

Efectos de una erupción volcánica Andina. El caso del Cordón Caulle, Sur de Chile (2011)

Adriano Rovira, Carlos Rojas & Silvia Díez

El evento volcánico de la erupción del Cordón Caulle iniciada el 4 de junio de 2011 y en constante actividad durante casi ocho meses, provocó un conjunto de eventos tanto sobre la población, que debió ser evacuada, como en las actividades económicas, las infraestructuras y los sistemas naturales. El área afectada cubrió la sección cordillerana de las regiones de Los Ríos y Los Lagos en el sur de Chile y las provincias de Chubut y Río Negro en Argentina. Este artículo describe las características del complejo volcánico Puyehue – Cordón Caulle y de la erupción propiamente tal. Además se da cuenta del tipo y complejidad de los efectos, así como de las repuestas gubernamentales en los dos países afectados.

Auswirkungen andiner vulkanischer Eruptionen. Der Fall des Cordón Caulle, Südchile

Die Eruption am Cordón Caulle, die am 4. Juni 2011 begann und fast über acht Monate aktiv blieb, zog eine Reihe von Folgen für die Bevölkerung nach sich, die evakuiert werden sollte, sowie für wirtschaftliche Aktivitäten, die Infrastruktur und die natürlichen Systeme. Betroffen waren die andinen Bereiche der Regionen Los Ríos und Los Lagos im südlichen Mittelchile sowie die argentinischen Provinzen Chubut und Río Negro. Der Artikel beschreibt die Charakteristiken des Puyehue-Cordón Caulle Vulkankomplexes und die Eruption selbst. Außerdem analysiert er Typ und Komplexität der Ausbruchfolgen ebenso wie die Reaktionen der Regierungen beider betroffener Länder.

Effects of an Andean volcanic eruption. The case of Cordón Caulle, Southern Chile

The Cordón Caulle, which erupted on 4 June 2011 and remained in constant activity for almost eight months, resulted in a set of consequences for the population, who should have been evacuated, and for their economic activities, the infrastructure and the natural systems. The affected area covered the Andean section of the regions of Los Ríos and Los Lagos in southern Chile, and the provinces of Chubut and Río Negro in Argentina. This article describes the characteristics of the Puyehue-Cordón Caulle volcanic complex and the eruption itself. In addition it analyses the type and complexity of the effects, as well as the governmental responses in both affected countries.

Keywords: volcanism, Cordón Caulle, Puyehue, Chile

1 Presentación

La Cordillera de Los Andes recorre alrededor de 7 000 km en el litoral del Pacífico en Sudamérica y constituye un elemento relevante tanto por su expresión en relieve, como por la conformación de un mosaico de paisajes culturales. Stadel (2001) la divide en Los Andes del Norte (Venezuela, Colombia y Ecuador); Los Andes Centrales (Perú, Bolivia, el norte de Chile y Noroeste de Argentina) y Los Andes del Sur, que desde los 25° sur y hasta los 56° sur recorren el territorio de Chile y Argentina.

La Cordillera de Los Andes constituye una constante en el paisaje del territorio de Chile sudamericano a lo largo de casi 4 600 km, desde el paralelo 17 hasta el 56 de

latitud sur, siendo así el rasgo más característico del relieve chileno. Su altura promedio va descendiendo desde el norte del país, donde alcanza altitudes por encima de los 6000 metros s. n. m., hacia el sur, llegando apenas a superar en algunas cumbres los 3000 metros s. n. m., de manera excepcional.

Para los habitantes de Chile, la Cordillera de Los Andes se percibe en tres diferentes sentidos. Primero, como paisaje. Tal como se indicó, la cordillera se constituye en un permanente telón de fondo de los paisajes chilenos, formando parte de la imagen colectiva de sus habitantes. En segundo lugar la cordillera es comprendida como una importante fuente de recursos naturales de relevancia para el desarrollo de actividades económicas. Estos recursos son tanto mineros como hidrológicos o turísticos y se valoran positivamente. Por último, en tercer lugar pero no por eso menos significativo, se la percibe como una fuente de peligro. Desde la cordillera llegan los aluviones, los deslizamientos y las erupciones volcánicas. En relación con este último tipo de fenómenos naturales, se puede afirmar que la actividad volcánica resulta relativamente familiar para los habitantes de Chile, así como para las instituciones especializadas en el estudio de estos fenómenos y las que tienen la responsabilidad de la protección civil para evitar catástrofes y poseen una amplia experiencia y conocimiento científico.

Este es el paisaje al que Christoph Stadel dedicó gran parte de su destacada actividad académica y por eso los autores de este artículo, habitantes de un país andino, han querido tomar parte en este tan merecido homenaje a quien tanto contribuyó al conocimiento del mundo de las montañas.

2 Introducción

El 4 de junio del año 2011 se inició un proceso eruptivo en la Cordillera de la Región de Los Ríos, sur de Chile, en el complejo volcánico formado por el volcán Puyehue y el Cordón Caulle. Luego de una sucesión de eventos sísmicos que se prolongó por algunos meses, comenzó este ciclo eruptivo con una fase explosiva, lanzando a la atmósfera una columna que alcanzó una altura de casi 15 km. Este evento que se mantuvo por casi ocho meses de continua emisión de cenizas y gases, causó numerosos efectos en diferentes ámbitos, tanto en Chile como en Argentina, dependiendo de la dirección predominante de los vientos.

El propósito de este artículo es analizar este fenómeno, dando cuenta de los diversos aspectos asociados a un evento natural generador de peligro y riesgo en la población, la infraestructura y las actividades económicas. En este sentido se presenta una descripción de las características geológicas y geomorfológicas del complejo volcánico y del proceso eruptivo propiamente tal, además de los efectos de la erupción y la respuesta de las instituciones frente al riesgo.

3 Antecedentes geológicos y geomorfológicos

La Cordillera de Los Andes, tiene la particularidad de poseer una gran presencia de volcanes, llegando a unos tres mil edificios volcánicos, de diferentes magnitudes, desde algunos pequeños conos de cenizas hasta calderas de gran diámetro. De ellos se estima que unos 500 pueden ser considerados geológicamente activos, 60 de los cuales tienen registros eruptivos históricos, dentro de los últimos 450 años. Algunos de estos volcanes son conos aislados que se elevan por encima del macizo de la Cordillera de Los Andes, en tanto otros aparecen agrupados en complejos volcánicos compuestos por numerosos cráteres con diferentes grados de actividad. En el caso del proceso eruptivo que se aborda en este artículo, este tuvo lugar en uno de estos complejos volcánicos, el correspondiente al Volcán Puyehue – Cordón Caulle (40,5° S, 72,2° W).

