



**Impacts of the June 2011 Puyehue-Cordón Caulle
volcanic complex eruption on urban infrastructure,
agriculture and public health**

T. Wilson	C. Stewart	H. Bickerton	P. Baxter
V. Outes	G. Villarosa	E. Rovere	

**GNS Science Report 2012/20
January 2013**

BIBLIOGRAPHIC REFERENCE

Wilson, T.; Stewart, C.; Bickerton, H.; Baxter, P.; Outes, V.; Villarosa, G.; Rovere, E. 2013. Impacts of the June 2011 Puyehue-Cordón Caulle volcanic complex eruption on urban infrastructure, agriculture and public health, *GNS Science Report 2012/20*. 88 p.

T. Wilson, University of Canterbury, Private Bag 4800, Christchurch 8140, New Zealand
C. Stewart, University of Canterbury, Private Bag 4800, Christchurch 8140, New Zealand
H. Bickerton, University of Canterbury, Private Bag 4800, Christchurch 8140, New Zealand
P. Baxter, University of Cambridge, Cambridge CB2 2SR, United Kingdom
V. Outes, INIBIOMA (CONICET-Universidad Nacional del Comahue), Quintral 1250, CP. 8400, Bariloche, Rio Negro, Argentina
G. Villarose, INIBIOMA (CONICET-Universidad Nacional del Comahue), Quintral 1250, CP. 8400, Bariloche, Rio Negro, Argentina
E. Rovere, SEGEMAR, Buenos Aires, Argentina

CONTENTS

ABSTRACT	III
KEYWORDS	IV
1.0 INTRODUCTION	1
2.0 BRIEF OVERVIEW OF THE PUYEHUE-CORDÓN CAULLE ERUPTION.....	3
2.1 Grain size characteristics	4
2.2 Remobilisation of ash deposits.....	4
3.0 OBSERVATIONS	5
3.1 Public health consequences of the eruption	5
3.1.1 Airborne ash hazards	5
3.1.2 Drinking water hazards.....	7
3.2 Pastoral farming	9
3.2.1 Impacts of the eruption.....	9
3.2.2 Strategies for recovery/recommendations	10
3.3 Eruption impacts on infrastructure.....	11
3.3.1 Electricity networks.....	11
3.3.2 Water supplies.....	12
3.3.3 Wastewater treatment	13
3.3.4 Transport	13
3.3.5 Cleanup of urban environments	14
3.3.6 Communications.....	15
3.4 Emergency management	15
3.4.1 Eruption warning and understanding of volcanic consequences	16
3.4.2 Local-Regional-National Civil Protection (emergency management) framework	16
3.4.3 Summary and recommendations	17
4.0 ACKNOWLEDGEMENTS.....	21
5.0 REFERENCES	21

FIGURES

Figure 2.1	Study area location showing ash isopachs (cm), population centres visited and sampling sites	3
-------------------	--	---

APPENDICES

APPENDIX 1: HEALTH HAZARDS OF VOLCANIC ASH FROM THE PUYEHUE-CORDÓN CAULLE ERUPTION.....	25
A1.1 Background	25
A1.2 Current status of the ash problem at the time of our visit.....	26
A1.3 Meetings held	26
A1.4 Grain size distribution	26
A1.5 Presence of crystalline silica	26
A1.6 Exposure measurements	27
A1.7 Clinical effects of exposure to fine particles (PM _{2.5}) in ash-impacted areas	28
A1.8 Toxicological aspects	29
A1.9 Public health research.....	30
A1.10 Measuring exposure to PM	30
A1.11 Reducing exposure to ash.....	31
A1.12 Animal studies	32
A1.13 Impacts of Andean eruptions.....	32
APPENDIX 2: SURFACE WATER QUALITY DATA COLLECTED IN STUDY REGION FOLLOWING THE JUNE 2011 PCC-VC ERUPTION	33
APPENDIX 3: DATA FROM VILLA LA ANGOSTURA	37
APPENDIX 4: PREVIOUS INVESTIGATIONS ON 1991 HUDSON ERUPTION	39
APPENDIX 5: 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.....	41

APPENDIX TABLES

Table A 2.1	Physicochemical properties of surface waters used for drinking-water supplies in greater Bariloche region	33
Table A 2.2	Physicochemical properties of source waters used for drinking-water supplies and treated water in distribution system in Villa la Angostura.....	34
Table A 2.3	Time series of physicochemical properties in tap water collected from Barrio Las Piedritas, Villa la Angostura.....	35
Table A 2.4	Time series of physicochemical properties in tap water collected from central Villa la Angostura	35
Table A 3.1	Tap water (<i>agua de red</i>) collected on 11 July 2011 from different neighbourhoods of Villa la Angostura	37

ABSTRACT

Effects of the June 2011 eruption of the Puyehue-Cordón Caulle volcanic complex (PCC-VC) on urban infrastructure, agriculture and public health in Argentina were investigated by a multidisciplinary team from New Zealand, the United Kingdom and Argentina. The team also studied the emergency management of the eruption crisis. Field work was carried out between 27 February and 16 March 2012. Efforts were focused on the population centres that received the greatest ashfalls (Villa la Angostura, San Carlos de Bariloche and Ing. Jacobacci), and on agricultural regions affected by ashfall.

A notable feature of this eruption (and other eruptions in Patagonia) has been the extensive remobilisation of unconsolidated ash deposits by the strong prevailing winds in the region. Towns on the steppe such as Jacobacci have been particularly severely affected, and at the time of our visit, severe air quality problems were continuing to occur on a regular basis.

The public health response to the widespread ash fall was limited by a lack of information given to the population about: possible short and long term health effects of exposure to the ash; particle size and composition of the ash; and results of measurements of the ash concentrations in the air to assess the risk to respiratory health. The most important single finding is the low level of crystalline silica (which can cause silicosis) in the respirable ash fraction (PM_{4}), but further tests on a wider geographical range of samples are needed to fully confirm this result. However, a large fraction of $PM_{2.5}$ is present in the ash and the ash deposits are very persistent in the arid areas leading to continuing, abnormally high exposure to $PM_{2.5}$ and PM_{10} in the settlements in the steppe region, which is of great concern as it could carry long term risks to respiratory health, such as chronic obstructive pulmonary disease (COPD), and reduction in lung growth in children, as well as aggravation of asthma in adults and children. A programme of background air pollution assessment and monitoring of ash levels inside houses and in individual groups of people at risk needs to be conducted in the steppe region as a matter of urgency, together with epidemiological research and respiratory disease surveillance. Special measures to reduce the infiltration of ash into homes and buildings such as schools during the frequent episodes of strong winds continue to be needed and should be more widely adopted. Methods to reduce the movement of ash by the winds and effective cleanup of ash from streets and around homes need to be actively pursued and strengthened.

The eruption had severe effects on extensive livestock farming in the mallines in the Comallo to Jacobacci region, with stock losses of 40-60%. Causes of death included starvation, dehydration, rumen blockages and abrasion damage to teeth. The effects of the eruption were compounded by the pre-existing drought conditions in the region. Effects were comparatively less severe in farming areas closer to the volcano (with stock losses of around 25%), despite this region receiving much greater ashfall. We have suggested some strategies for agricultural recovery based on our experiences of other eruptions in Patagonia.

For electricity supplies, the ashfall caused widespread disruption throughout the study area, with the main effect being insulator flashover due to ash contamination of line and substation insulators. Bariloche experienced an electricity outage on 7 June, which lasted for over 24 hours in some parts of the city. A point of vulnerability was that the city is supplied from the national grid through a single transmission line and one grid exit point substation, which failed. Backup generators (gas and diesel-powered) also failed as their air intakes blocked with ash.

Each of the three population centres studied experienced different impacts on their water supply networks. In Bariloche, the city's water treatment plant provides around 80% of the potable water supply. This plant is designed for a very low level of turbidity (0.2-0.4 NTU) in the raw water source. The eruption caused an increase in turbidity to 26 NTU, which was a major challenge for the plant. Ash entered the plant via the intake, and caused abrasional damage to pump impellers and additional wear and tear on pump motors. Cleaning of ash from slow sand filters required a greatly increased level of maintenance, for several months. However, the only service interruption was caused by a city-wide power outage. In Villa la Angostura, diverse sources are used for water supplies. The most severe problems were experienced with the stream-fed systems, which were inundated with ash and had to be cleared out manually. These systems still experience problems in rainy conditions. In Jacobacci, the water supply is entirely groundwater-derived, and as pumphouses are enclosed, the system proved resilient to ashfall. The main challenge was in meeting water demand.

The main problem experienced at Bariloche's wastewater treatment plant was that a large volume of ash entered the plant via sewer lines, and accumulated in the biological reactor which is the heart of the system and cannot be taken offline. This in turn reduced the capacity of the reactor due to the accumulation of one metre of ash on the bottom of the 4.5 m deep tank. At the time of our visit, management were still investigating options for clearing out this ash.

The removal of ash from business and residential districts is vital for recovery. However, cleanup operations are more complex than just removing ash; it also needs to be disposed of and stabilised to avoid future problems with remobilisation. All three population centres studied faced significant challenges and costs with cleanup operations.

The most severe disruption to transport networks in the depositional area was the closure of Bariloche airport at 5 p.m. on 4 June, just before the arrival of the ash plume. The airport did not receive an official warning, but was advised of the impending arrival of the plume by a pilot on an incoming flight. The airport was closed until 5 July for the cleanup operations. Even though the airport re-opened for business on 5 July, it was many more months before the country's two major airlines (LAN Chile and Aerolineas Argentinas) resumed regular services to Bariloche, as eruptive activity continued at Cordón Caulle.

In terms of emergency management of the eruption crisis, it was evident to us that there is a dedicated and capable group of emergency and infrastructure managers who have worked hard to respond to and recover from the eruption crisis. However these individual efforts were hampered by poor overall coordination between local, regional and national levels of civil protection and poor liaison with scientific agencies and with volcano observatories in Chile. Given the frequency of eruptions from Andean volcanoes, it is vital that the lessons learned be embedded to reduce the vulnerability of this area to future eruptions.

Finally, we would like to note that this report presents our observations of the eruption crisis in Argentina. It is not an official record of the event.

KEYWORDS

Puyehue-Cordón Caulle Volcanic Complex, June 2011 eruption, Volcanic ash, Emergency management, Public health impacts, Infrastructure impacts, Agricultural impacts

1.0 INTRODUCTION

A field team travelled to Chile and Argentina over the period 27 February to 16 March 2012, to investigate the impacts and consequences of the June 2011-present eruption of the Puyehue-Cordón Caulle volcanic complex (hereafter referred to as PCC-VC), Chile. Specific objectives of the visit were to investigate:

- impacts of the eruption on critical infrastructure in urban areas;
- impacts on agriculture including impacts on livestock health, evacuation, adaptations in farming practices and timescales of recovery and rehabilitation of farmland;
- the emergency management of the eruption crisis and identify important lessons learned;
- the phenomenon of remobilisation of ash deposits by wind and fluvial action; and
- public health implications of the eruption.

The members of the field team were Dr Tom Wilson, Dr Carol Stewart and Heather Bickerton, of the University of Canterbury, New Zealand, and Dr Peter Baxter, of the University of Cambridge, UK, who joined the team between 27 February and 5 March. The team received a great deal of assistance from local collaborators Dr Gustavo Villarosa and Lic. Valeria Outes from INIBIOMA¹ (CONICET/Universidad Nacional del Comahue, Bariloche). Dr Elizabeth Rovere of Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR) organised Dr Peter Baxter's schedule and identified many local contacts. This work is supported by a wider group of colleagues in New Zealand, the United States and the UK, from the following organisations: GNS Science, Massey University, Durham University and the US Geological Survey. Review comments on this report were provided by Dr John Ewert, USGS; Dr Graham Leonard, GNS Science, New Zealand; Professor David Johnston, Massey University/GNS Science, New Zealand; Dr Richard Smith, Ministry of Civil Defence and Emergency Management, New Zealand and Dr Claire Horwell, Durham University, UK.

