

A diez años de la erupción del Puyehue-Cordón Caulle

Sandra Murriello y Gonzalo Barrios García
Compiladores

Material destinado a autores
No se permite su distribución



Aperturas
Serie Sociales
EDITORIAL
UNRN



EDITORIAL
UNRN





Material destinado a autores
No se permite su distribución

A DIEZ AÑOS DE LA ERUPCIÓN DEL PUYEHUE-CORDÓN CAULLE

Material destinado a autores
No se permite su distribución


EDITORIAL
UNRN



Material destinado a autores
No se permite su distribución

Aperturas
Serie Sociales

A DIEZ AÑOS DE LA ERUPCIÓN DEL PUYEHUE-CORDÓN CAULLE

Compiladores

Sandra Murriello
Gonzalo Barrios García

Marcelo F. Alonso
Pablo N. Amat
Gonzalo Barrios García
Débora Beigt
Donaldo Bran
Alberto Caselli
Héctor Martín Civitaresi
Evelyn del Valle Colino
Lucía Domínguez
Mariana Dondo Buhler
Mercedes Ejarque
Anabella Fantozzi
María Valeria Fernández
Valeria Fernández Arhex
Pablo Forte
Juan Gaitán
Guido P. Galafassi
Mailén E. Lallement
Sofía Lammel

María Rosa Lanari
Gustavo E. Lippolt
Pablo Losardo
Patricio J. Macchi
Sandra Murriello
Valeria Outes
Marcelo Pérez Centeno
Liliana Pierucci
Ana Laura Pietrantuono
Graciela Preda
Magalí Rechencq
Pablo A. Salgado
Alejandro Sosnovsky
Virginia Velasco
Pablo H. Vigliano
Gustavo Villarosa
Mariana Weigandt
Eduardo E. Zattara

Material destinado a autores
No se permite su distribución


**EDITORIAL
UNRN**


**EDITORIAL
UNRN**



Material destinado a autores
No se permite su distribución



Utilice su escáner de
código QR para acceder
a la versión digital

Índice

- 9 | Prefacio
Sandra Murriello, Gonzalo Barrios García y Alberto Caselli
- 15 | Prólogo
Guido P. Galafassi
- 19 | Capítulo 1
Memorias del Puyehue-Cordón Caulle
Sandra Murriello y Liliana Pierucci
- 37 | Capítulo 2
Andando y desandando las representaciones sobre el riesgo geológico. El caso San Carlos de Bariloche y la Norpatagonia
Gonzalo Barrios García y Liliana Pierucci
- 57 | Capítulo 3
Las múltiples dimensiones del fenómeno volcánico en la Patagonia Norte: aportes científicos interdisciplinarios del Grupo GEA para el estudio de la erupción del Cordón Caulle
Gustavo Villarosa, Valeria Outes, Débora Beigt, Pablo N. Amat y Pablo A. Salgado
- 97 | Capítulo 4
Resiliencia en tiempos de crisis volcánica: estrategias de las economías de pequeña y microescala barilocheñas
Evelyn del Valle Colino, Mariana Dondo Buhler y Héctor Martín Civitaresi
- 111 | Capítulo 5
Geniza volcánica en la región sur de Río Negro: estudios, resultados y lecciones aprendidas de la erupción 2011-2012 del volcán Cordón Caulle
Donald Bran, Lucía Domínguez, Pablo Forte, Virginia Velasco, Anabella Fantozzi y Juan Gaitán
- 135 | Capítulo 6
Reflexiones y aprendizajes sobre el repoblamiento con cabras criollas neuquinas en la Línea Sur rionegrina
Pablo Losardo, Sofía Lammel, Mercedes Ejarque, Graciela Preda, Marcelo Pérez Centeno y María Rosa Lanari

Material destinado a autores
No se permite su distribución


EDITORIAL
UNRN

Material destinado a autores
No se permite su distribución

- 153 | Capítulo 7
Impactos de la erupción del complejo volcánico Puyehue-Cordón Caulle sobre lagos, lagunas, embalses y su biota
Pablo H. Vigliano, Mailén E. Lallement, Patricio J. Macchi, Magalí Rechencq, Gustavo E. Lippolt, Marcelo F. Alonso, Eduardo E. Zattara, María Valeria Fernández y Alejandro Sosnovsky
- 181 | Capítulo 8
Impactos de la erupción del complejo volcánico Puyehue-Cordón Caulle sobre arroyos, ríos y su biota en la Patagonia andina
Mailén E. Lallement, Patricio J. Macchi, Magalí Rechencq, Gustavo E. Lippolt, Marcelo F. Alonso, Eduardo E. Zattara, María Valeria Fernández, Alejandro Sosnovsky y Pablo H. Vigliano
- 203 | Capítulo 9
Efecto de la ceniza volcánica en la supervivencia y uso del hábitat en insectos nativos del norte de la Patagonia argentina luego de la erupción del complejo volcánico Puyehue-Cordón Caulle
Ana Laura Pietrantuono, Mariana Weigandt y Valeria Fernández Arhex
- 217 | Autorías y colaboraciones

Impactos de la erupción del complejo volcánico Puyehue-Cordón Caulle sobre lagos, lagunas, embalses y su biota

Pablo H. Vigliano, Mailén E. Lallement, Patricio J. Macchi, Magalí Rechencq, Gustavo E. Lippolt, Marcelo F. Alonso, Eduardo E. Zattara, María Valeria Fernández y Alejandro Sosnovsky

Material destinado a autores
No se permite su distribución

7.1. Introducción

Los ambientes lénticos del área afectada por la erupción del Complejo Volcánico Puyehue-Cordón Caulle (CVPCC) (figura 7.1) consisten en pequeñas lagunas de alta montaña, lagunas de extensión y profundidad variables y lagos de gran profundidad (Calcagno, Fioriti, Pedrozo, Vigliano, López y otros, 1995). La mayor parte de los lagos en la zona se hallan ubicados en la depresión central que separa las altas cumbres al oeste de la estepa en el este. Todas las cuencas son de origen glacial y, en términos generales, sus lagos se han producido por endicamiento debido a las morenas frontales dejadas al producirse el retroceso de los glaciares. En general, las aguas de los ambientes lénticos son oligotróficas a ultraoligotróficas y muy transparentes (~ 17 m de acuerdo a mediciones de disco de Secchi). La mayor parte de los lagos son monomícticos templados, es decir que su dinámica sigue un patrón térmico del agua dividido en dos períodos, uno relacionado con la estratificación térmica de la columna de agua durante el verano y otro de completa mezcla de la columna de agua durante el resto del año (Calcagno y otros, 1995). Esto implica que muchos de los procesos biológicos en estos cuerpos de agua no siguen el patrón de las estaciones del año, respondiendo más bien a la condición de estratificación térmica o mezcla de la columna de agua. Los perfiles térmicos de los lagos profundos evidencian, durante el período de estratificación, termoclinas de profundidad variable dependiendo del lago e incluso del sector (10 m – 80 m) con temperaturas en superficie de hasta aproximadamente 21 °C y temperaturas de alrededor de 7 °C en profundidad (Baigún y Marinone, 1995). Durante el período de mixis, la columna de agua se halla alrededor de los 7 °C debido a su homogenización térmica. Las fuentes locales de contaminación se encuentran restringidas a las poblaciones humanas constituyendo San Carlos de Bariloche, con unos 125 000 habitantes, el mayor centro

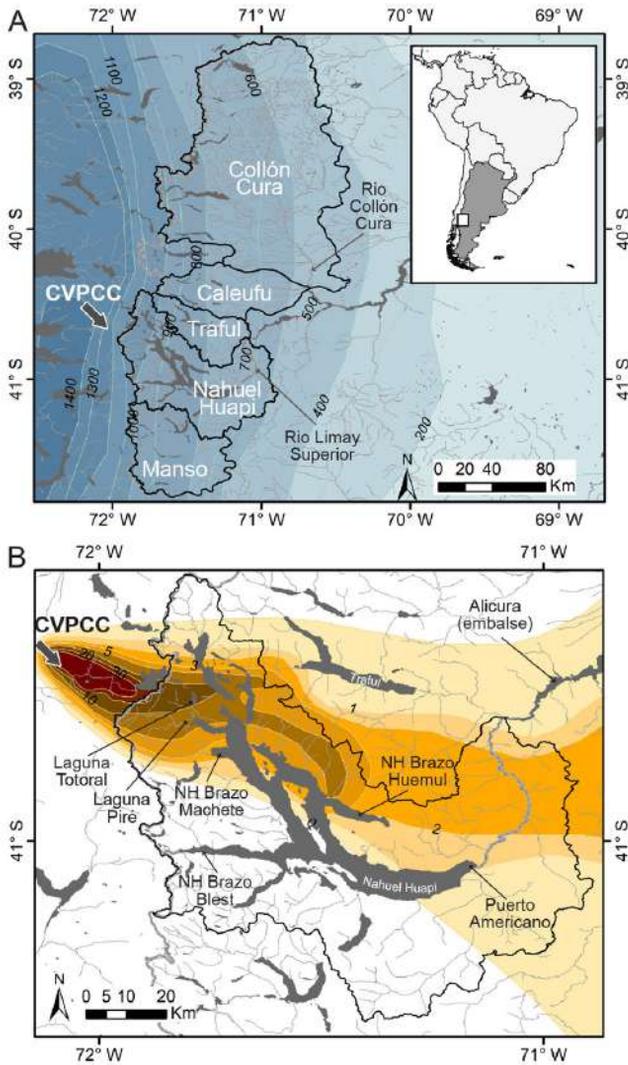
poblacional en la región. El turismo asociado al Parque Nacional Nahuel Huapi es el principal motor económico de la región siendo las actividades recreativas asociadas a los lagos y ríos, y en especial la pesca recreacional, de especial relevancia.

