 fue mayor que el de E1 (Figura 10c), con valores superiores a 8 en tres ocasiones, diferencias entre estaciones que se discuten posteriormente.

La lluvia y el deshielo en el período de deportes invernales tuvieron efectos opuestos en E1 y en E2. En los días previos al muestreo del 23-07-08 se registraron 70 mm de lluvias en la

estación meteorológica de la UNPSJB, sin precipitación nival en altura (Figura 11). En E1, estas lluvias produjeron máximos de CE y de AT 3,6 y 2,4 veces mayores que el respectivo valor basal (0,53 meq L⁻¹ y 54 μ S cm⁻¹, respectivamente) (Figura 10a y 10b), por efecto del lavado de salmueras. El deshielo de setiembre, por su parte, produjo máximos de AT y CE en E1 3 y 3,8 veces superiores a los valores de base mencionados. En E2, por el contrario, fue notorio el efecto de dilución de las lluvias de julio, con mínimos de AT y CE 2,1 y 4 veces inferiores a sus respectivos valores de base (1,1 meq L⁻¹ y 119 μ S cm⁻¹) (Figuras 10a y 10b). En agosto la AT volvió a sus valores basales tanto en E1 como en E2. Se consideró valor de base al promedio de datos obtenidos en condiciones hidrológicas estables.

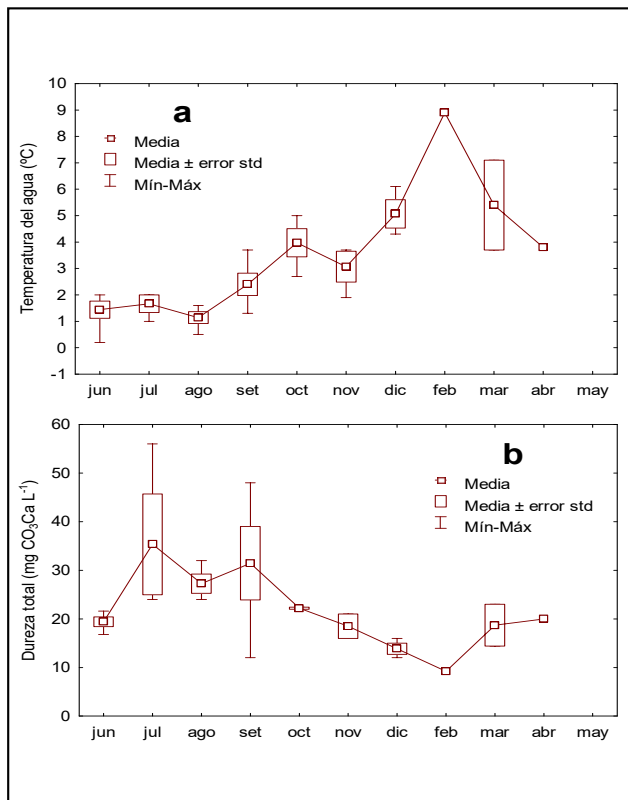


Figura 9. Media mensual, error estándar, mínima y máxima de temperatura del agua (a) periodo 2000-2008 (n= 17) y dureza total (b); periodo 2005-2008 (n=23).

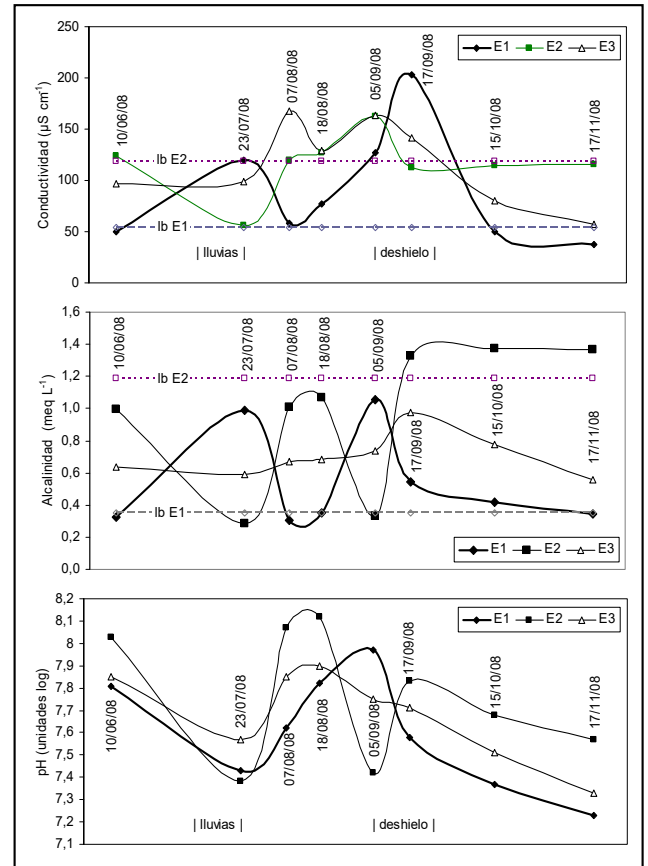


Figura 10. Conductividad eléctrica (a), alcalinidad total (b) y pH (c) en E1, E2 y E3 en el año 2008. Las líneas lb E1 y lb E2 indican el valor basal de CE y AT en E1 y E2.