The overall goal of our research is to reduce vulnerability to volcanic eruptions; specific aims are to improve understanding of the impacts of eruptions (and in particular, volcanic ashfall, which is the most widely distributed product of explosive eruptions) on human health, agriculture and critical infrastructure and to move towards identifying best practices for emergency management. We have undertaken volcanic impact assessments in a range of countries worldwide, including previous work in Patagonia following the 1991 Hudson and 2008 Chaitén eruptions. We work within the auspices of the Volcanic Ash Impacts Working Group and the International Volcanic Health Hazard Network (IVHHN).

A preliminary version of this report was prepared in May 2012 with our research collaborators as an immediate record of our observations of the eruption crisis in Argentina, with the intention that it be a timely and useful resource for the authorities there. It was translated into Spanish, and is included here as Appendix 5 in this Science Report. Readers should note that there are minor differences between the preliminary report and this Science Report as a consequence of the review process.

¹ Instituto de Investigaciones en Biodiversidad y Medioambiente, hosted at the Centro Científico Tecnológico Comahue

2.0 BRIEF OVERVIEW OF THE PUYEHUE-CORDÓN CAULLE ERUPTION

On 27 April 2011 a swarm of volcano-tectonic earthquakes was detected, centred on the Cordón-Caulle fissure zone (OVDAS-SERNAGEOMIN, 2011). These earthquakes continued to increase in magnitude and frequency until Saturday 4 June when the current eruption sequence began. A 5 km-wide ash and gas plume rose to 12.2 km height, accompanied by pyroclastic density currents. By the early hours of Sunday 5 June, ash falls had occurred in the following population centres (Figure 2.1):

- Approximately 15-17 cm of coarse ash fall was received in Villa la Angostura, 54 km ESE of the vent;
- Approximately 3-4.5 cm of medium to coarse tephra (up to 6 mm-sized for particularly flat particles, 3-4 mm for the more spherical pyroclasts) was received in the city of San Carlos de Bariloche, located 100 km SE of the vent;
- Approximately 5 cm of fine ash was received in Ing. Jacobacci, located 240 km ESE of the vent on the steppe. The greater thicknesses of ash deposited in the Jacobacci region may be due to secondary thickening effects (Brazier et al., 1983).

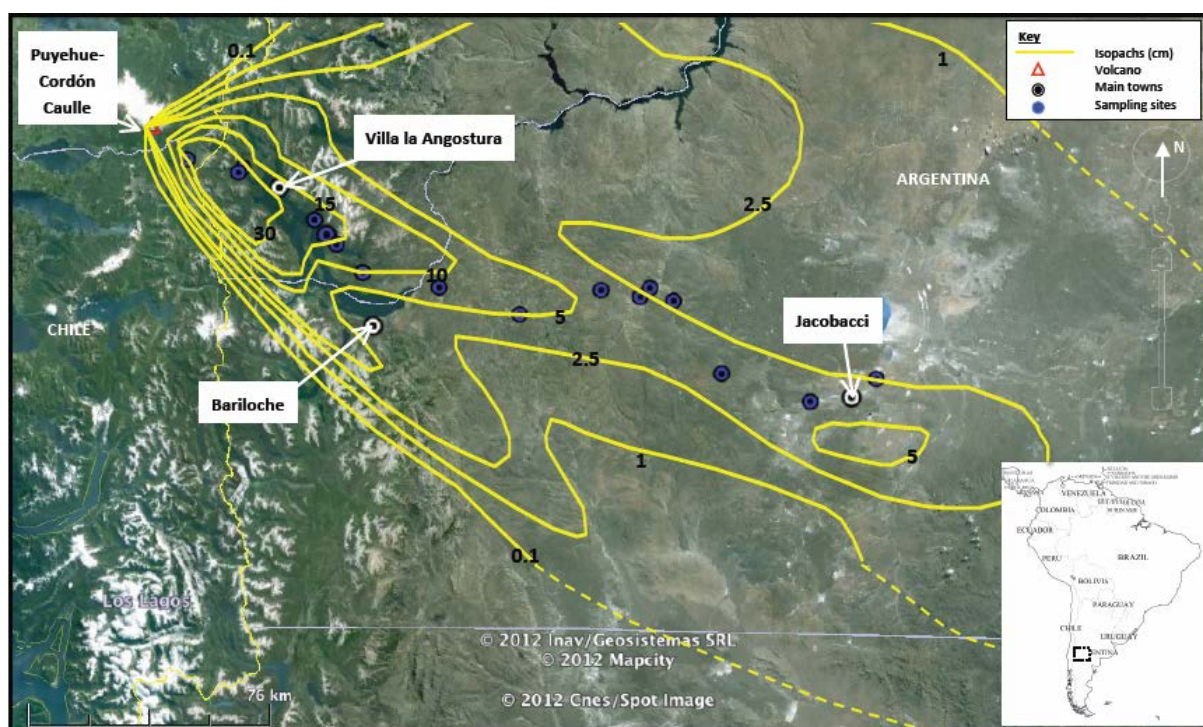


Figure 2.1 Study area location showing ash isopachs (cm), population centres visited and sampling sites.

By 7 June the pumice and ashfall had moved further north to deposit up to 2 cm on San Martín de los Andes, 80 km to the NE. Ash and gas plumes continued to erupt from the fissure with heights up to 13 km, reducing to a few kilometres by early July. A summary of ash plume altitudes and drift distances and directions, as documented by aviation authorities, is available on the Smithsonian Institution Global Volcanism Program website². Volcanic ash particles were detected on air quality monitoring filters in Porto Alegre, Brazil, over 2000 km to the northeast of PCC-VC, on 9 June and 14 June (de Lima et al., 2012). Between 4-14

² http://www.volcano.si.edu/world/volcano.cfm?vnum=1507-15=&volpage=var#bgyn_3703

June, numerous flights were disrupted in Paraguay, Uruguay, Chile, southern Argentina and Brazil. The two major airports serving Buenos Aires and the international airport in Montevideo, Uruguay, were closed for several days, along with airports in Patagonia. The ash plume continued to drift east, and in the second half of June and early July, widespread flight disruptions were caused in New Zealand, Australia and South Africa.

2.1 GRAIN SIZE CHARACTERISTICS

Grain size distributions from samples collected in Villa La Angostura during June 2011 reflect the variations of eruptive parameters, direction and intensity of winds. The coarse-grained samples collected during the first four days of the eruption were mainly composed of lapilli and coarse ash with the main fraction in the range 500 µm to 1.5 mm and less than 1 weight %³ <63 µm. A sample collected on 8 June was finer-grained, with 25 weight % <500 µm and 30 weight % <63 µm. For a sample collected during 12-14 June, the grain size distribution was even finer, with almost 40 vol. % <63 µm, 12 vol. % <10 µm and 5 vol. % < 4 µm.

In Bariloche, samples collected on 4 June were coarse-grained with maximum grain size diameter peaking between 375 and 750 µm and <2 vol. % <63 µm. A sample collected on 11 June was finer-grained with 53 vol. % <63 µm, 13 vol. % <10 µm and 5 vol. % <4 µm.

Samples collected during the first few days of the eruption from the more distal population centres along the Linea Sur such as Ing. Jacobacci (see Figure 2.1) showed higher proportions of very fine ash compared to more proximal locations, with 12-30 vol. % <4 µm and 7-16 vol. % <2.5 µm. However samples collected during the remainder of June in these distal locations contained lower proportions of very fine ash than for these first few days, with 4-7 vol. % <4 µm and 2-5 vol. % <2.5 µm.

2.2 REMOBILISATION OF ASH DEPOSITS

Unconsolidated ash deposits are at risk of remobilisation by wind and water processes. There has been extensive remobilisation of ash by the strong prevailing westerly winds in the region, with towns on the steppe such as Jacobacci particularly severely affected. Schools in the region were closed for almost four months after the eruption, and, during windy conditions, townspeople have little choice but to remain indoors.

Fluvial remobilisation of thick ash deposits is likely to be highest in proximal areas with steep terrain. Infrastructure at risk may include roads, bridges and inhabited areas such as Villa la Angostura. Poor consolidation of ash in arid areas in the steppe also poses a risk of fluvial remobilisation. An intense rainfall event occurred on 8 March 2012 and caused extensive remobilisation of surface material in the form of mudflows that damaged roads and inundated farmland in the Comallo area. However, the deposited material was primarily composed of native soil material rather than fluvially-remobilised ash.

³ For coarser samples, grain size determinations were carried out with a dry sieving method thus results are expressed in weight percent. All other determinations were carried out by laser diffraction with units in volume percent.

3.0 OBSERVATIONS

The following sections describe our observations on impacts of the eruption on public health, pastoral farming and infrastructure. We also describe our observations on cleanup operations in the different population centres, and on the emergency management of the eruption crisis.

3.1 PUBLIC HEALTH CONSEQUENCES OF THE ERUPTION

3.1.1 Airborne ash hazards

A full report by Dr Peter Baxter on the health consequences of the PCC-VC eruption is provided in Appendix 1. This section summarises field observations and research recommendations.

Ash deposits from the initial PCC-VC eruption on 4-5 June 2011 are gradually being incorporated in the soil in areas where there is regular rainfall, but in the impacted dry areas in the Patagonian steppes the deposits are persistent, and very high levels of exposure to fine particulate matter (PM) in the air were occurring to the whole population on a regular basis during days with strong winds. The concern is that these conditions, which are badly affecting settlements along the Linea Sur, and other ash-impacted parts of the steppe, may possibly persist for years. At the time of our visit, PCC-VC was continuing to have small ash eruptions, and large deposits were still visible blanketing the mountain range above Bariloche and Villa La Angostura.

Meetings with local health and environmental professionals were held in Bariloche, Villa La Angostura, San Martin de Los Andes, Junin de Los Andes, Pilcaniyeu, Comallo and Jacobacci. Although local laboratories had done valuable work in characterising the ash, our impression was that information had not been officially co-ordinated or disseminated by public health officials. There was general agreement, amongst the health professionals we met in Bariloche, San Martin and Junin, that acute respiratory problems had not markedly increased or worsened amongst their patients who attended clinics or the hospitals following the June ash falls. Some epidemiological studies on patient attendances had been done, but were not possible to interpret because of the fall in tourism and the numbers of local residents compared to previous years' figures.

Ash samples collected from distal areas of the Patagonian steppe contained high proportions in both respirable ($<4\ \mu\text{m}$) and thoracic ($<10\ \mu\text{m}$) size fractions (Section 2.1). We would therefore expect the ash resuspended from deposits of this fine ash to contribute substantially to PM_{10} and $\text{PM}_{2.5}$ measurements in the ambient air, with large numbers of particles capable of being inhaled into the air sacs (alveoli) deep within the lungs.

Studies by de Lima et al. (2012) and Caneiro et al. (2011) have reported the presence of cristobalite in PCC ash, but the methods used did not allow for quantification. Two epiclastic ash samples collected by Dr Baxter from Jacobacci and Comallo were analysed by XRD-PSD at the Natural History Museum, London, and were found to contain no detectable crystalline silica. Similarly, two samples received by Horwell were found to contain no detectable crystalline silica, using the same instrument. Preliminary results from further studies carried out by Horwell suggest that cristobalite content is low ($0.21\pm0.42\ \text{wt. \%}$) in PCC ash (Horwell, pers. comm.). These results are reassuring that they go some way

towards excluding a major potential cause of fibrotic lung disease (silicosis and mixed dust fibrosis), and a causal factor for chronic obstructive pulmonary disease (COPD) and lung cancer. However, as the ashfall was very extensive and exposure has been prolonged by the arid and windy conditions which have led to wind remobilisation of deposits, we believe that additional analyses are warranted to provide confirmation of this hazard.