La Zona Volcánica Sur es el sector vulcanológicamente más activo de los Andes chilenos, extendiéndose desde el Tupungatito (33,40° S, 69,80° W) en la Región Metropolitana hasta el Cerro Hudson (45,90° S, 72,97° W) en los Andes Patagónicos (Dzierma & Wehrmann 2012).

Diversos centros poblados se sitúan en la vecindad de estos volcanes, permitiendo el desarrollo de actividades agrícolas, industriales, comerciales y turísticas. También algunas grandes ciudades, aunque no en la vecindad inmediata de la cadena volcánica, se encuentran emplazadas junto a sistemas de drenaje andinos, de tal manera que en caso de una erupción volcánica se encuentran potencialmente amenazadas por posibles lahares y flujos piroclásticos. Toda la región está amenazada por la caída de piroclastos finos durante erupciones explosivas, que pueden cubrir grandes superficies a considerables distancias de la fuente eruptiva en ambos flancos de la cordillera andina.

El Complejo Volcánico Puyehue-Cordón Caulle (CVPC 40,5° S, 72,2° W), situado en los Andes del Sur (37°–42° S; Lopez-Escobar et al. 1995) es uno de los grupos volcánicos más activos y peligrosos de Chile (Lara et al. 2012). Forma un alineamiento volcánico de rumbo NW–SE y casi 40 km de longitud, edificado sobre un basamento prepleistocénico heterogéneo y profundamente erosionado por la acción glacial. Constituido por un conjunto de centros emisores coalescentes pleistoceno – holocenos, en el extremo norte de él se localiza la caldera Cordillera Nevada, que corresponde a un volcán en escudo parcialmente colapsado (figura 1).

El Cordón Caulle es un sistema volcánico fisural que ha emitido un gran volumen de magma riodacítico a riolítico. En el extremo sur del alineamiento volcánico se encuentra el estratovolcán Puyehue, de composición basáltica a riolítica (Lara & Moreno 2006). Otros centros integran el conjunto, como el erosionado volcán Mencheca y una serie de conos y maares holocenos que constituyen centros periféricos (SERNAGEOMIN 2012). El complejo volcánico alcanza actualmente un volumen de alrededor de 200 km³, sus productos cubren una superficie de unos 1 200 km². Es el mayor campo volcánico en la provincia central de los Andes del Sur (Lara & Moreno 2006) y el segundo mayor campo geotérmico reconocido (Sepúlveda et al. 2004). En este sector de la cordillera de Los Andes se han reconocido varios sistemas de fallas y fracturas, con un predominio de los de dirección NE–SW, NW–SE y N10° E.

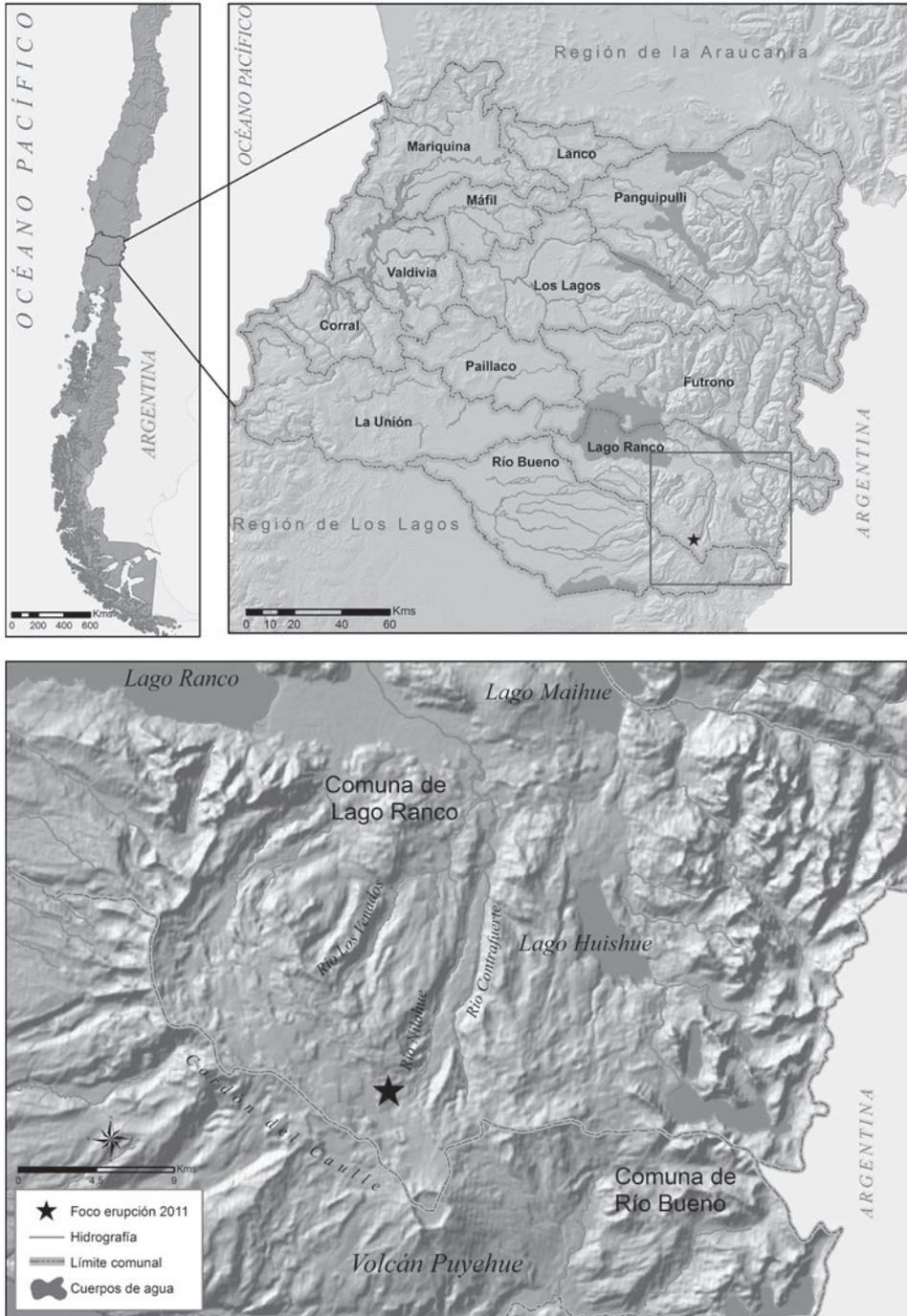


Figura 1: Mapa de localización de la zona de estudio; Fuente: Elaboración propia

Este último está representado por fallas regionales de tipo dextral en la vertiente occidental (falla Liquiñe – Ofqui) y de tipo sinistral en la vertiente oriental (figura 2).