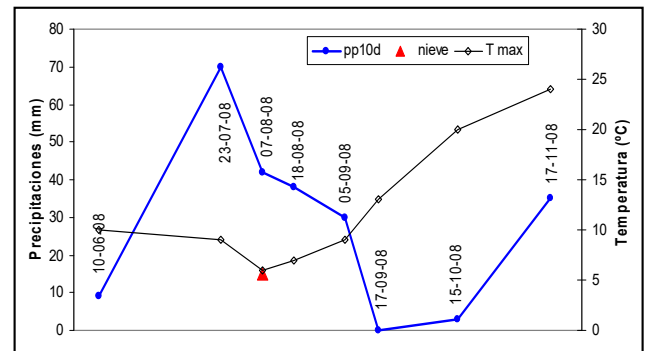


Figura 11. Precipitaciones (pp10d) y máximas diarias de temperatura del aire (Tmax) del año 2008 en los diez días previos al día de muestreo. Datos de la Estación Meteorológica de la UNPSJB.

Tabla 2. Parámetros morfométricos de las cuencas del área de estudio (Figura 1).

Cuenca	Estación	Superficie Has	Atura media m snm	Pendiente media %	Orden lótico	Altura de la Estación m snm
Plantamura	E1	421	1847	30	2	1400
Guanacos	E2	790	1634	30	3	1160
Calera	C3	1043	1571	23	2	1200
Calera	C4	1915	1425	20	2	840

También fue evidente en E2 la dilución de la AT durante el deshielo; pero por el contrario a lo esperado, la CE se incrementó, aunque en menor magnitud que en E1 (0,3 veces con respecto al valor basal) (Figuras 10a y 10b). En los meses de primavera fue notorio el efecto de dilución de la CE y la AT en E1. La dilución de primavera no se observó en E2. El pH disminuyó en las tres estaciones durante el evento de lluvias y durante el deshielo de primavera (Figura 10c).

La extensión longitudinal del impacto se monitoreó en la estación E3, ubicada en el A° Los Bandidos, 2,2 km aguas abajo de la unión de los arroyos Los Guanacos y Plantamura (Figura 1). El pulso anual de CE de setiembre en E1 se atenuó rápidamente aguas abajo (Figura 10a) por la mezcla con aguas del A° Los Corrales y Los Guanacos y de numerosos aportes transitorios durante el deshielo. En E3 se observó un pico de conductividad muy atenuado con respecto al de E1 y un máximo independiente de E1 y de E2, posiblemente producido por un episodio de deshielo a menor altura, con lavado de salmueras desde el camino de acceso (Figura 10a). La AT de E3 tuvo valores intermedios entre E1 y E2 (Figura 10b). El pH de E3 también tuvo valores intermedios, excepto durante el evento de lluvias (Figura 10c).

Muestrados complementarios: Los muestreos realizados en E0 durante la temporada 2014 evidenciaron un aumento promedio del 29 % en la CE entre E0 y E1; por el contrario a lo registrado en E1, en E0 no se observó el pico de setiembre. Los valores de AT fueron muy semejantes en ambas estaciones, pero no se verificó en E0 el pico de setiembre observado en E1. La sal altera los valores de CE y en menor medida los de AT. El muestreo de junio/14 en el A° Calera evidenció resultados de CE, AT y pH ($52 \mu\text{S cm}^{-1}$, 45 meq L^{-1} y 7,45 unidades log) en C1 (Figura 1) muy similares a los de E0. La CE del A° Calera aumentó $2,7 \mu\text{S cm}^{-1}$ cada 100 metros de desnivel, desde los 1600 hasta los 840 m s.n.m. Los dos arroyos de orden lóxico 2 que forman el A° Los Guanacos, ubicados en litología similares, tuvieron valores muy semejantes de CE, AT y pH, no obstante la exposición al norte de uno y al sur del otro (Figura 1).

TENDENCIAS INTERANUALES

Puesto que se usó la misma cantidad anual de sal lo largo de la década y que no existen registros de caudal, los datos hidroquímicos se analizaron en relación con los de precipitación (Tabla 3), considerando el período junio-octubre para los primeros y el período mayo-octubre para los segundos (Figura 6). La CE presentó una media máxima de $110 \mu\text{S cm}^{-1}$, en el año 2007, el más seco, y una media mínima de $49 \mu\text{S cm}^{-1}$ en el año 2004 (Figura 12a) el más lluvioso. La AT media máxima anual, $0,58 \text{ meq L}^{-1}$, coincidió también con el año más seco (2007) (Figura 12b). El pH medio mínimo y el mínimo absoluto se registró en el año más lluvioso 2004 (Figura 12c). Por el contrario, la media máxima y el máximo absoluto se verificaron en el año de la caída de cenizas del volcán Chaitén (en el mes mayo) (Figura 12c). El ANOVA con los datos ln-transformados de pp, CE y AT no evidenció diferencias significativas entre años. Solo en el caso del pH, con los datos sin transformar, se encontró una diferencia significativa entre el año 2004 y los demás del período al 99 % de probabilidad.

Tabla 3. Estadísticos de precipitación de mayo a octubre del 2000-2010 en la Estación Aeropuerto. E1. Unidades en mm. x: media; xa: mediana, m: mínima, M: máxima; Ac: acumulada. (n=34).