El mayor impacto sobre los cuerpos de agua lénticos en las cuencas de los ríos Limay y Traful se debió a la caída de material eyectado directamente sobre los cuerpos de agua y al acarreo desde los arroyos tributarios a los mismos, fenómenos que determinaron la cantidad de ceniza acumulada. El nivel de impacto así producido en cada cuerpo de agua estuvo, entonces, directamente influenciado por cuatro factores. El primero asociado a la distancia al centro de emisión; el segundo, a la localización de los diversos cuerpos de agua en relación con el volcán y la dirección de los vientos; el tercero, a la morfología de cada cuerpo de agua en correspondencia con la longitud y orientación del su *fetch* en relación con la dirección de los vientos predominantes y el cuarto, a lo extenso de su red de tributarios, a la orografía y localización de dicha red con respecto al CVPCC y los vientos predominantes (figura 7. 1). En los ambientes lénticos, los efectos de la deposición de material abarcaron la alteración de los fondos, la mortandad de la vegetación riparia (debida a la oclusión de sus desagües y consecuentemente incremento del nivel de las aguas) y la suspensión por períodos inicialmente prolongados de las tefras volcánicas en las aguas superficiales y capas intermedias de la columna de agua, lo que produjo diversas alteraciones de las comunidades de organismos presentes.

El material acumulado en los distintos cuerpos de agua consistió mayormente de pumicita en forma de grava y arena, material que produjo distintos tipos de impacto en función de su comportamiento a lo largo del tiempo. En forma inicial la pumicita y el material más finamente particulado de la tefra formaron grandes masas flotantes debido a su baja densidad. Eventualmente, la estructura porosa y de huecos cerrados del material lleva a que las partículas se impregnen de agua y decanten lentamente en la columna de agua hasta asentarse en el fondo. Este proceso llevó a una concentración de sólidos disueltos en lagos cercanos al CVPCC incrementara en forma brusca luego de la erupción, yendo de valores normales de aproximadamente 0,5 mg/L a valores tan altos como 14 mg/L inmediatamente después de la erupción, pudiendo encontrarse valores de 5 mg/L varios meses después (Wolinski, Laspoumaderes, Navarro, Modenutti y Balseiro, 2013).

Figura 7. 1. Ubicación de las cuencas del área de estudio y del Complejo Volcánico Puyehue-Cordón Caulle (cvpcc) (flecha)

Material destinado a autores
No se permite su distribución



Fuente: Panel A. Camarillo Naranjo y otros (2019). Panel B. Adaptado de Domínguez y otros (2020)

Nota. Panel A. Precipitación anual promedio (cotas en mm y gradiente de coloración), datos de 2011. Panel B. Lagos y Ceniza depositada (cotas en cm y gradiente de coloración).

Si bien la entrada de cenizas volcánicas al cuerpo de agua produce una compleja dinámica de procesos químicos, el regreso del agua a su condición normal se puede alcanzar rápidamente. Los efectos de las cenizas en los sedimentos del fondo, por otra parte, pueden implicar algún riesgo ambiental. El lixiviado de cenizas volcánicas contiene cantidades significativas de elementos como el arsénico (As), aluminio (Al), cromo (Cr), hierro (Fe), calcio (Ca), mercurio (Hg) y zinc (Zn), entre otros, que pueden impactar en la biota de los cuerpos de agua. El principal cambio que se observó en el lago Nahuel Huapi luego de que el material piroclástico entrara en contacto con el agua fue un aumento brusco del pH de 6,8 a 8,1 y de la conductividad del agua de 28,9 a 457 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Algunos elementos incrementaron su concentración por debajo de los niveles de toxicidad crónica siendo la contaminación más intensa en los cuerpos de agua que se encuentran cercanos al volcán. Las concentraciones máximas medidas en el lago Nahuel Huapi de flúor (F), aluminio (Al) y mercurio (Hg) fueron de 600, 40 y 0.0382 $\mu\text{g}/\text{L}$, respectivamente (Perez Catán, Juárez y Bubach, 2016). Elementos como el zinc (Zn) y el arsénico (As) aumentaron su concentración en los cuerpos de agua luego del contacto de la ceniza con el agua pudiendo potencialmente ser transferidos a través de la cadena trófica hasta los niveles tróficos más altos. En el lago Nahuel Huapi se observaron niveles de As y Zn elevados en el agua y un aumento significativo en el lígido y la musculatura de macrocrustáceos (*Aegla sp.* y *Samastacus sp.*), también en menor medida en gasterópodos (*Chilina sp.*) y peces (puyenchico, *Galaxias maculatus*), pero estos valores disminuyeron después de un año. Las concentraciones de Zn fueron mayores en las percas criollas (*Percichthys trucha*) que en los salmónidos, probablemente debido a sus hábitos alimenticios, en los que predomina la ingesta de organismos bentónicos (Luncos, Arcagni, Rizzo, Campbell, Arribére y otros, 2016; Montañez, Arribére, Rizzo, Arcagni, Campbell y otros, 2018). El consumo de organismos bentónicos por parte de los salmónidos y la biodisolución de elementos en los organismos bentónicos de los cuales se alimentan los peces no tuvo niveles suficientemente altos para implicar riesgos para la salud humana (Montañez y otros, 2018).

7. 2. Efectos del material flotante en ambientes lénticos

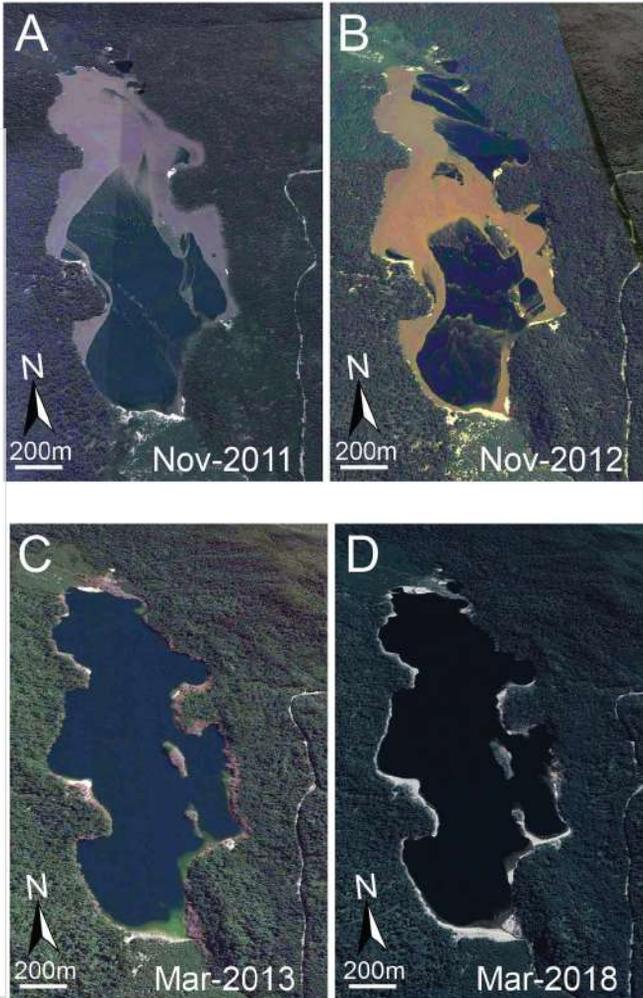
El material flotante cubrió totalmente las lagunas y lagos más pequeños y cercanos al CVPCC derivando en superficie por acción de los vientos hacia las costas opuestas a la dirección de los vientos predominantes en los lagos de mayor tamaño. Los efectos del material flotante en lagunas y lagos pueden ejemplificarse con lo sucedido en las lagunas Totoral y Piré, y en el lago

Nahuel Huapi. Las dos primeras son cuerpos de agua de reducido tamaño (Totoral 251 ha y Piré 22 ha) y baja profundidad, a unos 29 km viento abajo del CVPC y a 3 km una de la otra (figura 7. 2a y 7.2b, A-H). En 2011, en forma posterior a la erupción inicial, fue posible observar la acumulación de ceniza en la superficie de ambas lagunas y su desaparición a medida que transcurría el tiempo por sedimentación y acarreo aguas abajo (Totoral: figura 7. 2a, A-D; Piré: figura 7. 2b, E-H). Ambas lagunas fueron inicialmente cubiertas por una masa flotante de material eyectado con partículas de granulometría que abarcaron entre los 100 μm a > 40 mm. Este material permaneció en la superficie de las aguas hasta mediados de 2012 habiendo sedimentado para esa fecha. Dado que la capa de tefras alrededor del lago alcanzó espesores entre los 30 y los 50 cm, cabe considerar que los fondos de ambas lagunas se vieron extensamente alterados por capas de espesores similares. Se destaca, sin embargo, que una cantidad de material no precisado fue acarreado aguas abajo de ambas lagunas por los arroyos Totoral y Piré generando extensos depósitos en forma de un delta de deposición en sus desembocaduras al brazo Rincón del lago Nahuel Huapi y efectivamente modificando localmente las líneas de costa y perfiles de profundidad (figura 7. 2c, I-J). Cabe subrayar que en la Laguna Totoral el endicamiento transitorio de su desagüe hizo que aumentara el nivel de agua de la laguna, lo que causó la muerte de los árboles de la zona riparia.