El Cordón Caulle (40,5° S) se extiende por 15 km de longitud y 4 km de ancho, con una elevación media de 1750 m s. n. m., que ha generado un graben con origen vinculado con la tectónica del arco volcánico (Lara et al. 2012; Moreno & Muñoz 2012). Ha demostrado ser sensible a perturbaciones externas de origen tectónico, como su entrada en actividad 38 horas después del gran terremoto de 1960 en el sur de Chile (Lara et al. 2004). Los centros emisores del Cordón Caulle se sitúan tanto próximos a las paredes de la depresión como al interior de la misma, y comprenden domos, conos de piroclastos pumíceos y coladas de bloques, con una composición predominantemente dacítica a riolítica, siendo el único volcán fisural de tal composición históricamente activo en el planeta. Por otra parte, exhibe intensa actividad fumarólica, solfatárica, fuentes termales, géysers y depósitos de azufre (Moreno & Muñoz 2012).

La cronología eruptiva del Cordón Caulle anterior al siglo XXI fue estudiada por Moreno & Petit-Breuilh (1998), quienes destacan las erupciones mayores y mejor documentadas, correspondientes a las de 1921–22 y 1960. El registro eruptivo del complejo se extiende al Pleistoceno Medio, con unidades datadas en alrededor de 450 mil años (Lara et al. 2006) pero la actividad holocena se ha concentrado fundamentalmente en el volcán Puyehue y en el Cordón Caulle (Lara et al. 2006; Lara & Moreno 2006; Singer et al. 2008), este último el único con actividad histórica. En la evolución de este complejo, los productos volcánicos exhiben un amplio rango composicional que incluyen desde basaltos a riolitas, fluctuando el estilo eruptivo entre erupciones efusivas y eventos explosivos del tipo pliniano (Lara & Moreno 2006; Lara et al. 2006; Lara et al. 2012).

4 El evento eruptivo

Con anterioridad a la erupción iniciada el 04 de junio de 2011, el Cordón Caulle contaba con abundante conocimiento geológico, tectónico, geocronológico y petrológico, además de una red de vigilancia sísmica instalada como consecuencia de la crisis sismo-volcánica que experimentó en los años 2007–2008 (Moreno & Muñoz 2012).

A fines del mes de abril de 2011, el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN 2012) reportó un cambio progresivo de la sismicidad en la zona, detectándose enjambres sismovolcánicos claramente localizados bajo el área del Cordón Caulle, e incrementándose también su intensidad y su frecuencia hasta alcanzar un umbral (25 eventos/hr) que obligó a elevar el nivel de alerta a amarillo (erupción en semanas/meses) un día antes, y luego a roja 8 horas antes del inicio efectivo de la erupción, cuando la situación escaló a un enjambre más energético (Lara et al. 2012; Moreno & Muñoz 2012).

Después de 51 años de reposo, el Complejo Volcánico Puyehue – Cordón Caulle comenzó un nuevo ciclo eruptivo pasado el mediodía del día 4 de Junio de 2011. El

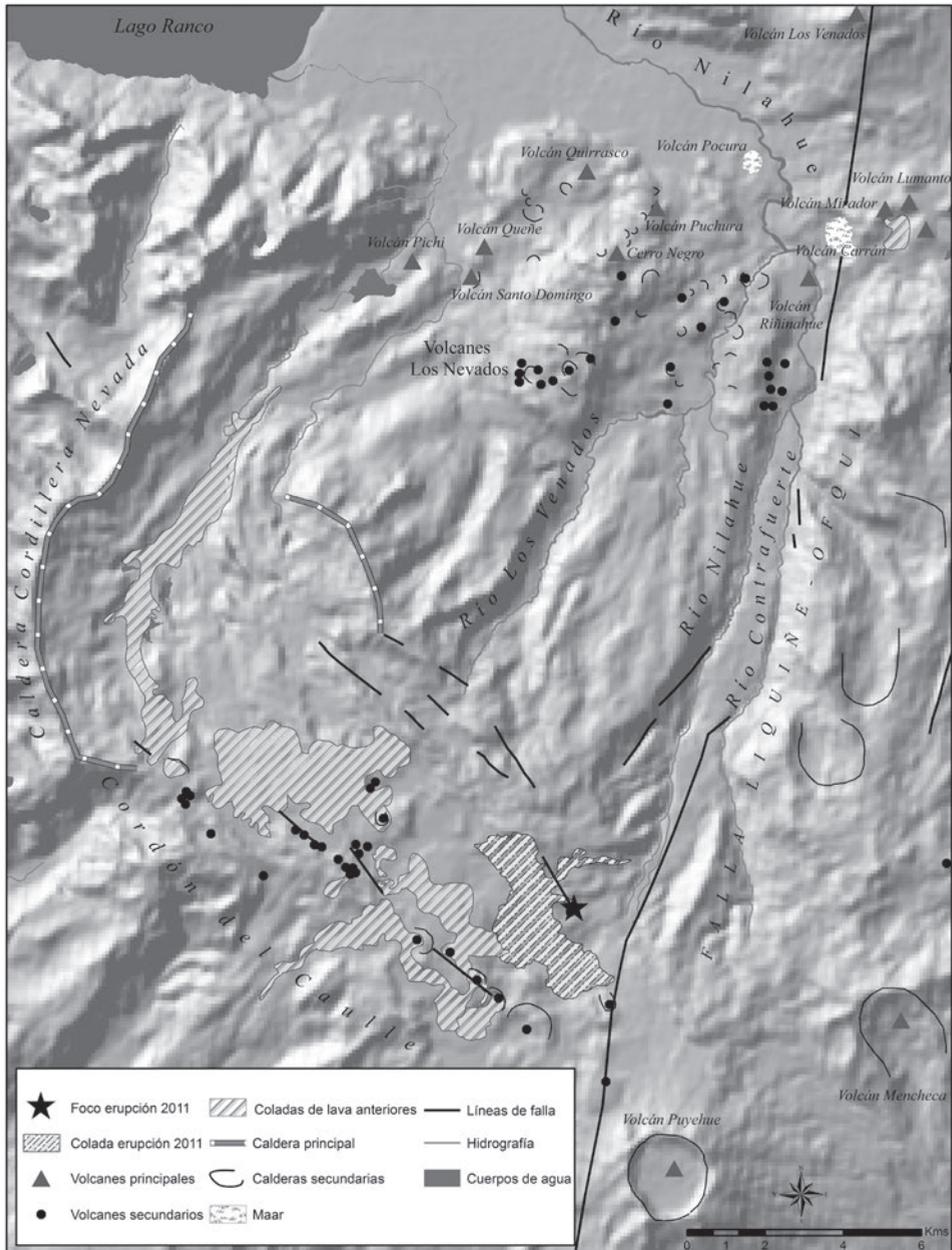


Figura 2: Complejo Volcánico Puyehue-Cordón Caulle (CVPCC 40,5° S, 72,2° W); Fuente: Elaboración propia