Precipitación mayo-octubre					
Año	x	xa	m	M	Ac
00-10	56	44	2	224	
2000	61	53	17	118	368
2004	73	46	27	224	440
2005	70	56	7	160	421
2006	59	30	21	164	355
2007	39	31	10	81	233
2008	62	69	7	137	372
2009	65	67	10	116	393
2010	40	31	2	107	240

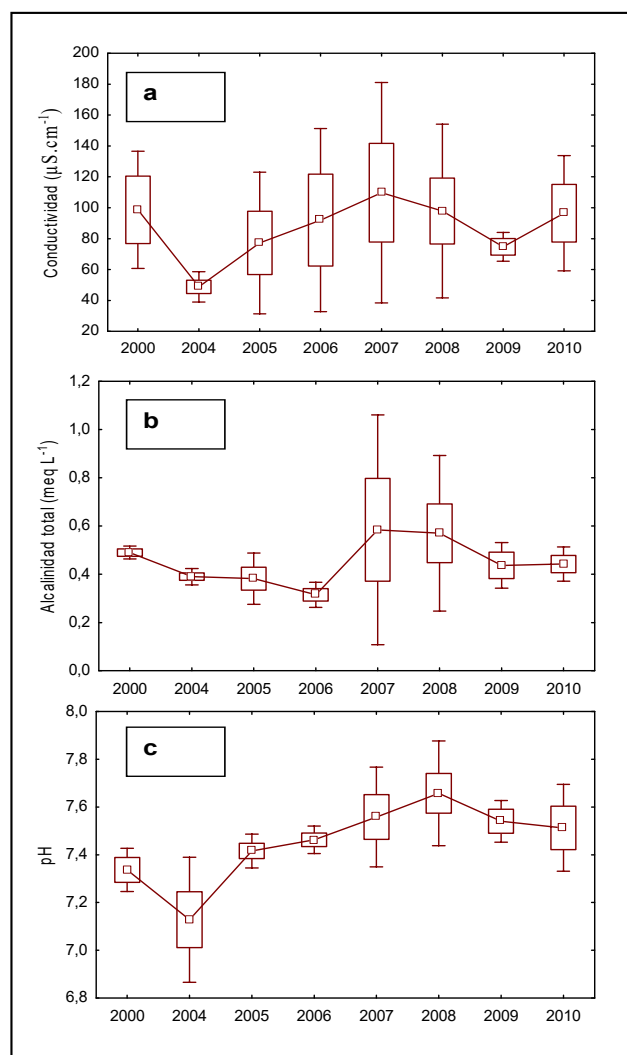


Figura 12. Media mensual, error estándar, mínima y máxima de junio a octubre del 2000 al 2010 de conductividad eléctrica (a), alcalinidad total (b) y pH (c) del A° Plantamura en E1 (n=36)

El análisis de correlación entre estadísticos anuales destacó relaciones significativas al 95 % de probabilidad entre la precipitación máxima ($pp M$) y la CE y el pH mínimos (Tabla 4). El 69 % de la variabilidad de $\ln CE m$ dependió de $\ln pp M$ ($r=-0,83$; p menor que 0,05; Figura 13). A la inversa, no ocurrió lo mismo; los coeficientes de determinación entre $\ln pp m$ y $\ln CE M$, $\ln AT M$ y $pH M$, fueron muy bajos y no significativos (Tabla 4, col. 2). No obstante el máximo absoluto de CE se haya registrado en el año más seco, CE M anual fue prácticamente independiente de $pp m$ ($r^2=0,08$, Tabla 4). Estos resultados indican que los años con precipitaciones abundantes determinan aguas muy diluidas y con bajo pH; pero que en períodos con precipitaciones escasas la química del agua esta influida por otros factores no considerados en este trabajo. La precipitación acumulada ($pp ac$) correlacionó en forma débil con la CE media ($r^2=0,48$, significativo al 90 % de probabilidad). Este resultado sugiere que más que un solo pulso de deshielo al final del período invernal, se produjeron deshielos parciales también durante el invierno.

Hacia el final del período de monitoreo se observaron algunos juveniles de lenga del bosque marginal del arroyo Plantamura muertos en pie (Figura 13) en sitios afectados por salmueras provenientes del estacionamiento (Figura 2); se observaron incluso ejemplares de gran porte secos en pie entre el estacionamiento y el curso del arroyo, posteriormente talados durante trabajos de ampliación de playas. No se observaron ejemplares secos en la margen del arroyo opuesta al estacionamiento.

Tabla 4. Coeficientes de correlación selectos entre estadísticos de variables hidroquímicas excepto pH (jun - oct) en el A° Plantamura (E1) y estadísticos de precipitación (may - oct) en el Aeropuerto de Esquel y niveles de significación (* p menor que 0,10; ** p menor que 0,05; datos \ln -transformados, excepto pH). x : media; xa : mediana, m : mínimo, M : máximo; ac : precipitación acumulada.

	$pp x$	$pp m$	$pp M$	$pp ac$
$pH x$	-0,71*	-0,55	-0,68	-0,47
	$p=0,051$	$p=0,159$	$p=0,063$	$p=0,241$
$pH xa$	-0,67*	-0,54	-0,61	-0,57
	$p=0,071$	$p=0,168$	$p=0,110$	$p=0,142$
$pH m$	-0,52	-0,38	-0,73**	-0,33
	$p=0,187$	$p=0,355$	$p=0,038$	$p=0,431$
$pH M$	-0,69*	-0,53	-0,49	-0,50
	$p=0,060$	$p=0,180$	$p=0,215$	$p=0,203$
$CE x$	-0,31	-0,24	-0,59	-0,69*
	$p=0,453$	$p=0,573$	$p=0,124$	$p=0,058$
$CE m$	-0,53	-0,27	-0,83**	-0,51
	$p=0,176$	$p=0,510$	$p=0,011$	$p=0,199$
$CE M$	-0,16	-0,24	-0,23	-0,55
	$p=0,702$	$p=0,563$	$p=0,579$	$p=0,157$
$TA xa$	-0,54	-0,33	-0,63*	-0,03
	$p=0,171$	$p=0,418$	$p=0,094$	$p=0,935$