Por otra parte, una gran cantidad del material flotante fue acarreado por las corrientes propias de cada lago hacia sus desembocaduras y transportado por los ríos aguas abajo hacia los otros lagos del sistema. Así, en la subcuenca del Nahuel Huapi, cabecera de la cuenca del Limay, masas de material flotante fueron acarreadas desde el Lago Espejo al lago Espejo Chico, de este al Lago Correntoso y de ahí al lago Nahuel Huapi llegando a su desembocadura en el río Limay. En el caso particular del Nahuel Huapi, el desplazamiento del material flotante a lo largo de un *fetch* de 60 km de largo coincidente con la dirección de los vientos predominantes significó la generación de acumulaciones de pumicita en las aguas de las costas del cuadrante este, que en algunos casos superaron el metro de espesor, abarcando desde el fondo del lago hasta su superficie (figura 7. 3, A-B).

Esto implicó un efecto de abrasión mecánica sobre dichas costas con la consiguiente remoción de la vegetación arraigada, moluscos, microcrustáceos y epilíton del substrato costero cercano. El material transportado fue entonces movilizado por el río Limay (figura 7. 3, C) hacia el embalse Alicurá, donde junto con los aportes de material proveniente de la cuenca del río Traful formaron masas flotantes de considerable extensión.

Figura 7. 2a. Acumulación de ceniza en la superficie de lagunas cercanas al cvpcc y su posterior desaparición por sedimentación y acarreo aguas abajo hasta el Lago Nahuel Huapi



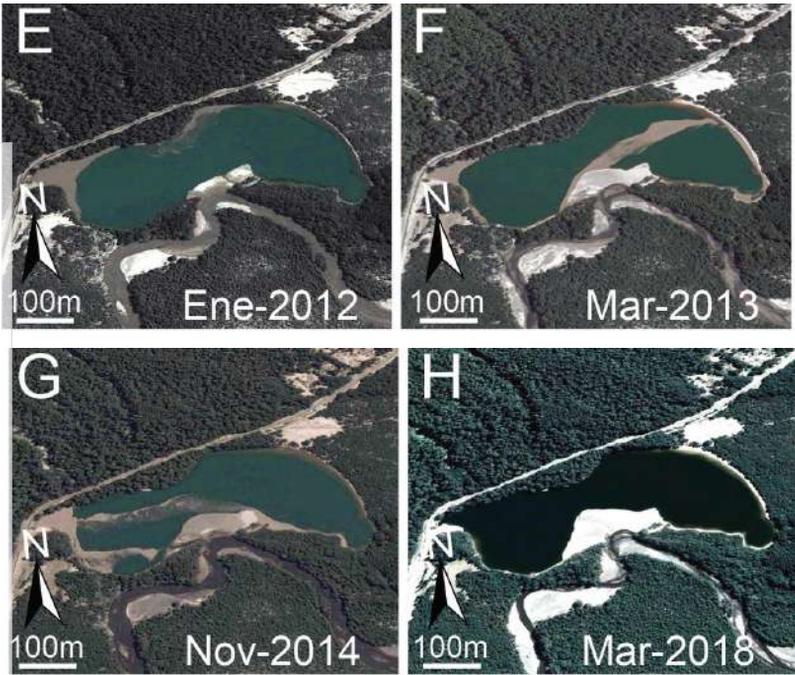
Material destinado a autores
No se permite su distribución

 EDITORIAL
UNRN

Fuente: Google Earth, Image © 2021 Maxar Technologies (A/B/C), Image © CNES/Airbus (D)

Nota. A-D: Laguna Totoral.

Figura 7. 2b. Acumulación de ceniza en la superficie de lagunas cercanas al cvpcc y su posterior desaparición por sedimentación y acarreo aguas abajo hasta el Lago Nahuel Huapi



Material destinado a autores
No se permite su distribución

Fuente: Google Earth, Image © 2021 Maxar Technologies (E/F), Image © CNES/Airbus (G/H)

Nota. E-H: laguna Piré.

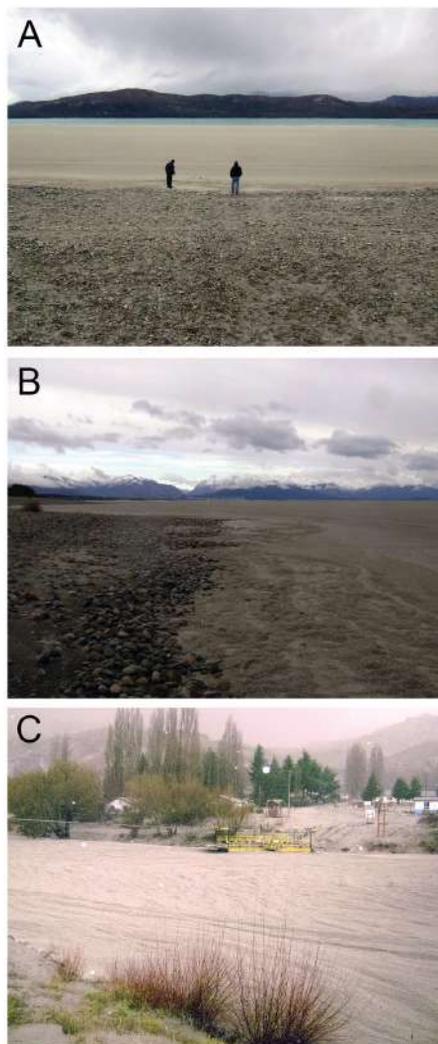
Figura 7. 2c. Acumulación de ceniza en la superficie de lagunas cercanas al CVPCC y su posterior desaparición por sedimentación y acarreo aguas abajo hasta el Lago Nahuel Huapi



Fuente: Image © CNES/Airbus (j), Landsat/Copernicus, Image © 2021 Maxar Technologies (i)

Nota. I-J: Costa del Brazo Rincón del Lago Nahuel Huapi, donde desaguan los arroyos efluentes de esas lagunas.

Figura 7. 3. Acumulaciones de pumicita fueron acarreadas por las corrientes propias de cada lago hacia sus desembocaduras y transportado por los ríos aguas abajo



Material destinado a autores
No se permite su distribución

 EDITORIAL
UNRN

Fuente: Autoridad Interjurisdiccional de las cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro (AIC) (2011)

Nota. A-B. Costas del cuadrante este del lago Nahuel Huapi que, en algunos casos, superaron el metro de espesor. C. Material movilizado por el río Limay.

7.3. Efectos sobre el plancton de los ambientes lénticos

Tal vez el efecto más notable del material flotante y en suspensión descrito sobre los componentes de la biota sea el bloqueo efectivo de la luz en el lago, fenómeno reflejado en incrementos iniciales en la atenuación lumínica del orden de 1.5 a 2.5 veces y una relocalización de los máximos de clorofila profunda. Este fenómeno fue acompañado por incrementos de tres veces en las concentraciones de fósforo reactivo soluble (Modenutti y otros, 2013a; Modenutti y otros, 2013b). Experimentos a corto plazo mostraron que luego de 15 días, al decantar la pumicita, se producía un incremento de clorofila *a* y una disminución del fósforo reactivo soluble junto con un incremento de la biomasa del fitoplancton (Modenutti y otros, 2013a). Por otra parte, y a pesar del incremento de los productores primarios, el material en suspensión en la columna de agua puede tener efectos adversos sobre el zooplancton (Balseiro y otros, 2014) y, en consecuencia, para los peces.

Una combinación de datos de campo y experimentos de laboratorio fin de determinar el efecto de las cenizas volcánicas suspendidas en la columna de agua sobre las poblaciones de cladóceros de tres lagos (Espejo, Correntoso, Nahuel Huapi) cercanos al CVPCC permitieron determinar que las poblaciones de estos lagos decrecieron debido a la presencia de ceniza en suspensión durante el verano de 2011-2012 (Wolinski y otros, 2013). Esta situación se revirtió para el verano de 2013 al recuperar las aguas su transparencia habitual. Los experimentos realizados sobre el cladóceros *Daphnia nonnmutata* mostraron que esta especie ingería en forma indiscriminada partículas de ceniza con efectos negativos para su supervivencia en relación a distintas concentraciones de ceniza en suspensión (es decir, 2, 3, 5, y 8 mg/L). Cabe destacar que a concentraciones de 8 mg/L la totalidad de los ejemplares moría antes de alcanzar la edad reproductiva. Dado que el estudio en el verano de 2011-2012 puso en evidencia incrementos en las concentraciones de alimento disponible, y valores normales de las variables físicoquímicas (conductividad y pH), se concluyó que la causa de la disminución del zooplancton fue la presencia de partículas de cenizas en suspensión en el rango de tamaño del alimento de los cladóceros (promedio $2,55 \mu\text{m} \pm 2,00 \text{SD}$). Trabajos posteriores volvieron a analizar los resultados en su conjunto considerando los efectos sobre los crustáceos planctónicos a nivel subcelular, poblacional y sistémico concluyendo que la ceniza causa efectos de estrés oxidativo a nivel celular afectando el rendimiento energético de los organismos, los que ven además reducida su capacidad reproductiva y su tasa de supervivencia (Balseiro y otros, 2014). A su vez, esto lleva a una reducción en el número de organismos ramoneadores, al mismo tiempo que se produce un aumento de los productores primarios

Material destinado a autores
No se permite su distribución

EDITORIAL
UNIN

debido a que la atenuación de la luz producida por las cenizas en la columna de agua decrece el nivel normal de fotoinhibición sobre el fitoplancton para las aguas normalmente transparente de estos lagos. Estos estudios son los mejores ejemplos del efecto de las cenizas en suspensión sobre fitoplancton y zooplancton de los lagos cercano al CVPCC y como estos tienden a propagarse en los sistemas.