Daily measurements of ambient air PM₁₀ (and PM_{2.5}) are needed to understand the background levels of fine ash people are exposed to in different cities and settlements, both hourly and as 24 hour average means. Apart from a monitor at the Bariloche airport, used to check ash conditions for aircraft, and limited results from an air monitor used by SEGEMAR, the amount of available exposure data is limited. In urban areas like Bariloche, Villa La Angostura, San Martin and Junin, the number of people badly affected will be mainly limited by the wider availability of weather resistant housing that reduces the ingress of ash and the regular rainfall suppressing resuspension, as well as ready access to medical care for many people.

By contrast, in the Patagonian Steppe, the lower than normal rainfall in the last five years, the prevailing dry conditions and high winds mean that extremely high levels of PM are attained and the housing is generally of poorer quality and not built to resist the entry of ash; ready access to medical care is also more limited in rural communities. Eye problems, for example, were very common and in some people required admission to hospital.

The impact on lives can be substantial, however, and families may decide to leave the area if one of the family members is badly affected by the ash. The prevalence of asthmatic symptoms in children aged 13-14 yr in Neuquen province is typically about 10% in one published ISAAC survey. Patients with advanced heart and lung conditions should consider talking to their doctors about moving, if the option is available, whilst the severe exposure conditions last.

Some limited air sampling by collecting PM₁₀ on a filter with a pump has been undertaken by SEGEMAR. A mean value of 600 µg/m³ for one week of continuous air sampling at a location outside Jacobacci hospital was obtained in August 2011.

During our visit to Jacobacci (4-5 March 2012), windy conditions created low visibility due to high levels of resuspended ash. A hand-held portable meter operated by Dr Baxter obtained PM₁₀ measurements of 919 µg/m³ (range: 277-6530 µg/m³) over a 15 minute period for outdoor ambient air, and a value of 625 µg/m³ (range: 374-1300 µg/m³) for indoor air. Inside the hospital, where measures such as sealing windows have been taken to exclude ash, the level of PM₁₀ was approximately 130 µg/m³, and 30 µg/m³ in the (empty) operating theatre.

3.1.1.1 Recommendations

Very high exposure to PM is presently happening in the Patagonian steppes and there will be concern there that such persistently high exposures could eventually impair the respiratory health of healthy children and adults. The following research is recommended to monitor the risk to the health of people living there:

- Routine data collection of mortality statistics and hospital/clinic attendances should be reviewed and monitored in the ash fall areas. Tuberculosis and childhood pneumonia need to be included in the monitoring of poor rural areas.

- A study of asthma and lung function in school children should be considered as a priority. School children in Linea Sur settlements are a high exposure group and warrant long term follow up; low to medium exposure groups for comparison could be chosen from the towns in the tourist areas which received much more rain.
- A study of respiratory symptoms and lung function in a group of adults, e.g., farmers, in the Linea Sur and a comparison group in rural areas where there is more rainfall. A study cohort could be established for long-term follow-up.
- Various objective variables for study could include inflammatory markers for systemic inflammation, as a sign of high exposure to fine ash and evidence of potential risk of cardio-vascular disease impact.
- Psychological stress (anxiety and depression) was reported to us across the ash fall out zone, often due to uncertainties about the evolution of this long lived eruption and the deep economic impacts. It was an acute impact in some rural areas. This also warrants further scientific investigation.
- Eye symptoms have been common and in some cases severe enough to require hospital admission: further study is needed as ocular effects of this severity due to volcanic ash are very unusual.

The risks to health in high and low impacted areas needs to be regularly evaluated by monitoring background exposure in the community and personal exposure in individuals:

- Particle air monitoring stations (as installed in major EU and USA cities) should be established in the study areas to record hourly and daily means of background PM₁₀ and PM_{2.5}. These require a technician's support and are costly. The results can be automatically transmitted to a central office.
- Hand-held monitoring instruments like the TSI DustTrak™ should be used to check PM levels in the outside air in towns and small settlements, and indoors in schools and houses to measure the effectiveness of sealing buildings against the ingress of ash. They can be set to record for long periods and downloaded, although they require calibration every 24 hours.
- Exposures to PM in outdoor workers, or direct measures of exposure in other individuals, can be measured using instruments such as the TSI Sidepak™, which is a small device that works like the DustTrak, but fits on to a belt and measures in the breathing zone.
- An exposure survey using the DustTrak and Sidepak instruments should be undertaken in the worst affected towns, such as Comallo and Jacobacci, to establish the current mean background levels of PM₁₀ and PM_{2.5} in the ambient air under a range of representative weather conditions, and to define the much higher mean personal exposures of children and representative groups of adults. See the methodology used on Montserrat (Searl et al., 2002).

3.1.2 Drinking water hazards

Following a volcanic eruption it is very common for there to be a high level of concern among both the public and civil authorities about chemical contamination of water supplies. These concerns may be partially allayed by characterisation of the soluble salt content of the ash to enable an assessment of hazards from leachable elements such as fluorine, for drinking water supplies. A sample of PCC-VC ash collected on 4 June in Bariloche was submitted for leachate testing at the INVAP laboratories. Unfortunately the method used was a non-

standard one for leachate characterisation, thus the results are of limited value for hazard assessment. Advice on recommended methods for volcanic ash leachate characterisation can be found on the website www.ivhnh.org. Specific protocols are being developed for this purpose by an international working group.

A large number of analyses of surface waters were carried out by authorities in Bariloche and Villa la Angostura. Indicative summary tables of water quality data, in relation to standards used for potable drinking water supplies, are provided in Appendix Two. Perturbations to the chemical composition of these waters are apparent, but are generally of minor importance. In the Bariloche region, there were minor exceedences of the tolerable limit⁴ (0.2 mg/L) for aluminium, with levels reaching 0.8 mg/L and 0.3 mg/L in two samples (Table A 2.1). In Villa la Angostura, which received ashfalls of 15-17 cm, exceedences of tolerable limits for physico-chemical parameters were more widespread and persistent (Table A 2.2 - Table A 2.4). The greatest exceedences were recorded for turbidity, with elevated levels (>2 NTU) in the distribution network indicating inadequate turbidity removal in many of the treatment systems in this area. High turbidity levels were persistent over the following weeks (Table A 2.3 and Table A 2.4) as heavy rains continued to wash deposited ash down streams. Some minor effects on pH were seen, with recorded pH values decreasing to below pH 6.5 in several samples. Other chemical perturbations were evident, but levels of elements measured remained well below guideline values, and are of low significance for public health.

In most cases the physical presence of ashfall in water treatment systems (both due to ash suspended in water and direct airfall) will overwhelm any chemical contamination problems. Ashfall can enter treatment plants and is likely to damage pumping equipment (particularly impellers and motors) and block sand filters, requiring a greatly increased maintenance schedule (see Section 3.2.2 for summary of eruption impacts on municipal water supplies in the study areas).

Of particular concern for public health is that suspended ash (turbidity) can provide a growth substrate for microorganisms, and can protect them from disinfection, thus increasing the risk that the population may be exposed to waterborne diseases (Malilay et al. 1996; Weniger et al. 1983). We received many word-of-mouth reports about a high incidence of gastrointestinal disease in both Bariloche and Villa la Angostura. The provincial health authorities of Neuquén are well aware of an 'endemic corridor' of acute diarrhoea in the province that has occurred for several years. Multiple causes are possible, including poor sanitation, contaminated food or drinking water and underlying health issues. A 2008 report identified the bacterial agent *Shigella* as a common causative agent (Provincia del Neuquen, 2008); *Shigella* is an indicator of deficiencies in environmental sanitation and the presence of untreated sewage. Provincial health authorities carry out routine surveillance for acute diarrhoea. According to personnel interviewed, and available health surveillance data (courtesy of Dr Alejandra Piedecabras, Director of Villa la Angostura Hospital), the eruption did not cause an increase in the number of reported cases of acute diarrhoea.

Our observations were that some of the water supply systems for small communities have an insufficient level of treatment to have confidence that the water is microbiologically safe, particularly for stream-fed systems. In the town of Villa la Angostura, four out of eight drinking (tap) water samples collected on 11 July 2011 by staff of the Bromatología Municipal were assessed as unfit for human consumption (see Table A 3.1 in Appendix 3). However it should be noted that these problems are likely to predate the eruption; local staff have been

⁴ The tolerable limit for aluminium is based on palatability (taste, colour) rather than toxicity considerations.

well aware of deficiencies in individual treatment systems since March 2009, and have made suggestions for improvements.

3.1.2.1 Recommendations

- Water supply systems based on unfiltered, marginally chlorinated surface waters from unprotected watersheds are highly vulnerable to contamination episodes. Urgent improvements are needed to water supply systems for some of the smaller communities in the area, particularly stream-fed systems, to ensure the safety of drinking water. In particular, improved filtration systems are necessary.
- A programme of sanitary surveys should be considered (see <http://www.epa.gov/ogwdw/mdbp/pdf/sansurv/sansurv.pdf> for examples).
- Monitoring of network water supplies should include, at a minimum, turbidity, pH, *E.coli* and chlorine residuals. Laboratories should be provided with the resources to carry out this work satisfactorily.

3.2 PASTORAL FARMING

3.2.1 Impacts of the eruption

Pastoral farming style and production techniques vary widely in the depositional area of the ashfall, (Figure 2.1), from small, dispersed operations in parklands of Parque Nacional Nahuel Huapi, to extensive production models on the arid steppe. Thus the impacts of the ashfall, recovery paths and mitigation options are also variable.

Agricultural land between Jacobacci and Bariloche received up to 5 cm of fine ash. Extensive, low-intensity sheep, cattle, horse and goat farming is concentrated in the mallines (grassland valleys) as the rest of the landscape is too dry. Preceding the ashfall there had been six years of drought with very low average rainfall (<100 mm/yr). This compounded the impacts of the ash and undoubtedly increased the livestock losses. Jacobacci municipality staff estimated that livestock losses after the ash fall were around 40-60% for a total regional herd of 225,000 sheep and 60,000 goats, due to starvation, dehydration, rumen blockages and tooth abrasion. Tooth abrasion led to further issues with foraging and grazing, causing further reliance on supplementary feed and premature aging of the animals. Fleece prices are also low in the region due to ash collecting in wool, and usable wool has dropped from 50-55% per fleece to 25-30%. Birth rates were also down from 60% to around 10-30% as mothers were malnourished and stressed.

All of these factors have contributed to reduced income for farmers leading to most becoming reliant on supplementary feed supplied by federal government, municipalities and INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria). There have also been many cases of livestock being sold and moved to Buenos Aires, La Pampa and Chubut provinces (estimated at up to 100,000 animals). The Jacobacci - Bariloche region has also been severely affected by continuing wind remobilisation of ash deposits, which is acting to prolong the impacts of the original ashfall.

Farming in Parque Nacional Nahuel Huapi is different, as it takes place on national park land and is dominantly cattle farming. Livestock numbers are limited; however the open style of farming means that farmers do not always know exact numbers as they may only see each animal once a year. The animal losses in this region were much lower despite the closer proximity to the volcano and greater ashfall depth, and were comparable to those

experienced after a severe winter (around 25%). As in Jacobacci, the losses were sustained due to starvation, rumen blockages and tooth abrasion causing foraging difficulties, rather than any known chemical toxicity issues. The impact of the ashfall was lessened by the fact that, in the early stages, many farmers realised that there would be problems with access to feed, thus they commenced slaughtering their animals for their households, or selling animals before their condition worsened. Evacuation options in this region were very limited, because there is no road access to many of the farms, and boat access was limited by thick pumice rafts which formed on Lago Nahuel Huapi, and which made navigation on the lake difficult or impossible for up to 11 days.