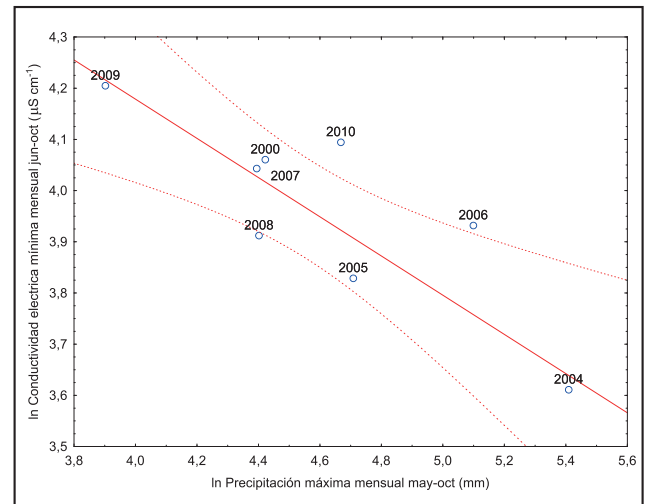


Figura 13. Correlación entre el \ln de la precipitación máxima anual (mayo a octubre) y el \ln de conductividad mínima anual (junio-octubre) y del 2000 al 2010 en E1 ($n=8$).

DISCUSIÓN

El patrón más notorio emergente en el análisis estacional fue el pico de CE registrado al comienzo del deshielo (setiembre) en E1, en promedio 2,33 mayor que el valor basal (junio) (Figura 4a), significativamente diferente de los demás meses al 99, 99 % de probabilidad. Este pulso de CE se produjo básicamente por la entrada de cloruro de sodio disuelto desde el estacionamiento del CAM (Figura 2), tal como lo evidenció la correlación altamente significativa entre CE y sodio en muestreos complementarios y el aumento del 220 % de CE a partir del tramo de aportes salinos (Figura 3). La elevada correlación entre sodio y CE en ambientes salinizados también ha sido reportada por Backstrom et al. (2004), Daley et al. (2009) y Moore et al. (2013). Puesto que los nutrientes se encontraron en baja concentración en el A° Plantamura (Pizzolon et al. datos no publicados), y que el aporte de sodio de los aerosoles marinos en la vertiente oriental de los Andes Patagónicos es ínfimo (Pedrozo et al. 1993; Chilrud et al. 1994), la influencia del sodio atmosférico en la CE se consideró insignificante. El máximo absoluto de CE se registró en el año 2007, el más seco del período, fue 4,1 veces superior al valor basal. Es posible que los aumentos reales hayan sido aún mayores porque la frecuencia de muestreo fue insuficiente para registrar la gran variabilidad del proceso monitoreado. Cabe asumir además que el valor basal de CE (junio y octubre) aumente de año en año debido al efecto acumulativo de los sucesivos agregados de sal (Kausbal et al. 2005). No toda la sal se disuelve durante el deshielo, como bien lo evidencian los guanacos que bajan a lamerla en los meses siguientes (Figura 7). Una parte puede ser arrastrada al curso de agua durante episodios de lluvias intensas (Figura 10) y el resto acumularse en el suelo. Este efecto residual señala las limitaciones de usar como control los datos de la misma estación de impacto un mes previo y uno posterior al período de actividad en el CAM.

En general, en cursos de agua no perturbados, la AT explica un porcentaje elevado (mayor al 80 %) de la varianza de la CE (Sechriest 1960, Pizzolon 1999). En este trabajo, si bien ambas variables correlacionaron en forma altamente significativa (p menor que 0,000001; $n=47$), el

coeficiente de correlación fue llamativamente bajo ($r^2=0,46$) (Figura 8), debido a la interferencia del cloruro de sodio. Por el contrario de lo esperado, la correlación entre AT y CE en los meses sin actividad en el CAM (octubre a junio) fue más baja y menos significativa aún ($r^2= 0,27$; significativo al 95 % de probabilidad; $n=21$). Este resultado indica que existen efectos residuales de la sal más allá del período de uso de la misma y del deshielo.

Los estadísticos anuales de CE y de AT (Figura 12a y 12b, respectivamente) evidenciaron procesos de dilución y baja del pH en los años más lluviosos (Figura 6). La máxima media anual de AT y de pH se registró en los dos años más secos, 2007 y 2010 (Figura 12b y 12c). Sin embargo la máxima absoluta de pH y de AT de la década se encontró en setiembre del año 2008 en coincidencia con el lixiviado de cenizas del Vn. Chaitén, caídas en mayo de ese año en toda la región y cubiertas luego por la nieve. Las propiedades acidificantes de la ceniza en el momento de su caída (Pizzolon et al. 2008), pueden cambiar rápidamente por la liberación de cationes y el consiguiente aumento del pH del agua de escorrentía (Risacher y Alonso 2001; Anda y Sarwami 2012).