Figura 3: Columna eruptiva del Cordón Caulle desde el lago Puyehue. Fuente: Los autores

ciclo eruptivo se inició con una fase explosiva en la cual se desarrolló una columna eruptiva pliniana que en su máxima expansión alcanzó una altura de casi 15 km y una duración de cerca de 27 horas, con un penacho dispersándose hacia el SE, generando potentes depósitos de tefra en Chile y Argentina con un volumen estimado en 0,8–0,9 km³ (Amigo et al. 2012). A esta fase pliniana inicial le siguió una etapa de columnas eruptivas débiles, prácticamente continuas por 8 meses, consistentes de gas y partículas finas (figura 3).

Una segunda etapa habría ocurrido durante los dos días siguientes (6–7 junio) con un corto período de dispersión al NE (Lara et al. 2012; Orozco et al. 2012). Un volumen de aproximadamente 0,25 km³ de tefra silíceo (Silva et al. 2012) fue evacuado en esta fase a partir de la columna pliniana. A pocos días de iniciada la erupción, el análisis de imágenes TerraSAR-X hizo posible localizar el centro de emisión en las cercanías del curso superior del río Nilahue, en el cual se construyó un cono de piroclastos pumíceo. La evacuación de ceniza continuó durante la fase efusiva en forma de columnas bajas e intermitentes (Bertin et al. 2012a; Lara et al. 2012), persistiendo hasta marzo de 2012.

Casi recién comenzada la erupción se observaron algunos indicios de flujos piroclásticos (troncos quemados) descendiendo a lo largo del valle superior de los ríos Nilahue y Contrafuerte y se constató que el río había adquirido un color pardo oscuro, aumentando su caudal y transportando abundante pómez, verificándose el 7 de junio que las aguas del Nilahue habían aumentado su temperatura a 45 °C, determinándose como medida inmediata la evacuación de toda la población a lo largo de su valle (Moreno & Muñoz 2012). Respecto a la formación de lahares gatillados por lluvias, especialmente en quebradas de la zona cordillerana, estos tuvieron lugar en la zona del paso internacional Cardenal Samoré, a mediados del mes de junio, afectando la ruta y diferentes tipos de infraestructura (SEGEMAR 2011).

A lo largo de la historia eruptiva del Caulle, los mayores depósitos piroclásticos de caída han sido emitidos durante erupciones subplinianas y plinianas, y las plumas se han propagado preferentemente en dirección al SE (Naranjo et al. 2000), y el ciclo eruptivo iniciado en junio de 2011 no fue la excepción. Por ello las áreas más afectadas por la caída de ceniza se ubicaron en Argentina, principalmente Bariloche y El Bolsón en la provincia de Río Negro, además de Villa La Angostura en Neuquén y el norte de Chubut, cubriendo cerca de cinco millones de hectáreas con capas de hasta 30 cm de espesor.

A mediados de mes la aparición en la sismicidad local de una señal de tremor armónico, junto con la disminución de la altura de la columna eruptiva, marcaron el inicio de la fase efusiva (15 de junio), emitiéndose una lava de bloques que rellenaba la depresión interna del Cordón Caulle (Lara et al. 2012; Orozco et al. 2012). Se reconoció un flujo que progresaba a más de 30 m³/seg, cuya máxima tasa de emisión (80 m³/seg) se habría alcanzado un mes después del inicio de la erupción (Bertin et al. 2012b) iniciándose entonces una progresiva disminución hasta alcanzar un mínimo de casi 6 m³/seg a principios de octubre. La lava logró cubrir una superficie comparable a los flujos de 1960 y alcanzó un volumen estimado de 0,45 km³ emisión que estuvo acompañada de penachos débiles pero persistentes (Bertin et al. 2012b; Silva et al. 2012). Al 31 de marzo de 2012 el espesor de lava medido en terreno era de aproximadamente 30 ± 5 m (Bertin et. al 2012b).

5 Los efectos

Los efectos inmediatos de la erupción se hicieron sentir sobre la población de los asentamientos cercanos al Cordón Caulle, tanto en sus vertientes norte como en la sur (figura 4). Además del importante efecto de la nube de cenizas sobre la provincia de Río Negro en Argentina, hasta donde llegó el efecto de mayor magnitud, debido a la dirección predominante de los vientos.

Estos efectos pueden clasificarse en al menos dos grupos: los que causan problemas directos en la salud de la población, tanto por las cenizas en suspensión que dificultan la respiración, como por la contaminación de las aguas; y los que causan daños económicos tanto por los efectos sobre la infraestructura, como por la sepultación que sufren las praderas y los cultivos, bajo un manto cenizas. En el caso de las praderas se produce un problema en la alimentación del ganado, una de las actividades más importantes del sector afectado por este evento.

La población directamente afectada se definió por parte de los organismos oficiales especializados en el tema (Ministerio del Interior fundamentalmente) como los habitantes de las comunas de Futrono, Lago Ranco y Río Bueno, de la región de Los Ríos y la comuna de Puyehue, de la Región de Los Lagos, alcanzando a un total de poco más de 65 000 habitantes.

Los directamente afectados fueron los habitantes de 21 localidades rurales emplazadas en el oriente de estas comunas, en los primeros faldeos de la Cordillera de