7.4. Efectos sobre el bentos de ambientes lénticos

Los estudios sobre los efectos de la deposición y acumulación de material eyectado por erupciones volcánicas sobre el fondo de lagunas y lagos en relación a microorganismos, microcrustáceos, larvas de insectos, gasterópodos, moluscos y macrocrustáceos son prácticamente inexistentes. El conocimiento de dichos efectos se basa mayormente en extrapolaciones a partir de trabajos realizados en otras partes del mundo y observaciones de campo no apoyadas por datos concretos. Los trabajos existentes se hallan principalmente relacionados con las variaciones en los sedimentos de las comunidades de quironómidos luego de eventos volcánicos (Mas-saferro, Guevara, Rizzo y Arribére, 2005), donde en apariencia se produce un cambio en la abundancia de estos organismos en función de la acción física y cantidad de material depositado. Sin embargo, el enterramiento producido por la deposición de gran cantidad de material y el consecuente enterramiento de organismos no necesariamente implica la aniquilación, especialmente de aquellos con capacidad de excavación y desplazamiento. Así, en las lagunas Totoral y Piré fue posible observar a cinco años de la erupción grandes cantidades moluscos pelecípodos del género *Diplodon* sp. mayores de 60 mm (figura 7. 4). Dada la baja movilidad de los ejemplares de este tamaño y las tasas de crecimiento conocidas para la especie (Rocchetta y otros, 2014) se puede inferir que los ejemplares observados estaban presentes al momento de la deposición del material volcánico y que sobrevivieron al proceso. Esto implica que dichos ejemplares se hallaban en las lagunas al momento de la erupción y que sobrevivieron al proceso de enterramiento bajo los 30 a 50 cm de material grueso y fino depositado sobre el fondo. Cabe destacar que también fue posible observar gasterópodos del género *Chilina* sp. y vegetación sumergida correspondiente a plantas del género *Elodea* sp.

Material destinado a autores
No se permite su distribución

 EDITORIAL
UNRN

Figura 7. 4. Moluscos pelecípodos del género *Diplodon* sp. sobrevivientes a la erupción en la laguna Totoral, febrero 2016



Material destinado a autores
No se permite su distribución

7. 5. Efectos sobre los peces en ambientes lénticos

La acumulación y decantación de cenizas volcánicas en los cuerpos de agua lénticos pueden producir en los peces efectos negativos directos o indirectos por cambios en la adecuabilidad fisicoquímica de las aguas. Esto podría suceder por cambios en las propiedades químicas más allá de los rangos de tolerancia de las especies involucradas o por la posible abrasión de tejidos blandos, como los de las branquias y del sistema digestivo (Vigliano y Kuroda, 2012). También puede provocar efectos indirectos por una disminución en la abundancia de los ítems presa sujetos al mismo fenómeno de disturbio y por una mayor dificultad en la captura de presas debido a una reducción de la visibilidad asociados a una reducción de la transparencia en las aguas (Turesson y Brönmark, 2007). Un efecto potencial adicional sería el bloqueo efectivo de la luz en el lago disminuyendo la penetración de esta en profundidad, efecto que podría causar cambios en la distribución tanto de organismos fitoplanctónicos como zooplanctónicos y peces.

Material destinado a autores
No se permite su distribución

 EDITORIAL
UNRN

La acumulación de ceniza volcánica ha tenido diferente efecto sobre las comunidades de peces de los distintos cuerpos de agua lénticos de la cuenca del lago Nahuel Huapi. Estas consecuencias han estado relacionadas con la cercanía al volcán y el tamaño del espejo de agua considerado. Antes de la erupción del CVPC, en la ya descripta laguna Piré (figuras 7. 1, B y 7. 2, E-H), se había registrado la presencia de salmónidos y del puyen chico (*Galaxias maculatus*) (datos propios sin publicar). En forma inmediata a la erupción, la laguna Piré quedó completamente cubierta de ceniza. Un monitoreo conducido en enero de 2016 puso en evidencia la presencia ejemplares adultos de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*), trucha marrón (*Salmo trutta*) y trucha de arroyo (*Salvelinus fontinalis*), pero no se encontró ningún ejemplar de puyen chico en la laguna (datos propios sin publicar). Este hecho indicaría que la capacidad de recolonización, luego de un evento catastrófico, sería distinta para las diferentes especies. Al no existir estudios previos sobre los peces de la laguna Totoral (figura 7. 1, B, figura 7. 2a, A-D) es difícil saber cuál fue el efecto inmediato de la erupción del CVPC. Sin embargo, un monitoreo conducido con redes agalleras en enero de 2016 puso en evidencia la presencia de especímenes adultos de perca, trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*), trucha marrón (*Salmo trutta*) y trucha de arroyo (*Salvelinus fontinalis*), así como del puyen chico en las zonas costeras, esta última especie asociada a *Eloдея* sp. (Vigiliano, Machi, Sovsnosky, Rechencq, Fernández y otros, 2017). La tasa de captura de ejemplares de salmónidos mediante redes agalleras en términos de captura en número por unidad de esfuerzo (CPUEN= N° capturas 15 hs/100 m² red) estuvo en el rango de valores comunes para la zona. Todos los ejemplares capturados, a excepción de un juvenil, eran adultos en distinto grado de maduración siendo su estado de salud y alimentación bueno. La falta de ejemplares de menos de un año de edad (YOY) y la casi total ausencia de ejemplares juveniles de entre uno y tres años podrían indicar que ante la deposición de material volcánico las distintas especies habrían sido eliminadas o habrían abandonado las lagunas, siendo los ejemplares adultos capturados en 2016 producto de recolonización desde el lago Nahuel Huapi. Por otra parte, el hecho de que a cuatro años de la erupción no se encontraran ejemplares YOY podría además haber estado indicando que los ejemplares de salmónidos adultos presentes en 2016, si bien encontraban condiciones adecuadas para subsistir en la laguna Totoral, no las encontraban en las lagunas o sus tributarios como para una reproducción exitosa. Por el contrario, la presencia de grandes cantidades de puyenes chicos estaría manifestando que la laguna presentaba condiciones adecuadas para esta especie.

La existencia de estudios previos a la erupción del CVPC en el lago Nahuel Huapi permitió evaluar el impacto de este evento volcánico mediante la comparación de sus resultados con nuevos muestreos realizados

el verano siguiente (Vigliano y otros, 2013). La comparación en los mismos sitios del lago de parámetros físicoquímicos del agua (tabla 7. 1), así como las capturas de peces mediante redes agalleras estratificadas por estratos de profundidad (es decir, 10 m), hasta los 50 m de profundidad, resultaron en un panorama amplio de los efectos de la erupción sobre la ictiofauna de este lago (Vigliano y otros, 2013).

Tabla 7. 1: Valores de parámetros físicoquímicos promedio en ambientes lénticos antes y después del evento volcánico.

	Período	DO mg/L	pH	Cond µS/cm	Ceniza Mg L1	Transparencia Secchi promedio m
Preevento volcánico	Verano 2011	12.13	6,93	40	0 mg L-1	18 m
Postevento volcánico	Verano 2012	12.10	6.90	100/60	Variable según área Max. 19mg L-1 (*1)	5 – 20 m Variable según área
Postevento volcánico	Verano 2013	12.20	6.92	20	0 mg L-1	17 m

Fuente: Adaptado de Vigliano y otros, 2013

En términos de la adecuabilidad de las aguas para las especies presentes en el lago y la zona, tan solo la transparencia mostró signos marcados de alteración en forma inmediata a la erupción, con valores de disco de Secchi que bajaron de los habituales ~17 m promedio a menos de 0,6 m. La transparencia se recuperó con el correr del tiempo pasando por 0,8 m en noviembre de 2011 y alcanzando valores más normales para el período enero-marzo de 2012. Durante este período se observó un patrón de incremento de la transparencia de oeste a este. Así, mientras que en el Brazo Sur la transparencia estuvo en los 5 m, en el Brazo Angostura en los 9 m y frente a San Carlos de Bariloche en 17 m, prospecciones hidroacústicas realizadas mediante una ecosonda científica Biosonics DE 4000 durante el verano de 2012 permitieron verificar que la abundancia y distribución de ecos de retorno asociados a presencia de material en suspensión en la columna de agua tuvo un incremento marcado en 2012 en todos los sectores del lago evaluados (siete meses después de la erupción) y un retorno a valores similares a los preeruptivos en 2013 (19 meses después de la erupción) (tabla 7. 2). El incremento en la densidad de registros ecoicos en 2012 se habría debido a la presencia de ceniza en la columna de agua aumentando la energía retrodispersada que retorna al transductor provocando un

Material destinado a autores
No se permite su distribución

EDITORIAL
UNIN

aumento en la densidad de ecos tanto por unidad de superficie como de volumen (Vigliano y otros, 2013).