El 69 % de la variabilidad del $\ln CE_m$ dependió significativamente del $\ln pp_M$ ($r=-0,83$; p menor que 0,05; Tabla 4). A la inversa, no se observó el efecto opuesto, $\ln CE_M$. $\ln AT$ y pH fueron prácticamente independientes de la precipitación mínima anual ($\ln pp_m$) (Tabla 4, columna 2). La química de base durante los períodos secos está controlada por otros factores tales como el aporte de los manantiales de altura, quienes, en ausencia de nieve, son los que contribuyen mayormente al caudal durante esos períodos. Se desconoce, aunque no se descarta la existencia de permafrost. La correlación entre precipitación acumulada y CE media, significativa al 90 % de probabilidad (Tabla 4), indica cierto retardo con que las precipitaciones níveas se traducen en caudal e influyen en la conductividad, también señalado por *Dettinger y Diaz (2000)*. Estos análisis se presentan a modo de ensayo puesto que se realizaron con datos de precipitación tomados a 10 km de distancia y a una altura 1000 metros inferior a la de la zona de estudio y, utilizando el total de precipitación mensual, mientras que las muestras se tomaron en diferentes fechas a lo largo del mes.

La AT del A° Los Guanacos en E2 osciló en forma diametralmente opuesta a la de E1; tanto las lluvias (julio) como el inicio del deshielo (setiembre) tuvieron un efecto de dilución sobre la AT de E2 y un efecto de concentración en E1, con relación al respectivo valor de base (Figura 10 b). La CE de E2 también mostró un efecto de dilución durante el evento de lluvias, pero por el contrario, experimentó un ligero aumento al inicio del deshielo, de menor magnitud que en E1, 0,51 y 3,5 veces, respectivamente, con respecto los valores de base (Figura 10 a). Este pequeño pico de CE en E2 se produjo con 15 días de anticipación al de E1. Puesto que el deshielo avanza alrededor de 6-8 metros por día hacia los niveles superiores (*Campbell 1995*), el anticipo del pulso en E2 con respecto a E1 fue relativamente coherente con la diferencia de altura entre ambas estaciones (240 m; Tabla 2). *Peterson et al. (2005)* y *Pomeroy et al. (2005)* destacan el pulso de deshielo como el evento hidrológico-hidroquímico más importante del año en los arroyos de altura no salinizados. En el caso de E1, este pulso natural estaría enmascarado por el aporte salino, resultado que requiere ser confirmado en ulteriores estudios.

En condiciones hidrológicas estables los valores CE y AT de E2 prácticamente duplicaron los valores de E1. En algunos casos estas diferencias se han atribuido a factores geomorfológicos

(*Swanson et al. 1988*). Considerando que las precipitaciones en la región andino-patagónica aumentan entre 33 y 42 mm cada 100 metros de altura (*Jobbágy et al. 1995*), la diferencia de altura media de 213 metros entre E1 y E2 (Tabla 2) implica alrededor del 10 % más precipitaciones en la cuenca de E1 que en la de E2, magnitud insuficiente para explicar las diferencias de CE y AT entre ambas estaciones. El área de la cuenca, por su parte, 1,9 veces mayor en E2 que en E1 (Tabla 2) guarda relación con el incremento de CE y AT observado. Sin embargo, en la cuenca del A° Calera, cuya superficie en C3 es 2,5 veces mayor que la de E1 (Tabla 2), se encontraron valores de CE y AT muy similares a E1; por lo tanto, la conductividad y alcalinidad son independientes de la superficie de la cuenca. Las cuencas de C3 y de E1 se encuentran en el mismo complejo intrusivo granodiorítico de la Formación Leleque, mientras que en la de E2 predominan las sedimentitas y vulcanitas de la formación Piltriquitrón (*González Bonorino 1979; Lizuain Fuentes 1980*). Cabe concluir entonces que el valor basal de las variables medidas depende primariamente del tipo de roca dominante y las respectivas tasas de meteorización. Estos resultados coinciden con los reportados por *Pedrozo et al. (1993)*, *Chilrud et al. (1996)* y *Drago y Quirós (1996)* para la región andino-patagónica.

El pico de CE de E1 de setiembre se atenuó aguas abajo por sucesivas diluciones debidas a los numerosos aportes transitorios provenientes del deshielo y del A° Los Guanacos. Así, en E3 se registró un pico apenas 0,6 veces superior a los valores de base. El modelo de mezclas es complejo puesto que también se deben considerar aportes de salmueras a distintas alturas desde el camino de acceso, donde se esparce sal a partir de los 1000 m snm. Aguas abajo, en las captaciones subterráneas de agua para la planta potabilizadora, algunos datos dispersos evidenciaron un aumento de CE mucho más atenuado aún y con dos meses de retraso son respecto al pico de conductividad de E1 (*Pizzolon et al. 2006*). Estas estimaciones, aún basadas en un número escaso de datos, indican que el grado de salinización actual es acotado en el tiempo y se atenúa rápidamente hacia abajo de E1 por sucesivas diluciones y eventuales procesos en el cauce. El incremento de salinidad encontrado en E1 fue muy inferior al de los ambientes del hemisferio norte donde se reportan aumentos permanentes de hasta cien veces (*Ramakrishna y Viraraghavan 2005; Daley et al. 2009; Amundsen et al. 2010*). Así y todo en este caso fue notoria la presencia de lenguas muertas en el talud existente entre el arroyo y el estacionamiento principal (Figura 2, Figura 14). La desecación osmótica es uno de los principales impactos de la sal, pero también existen otros efectos indirectos tales como una menor disponibilidad de nutrientes en suelos y aguas (*Green et al 2008; Amundsen et al. 2010; More et al. 2013*) y movilización de metales pesados en la solución del suelo (*Lofgren 2001; Backstrom et al. 2004; Keltling y Laxson 2010*).