For many farmers in this region, there are likely to be significant difficulties both in determining the best course of action in managing the effects of the eruption, and in finding the necessary resources to act. However, we observed that local farming advisors and scientists are acutely aware of the situation on farms. Impact assessment and research programmes are active in the area, aimed at quantifying where recovery efforts should be focused and what strategies might be most effective. In general, efforts have been aimed at encouraging diversification of pastoral production systems to boost production and build resilience.

3.2.2 Strategies for recovery/recommendations

Due to the brief nature of our field visit to such a diverse region, it would be inappropriate to make sweeping recommendations for recovery. Instead we have chosen to highlight successful strategies we observed in the affected area, and also from our investigations into other recent eruptions in Patagonia (see Appendix 3 for further details):

- The provision of refuges for livestock to shelter from direct ash fall or remobilised ash is likely to be a successful strategy. Some farmers in the Jacobacci area had already commenced building refuges prior to the eruption (typically small structures walled along the western edge to provide protection from the prevailing wind direction) and these proved to be a valuable asset. Many other farmers are now adopting the same approach.
- In areas that received less than 15 cm ash fall, pasture recovery and stabilisation of the ash deposit will be aided by full tillage of ash deposits into the topsoil (ideally to 20-25 cm depth). However, farmers in the steppe region are not equipped for large scale cultivation or fertilisation. A possible solution could be the acquisition of shared community resources for cultivation.
- Diversification into greenhouse cultivation, and the construction of windbreaks, were essential components of recovery for areas such as Puerto Ingeniero Ibañez, Santa Cruz province, which were subjected to wind-remobilised ash for years after the 1991 Hudson eruption. These were supported by government development subsidies. In these areas, investment in irrigation schemes was also instrumental in developing agricultural production and improved vegetation growth provided additional shelter from windblown ash.
- There are lessons from previous eruptions in Patagonia which can help inform recovery strategies. Efforts should be made to share resources with INTA and other relevant agencies from Santa Cruz and Chubut provinces, and also with the equivalent agencies in Chile. For example, a successful strategy for rebuilding livestock numbers in areas affected by thick ashfalls in Chile from the Chaitén eruption was the use of subsidies to prevent farmers from selling newborn calves. This helped promote the steady recovery of cattle numbers to pre-eruption levels.

3.3 ERUPTION IMPACTS ON INFRASTRUCTURE

3.3.1 Electricity networks

The ashfall caused widespread disruption of electricity supplies in the study area. As we have observed for other eruptions, the predominant effect was ash contamination of distribution lines and substation insulators, which induced leakage current and insulator flashover. Continual tripping of switches due to flashovers, combined with the presence of fine ash in switches, led to abrasion of the metallic conductors which reduced the contact between electrodes, in turn reducing their functionality. This required ongoing replacement of the switches. Thermal generation facilities also suffered significant disruption in both Bariloche and Villa La Angostura, mainly due to ash blockage of air intakes.

Bariloche experienced loss of electricity for >8 hours on 7 June before partial reinstatement. Many sectors the city remained without power for >24 hours. Intermittent cuts lasted through to the end of July. The city is supplied from the national grid through a single transmission line and one grid exit point (GXP) substation. In this substation, coarse ashfalls of 3-4 cm caused flashovers to switching and bus-bars, cutting power to the town. There was backup generation capacity available in the form of gas and diesel-powered generators. These were activated, but air intakes were rapidly blocked with ash, resulting in shutdown. This compounded the effects of the GXP disruption. Flashovers were also experienced across the town distribution network, causing local disruption. Intermittent power supply in the city had cascading impacts on other infrastructure sectors such as the water treatment plant.

In Villa La Angostura, ashfalls of 15-17 cm caused insulator flashover on the 13.2 kV, 380 V and 220 V networks on a widespread and continuing basis. There were 20 days of electricity disruption immediately after the eruption, and the supply continued to be insecure for many months afterwards. The town is not connected to the national grid, thus there is total reliance on the 6.1 MW thermal generation power plant. This plant suffered problems with ash contamination of air intake filters for approximately a month afterwards on dry days, resulting in precautionary shutdowns following heavy ashfalls.

At the time of our visit, issues had largely been resolved, and we observed some unique mitigation and adaptation strategies. In all locations, fire trucks were used to wash ash from contaminated equipment to reduce flashover risk. However, ongoing ashfalls caused continual flashovers. This prompted the application of polypropylene jackets and shields to insulators in the most heavily populated areas in an attempt to reduce ash contamination. Despite some success with this method, best results were found by EPEN increasing the insulator pin length from 25 cm to 50 cm. All 3,500 insulators in the town network were rapidly upgraded to this standard.

In Bariloche there has been significant investment in adding resilience to the power supply. A 20 MW diesel plant has been installed to provide back-up generation capacity for the city. Although this is still well below usual demand, (45-55 MW), this represents a significant improvement in power supply security for Bariloche, which should be applauded. The cascading impacts of power outages on other infrastructure sectors, as well as on commercial and residential customers, highlights the critical importance of a secure and reliable electricity supply.

3.3.1.1 Recommendations

A reliable electricity supply is essential for the functioning of modern society. While we were impressed with the ability of electricity providers to respond to impacts and to design effective adaptations, we suggest that the electrical power supply in the study area would benefit from increased system design redundancy. Specifically,

- The single grid exit point at Bariloche substation creates vulnerability for the city. Additional circuits within the substation would improve redundancy. Expansion of the back-up generator facility would similarly improve supply security.
- Connection of Villa La Angostura to the national grid would offer greater supply security.

3.3.2 Water supplies

Each of the three different population centres studied experienced different impacts on their water supply networks. For public health-related recommendations, see Section 3.1.2.

For the Bariloche water treatment plant (WTP), the main challenge was that the plant is designed for a very low level of turbidity in the raw water source (0.2-0.4 NTU in Lago Nahuel Huapi) and thus an initial coagulation/flocculation step is not part of the treatment train. The eruption caused an increase in turbidity to 26 NTU, which was a significant challenge for the plant. Ash entered the plant via the intake, and caused abrasional damage to pump impellers as well as causing additional wear and tear on pump motors. Cleaning of ash from sand filters required a greatly increased level of maintenance, for several months. However, the only service interruption was caused by a city-wide power outage.

The Bariloche WTP provides around 80% of the city's water supply, with the remainder coming from small springs and streams. These additional sources are utilised more during periods of high demand. Outlying settlements around Bariloche have their own self-contained water supply, treatment and distribution systems operated by 'juntas vecinales', which generally draw water from Lago Nahuel Huapi. Lake water and stream water is filtered and chlorinated; spring water is chlorinated without filtration. Staff interviewed from the Departamento Provincial de Agua (DPA) reported that, in general, the eruption caused fewer problems for water supplies than in Villa la Angostura. One spring source was closed because of high levels of turbidity, but filtration systems for stream sources generally functioned well because treatment is designed for the higher levels of turbidity typical of storm flows (up to 400 NTU). Nonetheless, DPA staff reflected that while effects of the eruption for the main WTP were manageable, the event highlighted the vulnerability of the smaller treatment systems, and pointed to an increasingly urgent need to improve filtration systems.

In Villa la Angostura, the same general problems with damage to pumping equipment and clogging of intakes, pipes and sand filters were experienced. The town uses diverse sources for water supply: intakes from Lago Nahuel Huapi and Lago Correntoso, stream intakes and a well. The most severe problems were experienced with the stream-fed systems, which were inundated with ash and had to be cleared out manually. These systems still experience problems in rainy conditions. To help meet demand, a new 21-m deep well was dug and the water distributed in 10,000 litre tanks. Additional bottled drinking water was also supplied to neighbourhoods with stream-fed systems. See also the discussion in Section 3.1.2.

In Jacobacci, 17 wells are used as water sources. Pumphouses are enclosed, so the system proved resilient. The main challenge was in meeting water demand. The area was (and continues to be) severely affected by wind-remobilised ash. In lulls between these conditions, water demand would increase as the community cleaned up and dampened down ash in the streets, from normal usage of 1 million L/day to as high as 3 million L/day. It was a continual juggling act to meet these peaks in demand, and it was fortunate that the eruption did not occur in summer, when the background demand is higher.

3.3.3 Wastewater treatment

The main problem experienced at Bariloche's WWTP was that a large volume of ash entered the plant via sewer lines, even though storm drains and the sewerage network are in theory separated. The incoming suspended solid load almost doubled from usual level of 4500 mg/L to 8000 mg/L. It accumulated primarily in the biological reactor which is the heart of the system and cannot be taken offline. Some bypassing of partially treated sewage to the lake was necessary over the first few days, to keep the plant operational. The capacity of the biological reactor has been reduced as a metre of ash has accumulated on the bottom of the 4.5 m deep tank. Management are still investigating options for clearing out this ash.

3.3.4 Transport

The most severe disruption to transport networks in the depositional area was the closure of Bariloche airport. The airport was closed at 17h00 on 4 June, just before the arrival of the ash plume. The airport did not receive an official warning, but was advised of the impending arrival of the plume by a pilot on an incoming flight. The airport was closed for one month (until 5 July) for the cleanup operations. During cleanup operations, approximately 1000 tonnes of ash were removed from the airport, of which most was disposed of by filling in hollows and depressions in the immediate area. A further initiative has been the installation of irrigation systems surrounding the runway, to encourage grass growth to trap the ash and suppress wind remobilisation.

Even though the airport re-opened for business on 5 July, it was many more months before the country's two major airlines (LAN Chile and Aerolineas Argentinas) resumed regular services to Bariloche, as eruptive activity continued at Cordón Caulle. The decision to fly rests with individual airlines, with standard procedure to avoid flying through any ash plume. From the perspective of pilots, the problem was that they did not have a good system for identifying small, diffuse plumes. A further complication was that the ash forecasting model developed by the National Meteorological Service, and posted on their website for airlines to use, was perceived by airlines as being too 'experimental'. The acknowledgement of uncertainties associated with the data and modelling deterred airlines from its use. As there were no defined safe parameters for ash plume density, there was uncertainty about whether insurance companies would continue to provide cover. During this period (5 July – 20 October) some airlines did fly into Bariloche, and reported no problems. The airport was closed again on 20 October, until 20 December, for construction of a new runway; this project was brought forward from its scheduled date of March 2012 to take advantage of the existing disruption.

Immediately after the major ash fall on 4/5 June, and for the next two weeks, driving conditions were difficult, primarily because of low visibility in the affected areas. Severe problems related to low visibility were experienced on national route 40, between Piedra del Águila, Villa La Angostura and Bariloche, and national route 231. These two roads are the

main connection for Bariloche and Villa la Angostura with the rest of Argentina and with Chile. The international border was closed for transit for several weeks.

In Jacobacci, it was 'completely dark' for three days after the eruption, and municipality staff could only begin the cleanup after a week. There were some reports of engine failure due to ingestion of ash clogging air and oil filters. In areas with ash depths of over 10 cm, two-wheel drive vehicles experienced traction problems during wet conditions. Driving conditions remain treacherous at times due to airborne ash causing lack of visibility, and official advisories remain in place. Strategies to reduce ash remobilisation in built-up areas include restricting vehicle speeds and dampening ash with water. The region is in general well-equipped to cope with driving in winter conditions, and this probably conferred a degree of resilience.

The formation of thick pumice rafts on Lago Nahuel Huapi disrupted boat transport on the lake for up to 11 days after the eruption. This caused problems for the movement of people and livestock out of farming areas on the western shores of the lake which are not accessible by road (see Section 3.2.1).

3.3.5 Cleanup of urban environments

The removal of ash from business and residential districts is vital for recovery. However, cleanup operations are more complex than just removing ash; it also needs to be disposed of and stabilised to avoid future problems with remobilisation.