Tabla 7. 2. Densidad de registros ecoicos pre y postevento volcánico en las zonas de muestreo en el lago Nahuel Huapi

Densidad Ecos por Sector EPMC			
Brazo	Prevolcán	Postvolcán 2012	Postvolcán 2013
Tristeza	0,0043	0,7990	0,0044
Blest	0,0140	0,5038	0,0095
Rincón	0,0059	0,1028	ND
Bariloche	0,0081	0,0290	0,0082
Densidad Ecos General EPMC			
	Prevolcán	Postvolcán 2012	Postvolcán 2013
Densidad	0.081	0.3586	0.0074

Fuente: Adaptado de Vigliano y otros, 2013

Nota. ND: no disponible. EPMC: ecos por metro cúbico.

Las prospecciones hidroacústicas pusieron, además, de manifiesto la formación de capas de difusión de sonido (CDS) a media agua atribuibles a capas de ceniza. En los dos sitios más cercanos al CVPCC (Brazo Rincón, Brazo Machete), estas capas se hallaban asociadas con una termoclina profunda entre los 30 y 40 m (figura 7. 5, A). Esto puede haber ayudado a la formación de estas capas de difusión de sonido. La concentración de ceniza a media agua disminuyó progresivamente hacia el este siendo escasa a la altura de San Carlos de Bariloche en la columna de aguas abiertas (figura 7. 5, B).

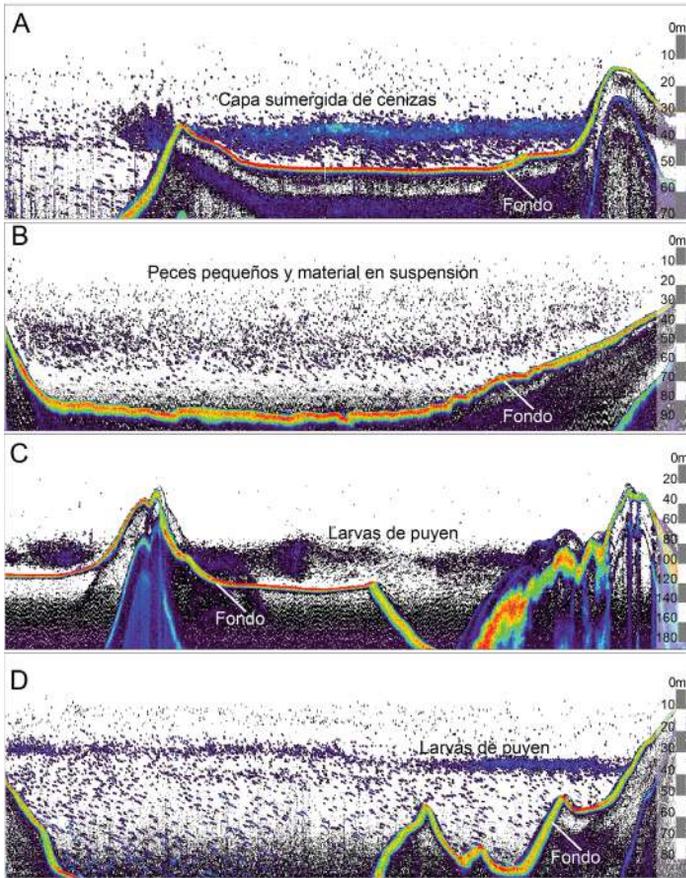
Estudios no publicados mostraron que las agregaciones de ceniza a media agua están conformadas por flóculos compuestos por ceniza, bacterias y agregados orgánicos producidos por dichas bacterias (E. Balseiro, comunicación personal, febrero de 2012). Para el verano de 2013, las concentraciones de ceniza en la columna de agua solo pudieron ser detectadas mediante técnicas hidroacústicas en los Brazos Tristeza y Rincón, siendo prácticamente inexistentes frente a San Carlos de Bariloche. Lo más probable es que estas cenizas detectadas a más de un año y medio de la erupción procedan de escorrentías recientes y removilización desde las cuencas, y no a un fenómeno de persistencia en el tiempo de cenizas depositadas directamente después del evento.

Las larvas de galáxidos (puyenes chico –*Galaxias maculatus*– y grande –*Galaxias platei*–) son una pieza clave del ecosistema del lago Nahuel Huapi. Son importantes consumidores de plancton y microartrópodos, y a su vez son presas claves para casi todas las otras especies de peces formando, por lo tanto, un nodo crítico en la red trófica de transferencia de energía y nutrientes entre los hábitats costeros, limnético superficial y profundo (Vigliano, otros, 2009; Rechencq y otros, 2011; Rechencq, 2012; Rechencq y otros, 2014; Juncos y otros, 2013; Juncos y otros, 2014). Aunque la distribución diferencial de las agrupaciones de larvas del lago Nahuel Huapi, sumada a la complejidad estructural de este lago, no ha permitido realizar aún una estimación de su abundancia absoluta, datos obtenidos en otros lagos cercanos han estimado abundancias de hasta 10 millones de ejemplares por km² (Rechencq, 2012). Su posición central dentro de los ecosistemas lénticos de la región hace que cualquier impacto en su abundancia por efectos de la erupción tenga efectos considerables sobre la canalización de energía a través de la trama trófica. Sin embargo, y al menos para lagos de gran tamaño y profundidad, la erupción del año 2011 no parece haber tenido efectos detrimentales en la abundancia de larvas, aunque sí se detectó un cambio en sus patrones de desplazamiento nictamerales. En períodos normales, estas larvas se congregan durante el día en densas agregaciones que pueden detectarse a 100 m de profundidad mediante técnicas hidroacústicas como capas de reflexión de sonido (CDS, figura 7. 5, C); al anochecer, estas agregaciones migran a estratos más superficiales, donde las larvas se alimentan por la noche para retornar a aguas profundas al amanecer (Lindegren y otros, 2012; Rechencq, 2012; Rechencq y otros, 2011). En el verano siguiente a la erupción del CVPCC, los registros hidroacústicos realizados en aquellos brazos del lago más afectados por las cenizas mostraron que las larvas habían cambiado su profundidad normal de agregación a estratos más superficiales ubicados entre 25 y 40 m (figura 7. 5, D). Puesto que las larvas de galáxidos son altamente sensibles a los cambios de luminosidad, modificando su patrón de migración en función de las fases lunares (Rechencq y otros, 2011), es posible que su desplazamiento diurno a aguas menos profundas se haya debido a la reducción de la transparencia del agua por efecto de la ceniza en suspensión.

Material destinado a autores
No se permite su distribución

EDITORIAL
UNIN

Figura 7. 5. Prospecciones hidroacústicas que evidencian la formación de capas de difusión de sonido (CDS)



Material destinado a autores
No se permite su distribución

EDITORIAL
UNRN

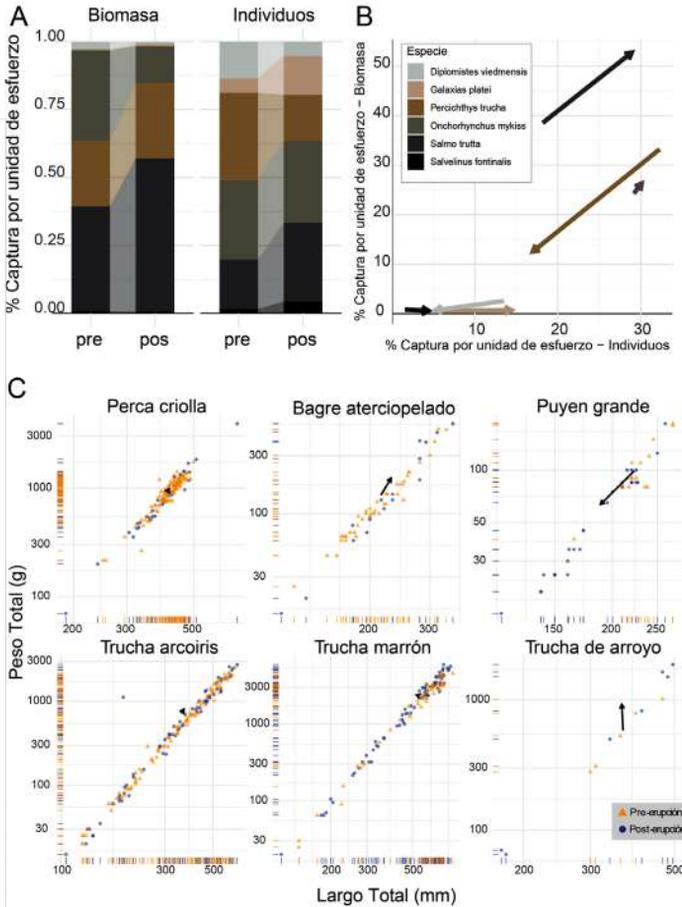
Nota. A. En Brazo Rincón y Brazo Machete (los dos sitios más cercanos al cvpcc) las cds se encuentran entre los 30 y 40 m, atribuibles a capas de ceniza. B. Frente a San Carlos de Bariloche (más lejano al cvpcc), las cds disminuyen progresivamente. C. CDS atribuibles a larvas de puyén ubicadas a 100 m de profundidad previo a las cenizas. D. CDS atribuibles a larvas de puyén ubicadas entre 25 y 40 m en el verano siguiente a la erupción del cvpcc.