Desde el punto de vista hidroquímico se diferenciaron tres períodos a lo largo del año: la transición invierno-primavera (ago-set) incluyendo el deshielo propiamente dicho (set-dic), los eventos de lluvia y el flujo basal de verano-otoño. *Peterson et al. (2005)* y *Pomeroy et al. (2005)* destacan el deshielo como el evento más importante en la química del agua de los arroyos de altura, exacerbado en este caso por el aporte salino. La frecuencia de muestreo empleada permitió detectar algunos patrones generales del arroyo Plantamura y Los Guanacos tales como, -el inicio del deshielo (ago o set), el deshielo propiamente dicho (set-dic), los eventos de lluvia y el flujo basal de verano-otoño-. Sin duda dicha



Figura 14. Juveniles de lenga en el talud entre el estacionamiento y el A° Plantamura muertos por desecación osmótica.

frecuencia es muy inferior a la escala de tiempo en que se producen la mayoría de los cambios de caudal y de concentración. *Kirchner et al. (2004)* y *Occhi (2009)* señalan la utilidad de los registros continuos de CE para identificar los flujos de diferente origen, de eventos de deshielo, de lluvias o tormentas, aportes sub-superficiales. Debido a la relación significativa entre precipitaciones, CE, AT y pH, y la perspectiva de disminución del espesor, duración y extensión altitudinal de la cobertura névea (*Fountain et al. 2012*), es importante continuar y ampliar este estudio.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- AGHAZADEH, N, M. NOJAVAN Y A. A. MOGADDAM. 2012. Effects of road-deicing salt (NaCl) and saline water on water quality in the Urmia area, northwest of Iran. *Arabian J. Geosciences* 5(4): 565-570.
- ANDA, M Y M. SARWANI. 2012. Mineralogy, Chemical Composition, and Dissolution of Fresh Ash Eruption: New Potential Source of Nutrients. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 76:733-747. https://www.researchgate.net/profile/Markus_Anda/publication/270474175_Mineralogy_Chemical_Composition_and_Dissolution_of_Fresh_Ash_Eruption_New_Potential_Source_of_Nutrients/links/557f953808aeea18b77967c7.pdf. Última consulta marzo 2016.
- AMUNDSEN, C.E., S. HÅLAND, H. FRENCH, R. ROSETH Y N. O. KITTERØD, 2010. Environmental damages caused by road salt –a literature review. Norwegian University of Life Sciences, Department of Plant and Environmental Sciences. Project 21101438, 98 pp. Disponible en: http://www.vegvesen.no/_attachment/160660/binary/298413. Último acceso: 30-10-2013.

CONCLUSIONES

Las perturbaciones en la química de base detectadas en el A° Plantamura fueron de alcance limitado tanto espacial como temporalmente. El pico de salinidad se atenúa rápidamente aguas abajo a medida que recibe otros afluentes y numerosos aportes temporarios durante el deshielo. El aporte salino influyó principalmente en la conductividad eléctrica pero también alteró los valores de alcalinidad total y de pH. Se estima que la salinización detectada es incipiente. Sin embargo, la muerte de lengas verificada hacia el final de este estudio evidenció que el impacto local no es menor. En qué medida pueda afectarse el uso urbano del agua, es un factor a considerar conjuntamente con el aumento de nutrientes, la proliferación de perifiton y sus efectos sobre los lechos filtrantes ubicados aguas abajo. Un impacto no menor es el arrastre de sedimentos movilizados por las tareas de mantenimiento y ampliación del camino y playas de estacionamiento. Es importante dar continuidad y ampliar este monitoreo tanto por el incremento de la actividad en La Hoya y el uso del agua en la ciudad de Esquel, como por el escaso conocimiento de la hidroquímica de arroyos de alta montaña de la región andino-patagónica y de los efectos del cambio climático global en ellos.

AGRADECIMIENTOS

- A la Cooperativa 16 de Octubre, por la financiación parcial del trabajo, Convenio UNPSJB/FCN-Coop. 16 de Octubre Ltda.; en particular al Arq. Luis Ret, del Servicio de Agua Potable y Saneamiento.
- Al Servicio Meteorológico Nacional, por los datos meteorológicos de la Estación Aeropuerto Esquel y a la Estación Meteorológica de UNPSJB, Km 4, Esquel.
- A los estudiantes Darío Anden, a Lucas Pereyra y a Sebastián Pintos por su colaboración en los muestreos y análisis complementarios.
- A Lic. Pablo López Bernal, por sus orientaciones en el análisis estadístico.
- A un revisor anónimo por sus valiosas observaciones sobre el manuscrito original.