Villa la Angostura received up to 15-17 cm of primary ash fall. Sixteen houses suffered roof collapse, and 40 more were braced to prevent roof collapse. A fast and efficient clean-up response was undertaken by the municipality and wider community. The initial focus was on cleaning the main roads. On the 7 June, 40 km of the main highway (Ruta 231) was closed and cleared with bulldozers. Ash removed by residents with help from volunteer brigades was placed on roadsides then collected by the municipality and taken to provisional ash dumps, located in each neighbourhood. These dump sites were located on the basis of availability but unfortunately a child was killed whilst playing on a pile of ash that was too close to high tension power lines. Material from the dump sites is now being rapidly transferred to the main dump site which is an old quarry located in Puerto Manzano. At this site, compaction and stabilisation of the ash is planned. A further focus of cleanup efforts in Villa la Angostura has been the clearing of natural dams higher up the streams that flow through the town. This was done in an attempt to mitigate the lahar risk as it was thought that the dams could cause the build-up of ash followed by catastrophic failure. Army teams were deployed to cut and clear debris.

Bariloche received up to 4.5 cm of ash fall, which equates to approximately 1,500,000 m³ of material across the city. In general, the city was extremely underequipped with the heavy earth moving machinery necessary for cleanup, and had to hire machinery and utilise private vehicles. The first area to be cleared was the four main streets parallel to the lake front, as this part of the CBD is very important for tourism. Cleanup of the city took two months with costs estimated to be some \$USD 35 million, excluding business disruption losses. Residents were encouraged to focus on clearing their own properties and were asked to create just one pile of material per city block to facilitate removal by the municipality. Municipality efforts lasted until December 2011. There were high rates of volunteerism in cleaning the town, particularly in 'high value' areas such as the downtown streets (commonly frequented by tourists), schools and hospitals. Residents took the initiative to promote cleaning campaigns through social networks and media. Most of the collected material (ash and other urban waste) was disposed in the old municipal quarry located in the southern part

of the city, very close to the urbanised area. This dump was quickly filled so new disposal sites were selected. The most important were close to a municipal gas plant where material was accumulated in piles and covered with soil to prevent wind remobilisation; and the municipal dumping site for waste from forestry activities.

During the first two days of ashfall some material was dumped in the lake both in Villa La Angostura and Bariloche.

In Jacobacci, conditions were so difficult (with darkness and low visibility) immediately after the ash fall that cleanup could only start after a week. The main streets were cleared first, using the available trucks, diggers and bulldozers in the town. Following this, residents were provided with large sacks to fill with ash cleared from their own properties. All the ash collected was placed in natural depressions to the east (downwind) of the town, and has been weighed down with building materials in a short-term attempt to stabilise it. In the longer term, there are plans to vegetate the deposits. The cleanup in this town has been prolonged by wind remobilisation of ash deposits from upwind areas, and was continuing at the time of our visit. The municipality owns two watering trucks that are constantly in use; dampening down ash is a major part of the strategy to attempt to reduce airborne ash levels, along with an emphasis on collecting, storing and stabilising the ash rapidly.

3.3.5.1 Recommendations

As the expeditious removal of ash from urban environments is essential for recovery, areas exposed to ash hazards should have plans in place beforehand covering the following aspects:

- Personnel requirements
- Equipment requirements, including arrangements to hire equipment if necessary
- Identification of potential dump sites
- Strategies for stabilisation of deposits.

3.3.6 Communications

The most reliable form of communication throughout the emergency was radio (VHF and UHF). In Bariloche, radio amateurs were instrumental in relaying information. Cellphone networks experienced problems due to overloading. There were anecdotal reports of cell signal attenuation caused by airborne ash and equipment failure caused by deposition of ash onto ground equipment such as antennae. The 12-hour battery life of antennae came close to being exhausted during the power outages.

3.4 EMERGENCY MANAGEMENT

The June 2011 eruption of PCC-VC was a complex emergency to manage and offers a range of lessons for emergency management during volcanic eruptions.

At the time of our visit, the focus in Bariloche appeared to be moving on from the immediate necessities of cleanup operations and managing ashfall impacts, to using the lessons from the eruption to improve infrastructure resilience and support the recovery of local industries. There was still an appreciable sense of emergency in Villa La Angostura and Jacobacci, in the sense that there were still significant challenges in dealing with continuing remobilisation

of ash causing issues for public health, agriculture and economic impacts on the tourism sector.

It was evident that there is a dedicated and capable group of emergency managers and infrastructure managers who have worked hard to respond to and recover from the eruption crisis. However there appears to be a poorly integrated framework between local, regional and national Civil Protection elements. The change of staff following local government elections appears to have had a negative effect on developing and maintaining emergency management capability.

3.4.1 Eruption warning and understanding of volcanic consequences

At the onset of the crisis period there had been some media reports of volcanic unrest at Cordon Caulle. Emergency managers had been aware the volcano was in a state of unrest. Local volcanologists were active in raising public and municipal awareness of the situation at the volcano. However, these warnings did not reach everyone due to a lack of a formal and effective warning system. Many individuals said the eruption was a total surprise – although most of these individuals were typically not connected to official emergency management or municipal channels.

There appeared to be poor dissemination of warnings that there had been an eruption and where the volcanic ash may be dispersed. Many infrastructure managers, officials and members of the public stated that their first warning an eruption had occurred was seeing the volcanic ash plume approaching.

In other cases, where infrastructure and municipal managers had received some warning an eruption was imminent, they did not fully appreciate the consequences of an eruption from Cordon Caulle. There was general surprise at the thickness and extent of ashfall, and a low pre-existing understanding of what the consequences of ashfall might mean for infrastructure networks, rural and urban communities, despite previous efforts from local scientists and the experiences from the Chaitén eruption just three years earlier, which impacted many of the same areas.

Some infrastructure managers and municipal officials had a poor understanding of the Volcano Alert Level used by OVDAS-SERNAGEOMIN. The volcano alert level system solely indicates the status of activity at the volcano, and is *not* a tool for ashfall warnings. There was limited integration of this system with emergency management on the ground in Argentina. This is complicated by being a trans-national issue.

3.4.2 Local-Regional-National Civil Protection (emergency management) framework

There appeared to be communication and coordination problems for emergency managers throughout the affected area. We felt there was not an adequate framework for sharing information and resources. A further problem was a lack of understanding of roles and responsibilities during a volcanic crisis. Most issues were at the interface between local-regional-national Civil Protection bodies. It appeared there had been substantial lessons learnt following the eruption, however, but these need to be integrated into formal planning arrangements.

We felt that the current Civil Protection framework does not include adequate provision for coordination and utilisation of necessary expert scientific advice (specifically, on the occurrence, distribution, characteristics and impacts of a volcanic ashfall). Though the

authorities made exceptional efforts during the emergency to formalize cooperation channels with local and national scientific and academic institutions, these arrangements should be established during non-crisis periods and active throughout the duration of a volcanic crisis. There are now several important initiatives at national, provincial and municipal levels to develop monitoring, risk reduction and crisis management strategies that involves several scientific, technical and academic institutions.

3.4.3 Summary and recommendations

There were excellent examples across the study area of individuals, commercial companies and government organisations developing mitigation and adaptation strategies in response to the ashfall. These will increase resilience to future volcanic eruptions and other disasters in the future.

In general, the emergency management strategies used across the affected area were reasonably effective. However, it appeared these were more based on individual and organisational adaptive capacity rather than pre-existing planning. This should be a key lesson to begin comprehensive and integrated volcanic ashfall management planning. We offer some recommendations for improving future management of volcanic crises in this region.

In the short term, there are critical steps that could improve the effectiveness of the response to future crises. The following strategies may be helpful:

- Increased dissemination of volcanic hazard preparedness information with specific reference to the impacts of ash on different sectors and available mitigation options.
- Improving the content, dissemination, and stakeholder uptake of warning messages. Key thematic areas for warnings should include: a) status of activity at volcano, b) when an eruption has occurred, c) likely distribution of ashfall, and d) information to prepare for and manage volcanic ashfall impacts for members of the public, farmers and infrastructure managers. Material produced by local scientists should be used by Civil Protection to improve the awareness of Northern Patagonia's exposure to volcanic hazards.
- Written planning for, and exercising of, mitigation of volcanic ash impacts across Argentine Civil Protection and utility agencies. Planning should be simple, specific, widely discussed and regularly exercised and updated.
- Better integration of information from Chilean volcano observatories into Argentine Civil Protection (emergency management) framework.
 - Coordination of this information by a central agency for Argentina may be advisable, but local and regional emergency managers should be integrated to the system and aware of where to access warning information.
 - Increased education about the OVDAS-SERNAGEOMIN volcanic alert level system and understanding the implications of this in relation to the local civil defence alert system for different localities.
 - Establish formal communication between OVDAS-SERNAGEOMIN and Civil Protection authorities in Northern Patagonia.

- Further development of ash plume modelling capability
 - Better integration/coordination of end-user needs for ash plume models, especially in terms of how models are presented and what explanatory text accompanies these models. If well-designed, this would have widespread application.
 - Development of near-real time ash plume modelling capability for warning and preliminary impact assessment. Fall3D models were available via the internet during the eruption, which forecast the next 2 to 3 days, but were not widely disseminated.
- There should be careful coordination of simplicity and consistency across the above preparedness information, warnings, plans, alert levels and bulletin formats and ash plume models.

In the longer term, maintaining a solely focused, permanent and professionally-trained emergency management personnel is essential for maintaining and further developing emergency management capacity. Emergency management professionals must also be given the time and resources to adequately plan and implement recovery actions and strategies.

Embedding the lessons learned from this disaster into future planning is essential. In our experience there is a short window of time during which there will be political, social and economic appetite to commit financial and time resources to improving disaster resilience in affected areas. This should be maximised. In particular, there is an opportunity to upgrade substandard infrastructure systems, improve agricultural productivity and the local-regional-national Civil Protection emergency management framework.

Improved linkage and collaboration between science agencies and emergency management is required. In particular there needs to be more effective provision and dissemination of the following information:

- Assign a high priority to accurate mapping of the distribution, thicknesses and other characteristics (grainsize, bulk and soluble salt chemical composition) of ashfall deposits. Such isopach maps are essential for informing impact assessment and recovery planning.
- Analysis of ash characteristics using standardised methods for:
 - Respiratory hazards
 - Leachate composition, to assess hazards from leachable elements
 - Analysis needs to be prompt and disseminated widely to all stakeholders
- Establish permanent, integrated stakeholder and science groups for volcanic hazard information provision and sharing. This should be a two way process where expert information is provided and stakeholders identify their needs and information gaps in a collaborative and responsive system. It may be useful to have separate groups for health, infrastructure and primary industries.
 - For example, infrastructure companies should consider forming an Engineering Lifelines group, which shares information about risks, and works as a group to reduce cascading failure due to interdependency.

- There would be considerable value in sharing information on volcanic ash impacts. For example, many infrastructure companies affected by the 2008 Chaitén eruption could have given information and advice to those affected during the 2011-present PCC-VC eruption.

Finally, we suggest that many of these recommendations may be facilitated by the establishment of a volcano observatory organisation to serve as the catalyst and advocate for volcanic hazards awareness and emergency preparedness in Argentina. Careful consideration would need to be given to the structure of such an organisation, given the complex situation where most active Andean volcanoes are not in Argentine territory, and are distributed along three different volcanic zones. A successful model could involve participation of national and regional institutions and combine the resources and expertise of both government and academic institutions. Close cooperation and information sharing with OVDAS in Chile would be vital.