Para una visualización correcta de la imagen, se recomienda acceder al siguiente enlace https://bit.ly/puyehue_7-5 o escanear el código QR.

En el lago Nahuel Huapi se encuentran siete especies de peces, siendo cuatro nativas y tres introducidas. Las primeras son los puyenes chico y grande, y la perca criolla ya mencionados, el bagre aterciopelado (*Diplomistes viedmensis*) y el pejerrey patagónico (*Odontesthes hatcheri*); este último muy escaso en los últimos 20 años. Las tres especies de salmónidos introducidas son la trucha arco iris, la trucha marrón y la trucha de arroyo (Juncos y otros, 2013). La comparación de abundancias relativas de capturas de estas especies antes y después del evento volcánico, al ser analizadas a nivel de número de biomasa y de individuos, muestra un marcado aumento en la proporción de truchas marrones en las capturas, así como una reducción notable en las percas criollas (figura 7. 6, A-B). Asimismo, se vio un incremento en el número de puyenes y un decremento del mismo orden en la cantidad de bagres, mientras que las truchas arco iris y las de arroyo permanecieron en valores aproximadamente similares (figura 7. 6, A-B). El incremento en el número de truchas marrones también fue reflejado en entrevistas realizadas a pescadores recreacionales durante la temporada de pesca 2011-2012 (correspondiente al primer verano inmediatamente después de la erupción), quienes manifestaron que dicho período de pesca se caracterizó por una mayor cifra de capturas de ejemplares de esta especie con respecto a años anteriores. Por otra parte, los análisis de la estructura de tallas y peso de las capturas con redes (figura 7. 6, C) muestran que la distribución de capturas de tallas abarcó rangos similares para ambos períodos de estudio, sin que existieran diferencias significativas entre las medias de largo o de peso para ninguna de las especies (Vigliano y otros, 2013).

Figura 7. 6. A. Abundancias relativas de biomasa y número de individuos por especie de peces antes (pre) y después (pos) del evento volcánico. B. Tendencia de la relación entre la biomasa y el número de individuos. C. La estructura de tallas y peso de las capturas y su tendencia



Material destinado a autores
No se permite su distribución

EDITORIAL
UNRN



Para una visualización correcta de la imagen, se recomienda acceder al siguiente enlace https://bit.ly/puyehue_7-6 o escanear el código QR.

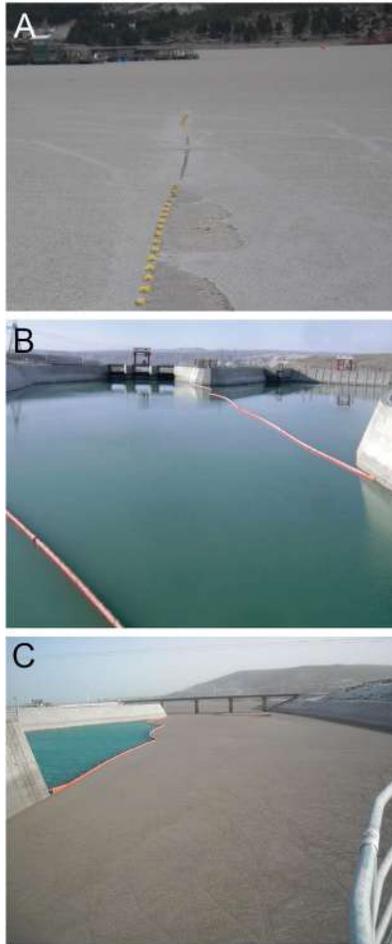
7. 6. Efectos sobre las pisciculturas

Al momento de la erupción estaba en funcionamiento una decena de criaderos de trucha arco iris de distintas características y tamaño ubicados

sobre el curso del río Limay y en el embalse Alicurá, en la cuenca del arroyo Gutiérrez y en el lago Moreno, estos últimos en la localidad de Bariloche. De manera casi inmediata, los estamentos técnicos provinciales (como el capítulo acuático del Centro de Ecología Aplicada de Neuquén –CEAN– y el Módulo de Fauna de la Autoridad Interjurisdiccional de las cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro –AIC–) y distintos grupos de investigación de la Universidad Nacional del Comahue realizaron estudios y monitoreos de la situación a lo largo del tiempo. Dado que la caída y acumulación de material volcánico afectó inmediatamente las características físicoquímicas del agua con aumento significativo de los sólidos en suspensión, la transparencia, el impacto sobre las jaulas de cría fue inicialmente directo viéndose agravado por la posterior acumulación por transporte del dicho material (figura 7. 7, A).

Pese a las medidas tomadas por los productores, quienes construyeron mangas o protectores flotantes para evitar la acción de las cenizas sobre sus jaulas de cultivo, el material ingresó siendo tomado por los peces como alimento con claros perjuicios en su estado de condición. Igual fenómeno fue observado en peces silvestres capturados en el embalse. Las pisciculturas reportaron un rápido descenso de los peces hacia las partes más profundas de las jaulas que rondan los 6 a 10 m de profundidad. Esta sería una reacción de evasión normal al estrés provocado por el material flotante y en suspensión que, entre otras cosas, impide que los peces tomen el alimento normalmente. Los productores de las pisciculturas reportaron además restos de material particulado en branquias, así como la inflamación de la vesícula biliar, resultado de la no ingesta de alimento causada por la imposibilidad de suministrar alimento balanceado. Se sabe que la presencia del material volcánico particulado puede inducir a una mayor producción de mucus en las branquias, siendo este un mecanismo de defensa de los peces. Sin embargo, esta respuesta cuando es prolongada en el tiempo puede conducir a una menor eficiencia para la captación de oxígeno. Por otro lado, el material particulado puede producir daños por actividad mecánica sobre las branquias conduciendo a hemorragias y disminución de la superficie respiratoria. Además, estas lesiones son una vía de entrada para patógenos como hongos y bacterias. Se ha estudiado que tanto el tamaño como la forma de las partículas se relacionan con el grado de lesiones que producen en los peces; es decir, mientras más grandes y más angulares, mayor es el efecto producido por las partículas. En los tractos digestivos no se encontró alimento, pero sí muchas partículas finas y pumicita que tienen un efecto abrasivo sobre los tejidos por lo que podrían producir lesiones internas en los peces.

Figura 7. 7. Efecto de las cenizas sobre las pisciculturas de Alicura



Material destinado a autores
No se permite su distribución

 EDITORIAL
UNRN

Fuente: Autoridad Interjurisdiccional de las cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro (AIC) (2011)

Nota. A. Disminución inmediata de la transparencia y acumulación significativa de los sólidos en suspensión transportados por la red de drenaje. B-C. El material particulado de mayor tamaño fue derivado por barreras flotantes hacia el vertedero, mientras que el material en suspensión en la columna de agua (partículas entre los 6 y 20 μm) habría pasado por las instalaciones de la central de Alicura sin causar efectos negativos, decantando y disminuyendo en cantidad al atravesar los embalses de Piedra del Águila, Pichi Picun Leufu, El Chocón y Arroyito.

A esto debe sumarse que debido a que la erupción se produjo al inicio del período de reproducción hubo efectos directos sobre los estadios tempranos de vida de los peces en aquellos criaderos que contaban con facilidades de incubación y alevinaje. Al igual que lo que pudo haber sucedido en los sitios naturales de reproducción, los efectos más importantes fueron la asfixia y el desarrollo de hongos en los lotes de huevos puestos a incubar que quedaron cubiertos de ceniza muy fina. También se produjeron obstrucciones en las tomas de agua de las vertientes que alimentaban a los criaderos verificándose pérdidas de la casi totalidad de los lotes de huevos en incubación. Otros criaderos, por ejemplo el de la Universidad del Comahue en Virgen de las Nieves, no sufrieron mayores efectos al no estar en la zona de caída principal de cenizas.

Sin embargo, el mayor efecto fue el económico, puesto que se resintió la cadena de comercialización, la demanda de productos y la provisión de insumos. El Estado nacional dispuso recursos para el apoyo al sector productivo que por distintas razones no llegaron a la totalidad de los productores. Sin embargo, la piscicultura regional mostró ser resiliente. A lo largo de estos diez años, la actividad se recuperó completamente observándose incluso una expansión con la aparición de nuevos emprendimientos.

7. Efectos sobre los embalses

Los embalses se vieron sujetos no solo a la deposición de ceniza sino también al acarreo de material particulado desde el río Limay. En la zona de obras del embalse Alicurá el material particulado de mayor tamaño fue derivado por barreras flotantes hacia el vertedero, mientras que el material en suspensión en la columna de agua consistente de partículas entre los 6 y 20 μm habría pasado por las instalaciones de la central sin causar efectos negativos (figura 7. 7, B-C). El material que sorteara la barrera física del embalse Alicurá fue transportando aguas progresivamente, decantando y disminuyendo en cantidad al atravesar los embalses de Piedra del Águila, Pichi Picún Leufú, El Chocón y Arroyito. Dado que los efectos sobre los peces informados por la AIC (2011) fueron similares a los descriptos para el lago Nahuel Huapi se considera que las poblaciones en los embalses habrían superado con el tiempo el impacto producido.