- A.P.H.A. – A.W.W.A. – WPCA. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 1992.
Manual de métodos estandarizados para el análisis de las aguas potables y residuales.
Diaz de Santos. Madrid.
- BACKSTROM, M., S. KARLSSON, L. BACKMAN, L. FOLKESON Y B. LIND. 2004.
Mobilization of heavy metals by deicing salts in a roadside environment.
Water Res. 38:720–732.
- DI RIENZO J.A., F. CASANOVES, M.G. BALZARINI, L. GONZALEZ, M. TABLADA Y C.W. ROBLEDO. 2008.
InfoStat, versión 2008.
Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- BLASIUS, B.J. Y R.W. MERRITT, 2002.
Field and laboratory investigations on the effects of road salt (NaCl) on stream macroinvertebrate communities.
Environ. Pollut. 120:219–231.
- CAMPBELL, D.H., D.W. CLOW, G.P. INGERSOLL, M.A. MAST, N. SPAHR Y J.T. TURK. 1995.
Processes controlling the chemistry of two snowmelt-dominated streams in the Rocky Mountains.
Water Resour. Res. 31(11):2811-2821.
- CHILRUD, S.N., F.L. PEDROZO, P.F. TEMPORETTI, H.F. PLANAS Y P.H. FROELICH. 1994.
Chemical weathering of phosphate and germanium in glacial meltwater streams: effects of subglacial pyrite oxidation.
Limnol. Oceanogr. 39(5):1130-1140.
- DALEY, M. L., J. D. POTTER Y W. H. MCDOWELL. 2009.
Salinization of urbanizing New Hampshire streams and groundwater: effects of road salt and hydrologic variability.
Jr. North Am. Benthological Soc. 28 (4):929-940.
- DETTINGER, M.D. Y H.F. DIAZ. 2000.
Global characteristics of stream flow seasonality and variability.
J. Hydrometeorol. 1:289-310.
- DI RIENZO J.A., CASANOVES F., BALZARINI M.G., GONZALEZ L., TABLADA M., ROBLEDO C.W. 2008.
InfoStat, versión 2008,
Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- DRAGO, E. Y R. QUIRÓS. 1996.
The hydrochemistry of inland water of Argentina: a review.
Int. J. Salt Lake Res. 4:1-11.
- FORMAN, R.T.T. Y L.E. ALEXANDER. 1998.
Roads and their major ecological effects.
Annu. Rev. Ecol. Syst. 1998. 29:207–31.
- FOUNTAIN, A.G., J.L. CAMPBELL, E.A.G. SCHUUR, S.E. STAMMERJOHN, M.W. WILLIAMS Y H.W. DUCKLOW. 2012.
The disappearing cryosphere: impacts and ecosystem responses to rapid cryosphere loss.
BioScience, 62(4):405-415.
- GOLTERMAN, H.L., R.S. CLYMO Y M.A.M. OHMSTAD. 1978.
Methods for physical and chemical analysis of freshwaters.
Blackwell Sci. Pub. 2da. Ed. Oxford, 214 pp.
- GONZALEZ BONORINO, 1979.
Esquema de la evolución geológica de la cordillera norpatagónica.
Rev. Asoc. Geol. Arg. XXXIV(3): 184-202.
- GOSZ, J.L. 1977.
Effects of ski area development and use on stream water quality of the Santa Fe basin, New Mexico.
Forest Sci.: 23(2):167-179.
- GREEN, S.M., R. MACHIN Y M.S. CRESSER. 2008.
Effect of long-term changes in soil chemistry induced by road salt applications on N-transformations in roadside soils.
*Environm. Pollut. 152(1):20-31. Disponible en: [http://eprints.whiterose.ac.uk/3733/1/ManuscriptSMGrevised2.pdf].
Ultimo acceso: 30-10-2013.*
- JOBBÁGY, E.G., J.M. PARUELO Y R.J.C. LEÓN. 1995.
Estimación del régimen de precipitación a partir de la distancia a la cordillera en el noroeste de la Patagonia.
Ecología Austral: 5:47-53.
- KANGAS, K., KARI-MATTI VUORI, H. MÄÄTTÄ-JUNTUNEN Y P. SIIKAMÄKI. 2012.
Impacts of ski resorts on water quality of boreal lakes: a case study in northern Finland.
Boreal Environ. Res. 17: 313–325.

- KAUSHAL, S.S., P.M. GROFFMAN, G.E. LIKENS, K.T. BELT, W.P. STACK, V.R. KELLY, L.E. BAND Y G.T. FISHER. 2005.
Increased salinization of fresh water in the northeastern United States.
P. Natl. Acad. Sci. USA 102 no. 38:13517-13520. Disponible en: [<http://www.pnas.org/content/102/38/13517.full.pdf+html?sid=261c949a-47b5-41c1-8310-71da6395dc49>]. Ultimo acceso: 30-10-2013.
- KELTING, D.L. Y C.L. LAXSON. 2010.
Review of effects and costs of road de-icing with recommendations for winter road management in the Adirondack Park.
Adirondack Watershed Institute Report # AWI2010-01. 82 pp. Disponible en: [http://www.adkaction.org/files/public/Full_Study_Salt.pdf]. Ultimo acceso: 30-10-2013.
- KIRCHNER, J.W., X. FENG, C. NEAL Y A. J. ROBSON. 2004.
The fine structure of water-quality dynamics: the (high frequency) wave of the future.
Invited commentary. Hidrol. Process. 18:1353-1359.
- HAYASHI, M. 2004.
Temperature-electrical conductivity relation of water for environmental monitoring and geophysical data inversion.
Environm. Monit. Assess. 96: 119-128.
- LIKENS, G.E. 1992.
The ecosystem approach: its use and abuse.
Excellence in ecology 3. Ecology Institute, Oldendorf. 166 pp.
- LIZUAIN FUENTES, A. 1980.
Las formaciones suprapaleozoicas y jurásicas en la cordillera patagónica de Río Negro y Chubut.
Rev. Asoc. Geol. Arg. XXXV(2): 174-182.
- LOFGREN, S. 2001.
The chemical effects of deicing salt on soil and stream water of five catchments in Southeast Sweden.
Water, Air, Soil Poll. 130(1-4): 863-868.
- MISERENDINO, M.L. Y L. PIZZOLON. 2000.
Macroinvertebrates of a fluvial system in Patagonia: altitudinal zonation and functional structure.
Arch. Hydrobiol. 150(1):55-83.
- MOLLES, M.C. Y J.R. GORZ. 1980.
Effect of ski area on the water quality and invertebrates of a mountain stream.
Water, Air, Soil Poll. 14:187-205.
- MOORE J., S. M. LEV, Y R. E. CASEY. 2013.
Modeling the effects of road salt on soil, aquifer, and stream chemistry.
Proceedings of the conference MODFLOW: Translating science into practice, Colorado School of Mines, Golden, CO, USA. 5 pp.
- OCCHI, M. 2009.
Sources of stream discharge in the north east and north west branches of the Anacostia watershed. 34 pp.
Disponible en: [<http://www.geol.umd.edu/undergraduates/paper/occhi.pdf>]. Ultimo acceso: 30-10-2013.
- PARUELO, J. M., E. G. JOBBÁGY, Y O. E. SALA. 1998.
Biozones of Patagonia (Argentina).
Ecología Austral, 8:145-153.
- PEDROZO, F; S CHILLRUD; P TEMPORETTI & M DIAZ. 1993.
Chemical composition and nutrient limitation in rivers and lakes of Northern Patagonian Andes (39.5°-42° S; 71° W) (Rep. Argentina).
Verh. Internat. Verein. Limnol., 25:207-214.
- PEDROZO, F. L. Y S. N. CHILRUD. 1998.
Relative water fluxes and silicate weathering from the tributaries of a small glaciated watershed in the southern Patagonian Andes (Upper Manso watershed, Argentina, 72° W; 41° S).
Verh. Int. Verein. Limnol., 26,935-939.
- PETERSON, D., R. SMITH, I. STEWART, N. KNOWLES, C. SOULARD Y S. HAGER. 2005.
Snowmelt Discharge Characteristics Sierra Nevada, California.
SIR - 2005-5056. US Geological Survey. 17 pp. <http://pubs.usgs.gov/sir/2005/5056/pdf/SIR-2005-5056v1.1.pdf>.
Revisado: 30-7-2015.
- PIZZOLON, L. A. 1999.
Flujo de iones principales y nutrientes en la cuenca del lago Puelo (Argentina).
Tesis de MSc. en Ecología Acuática Continental. Universidad Nacional Litoral. Santa Fé. 195 pp.