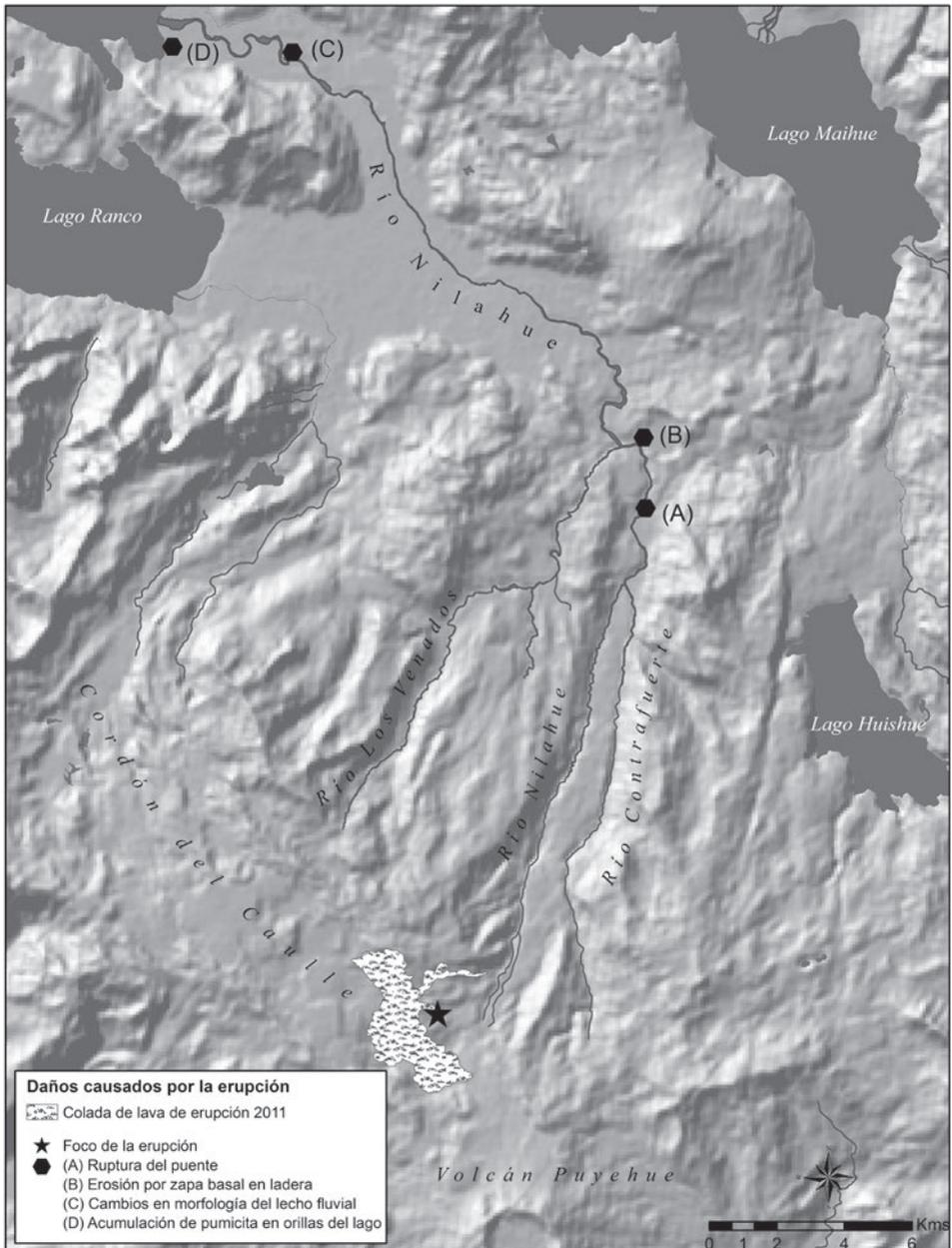


Figura 4: Mapa de localización de los daños causados por la erupción; Fuente: Elaboración propia

Los Andes, las que debieron ser evacuadas por instrucciones de la Oficina Nacional de Emergencia (ONEMI). Noticias de prensa informaron que de un total de unos 3 500 habitantes, entre 600 y 1 000 personas fueron trasladadas a albergues especialmente habilitados, en las localidades menos riesgosas, (<http://diario.latercera.com/2011/06/06/01>, accessed: 15/01/13), en tanto las restantes se refugiaron en viviendas de familiares. Para todas ellas se dispuso la entrega de un conjunto de ayudas consistentes en alimentos y ropa de abrigo y de cama. Con posterioridad, se dispuso además la entrega de ayuda económica, consistente en un monto de \$ 200 000 (400 dólares) por familia. Este bono de ayuda fue muy criticado por las autoridades locales y por los afectados, tanto por lo reducido de su monto como por la forma en que fue distribuido.

A 15 días de iniciada la erupción, los organismos técnicos (ONEMI) y las autoridades políticas nacionales y regionales, anunciaron que se levantaba la orden de evacuación dados los nuevos antecedentes científicos, por lo que se inició el regreso a los hogares. Esto reflejaba que se había logrado dimensionar el grado de riesgo a que estaba sometido el territorio de las inmediaciones del Cordón Caulle (<http://www.onemi.cl>, accessed: 15/01/13).

Aparte del riesgo físico que implica una erupción volcánica para los habitantes, la atención se centra en los daños que pueden causar las cenizas en suspensión, sobre el sistema respiratorio. Las partículas al ser inhaladas pueden llegar a provocar síntomas de asfixia. Además el depósito de estas partículas en los alvéolos pulmonares causa daños a corto y medio plazo ya que son muy difícilmente eliminables. Por ello la evaluación de los riesgos para la salud humana debe tener en cuenta tanto el tamaño de las partículas como la concentración y composición de ellas. Los compuestos más dañinos son los asociados al azufre (que generan irritación de las vías respiratorias y que en determinadas condiciones pueden llegar a ser venenosos) y el sílice que provoca enfermedades como la silicosis. De los análisis realizados por equipos de especialistas, se descartó la presencia de sílice cristalina en la fracción respirable (PM₄) de la ceniza (Wilson et al. 2012).

Por otra parte, la depositación de cenizas en los suelos, bajo condiciones de sequía favorece la resuspensión de estos materiales, por lo que los efectos se pueden prolongar por un tiempo superior a la duración del proceso eruptivo. Esto es particularmente serio en el caso de la estepa patagónica en Argentina, lo que motiva una permanente preocupación de las autoridades de salud ya que podría causar la Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica, una reducción en el crecimiento pulmonar de los niños y un agravamiento del asma en adultos y niños (Wilson et al. 2012).

Otro aspecto a considerar en cuanto a problemas con la salud de los habitantes, se refiere a los efectos sobre la composición química de los sistemas de agua para el consumo humano. Wilson et al. (2012) informan que en unas 500 muestras de agua superficial no se encontró resultados alarmantes, tanto para la salud humana como para la vida acuática. Un reporte interesante de estos autores destaca la presencia de sólidos en suspensión provocando una alta turbidez. En esas condiciones se indica que se proporciona un ambiente propicio para la proliferación de micro organismos,

protegiéndolos de los procedimientos de desinfección. Al respecto los referidos autores señalan haber recibido información no formal del incremento de afecciones estomacales en Bariloche y Villa Angostura. Sin embargo ya antes de la erupción, los sistemas de agua para consumo humano presentaban deficiencias de tratamiento micro biológico.