7. 8. Conclusiones sobre los efectos en ambientes lénticos

La evolución de las lagunas Totoral y Piré sirve de ejemplo de lo que pasó con este tipo de ambientes de pequeño a mediano tamaño en cercanías del

CVPCC. En esta clase de cuerpos de agua los impactos se produjeron por la gran deposición de material eyectado, el que acumuló tanto en forma inmediata a la erupción como durante más de un año por efecto de la escorrentía asociada a sus cuencas de drenaje. Estos procesos cambiaron la profundidad de las lagunas, así como la morfología, estructura del fondo y vegetación riparia asociada a sus márgenes. Se podría especular que la deposición de material volcánico debe haber afectado negativamente al menos a algunos componentes del bentos, tales como los microcrustáceos. Sin embargo, el hecho de que organismos como los moluscos pelecípodos del género *Diplodon* sp. y gasterópodos del género *Chilina* sp. hayan sido encontrados en grandes cantidades en forma posterior a la erupción podría indicar que aquellos organismos con capacidad de enterramiento y desplazamiento pudieron sobrevivir al evento. Por su parte, el efecto sobre los peces parece haber cambiado la estructura poblacional de las especies de salmónidos, encontrándose tan solo ejemplares adultos en el año 2016. Esto podría indicar que los peces podrían haber sido eliminados o habrían abandonado las lagunas en forma inmediata al evento volcánico. Por otro lado, la captura de tan solo ejemplares adultos en forma posterior a la erupción en estas lagunas podría indicar que tanto estas como sus tributarios aún no se habían recuperado lo suficiente como para permitir el restablecimiento de ciclos reproductivos que lleven a la presencia de ejemplares juveniles del año. Por el contrario, la presencia de grandes cantidades de puyenes chicos, al menos en la Laguna Totoral, estaría señalando que para esta especie esta laguna había recuperado condiciones de vida adecuadas.

La respuesta de cuerpos de agua lénticos de mayor tamaño está ejemplificada por las observaciones sobre el lago Nahuel Huapi. Este no presentó alteraciones significativas de las características físicoquímicas del agua de relevancia para los organismos que comúnmente lo habitan, a excepción de la transparencia que se vio reducida a unos pocos centímetros en forma inmediata a la erupción. Por otra parte, las grandes masas de ceniza flotante formadas por partículas de piedra pómez de varios centímetros de grosor y partículas finas de granulometría variable produjeron un efecto de oscurecimiento de la columna del agua. Con el paso del tiempo la ceniza flotante se hundió o fue arrastrada fuera de la cuenca. Las partículas más finas formaron inicialmente capas de dispersión de sonido a profundidad, pero después de un año y medio desaparecieron y los valores de transparencia del lago alcanzaron valores normales.

Mientras que algunos componentes del fitoplancton parecen haber prosperado debido al efecto de fotoinhibición causado por la ceniza flotante y en suspensión, otros elementos del zooplancton fueron afectados negativamente. Sin embargo, la biota planctónica del lago volvió a su estructuración espacio-temporal normal en cuanto las cenizas decantaron o

salieron del sistema acarreadas por las aguas del Limay y el lago recuperó su transparencia. Este parece ser también el caso para los organismos de las comunidades de organismos bentónicos y vegetación sumergida costera afectados por el efecto abrasivo del material depositado, las cuales se recuperaron rápidamente al desaparecer dicho efecto.

Las larvas de puyen, pieza clave del ecosistema, presentaron en la columna de agua una distribución diferencial con respecto a años anteriores. Esta se halla en apariencia asociada con la cercanía al volcán. Durante las horas diurnas las larvas en zonas próximas al volcán ocuparon en 2012 un estrato de profundidad más superficial que en años previos a la erupción. Si bien no se observó una disminución de la abundancia en gran parte de las zonas relevadas en forma posterior a la erupción, el número acotado de relevamientos y la variación de patrones de distribución encontrados tanto entre zonas como entre períodos hacen que no sea posible asegurar con certeza que las poblaciones de larvas no se hayan visto afectadas.

De acuerdo al monitoreo del ensamble de peces del lago, este no presentó cambios significativos (Vigliano y Kuroda, 2012; Vigliano y otros, 2013). Las poblaciones de peces residentes del lago no parecen haber sido afectadas en el corto plazo por la actividad volcánica, no habiéndose detectado cambios sustanciales en la abundancia o composición porcentual o estado de saludos por especie con respecto a las de años previos al evento volcánico.

Por último, los efectos a largo plazo de la erupción del CVPC del 4 de junio de 2011 u otras erupciones similares deben ser considerados en relación a la conectividad inherente a la extensa red hidrográfica de la Patagonia andina en general y de la Patagonia norte en particular, descriptas sucintamente en este capítulo y en Lallement, Macchi, Rechencq, Lippolt, Alonso y otros (este volumen). Esta conectividad es la que, en gran medida, asegura la posibilidad de recolonización ante eventos catastróficos que puedan cambiar sustancialmente las comunidades de organismos acuáticos en la Patagonia. Ya que, si bien dicha conectividad no garantiza que un ambiente particular vuelva a su estado base antes del disturbio, asegura una elevada resiliencia de los ecosistemas ante los impactos producidos por eventos catastróficos, tales como las erupciones volcánicas.

Autorías y filiaciones institucionales

Pablo H. Vigliano

Universidad Nacional del Comahue, Instituto de Investigaciones en Biodiversidad y Medioambiente (INIBIOMA), Grupo de Evaluación y Manejo de Recursos Ícticos (GEMARI). Río Negro, Argentina.

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET),
Río Negro, Argentina.

Mailén E. Lallement

Universidad de San Luis, Instituto de Matemáticas Aplicadas San Luis
(IMASL), Grupo de Estudios Ambientales (GEA). San Luis, Argentina.

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (INBIOOMA).
Río Negro, Argentina.

Patricio J. Macchi

Universidad Nacional del Comahue, Instituto de Investigaciones en
Biodiversidad y Medioambiente (INIBIOOMA), Grupo de Evaluación y
Manejo de Recursos Ícticos (GEMARI). Río Negro, Argentina.

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET),
Río Negro, Argentina.

Magalí Rechencq

Universidad Nacional del Comahue, Instituto de Investigaciones en
Biodiversidad y Medioambiente (INIBIOOMA), Grupo de Evaluación y
Manejo de Recursos Ícticos (GEMARI). Río Negro, Argentina.

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET),
Río Negro, Argentina.

Eduardo E. Zattara

Universidad Nacional del Comahue, Instituto de Investigaciones en
Biodiversidad y Medioambiente (INIBIOOMA), Grupo de Evaluación y
Manejo de Recursos Ícticos (GEMARI). Río Negro, Argentina.

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET),
Río Negro, Argentina.

María Valeria Fernández

Universidad Nacional del Comahue, Instituto de Investigaciones en
Biodiversidad y Medioambiente (INIBIOOMA), Grupo de Evaluación y
Manejo de Recursos Ícticos (GEMARI). Río Negro, Argentina.

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET),
Río Negro, Argentina.

Alejandro Sosnovsky

Universidad Nacional del Comahue, Instituto de Investigaciones en
Biodiversidad y Medioambiente (INIBIOOMA), Grupo de Evaluación y
Manejo de Recursos Ícticos (GEMARI). Río Negro, Argentina.

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET),
Río Negro, Argentina.

Marcelo F. Alonso

Universidad Nacional del Comahue, Instituto de Investigaciones en
Biodiversidad y Medioambiente (INIBIOOMA), Grupo de Evaluación y
Manejo de Recursos Ícticos (GEMARI). Río Negro, Argentina.

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET),
Río Negro, Argentina.

Gustavo E. Lippolt

Universidad Nacional del Comahue, Instituto de Investigaciones en
Biodiversidad y Medioambiente (INIBIOMA), Grupo de Evaluación y
Manejo de Recursos Ícticos (GEMARI). Río Negro, Argentina.

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET),
Río Negro, Argentina.

Lista de referencias bibliográficas

Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro (AIC).

(2011). *Erupción del complejo volcánico Puyehue-Cordón Caulle. Monitoreo ambiental en la cuenca (junio-julio 2011)*. http://www.aic.gob.ar/sitio/archivos/201806/erupci%C3%B3n%20volc%C3%A1n%20puyehue_julio%202011.pdf

Baigún, Claudio y María Cristina Marinone. (1995). Cold-temperate lakes of South America: Do they fit northern hemisphere models? *Archiv für Hydrobiologie*, 135, pp. 23-51.

Balseiro, Esteban, María Souza, Ignacio Olabuenaga, Laura Wolinski, Marcela Bastidas Navarro, Cecilia Laspoumaderes y Beatriz Modenutti. (2014). Effect of the Puyehue-Cordon Caulle volcanic complex eruption on crustacean zooplankton of Andean lakes. *Ecología Austral*, 24, pp. 75-82.

Calcagno, Alberto, María Fioriti, Fernando Pedrozo, Pablo Vigliano, Hugo López, Carmen Rey, María Razquin y Rolando Quiros. (1995). *Catálogo de lagos y embalses de la Argentina*. Subsecretaría de Recursos Hídricos, Secretaría de Obras Públicas, Ministerio de Economía y Obras y Servicios Públicos.