- PIZZOLON, L., L. MISERENDINO Y G. ALDAY. 2001.
Control de la Calidad del Agua en la cuenca del Río Percey.
Convenio Coop. 16 de Octubre- UNPSJB/FCN. Informe Final Campaña 2000/1. 63 pp.
- PIZZOLON, L. Y G. ALDAY. 2005.
Calidad del agua en el sistema Esquel-Percey. Convenio Cooperativa 16 de Octubre- UNPSJB.
Informe Final, Campaña 2004. 46 pp.
- PIZZOLON, L., I. ORELLANA Y G. OMAD. 2006.
Monitoreo de la Calidad del Agua en el sistema Esquel-Percey.
Convenio Coop. 16 de Octubre- UNPSJB/FCN. Informe Final Campaña 2005. 27 pp. 2008. Informe Final Campaña 2006. 33 pp.
- PIZZOLON, L., A. CURAQUEO Y F. GARCÍA SOTILLO. 2008.
Monitoreo de la Calidad del Agua en el sistema hídrico Esquel-Percey.
Convenio Coop. 16 de Octubre- UNPSJB/ FCN. Informe Campaña 2007. 36 pp. 2009. Informe Campaña 2008. 34 pp.
- PIZZOLON, L., A. CURAQUEO Y S. ARRECHEA. 2008.
Evaluación de los riesgos de alteración de la calidad del agua por las cenizas del Vn. Chaitén.
Esquel, 20 de mayo de 2008.
Informe Técnico L.E.A.-OA. 11 pp.
- POMEROY, J.W., H. G. JONES, M. TRANTER Y G. LILBÆK. 2005.
163: Hydrochemical Processes in Snow-covered basins.
Encyclopedia of Hydrological Sciences. M. G. Andersen (Ed.). J. Wiley & Sons. p. 2525-2537.
- RAMAKRISHNA, D.M. Y T. VIRARAGHAVAN. 2005.
Environmental Impact of Chemical Deicers - A Review.
Water, Air, Soil Poll. 166(1-4):49-63.
- RISACHER, F. Y H. ALONSO. 2001.
Geochemistry of ash leachates from the 1993 Lascar eruption, northern Chile.
J. Volcanol. Geotherm. Res. 109(4):319-337. SECHRIEST, R.E. 1960. Relationship between total alkalinity, conductivity, original pH, and buffer action of natural water. Ohio Jr. Science 60(5):303-308. Disponible en: <http://hdl.handle.net/1811/4723>. Ultimo acceso: 25.-6-2015.
- STATSOFT, INC. 2007.
Statistica (data analysis software system),
version 8.0.
- STRANKO, S., R. BOURQUIN, J. ZIMMERMAN, M. KASHIWAGI, M. MCGINTY Y R. KLAUDA. 2013.
Do Road Salts Cause Environmental Impacts?.
Maryland Dep. Natural Resources. 33 pp. http://www.mde.state.md.us/programs/Marylander/Documents/2013_Stranko_Road_Salt_%28final%29_TMF_edits.pdf. Ultimo acceso 15-3-16.
- SWANSON, F.J., T.K. KRATS, N. CAINE Y R.G. WOODMANSEE. 1988.
Landform effects on ecosystem pattern and processes.
Geomorphic features of the earth surface regulates the distribution of organism and processes. Bioscience 38 (2):92-98.
- TALLING, J. 2009.
Electrical conductance: a versatile guide in freshwater science.
Freshwater Rev. 2:66-78.
- TARTARI, G. Y R. MOSELLO. 1998.
Techniche analitiche in uso presso l'Istituto Italiano di Idrobiologia, Pallanza.
Doc. Ist. Ital. Idrobiol. 60. 160 pp.