En lo referente a los efectos sobre las actividades ganaderas, Robles (2011) puntea como las principales consecuencias para el ganado, la acumulación de cenizas sobre el cuerpo de los animales; la irritación de los ojos; dificultades en la respiración; problemas digestivos, incremento de los abortos; muertes por caquexia e inanición, problemas dentarios; intoxicaciones por ingesta de vegetales no usuales en sus dietas; e intoxicación o deficiencia de minerales dependiendo de la composición de las cenizas. Además de la composición, también resulta importante la cantidad de cenizas caídas y la presencia de factores meteorológicos como la existencia, velocidad y dirección de los vientos y la presencia o ausencia de lluvias.

En este sentido, el diario El Mercurio, citando al Instituto Nacional de Estadísticas, que recientemente había terminado el Censo Agropecuario Nacional, señalaba que los recursos amenazados alcanzaban a 105 500 ha de praderas manejadas y 50 700 ha de praderas naturales, con lo cual se afectaba una masa ganadera del orden de 343 700 vacunos, 44 200 ovinos y 5 700 equinos. A lo anterior se agregan 6 500 ha de plantaciones forestales y 192 500 de bosque nativo. En la región más afectadas de Argentina, el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) reportó que en la provincia de Chubut se afectó unas 750 000 ovejas, mientras en la provincia de Río Negro se informó de alrededor de 60 000 cabezas de ganado en riesgo (<http://www.inta.gov.ar>, accessed 15/01/13).

Algunos cultivos sufrieron también daños por la depositación de cenizas en el follaje y en los frutos, lo que afectó principalmente a los cultivos de berries. El director regional del Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP), dependiente del Ministerio de Agricultura, en declaraciones a periodistas, dio cuenta que después del análisis foliar y fitopatológico de veinte huertos de frambuesas, se acordó entregar un bono de reparación, el que alcanzaría a los \$ 680 000 (alrededor de 1 400 dólares) con un tope de \$ 2 400 000 (unos 5 000 dólares) por cada uno de los 200 agricultores identificados como afectados por la pérdida de las cosechas, valores por hectárea de cultivo (<http://www.biobiochile.cl>, accessed 16/01/13).

Respecto a las repercusiones sobre los suelos, Seguel (s/f) señala que los efectos pueden resultar beneficiosos ya que por su tamaño, las cenizas son rápidamente meteorizadas provocando un enriquecimiento por liberación de los minerales que las componen. (<http://www.agronomia.uchile.cl/portal/extension>, accessed 15/01/13), efectos que pueden esperarse incluso de depósitos de hasta 10 cm de espesor. Sin embargo los especialistas del INTA argentino, reportan que las cenizas del Caulle son ácidas y carecen de calcio, fósforo y azufre, por lo que no se espera que resulten beneficiosas (<http://www.inta.gov.ar>, accessed 22/01/13).

5.1 Efectos en la infraestructura

La infraestructura caminera sufrió problemas como la destrucción de un par de pequeños puentes en caminos secundarios. A raíz del incremento de volumen registrado en el río Nilahue, resultó seriamente dañado el puente Juez Soto Vío. En los primeros días, se dudaba si este puente podría ser reparado, pero finalmente, en Febrero de 2012, el puente terminó por caer completamente. Este evento dejó aisladas a las comunidades más cordilleranas del sector, debiéndose habilitar vías auxiliares (figura 5).

La magnitud de la erupción obligó al cierre del principal paso internacional del sur de Chile, mientras la nube de cenizas impulsada por vientos de componente noroeste comenzaron a afectar la ciudad de Bariloche y las localidades cercanas, en Argentina, a una distancia de más de 120 km del foco de la erupción. En los días inmediatamente siguientes al inicio del ciclo eruptivo, se reportó la caída de ceniza gruesa sobre Villa Angostura, a 54 km del foco, alcanzando un espesor de 15 a 17 cm. La ciudad de Bariloche por su parte registró la caída de tefra de hasta 6 mm de tamaño y en la localidad de Jacobacci, a unos 240 km del volcán, se acumuló aproximadamente 5 cm de ceniza. Buenos Aires también se vio afectada por la ceniza registrándose la presencia de una fina capa tres días después de iniciada la erupción (Botto et al., citado por Wilson et al. 2012)

A los consiguientes daños causados en las ciudades, entre las cuales se debe destacar el caso de Villa La Angostura, hay que agregar los efectos sobre la navegación aérea. Gran parte de los aeropuertos desde el sur de Brasil hasta la Patagonia argentina y chilena, debieron cerrar durante la primera parte de la erupción por varios días (el aeropuerto internacional de Buenos Aires debió permanecer cerrado por 15 días) y luego en numerosas oportunidades, en la medida en que se registraba la llegada de cenizas, asociadas a cambios en el régimen de vientos. En la medida en que la nube de ceniza en suspensión se desplazaba por la atmósfera, los efectos sobre las rutas aéreas afectaron a puntos tan distantes como Nueva Zelandia, Australia y Sudáfrica.

El cierre de aeropuertos y la suspensión de vuelos causó un enorme daño económico a las líneas aéreas. Sin embargo el daño mayor se verificó sobre las actividades turísticas, principalmente en las localidades de Bariloche y Villa La Angostura. Ambas ciudades recibieron grandes volúmenes de cenizas y sufrieron cortes de energía eléctrica y de agua potable, en varias oportunidades lo que obligó a las autoridades provinciales a decretar emergencia económica y social y estado de desastre. Las autoridades locales por su parte, desarrollaron una serie de iniciativas tendientes a tratar de mantener la normalidad. Sin embargo fueron los propios vecinos los que se organizaron para superar la emergencia, limpiar las calles y los techos de las viviendas, buscando recuperar su calidad de vida y enfrentar los problemas económicos producto de la casi total pérdida de la actividad turística que es la base de la economía local (Linares 2012).



Figura 5: Reconstrucción del Puente Juez Soto Vío (marzo, 2013). Marcado con letra A en la figura 4 (Fuente: Los autores)

5.2 Efectos sobre los sistemas naturales

Si bien buena parte de lo señalado en los párrafos anteriores reflejan efectos sobre la naturaleza (aire, suelo, vegetación), hay algunos impactos que son específicos o que merecen ser mencionados aparte.

En primer lugar se debe mencionar el efecto de la erupción sobre los cursos de agua. Los tres ríos más importantes que se originan en la zona del Complejo Volcánico (el Gol-Gol, el Nilahue y el Riñinahue), pertenecen a la hoya del río Bueno. Los cursos de agua que bajan desde la cadena volcánica hacia el SW y W desaguan en el río Gol-Gol, en el lago Puyehue o en el río Pilmaiquén. Hacia el NW y N descienden los ríos Riñinahue, Los Venados y Nilahue, que desaguan en el lago Ranco. La mayoría de los esteros que surcan la meseta volcánica presentan aguas temperadas y salobres con temperaturas entre 15 °C y 90 °C. Los arroyos por su parte no son muy numerosos debido a la alta permeabilidad de la pómez. Esto origina flujos de agua subterránea que tienen relación directa con las fuentes termales (Moreno 1974).