Camarillo-Naranjo, Juan Mariano, José Ignacio Álvarez-Francoso, Natalia Limones-Rodríguez, María Fernanda Pita-López y Mónica Aguilar-Alba. (2019). The Global Climate Monitor System: From Climate Data-Handling to Knowledge Dissemination. [Mapa] *International Journal of Digital Earth*, 12(4), pp. 394-414. <https://doi.org/10.1080/17538947.2018.1429502>

Domínguez, Lucía, Constanza Bonadonna, Pablo Forte, Paul Jarvis, Raffaelo Cioni, Leonardo Mingari, Donaldo Bran y Juan Panebianco. (2020). Aeolian Remobilisation of the 2011-Cordón Caulle Tephra-Fallout Deposit: Example of an Important Process in the Life Cycle of Volcanic Ash [Mapa]. *Frontiers in Earth Sciences*, 7(343), pp. 1-20. <https://doi.org/10.3389/feart.2019.00343>

Juncos, Romina, David Beauchamp y Pablo Vigliano. (2013). Modeling prey consumption by native and non- native piscivorous fishes: implications for competition and impacts on shared prey in an ultraoligotrophic lake in Patagonia. *Transactions of the American Fisheries Society*, 142, pp. 268-281.

Material destinado a autores
No se permite su distribución

EDITORIAL
UNRN

- Juncos, Romina, Daniela Milano, Patricio Macchi y Pablo Vigliano. (2014). Niche segregation facilitates coexistence between native and introduced fishes in a deep Patagonian lake. *Hydrobiologia*, 747(1), pp. 53-67.
- Juncos, Romina, Marina Arcagni, Andrea Rizzo, Linda Campbell, María Arribére y Sergio Ribeiro Guevara. (2016). Natural origin arsenic in aquatic organisms from a deep oligotrophic lake under the influence of volcanic eruptions. *Chemosphere*, 144, pp. 2277-2289.
- Lindegren, Martin, Pablo Vigliano y Anders Nilsson. (2012). Alien Invasions and the Game of Hide and Seek in Patagonia. *PLOS ONE*, 7(10), pp. 1-11. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0044350>
- Massaferro, Julieta, Sergio Guevara, Andrea Rizzo y María Arribére. (2005). Short-term environmental changes in Lake Morenito (41°S, 71°W, Patagonia, Argentina) from the analysis of sub-fossil chironomids. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwaters Ecosystems*, 15, pp. 23-30.
- Modenutti, Beatriz, Esteban Balseiro, James Elser, Marcela Bastidas Navarro, Florencia Cuassolo, Cecilia Laspoumaderes, María Souza y Verónica Villanueva. (2013a). Effect of volcanic eruption on nutrients, light, and phytoplankton in oligotrophic lakes. *Limnology and Oceanography*, 58, pp. 1165-1175.
- Modenutti, Beatriz, Esteban Balseiro, Marcela Bastidas Navarro, Cecilia Laspoumaderes, María Souza y Florencia Cuassolo. (2013b). Environmental changes affecting light climate in oligotrophic mountain lakes: The deep chlorophyll maxima as a sensitive variable. *Aquatic Sciences*, 75, pp. 361-371.
- Montañez, Juan, María Arribére, Andrea Rizzo, María Arcagni, Linda Campbell, y Sergio Ribeiro Guevara. (2018). Zinc in an ultraoligotrophic lake food web. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, pp. 15422-15435.
- Pérez Catán, Soledad, Natalia Juárez y Débora Bubach. (2016). Characterization of freshwater changes in lakes of Nahuel Huapi National Park produced by the 2011 Puyehue-Cordón Caulle eruption. *Environmental Science and Pollution Research*, 23, pp. 20700-20710.
- Petts, Geoffrey y Peter Callow (eds.) (1996). *River biota. Diversity and dynamics selected extracts from the rivers handbook*. Blackwell Science.
- Rechencq, Magalí. (2012). *Patrones de distribuciones espaciales y temporales de la comunidad de peces de un lago andino-patagónico y su relación con la heterogeneidad espacial del hábitat*. [Tesis para optar al título de Doctor en Biología] Universidad Nacional del Comahue, Bariloche, Río Negro, Argentina.
- Rechencq, Magalí, Alejandro Sosnovsky, Patricio Macchi, Pablo Alvear y Pablo Vigliano. (2011). Extensive diel fish migrations in a deep ultraoligotrophic lake of Patagonia Argentina. *Hydrobiologia*, 658, pp. 147-161.
- Rechencq Magalí, Pablo Vigliano, Patricio Macchi y Gustavo Lippolt. (2014). Fish distribution patterns and habitat availability in lakes Moreno Este and Moreno Oeste, Patagonia, Argentina. *Limnologica*, 49, pp. 73-83.

Rocchetta, Iara, Betina Lomovasky, María Yusseppone, Sebastián Sabatini, Flavia Bieczynski, María Ríos de Molina y Carlos Luquet. (2014). Growth, abundance, abundance and metabolic parameters of three populations of *Diplodon chilensis* subject to different levels of natural and anthropogenic organic matter input in a glacier lake of North Patagonia. *Limnologica*, 44, pp. 72-80.

Turesson, Håkan y Christer Brönmark. (2007). Predator-prey encounter rates in freshwater piscivores: Effects of prey density and water transparency. *Oecologia*, 153, pp. 281-290.

Vigliano, Pablo, David Beauchamp, Daniela Milano, Patricio Macchi, Martín García Asorey, Javier Ciancio, Marcelo Alonso, Gustavo Lippolt y María Denegri. (2009). Quantifying predation on galaxiids and other native organisms by introduced *Oncorhynchus mykiss* in an ultraoligotrophic lake in Northern Patagonia Argentina. *Transactions of the American Fisheries Society*, 138, pp. 1405-1419.

Vigliano, Pablo y Jorge Kuroda. (2012). *Evaluación de los Efectos de la Erupción del Volcán Puyehue-Cordón Caulle sobre los Ensamblajes de Peces de Arroyos del Norte de Patagonia. Informe final*. Programa de Emergencia Volcánica Universidad Nacional de Río Negro.

Vigliano, Pablo, Patricio Macchi, Alejandro Sovsnosky, Magalí Rechencq, Gustavo Lippolt, Marcelo Alonso, Mailen Lallement, María Denegri y Luciana Barone. (2013). Evaluación del impacto de las cenizas volcánicas del sistema Puyehue-Cordon Caulle sobre la fauna acuática en relación a la cuenca del Nahuel Huapi. En *Efectos de la caída de cenizas del Complejo Volcánico Puyehue (CPCC) sobre la región del Lago Nahuel Huapi* [Informe]. Convenio de Asistencia Técnica Centro Regional Universitario Bariloche (Universidad Nacional del Comahue) y Legislatura de Neuquén.

Vigliano, Pablo, Patricio Macchi, Alejandro Sovsnosky, Magalí Rechencq, Valeria Fernández, Mailen Lallement, Marcelo Alonso, Gustavo Lippolt, Santiago Juárez y Lucas Schenone. (2017). *Informe sobre la Prospección de Base de la Laguna el Totoral, Parque Nacional Nahuel Huapi*. Centro Regional Universitario Bariloche, Universidad Nacional del Comahue.

Wojcinski, Laura, Cecilia Laspoumaderes, Marcela Bastidas Navarro, Beatriz Modenutti y Esteban Balseiro. (2013). The susceptibility of cladocerans in North Andean Patagonian lakes to volcanic ashes. *Freshwater Biology*, 58, pp. 1878-1888.

A diez años de la erupción del Puyehue-Cordón Caulle

Marcelo Alonso y otros; compilación de Sandra Murriello y Gonzalo Barrios García.

Primera edición - Viedma: Universidad Nacional de Río Negro, 2023.

232 p. ; 23 x 15 cm. - (Aperturas)

ISBN 978-987-8258-38-6

1. Vulcanología. 2. Geografía Argentina. 3. Desastres Naturales.

I. Alonso, Marcelo. II. Murriello, Sandra, comp. III. Barrios García, Gonzalo, comp.

CDD 910

Material destinado a autores
No se permite su distribución

EDITORIAL
UNRN



EDITORIAL
UNRN

Universidad Nacional
de Río Negro

© Universidad Nacional de Río Negro, 2023.

editorial.unrn.edu.ar

Belgrano 526, Viedma, Río Negro, Argentina.

© Murriello, Sandra, 2023.

© Barrios García, Gonzalo, 2023.

© De los capítulos sus respectivos autores, 2023.

Queda hecho el depósito que dispone la Ley 11.723.

Dirección editorial: Ignacio Artola

Coordinación editorial: Diego Martín Salinas

Edición de textos: Verónica García Bianchi

Corrección de textos: María Candela Suárez

Corrección de pruebas: Verónica García Bianchi

Diagramación y diseño: Sergio Campozano

Imagen de tapa: Reporter Free Lance. *Erupción Cordón Caulle 2011*, 2011.

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Erupci%C3%B3n_Cord%C3%B3n_Caulle_2011.jpg

Esta obra tuvo el apoyo de la Secretaría de Investigación, Creación Artística, Desarrollo y Transferencia de Tecnología de la Universidad Nacional de Río Negro, en el marco del desarrollo y resultado del P1 UNRN 2018 40-B- 725 denominado «Percepción ambiental en Patagonia andina: memoria y prevención», así como a través de la Dirección de Publicaciones-Editorial y la Secretaría de Investigación de la Sede Andina.



Licencia Creative Commons. BY-NC-ND

Usted es libre de compartir, copiar, distribuir, ejecutar

y comunicar públicamente esta obra bajo las condiciones de:

Atribución - No-comercial - Sin obra derivada