4.0 ACKNOWLEDGEMENTS

We would like to thank everyone who took the time to answer our questions and share their experiences, photographs and data. In Chile, we thank Zach Ward and Cristian Uribe, of Manuka, for their time and knowledge. In Bariloche, we are grateful to Claudio Knaup (former Civil Defense emergency expert) and Gabriel Cazalá (from the Municipality), Bariloche International Airport, Departamento Provincial de Aguas, INTA, Cooperativa de Electricidad Ltda., Guillermo Mujica, Carlos Fullana and Horacio Fernández. Also to Analena Santagni, Lic. Silvia Uber and Dra. Andrea Tombari (University of Rio Negro). In Villa la Angostura, Prof. Roberto Cacault, Marcos Arretche, Fernando Anselmi, Alejandro Murcia, Janet Galera, Alejandra Piedecabras, Andrés Sandoval, Hernán Garabali, Edgardo Carignano and Javier Abraham of EPEN provided us with valuable information including a field trip. From Jacobacci we would like to especially thank Dr. Mario Del Carpio, Ailén Rodríguez (Environmental Coordinator), Helena Herrero (Hospital Director), Guido Santana and Alberto Mondillo (Epidemiology), Juan Escobar, Jose Mellado and Idelma Sarlor (Coop de Agua). From Pilcaniyeu Hospital, Dr. Marcelo Graemiger and Maria Laura Sassone. From Comallo; Marta Ester Llanos, Miguel Angel Cunilof, Andrés Nahuel Colaso y Bibiana Favre (Primary School Supervisor). From Zona IV (Neuquén) we thank Dra. Fernanda Hadad, Dr. Daniel Ricardi, Dr. Ricardo Powel and Dr. Alejandro Ojeda (From the Ministry of Health, Subsecretaria de Salud de Neuquén). The Inibioma team wants to thank Dr. E Gómez from IADO-CONICET for providing grain-size analyses. Thank you to Dr Roberto Volante. Thank you to the many farmers for allowing interviews. And finally, particular thanks to David Dewar for outstanding translation support.

The New Zealand team was funded by the New Zealand Ministry of Science and Innovation through the Natural Hazard Research Platform subcontract: C05X0804. Additional support was provided by the New Zealand Earthquake Commission and Auckland Council through the DEVORA project. The INIBIOMA team was funded by CONICET (Special fund for the emergency and research funding PIP 2011 0311 GI) and by the Scientific Cooperation Agreement signed between Universidad Nacional del Comahue and the province of Neuquén.

5.0 REFERENCES

- Brazier, S., Sparks, R.S.J., Carey, S.N., Sigurdsson, H. and Westgate, J. (1983) Bimodal grain size distribution and secondary thickening in airfall ash layers. *Nature* 301, 115-119.
- Caneiro, A., Mogni, L., Serquis, A., Cotaro, C., Wilberger, D. and Ayala, C. (2011) Análisis de cenizas volcánicas Cordón Caulle (Complejo Volcanico Puyehue-Cordón Caulle) Erupción 4 de Junio de 2011, Informe Cenizas Volcanicas - CNEA, p1-7.
- COMEAP (2009) Committee on the Medical Effects of Air Pollution (COMEAP). Long term exposure to air pollution: effects on mortality. A report by COMEAP. London: Health Protection Agency, 2009
- COMEAP (2010) Committee on the Medical Effects of Air Pollution (COMEAP). The mortality effects of long term exposure to particulate air pollution. A report by COMEAP. London: Health Protection Agency, 2010.

- de Lima, E.F., Sommer, C.A., Cordeiro Silva, I.M., Netta, A.P., Lindenbergh, M. and Marques Alves, R. de C. (2012) Morfologia e química de cinzas do vulcão Puyehue depositadas na região metropolitana de Porto Alegre em junho de 2011. *Revista Brasileira de Geociências*, 42 (2), 265-280. DOI 10.5327/Z0375-75362012000300004.
- Horwell, C.J. and Baxter, P.J. (2006) The respiratory health hazards of volcanic ash: a review for volcanic risk mitigation. *Bull. Volcanol.* 69: 1-24.
- Malilay, J., Real, M. G., Ramirez Vanegas, A., Noji, E., & Sinks, T. (1996). Public Health Surveillance after a Volcanic Eruption: Lessons from Cerro Negro, Nicaragua, 1992. *Bulletin of the Pan American Health Organization*, 30(3), 218-26. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8897722>
- OVDAS-SERNAGEOMIN. (2011). Volcanic Activity 2010/2011. *Volcan Cordon Caulle*. Retrieved January 12, 2012, from http://www2.sernageomin.cl/ovdas/ovdas7/informativos2/Informes/Reportes/RegionXIV/RAV_N254_Los-Rios_03012012.pdf
- Provincia del Neuquen. (2008). *Alerta epidemiológico: Actualización de diarrea aguda desde la vigilancia de la salud*.
- Searl, A., Nicholl, A., & Baxter, P. J. (2002). Assessment of the Exposure of Islanders to Ash from the Soufriere Hills Volcano , Assessment of the exposure of islanders to ash from the Soufriere Hills volcano, Montserrat, British West Indies. *Occupational and Environmental Medicine*, 59(8), 523-531.
- Weniger, B. G., Blaser, M. J., Gedrose, J., Lippy, E. C., & Juranek, D. D. (1983). An outbreak of waterborne giardiasis associated with heavy water runoff due to warm weather and volcanic ashfall. *American journal of public health*, 73(8), 868-72. Retrieved from <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1651114&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>
- WHO (2006) World Health Organisation Europe: Air Quality Guidelines. Global Update 2005. Copenhagen.
- Wilson, T.M., Cole, J.W., Stewart, C., Cronin, S.J., Johnston, D.M., 2011a. Ash Storm: Impacts of wind-remobilised volcanic ash on rural communities and agriculture following the 1991 Hudson eruption, southern Patagonia, Chile. *Bulletin of Volcanology* 73 (3): 223-239
- Wilson, T.M., Cronin S.J., Stewart, C., Cole, J.W., Johnston, D.M. 2011b. Agricultural recovery following the 1991 eruption of Vulcan Hudson. *Natural Hazards* 57 (2): 185-212
- Wilson, T.M., Cole, J.W., Johnston, D.M. Cronin S.J., Stewart, C., Dantas, A., 2012. Short- and long-term evacuation of people and livestock during a volcanic crisis: lessons from the 1991 eruption of Volcán Hudson, Chile. *Journal of Applied Volcanology* 1:2 doi:10.1186/2191-5040-1-2.

APPENDICES

APPENDIX 1: HEALTH HAZARDS OF VOLCANIC ASH FROM THE PUYEHUE-CORDÓN CAULLE ERUPTION

Dr Peter J Baxter
University of Cambridge, UK
April, 2012
pjb21@medschl.cam.ac.uk

A1.1 BACKGROUND

1.1 Managing the health aspects of volcanic eruptions is an important part of the immediate emergency response and in the phase of restoring impacted areas to normality. Public health measures regarding volcanic ash should be an integral part of crisis management. The measures should include the rapid dissemination of information on the nature of the ash and its potential for causing short- and long-term respiratory problems, as well as the types of preventive measures individuals and the community can take to reduce exposure. In some explosive eruptions a substantial proportion of the ash is very fine and capable of being breathed into the deep air sacs (alveoli) of the lungs, and it is these particles of fine ash which can be readily resuspended in the air from ground deposits during dry periods and remain in the air for hours or days afterwards.

1.2 Particulate matter 10 μm and less in diameter is called PM_{10} and is routinely measured by air monitoring stations in cities in Europe and the USA to ensure that the concentrations of particulate matter (PM) in the ambient air do not exceed statutory limits for specific time periods, usually 24 hours. After ash falls, the levels of PM_{10} can far exceed these limits until the rain clears the air, but the levels may rise again whenever it is dry and windy. The people who are most affected by this exposure to PM are those who already suffer from some type of chest problem, like asthma or chronic bronchitis. Serious acute problems in such patients are fortunately uncommon, even when ash is visible in the air and the levels of PM_{10} are high, but they may need to increase their medication.

1.3 Much concern may arise over long term effects to health if the fine ash remains in the environment for long periods of time. An important issue with volcanic ash from Andean volcanoes is the need to check for the presence of crystalline silica in the PM, as this mineral has the potential to cause silicosis, a form of fibrosing or scarring of the lungs, in previously healthy people.

1.4 Heavy ash falls like those experienced in Argentina in June 2011 inevitably cause anxiety about possible short and long term health effects of inhaling fine ash and may be an important underlying factor for people leaving the affected areas to go to live and work elsewhere. Economic factors like the fall in tourism, the closure of local airports, and the losses to farm livestock are some of the most important threats to livelihoods after the eruption, but health concerns may also be an important consideration why businesses close and people move away. It is therefore an essential aspect of community resilience and sustainability for the authorities to provide timely and reliable advice on what is known about the likely health hazards after an eruption and to have plans for limiting exposure of the population to ash, especially in outdoor workers and children, and establish guidance for health professionals.

1.5 This note summarises the continuing concerns over the risk to health from the continuing exposure of populations to ash and which arose out of our meetings with local health and environmental professionals.

A1.2 CURRENT STATUS OF THE ASH PROBLEM AT THE TIME OF OUR VISIT

Ash deposits from the initial PCC-VC eruption on 4-5 June 2011 are gradually being incorporated in the soil in areas where there is regular rainfall, but in the impacted dry areas in the Patagonian steppes the deposits are persistent, and very high levels of exposure to fine particulate matter (PM) in the air occur to the whole population on a regular basis during days with strong winds. The concern is that these conditions, which are badly affecting settlements along the Linea Sur, and other ash-impacted parts of the steppe, may possibly persist for years. At the time of our visit, PCC-VC was continuing to have small ash eruptions, and large deposits were still visible blanketing the mountain range above Bariloche and Villa La Angostura.

A1.3 MEETINGS HELD

3.1 Meetings were held in Bariloche, Villa La Angostura, San Martin de Los Andes, Junin de Los Andes, Pilcaniyeu, Comallo and Jacobacci.

3.2 Although local laboratories had done valuable work in characterising the ash, our impression was that information had not been officially co-ordinated or disseminated by public health officials. In addition, local physicians we met were confused about whether ash should be taken seriously as a respiratory health hazard and on the need for further research, especially in children. There was general agreement amongst the health professionals we met in Bariloche, San Martin and Junin that acute respiratory problems had not markedly increased or worsened amongst their patients who attended clinics or the hospitals following the June ash falls. Some epidemiological studies on patient attendances had been done, but were not possible to interpret because of the fall in tourism and the numbers of local residents compared to previous years' figures. The aspects that need further consideration in any assessment on the risks of the ash to respiratory health, and for the planning of mitigation measures, will be outlined next.

A1.4 GRAIN SIZE DISTRIBUTION

4.1 Claire Horwell (Durham University, UK) received five ash samples from this eruption: two were coarse material and three had 4.5 – 9.0 vol.% in the <4 µm diameter (respirable) range, and about double that amount in the <10 µm (thoracic) range. These results are generally consistent with those reported in Section 2.1 of the main report. We would expect the ash resuspended from deposits of this fine ash to contribute substantially to PM₁₀ and PM_{2.5} measurements in the ambient air, with large numbers of particles being capable of being inhaled into the air sacs (alveoli) deep inside the lungs.

A1.5 PRESENCE OF CRYSTALLINE SILICA

5.1 Studies by de Lima et al. (2012) and Caneiro et al. (2011) have reported the presence of cristobalite in PCC ash, but the methods used did not allow for quantification. Two epiclastic ash samples collected by Dr Baxter from Jacobacci and Comallo were analysed by XRD-PSD at the Natural History Museum, London, and were found to contain no detectable crystalline silica. Similarly, the two samples received by Horwell were found to contain no detectable crystalline silica, using the same instrument. Preliminary results from

further studies carried out by Horwell suggest that cristobalite content is low (0.21 ± 0.42 wt. %) in PCC ash (Horwell, pers. comm.).