El río más afectado directamente fue el Nilahue, que fluye sobre una topografía volcánica abrupta, con unos 41 km de longitud, drenando una cuenca de 196 km² (Huechan 1997). El aumento de caudal asociado tanto al efecto directo de la erupción como a la gran cantidad de sedimentos que arrastró, derivó en una variedad de efectos de erosión y sedimentación, que han modificado las riberas y el lecho del río (figura 6). Entre estos efectos destaca una fuerte erosión en la ladera sur del maar del Volcán Carrán (figura 7).

El 9 de junio, cinco días después de iniciada la erupción, se informó de un aumento de la temperatura del río, subiendo de los 5 °C normales, hasta 45 °C, provocando la muerte de alrededor de 4,5 millones de peces en una piscifactoría. A causa de ello se monitoreó el contenido de ácido sulfhídrico en las aguas, no encontrándose



Figura 6: Cambios en la morfología y color del cauce fruto de la crecida posterupción. Marcado con letra C en la figura 4 (Fuente: Los autores)



Figura 7: Erosión por zapa basal en el cauce del río Nilahue. Construcción de obras de defensa. Marcado con letra B en la figura 4. (Fuente: Los autores)

concentraciones peligrosas. Los análisis químicos y físicos de las aguas del Nilahue no ofrecieron mayores problemas, con excepción del ya mencionado aumento de la temperatura y los problemas derivados del incremento de la turbidez por el alto contenido de cenizas.

Uno de los efectos visuales más llamativos de la erupción del Cordón Caulle sobre el paisaje, además de la caída de ceniza sobre amplios sectores de las regiones de Los Ríos y de Los Lagos, fue la acumulación de piroclastos, básicamente pumicita, en la superficie de varios lagos de las regiones involucradas: Ranco, Puyehue, Huishue, Gris y Maihue en Chile; Espejo, Correntoso y Nahuel Huapi en Argentina.

Arrastrada por los cursos de agua hasta ellos, la pumicita cubrió vastas extensiones de las riberas lacustres, formando embalsados de pumicita de más de 100 m de ancho



Figura 8: Acumulación de pumicita en las orillas del lago Ranco. Marcado con letra D en la figura 4 (Fuente: Los autores)

y muchos km de longitud que quedaron flotando en la superficie durante algunos meses, llegando a generar una interfase pumicita – agua que en algunos casos superaba los 50 cm de espesor. La suspensión de partículas finas (cenizas) en la columna de agua provocó un cambio en el color de las mismas. Esta capa flotante generó perjuicio para las actividades turísticas, dispersándose a lo largo de las riberas lacustres a causa del viento y las corrientes locales (figura 8).

Los efectos generales asociados a la erupción afectó la calidad visual de los paisajes, debido a la depositación de cenizas y pumicita, lo que fue notorio tanto en los cuerpos como en los bordes y las playas de los ríos y lagos del área comprometida en la erupción (Villagra & Jaramillo 2012). Sin embargo estos autores afirman que tales cambios en los paisajes no deberían tener efectos sobre la actividad turística a largo plazo, ya que los visitantes disfrutaban de la belleza escénica del área como un todo.

6 Conclusiones

Un evento natural como la erupción analizada, provoca un conjunto de efectos sobre los sistemas territoriales en su área de influencia, tanto en los inmediatamente próximos, como en aquellos que pese a la mayor distancia, igualmente se ven alterados. Un fenómeno de esta magnitud genera problemas a la población, modifica sus hábitos de vida, afecta las actividades económicas y daña las infraestructuras, todo lo cual alcanza una expresión económica que puede adquirir enormes proporciones. La respuesta que puede dar la institucionalidad pública reviste relevancia en estas circunstancias, ya que en gran medida de ello depende la vida de los habitantes y las posibilidades de recuperación del territorio. No menos importante es advertir la importancia de contar con información precisa respecto a las probabilidades de ocurrencia

de eventos generadores de riesgo, así como de procedimientos claros de mitigación y disponibilidad de información y formación de los habitantes para que cuenten con todos los antecedentes que les permitan tomar las decisiones más adecuadas.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Dr. Axel Borsdorf por la oportunidad de tomar parte en este libro homenaje. También agradecen a Christoph Stadel sus contribuciones al conocimiento del ambiente de montaña, especialmente Los Andes, pero sobre todo por su calidad y calidez personal.

Bibliografía

- Amigo, A., D. Bertin, G. Orozco, C. Silva & L. Lara 2012: Pronósticos de dispersión piroclástica y depósitos de caída durante la erupción del Cordón Caulle, junio 2011. En: *Actas 13° Congreso Geológico Chileno, Antofagasta, Chile, 05-09 Agosto 2012*: 474–476.
- Bertin, D., A. Amigo & R. Delgado 2012a: Erupción del Cordón Caulle 2011–2012. En: *Análisis de dispersión bajo columna eruptiva débil. Actas 13° Congreso Geológico Chileno, Antofagasta, Chile, 05–09 Agosto 2012*: 609–611.
- Bertin, D., A. Amigo, L. Lara, G. Orozco & C. Silva 2012b: Erupción del Cordón Caulle 2011–2012. Evolución fase efusiva. En: *Actas 13° Congreso Geológico Chileno, Antofagasta, Chile, 05–09 Agosto 2012*: 545–547.
- Dzierma, Y. & H. Wehrmann 2012: On the likelihood of future eruptions in the Chilean Southern Volcanic Zone: interpreting the past century's eruption record based on statistical analyses. *Andean Geology* 39 (3): 380–393. <http://www.andeangeology.cl/index.php/revista1/article/viewFile/V39n3-a02/pdf> (accessed: 25/03/13).
- Huechan, A. 1997: *Análisis de subcuencas en torno al Lago Ranco, Provincia de Valdivia, X Región*. Tesis Profesor de Historia, Geografía y Educación Cívica. Facultad de Filosofía y Humanidades.
- Lara, L., A. Amigo, C. Silva, G. Orozco & D. Bertin 2012: La erupción 2011–2012 del Cordón Caulle: antecedentes generales y rasgos notables de una erupción en curso. En: *Actas 13° Congreso Geológico Chileno, Antofagasta, Chile, 05–09 Agosto 2012*: 531–533.
- Lara, L. & H. Moreno 2006: *Geología del Complejo Volcánico Puyehue – Cordón Caulle, Región de Los Lagos*. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica 99.
- Lara, L., A. Lavenú, J. Cembrano & C. Rodríguez 2006: Structural controls of volcanism in transversal chains: resheared faults and neotectonics in the Cordón Caulle – Puyehue area (40.5°S). *Southern Andes. Journal of Volcanology and Geothermal Research* 158: 70–86.
- Lara, L., J. Naranjo & H. Moreno 2004: Rhyodacitic fissure eruption in Southern Andes (Cordón Caulle; 40.5°S) after the 1960 (Mw: 9.5) Chilean earthquake: a structural interpretation. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 138: 127–138.
- Linares Calvo, X. 2012: *El Caulle, La erupción y sus consecuencias en el país Vecino: Argentina*. <http://puertoapuerto.cl/>. Posted on enero 18, 2012 (accessed: 21/01/13).
- López-Escobar, L., J. Cembrano & H. Moreno 1995: Geochemistry and tectonics of the Chilean Southern Andes basaltic Quaternary volcanism (37°–46°S). *Revista Geológica de Chile* 22, 2: 219–234.
- Moreno, H. 1974: Fuentes termales y depósitos de azufre del área del volcán Puyehue, provincia de Valdivia. *Revista Geográfica de Chile Terra Australis* 22–23: 11–23.