5.2 These results are reassuring that they go some way towards excluding a major potential cause of fibrotic lung disease (silicosis and mixed dust fibrosis), and a causal factor for chronic obstructive pulmonary disease (COPD) and lung cancer. However, as the ashfall was very extensive and exposure has been prolonged by the arid and windy conditions which have led to wind remobilisation of deposits, we believe that additional analyses are warranted to provide confirmation of this hazard.

5.3 Ash from Chaiten volcano contained up to 19 wt. % cristobalite, derived from collapse of the rapidly-growing lava dome (where cristobalite is manufactured). At PCC, the topography of the vent area has allowed lava flows rather than domes to be formed, which do not have the over-steepening or gas over-pressure needed for collapse. Therefore, even though cristobalite may potentially be forming in these flows, there is no mechanism for ash generation.

A1.6 EXPOSURE MEASUREMENTS

6.1 Since the June 2011 eruption, exposure to ash has been mainly from persistent deposits on the ground that become resuspended by winds or human activity. Rain makes a crucial difference to resuspension and exposure to ash. The cities of Bariloche (pop. 120,000), Villa La Angostura (pop. 11,000), San Martin (pop. 24,000) and Junin (pop. 10,000) are favoured by regular rain or snow fall in the winter, and overall exposure to ash is likely to be low in comparison with settlements in the arid areas of the Patagonia Steppe (particularly Comallo – pop. 2000 and Jacobacci - pop. 5000).

6.2 A notable observation is that the ash deposits are so persistent on the mountains after winter snow; in dry, windy weather they are likely to add to the particulate air pollution in the nearby cities. Less surprising, but potentially much more hazardous to health, are the persistent and extensive ash deposits along the Linea Sur settlements we visited which are blown into ash storms by the strong winds that last the whole afternoon on four days a week on average throughout the year.

6.3 Daily measurements of ambient air PM_{10} (and $PM_{2.5}$) are needed to understand the background levels of fine ash people are exposed to in different cities and settlements, both hourly and as 24 hour average means. Apart from a monitor at the Bariloche airport, used to check ash conditions for aircraft, and a few results from an air monitor used by SEGEMAR, the amount of available exposure data is very limited.

6.4 Individual exposures to ash in dry conditions are going to be higher than background readings, especially in outdoor workers, like farmers. At times, some individuals doing dusty tasks or walking in ash deposits, for example, could have very high transient peak exposures, but their average exposure over 24 hours (including when levels are low inside homes, especially at night) should be much lower.

6.5 Exposure measurements inside and outside buildings will be useful in assessing the effectiveness of ash clean-up measures and the sealing of houses, schools and other buildings against ash entry, especially under the dry, windy conditions in the steppes.

6.6 At the time of our visit none of these exposure measurements were being undertaken for lack of available equipment.

A1.7 CLINICAL EFFECTS OF EXPOSURE TO FINE PARTICLES (PM_{2.5}) IN ASH-IMPACTED AREAS

7.1 Acute irritant effects of particles on the upper respiratory tract, eyes and possibly exposed skin would be expected when ash levels are highly elevated in the air. Individuals with pre-existing chronic lung problems, including those with asthma, would be expected to be affected most. In urban areas like Bariloche, Villa La Angostura, San Martin and Junin the number of people badly affected will be mainly limited by the wider availability of weather resistant housing that reduces the ingress of ash and the regular rainfall suppressing resuspension, as well as ready access to medical care for many people.

7.2 By contrast, in the Patagonian Steppe, the lower than normal rainfall in the last five years, the prevailing dry conditions and high winds mean that extremely high levels of PM are attained and the housing is generally of poorer quality and not built to resist the entry of ash; ready access to medical care is also more limited in rural communities. Eye problems, for example, were very common and in some people required admission to hospital. Children spent four months living in severe ash conditions after the June ash falls until schools were allowed to re-open, when they moved to the towns and stayed in dormitories where their exposure to ash would probably have been much less than in their home areas because the school buildings can be more adequately sealed to protect against ash entry than their homes.

7.3 In the sheep farming setting of the steppe, where ash storms lasting several hours occur as often as four days a week, finding out about health conditions like asthma in children, or worsening of health in adults with pre-existing health problems, is more difficult than in large cities and requires formal epidemiological surveys, as reliance cannot be placed on the numbers of attendances at clinics and hospitals. The impact on lives can be substantial, however, and families may decide to leave the area if one of the family members is badly affected by the ash. The prevalence of asthmatic symptoms in children aged 13-14 yr in Argentina (Neuquen) is typically about 10% in one published ISAAC survey. Patients with advanced heart and lung conditions should consider talking to their doctors about moving, if the option is available, whilst the severe exposure conditions last.

7.4 Additional adverse factors that need to be considered in some of the rural communities include the indoor burning of fossil fuels and tobacco smoking (both of which may expose households to further particulate pollution). Poverty and malnutrition is associated with tuberculosis and also childhood pneumonia (the commonest cause of illness and death in children under five years of age in low to medium economies), both of which may increase in incidence and severity due to the high ash exposure.

7.5 The evidence for long term health effects developing as a result of the current high levels of exposure to fine volcanic ash is less secure than the acute effects just described, as the necessary epidemiological surveys of large populations after volcanic eruptions have not been undertaken anywhere in the world. It is plausible, however, that lengthy and elevated exposures to volcanic PM_{2.5} could contribute to, for example, impairment of lung growth in children and the development of chronic obstructive pulmonary disease (COPD) in adults (WHO, 2006). COPD is the fourth most common cause of death worldwide (due to become the third by 2030) and the lifetime risk of contracting it is one in four; the key casual factor is active smoking. There is a very high prevalence of smoking in Argentina. COPD can also be caused, or contributed to, by environmental insults (including mineral dusts).

A1.8 TOXICOLOGICAL ASPECTS

8.1 The review on the respiratory health effects of volcanic ash by Horwell and Baxter (2006) summarises the scientific literature up to and including 2005. Since that time, research on combustion-derived PM has been applied to developing policies for reducing air pollution in cities and evaluating its public health impact (COMEAP, 2009; 2010). How relevant is this research to volcanic ash?

8.2 The annual average concentration of PM_{2.5} pollution in urban air of the UK and USA is in the order of 7-30 µg/m³. Within this range and without specifying which components of PM_{2.5} may be the most important, experts have come to some conclusions about the relationship, or risk coefficients, between exposure to PM_{2.5} and mortality risk using the results from epidemiological studies in large populations. (A risk coefficient summarises the percentage change in health outcome per unit change in air pollution concentration). A short term, incremental rise of 10 µg/m³ of PM₁₀ over background levels is sufficient to increase deaths from cardio-respiratory diseases by about one per cent (0.6%) over hours and days afterwards. Long term exposure to urban air with a raised background concentration of 10 µg/m³ of PM_{2.5} may increase all-cause mortality (mainly from cardio-respiratory diseases and lung cancer) by 6%. The mechanisms are still far from being understood, but toxicologists favour an explanation based on the inflammatory properties of the ultra-fine carbonaceous particles, together with their associated organics and transition metals formed from the chemical conversion of combustion gases emitted by traffic (WHO, 2006).

8.3 By contrast, there are no epidemiological studies that have followed up mortality in populations after volcanic eruptions and it is impossible to provide similar risk estimates for PM_{2.5} in volcanic ash. There is a general consensus, however, that mineral dusts are less toxic than combustion-derived particles in urban air. For example, we do not observe the large increases in hospital admissions (or mortality) that used to occur in the infamous smog episodes due to coal burning in the past, even though the concentrations of fine particles of ash in the air after eruptions may be even more elevated than the combustion-derived particles in the deadly smogs.

8.4 Nevertheless, we should regard the PM_{2.5} fraction of airborne ash as the most important for health risk assessment, as particles below 2.5 µm in aero-dynamic diameter deposit effectively in the alveoli, especially in high risk sub-groups in the population, such as the sick and elderly, or children. Ultrafine ash particles may also be present. Coarser particles should not be ignored, however, as they may act on the larger airways and trigger asthma and bronchitis symptoms, for example; hence, the PM₁₀ (the thoracic fraction) is also a useful measure and it incorporates PM_{2.5}. The risk coefficients discussed above for PM_{2.5} and PM₁₀ in urban air are useful as they define a relatively small level of risk in a large exposed population and exposure to ash at such low concentrations is unlikely to carry as high a risk. Extrapolation of these or other risk coefficients to the much higher concentrations usually seen in eruptions is not, however, straightforward in the current state of knowledge.

A1.9 PUBLIC HEALTH RESEARCH

9.1 In view of these uncertainties, further research should be undertaken on the health effects of the PCC-VC ash if the population is to be adequately informed about the risk of past and present exposure. This is important because of the continuing high exposures in the Patagonia steppe which may continue for months or years to come, as the populations in the rural settlements have already been, and continue to be, very highly exposed on a daily basis to PM_{2.5}. The following studies are suggested as priorities:

- Routine data collection of mortality statistics and hospital/clinic attendances should be reviewed and monitored in the ash fall areas. TB and childhood pneumonia need to be included in the monitoring of poor rural areas.
- A study of asthma and lung function in school children should be considered as a priority. School children in Linea Sur settlements are a high exposure group and warrant long term follow up; low to medium exposure groups for comparison could be chosen from the towns in the tourist areas where they receive much more rain.
- A study of respiratory symptoms and lung function in a group of adults, e.g., farmers, in the Linea Sur and a comparison group in rural areas where there is more rainfall. A study cohort could be established for long-term follow-up.
- Various objective variables for study could include inflammatory markers for systemic inflammation, as a sign of high exposure to fine ash and evidence of potential risk of cardio-vascular disease impact. Psychological stress (anxiety and depression) was reported to us as common in some rural areas: this also warrants further scientific investigation.
- Eye symptoms have been common and in some cases severe enough to require hospital admission: further study is needed as ocular effects of this severity due to volcanic ash are very unusual.

9.2 These studies involving samples of the population need to be expertly conducted with sufficient power and quality, and to continue for long enough, to be able to reassure people that adult and child health are not being irreversibly affected by continuing ash exposure, in particular in the steppes.

A1.10 MEASURING EXPOSURE TO PM

10.1 Measuring PM in the ambient air is an essential part of risk assessment and would be a key parameter in the epidemiological studies listed above. PM₁₀ and PM_{2.5} are invisible and cannot be estimated without proper instrumentation.

- Particle air monitoring stations (as installed in most major cities worldwide) should be established in the study areas to record hourly and daily means of background PM₁₀ and PM_{2.5}. These require a technician's support and are costly. The results can be automatically transmitted to a central office.
- Hand-held monitoring instruments like the DustTrak should be used to check PM levels in the outside air in towns and small settlements, and indoors in schools and houses to measure the effectiveness of sealing buildings against the ingress of ash. They can be set to record for long periods and downloaded.

- Exposures to PM in outdoor workers, or direct measures of exposure in other individuals, can be measured using instruments such as the Sidepak, which is a small device that works like the DustTrak, but fits on to a belt.
- An exposure survey using the DustTrak and Sidepak instruments should be undertaken in the worst affected towns, such as Pilcaniyeu, Pichi Leufú, Corralito, Ing. Clemente Onelli, Comallo and Jacobacci, to establish the current mean background levels of PM₁₀ and PM_{2.5} in the ambient air under a range of representative weather conditions, and to define the much higher mean personal exposures of children and representative groups of adults (Searl et al., 2002).

10.2 Some limited air sampling by collecting PM₁₀ on a filter with a pump has been undertaken by SEGEMAR. Significantly, we saw a mean result for one whole week (day and night) of air sampling at a location outside the hospital in Jacobacci in August, when conditions were still bad; the result was 600 µg/m³ – a very high figure.