- Moreno, H. & M.E. Petit-Breuilh 1999: El volcán fisural Cordón Caulle, Andes del Sur (40.5°S): Geología general y comportamiento eruptivo histórico. En: *14° Congreso Geológico Argentino, Actas 2*. Salta: 258–260.
- Moreno, H. & J. Muñoz 2012: Asistencia volcanológica durante la fase explosiva de junio de 2011 de la erupción en el volcán Cordón Caulle, Andes del Sur. En: *Actas 13° Congreso Geológico Chileno, Antofagasta, Chile, 05–09 Agosto 2012*: 839–841.
- Naranjo, J., H. Moreno, E. Polanco & L. Lara 2000: Síntesis de la tefrocronología postglacial, Andes del Sur de Chile continental, entre los 33°20'S y 41°20'S. En: *9° Congreso Geológico Chileno, Puerto Varas, 31 Julio–4 Agosto 2000*: 50–51.
- Orozco, G., L. Lara, A. Amigo, C. Silva & D. Bertin 2012: Evaluación de peligros volcánicos durante períodos de crisis: ejemplo del Cordón Caulle 2011–2012. En: *Actas 3° Congreso Geológico Chileno, Antofagasta, Chile, 05–09 Agosto 2012*: 536–538.
- Robles, C. 2011. Consecuencias de la erupción del volcán Puyehue sobre la salud del ganado en la región patagónica. *Revista Presencia* 57 (INTA Bariloche). Junio de 2011. Publicado en el sitio http://inta.gov.ar/documentos/el_29_de_Noviembre_de_2011 (accessed: 15/01/13).
- SEGEMAR 2011: *Erupción del complejo volcánico Puyehue-Cordón Caulle*. Informe 14 junio 2011. http://www.segemar.gov.ar/puyehue/informe_14_de_junio_de_2011.pdf (accessed: 24/03/2013).
- Seguel, O. 2012: *Implicancias de la erupción del Cordón Caulle sobre los suelos*. <http://www.agronomia.uchile.cl/> (accessed: 25/01/13)
- Sepúlveda, F., A. Lahsen, K. Dorsch, C. Palacios & S. Bender 2005: Geothermal exploration in the Cordón Caulle region, Southern Chile. En: *Proceedings World Geothermal Congress 2005, Antalya, Turkey, 24–29 April 2005*: 1–9. <http://cabierta.uchile.cl/revista/27/articulos/pdf/paper1.pdf> (accessed: 25/03/13).
- Sepúlveda, F., K. Dorsch, A. Lahsen, S. Bender & C. Palacios 2004: The chemical and isotopic composition of geothermal discharges from the Puyehue-Cordón Caulle area (40.5°S), Southern Chile. *Geothermics* 33, 5: 655–673.
- SERNAGEOMIN 2012: *Complejo Volcánico Puyehue-Cordón Caulle*. <http://www.sernageomin.cl/volcan.php?id=38> (accessed: 05/03/13).
- Silva, C., L. Lara, A. Amigo, D. Bertin & G. Orozco 2012: Caracterización de los principales productos eruptivos emitidos durante la erupción del Complejo Volcánico Puyehue-Cordón Caulle 2011–2012. En: *Actas 13° Congreso Geológico Chileno, Antofagasta, Chile, 05–09 Agosto 2012*: 539–541.
- Singer, B., B. Jicha, M. Harper, J. Naranjo, L. Lara & H. Moreno 2008: Eruptive history, geochronology, and magmatic evolution of the Puyehue-Cordón Caulle volcanic complex, Chile. *GSA Bulletin* 120, 5–6: 599–618.
- Stadel, C. 2001. “Lo andino”: Andean environment, philosophy and wisdom. IV simposio internacional de desarrollo sustentable en Los Andes. En: *Sesión Los Andes, escenario de cambios a distintas escalas. Mérida, Venezuela, 25 de Noviembre – 2 de Diciembre, 2001*: 3–12. <http://hoeger.com.ve/amal/sesion-andes.html> (accessed: 20/03/13)
- Villagra, P. & E. Jaramillo 2012: Environmental Education through an Interdisciplinary Approach: The Effects of the Volcanic Eruption of the Puyehue-Cordón Caulle Volcanic Complex on the Landscape of Southern Chile. *Landscape Review* 14, 2: 23–33.
- Wilson, T., C. Stewart, H. Bickerton, P. Baxter, A.M. Outes, G. Villarosa & E. Rovere 2012: *Informe Especial: Impactos en la salud y el medioambiente producidos por la erupción del Complejo Volcánico Puyehue-Cordón Caulle del 4 de Junio de 2011: Informe de un equipo de investigación multidisciplinario*. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. http://www.conicet.gov.ar/new_scp (accessed: 15/01/13)

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [IGF-Forschungsberichte \(Instituts für Interdisziplinäre Gebirgsforschung \[IGF\]\) \(Institute of Mountain Research\)](#)

Jahr/Year: 2013

Band/Volume: [5](#)

Autor(en)/Author(s): Rovira Adriano, Rojas Carlos, Diez Silvia

Artikel/Article: [Efectos de una erupción volcánica Andina. El caso del Cordón Caulle, Sur de Chile \(2011\) 288-304](#)