A1.11 REDUCING EXPOSURE TO ASH

11.1 The most important determining factor in exposure to volcanic ash is rainfall. It suppresses resuspension of ash, clears suspended ash from the air, and washes ash away down slopes. It encourages the growth of grass through deposits of ash in flat fields or lawns around houses, and the incorporation of ash in soils in cultivated fields.

11.2 The low rainfall in the steppe has the opposite effect, with fine ash blown into piles against shrubs and waiting to be resuspended by strong winds. Ash storms, when visibility is reduced to less than one kilometre, occur on four days a week on average, last for several hours in the afternoons, and are worse in spring and summer.

11.3 We were in Jacobacci during one of these ash storms and PM₁₀ was measured at 919 µg/m³ (range: 277 - 6530) in the street over 15 min., and 625 µg/m³ (range: 374 - 1300) inside a restaurant. At about the same time inside the hospital, where windows were sealed up against the ash, the airborne concentrations on spot checks were around 130 µg/m³ and 30 µg/m³ in the (empty) operating theatre. This showed the effectiveness of measures taken to prevent the infiltration of ash in an ash storm. The conditions got worse later when we went out of town; the winds accelerated and started to pick up soil as well as ash, and the visibility dropped to a few metres.

11.4 Essential measures to reduce the average exposure to ash are to seal buildings against wind-borne ash and keep streets, and the surrounds of schools, homes and other buildings free of ash. This requires constant effort in the Linea Sur settlements, but it should be available to everyone to be able to massively reduce their exposure by going inside during ash storms. Dwellings need to be upgraded where necessary to keep the wind-blown ash out. In Comallo, ash was lying in main streets and on playing fields; by contrast, in Jacobacci the streets were regularly cleared of ash.

11.5 Effective, light-weight masks (N95, or FP2/FP3 standard) are available but were not widely used. For very dusty work or other high exposure periods they should always be worn. They should also be available for people with chronic respiratory problems. Suitable masks for children are not generally supplied by manufacturers.

A1.12 ANIMAL STUDIES

12.1 Sheep and cattle are highly exposed to ash in the fields. Blindness was commonly reported and many animals died from lack of food and water in the early eruption crisis. Rumens became blocked by boluses formed from a mixture of ingested ash and wool from the sheep's own coat. Respiratory problems in livestock were not reported, but attempts should be made to study the lung tissue from dead sheep for histological evidence of early chronic inflammatory changes due to ash. Negative findings in sheep with a history of lengthy and high exposure to ash would be reassuring evidence for humans living in the ash storm areas.

A1.13 IMPACTS OF ANDEAN ERUPTIONS

13.1 A major ash eruption impacting on Argentina has occurred approximately every 10 years throughout the 20th century. The eruption of Hudson in 1991 was the third largest in the world in the 20th century and had a similar impact to the present PCC-VC eruption in the arid areas of Patagonia. The lessons of the Hudson eruption need to be studied. It would also be important to know if health professionals were finding evidence of fibrosis in chest X-rays taken in patients for other reasons and which might be attributable to exposures to ash following this eruption. It provides another important opportunity for studying respiratory health impacts in settlements arising from exposures to ash that have continued for many years after the initial eruption.

13.2 Chaitén erupted in 2008 and the initial ash fall across Argentina contained low levels of cristobalite (Horwell et al., 2010; Reich et al., 2009). The volcano soon began a dome-building phase and the ash from subsequent dome collapse eruptions was found to contain up to 19 wt. % cristobalite (Horwell et al. 2010). Public health officials need to be prepared for a major future eruption of Chaitén in order to ensure that the ash is analysed for cristobalite without delay. This concentration of cristobalite in ash deposits would present a serious potential hazard of silicosis in the impacted settlements of the Patagonian steppes and population-wide measures to reduce exposure would have to be urgently introduced.

APPENDIX 2: SURFACE WATER QUALITY DATA COLLECTED IN STUDY REGION FOLLOWING THE JUNE 2011 PCC-VC ERUPTION

Table A 2.1 Physicochemical properties of surface waters used for drinking-water supplies in greater Bariloche region (analyses performed at INVAP laboratory and reproduced here by kind permission of Departamento Provincial de Aguas). Highlighted cells indicate values outside acceptable range.

Sample	Date of sampling	pH	Conductivity	Cl	Na	K	SO ₄	Si	As	Fe	F	Mn	Pb	Ca	Mg	Cu	Cr	Al
			µS/cm															
CAB water intake	6-Jun-11	7.72	38.1	<250	<200	0.29	<250	3.1	<0.05	<0.3	<1.5	<0.5	<0.01	4.87	0.53	<2	<0.05	<0.2
Municipalidad de Dina Huapi	6-Jun-11	6.53	34.4	<250	<200	0.3	<250	3	<0.05	<0.3	<1.5	<0.5	<0.01	3.7	0.56	<2	<0.05	<0.2
Municipalidad de Dina Huapi	8-Jun-11	6.94	34.7	<250	<200	0.27	<250		<0.05	<0.3	<0.05	<0.5	<0.01	3.27	0.77	<2	<0.05	<0.2
Villa los Coihues	6-Jun-11	7.06	64.6	<250	<200	0.34	<250	3.8	<0.05	<0.3	<1.5	<0.5	<0.01	11.3	1.71	<2	<0.05	<0.2
Villa los Coihues	8-Jun-11	7.16	65.1	<250	<200	0.35	<250		<0.05	<0.3	<0.05	<0.5	<0.01	7.59	0.5	<2	<0.05	<0.2
Barrio Parque El Faldeo	6-Jun-11	6.93	34.8	<250	<200	0.28	<250	2.7	<0.05	<0.3	<1.5	<0.5	<0.01	3.9	0.58	<2	<0.05	<0.2
Barrio Parque El Faldeo	8-Jun-11	6.96	35.3	<250	<200	0.3	<250		<0.05	<0.3	<0.05	<0.5	<0.01	3.12	0.74	<2	<0.05	0.3
Barrio Nahuel Malal	6-Jun-11	6.98	35.4	<250	<200	0.27	<250	2.6	<0.05	<0.3	<1.5	<0.5	<0.01	4.2	0.57	<2	<0.05	<0.2
Barrio Nahuel Malal	8-Jun-11	7.02	38.1	<250	<200	0.33	<250		<0.05	<0.3	<0.05	<0.5	<0.01	3.51	0.8	<2	<0.05	0.8
Villa Campanario	6-Jun-11	6.97	36.2	<250	<200	0.27	<250	2.5	<0.05	<0.3	<1.5	<0.5	<0.01	3.8	0.57	<2	<0.05	<0.2
Villa Campanario	8-Jun-11	6.97	37.3	<250	<200	0.27	<250		<0.05	<0.3	<0.05	<0.5	<0.01	3.12	0.77	<2	<0.05	<0.2
Casa de Piedra	8-Jun-11	7.04	40.1	<250	<200	0.18	<250		<0.05	<0.3	<0.05	<0.5	<0.01	5	2.15	<2	<0.05	<0.2
Tolerable limits	-	6.5-8.5	-	250	200	-	250	-	0.05	0.3	1.5	0.5	0.01	-	-	2	0.05	0.2

Table A 2.2 Physicochemical properties of source waters used for drinking-water supplies and treated water in distribution system in Villa la Angostura (analyses performed at INVAP laboratory and reproduced here by kind permission of Bromatología Municipal, courtesy of Alejandro Murcia).

Parameters	Tolerable limits	Units	11 June 2011				17 June 2011	
			Muestra Río Correntoso	Muestra Lago Nahuel Huapi	Muestra A° Piedritas	B° Pto Manzano (con cloración)	Muestra Río Bonito	Agua de Red de Bomberos
			Stream	Lake	Stream	Treated tap water	Stream	Treated tap water
pH (25°C)	6,5 - 8,5		6.57	6.62	6.35	6.67	6.44	6.8
Conductivity	*	uS/cm	27.5	28.6	74.4	85.6	58.8	27.4
Na	200	mg/L	<200	<200	<200	<200	<200	<200
K	*	mg/L	0.43	0.38	0.70	0.95	0.83	0.41
Cl	250	mg/L	<250	<250	<250	<250	<250	<250
SO ₄	250	mg/L	<250	<250	<250	<250	<250	<250
As	0,05 (p)	mg/L	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Fe	0.3	mg/L	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
F	1,5 (2)	mg/L	<1.5	<1.5	<1.5	<1.5	<1.5	<1.5
Mn	0,1 (p)	mg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Pb	0.01	mg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Ca	*	mg/L	2	2	4.8	6.2	3.9	3.55
Mg	*	mg/L	0.6	0.72	1.20	1.60	1.10	0.73
Cu	1 (p)	mg/L	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Turbidity	2	NTU	65	13	60	45	50	2
Cr	0,05 (p)	mg/L	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Al	0.2	mg/L	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2

Table A 2.3 Time series of physicochemical properties in tap water collected from Barrio Las Piedritas, Villa la Angostura (analyses performed at INVAP laboratory and reproduced here by kind permission of Bromatologia Municipal, courtesy of Alejandro Murcia).

Parameters	Units	Tolerable limits	7 June 2011	8 June 2011	9 June 2011	10 June 2011	13 June 2011	14 June 2011	16 June 2011	11 July 2011	2 August 2011
pH		6.5 - 8.5	6.91	6.2	6.67	6.54	6.76		6.34	6.07	7.1
Si	mg/L		2.1	3	12.3	11.4	7.5		13.4	12.3	26.7
SO4	mg/L	400	8	5	8	5	2		6	4	9
Turbidity	NTU	2	8	23	10	19	12		16	47	3
As	mg/L	0.01	0.01				0.01		0.01	0.01	< 0,01

Table A 2.4 Time series of physicochemical properties in tap water collected from central Villa la Angostura (analyses performed at INVAP laboratory and reproduced here by kind permission of Bromatologia Municipal, courtesy of Alejandro Murcia).

Parameters	Units	Tolerable limits	7 June 2011	8 June 2011	9 June 2011	13 June 2011	16 June 2011	11 July 2011	2 August 2011	2 August 2011
pH		6.5 - 8.5	7.19	6.54	7.16	6.81	6.83	6.12	6.87	6.77
Si	mg/L		6.6	4.3	7.6	8.1	6.9	8.7	13.9	13.8
SO4	mg/L	400	2	2	< 2	2	2	4	< 2	< 2
Turbidity	NTU	2	1	4	3	1	16	19	2	5
As	mg/L	0.01	< 0.01			< 0.01		< 0.01	< 0.01	< 0.01

APPENDIX 3: DATA FROM VILLA LA ANGOSTURA

Table A 3.1 Tap water (*agua de red*) collected on 11 July 2011 from different neighbourhoods of Villa la Angostura. Data kindly provided by laboratory of Bromatología Municipal, courtesy of Alejandro Murcia.

Neighbourhood	Brief description of water supply system	Summary of water quality (microbiological)	Residual chlorine ^φ
Las Bandurrias	Intake in Lago Nahuel Huapi, storage in three tanks of 30 m ³ each, disinfection with sodium hypochlorite. The system is considered well maintained.	Fit for human consumption	None
Villa Correntoso	As above	Not fit for human consumption (microbial indicators exceed allowable levels)	None
Club Cumelen Tank #1	Private system, has its own intake in Lago Nahuel Huapi. No filtration, just chlorination.	Fit for human consumption	<0.1 mg/L
Club Cumelen Tank #2	As above	Fit for human consumption	<0.1 mg/L
Puerto Manzano	There is a stream intake on a tributary of the Rio Bonito, and a pump from the main Rio Bonito. The system has coarse screening of organic debris and a sand trap, but no sand filters. There are major problems with organic debris from the stream intake and it would be preferable to use only the pumped water. There is a chlorine dosing pump but the quantity of suspended solids and organic matter in the system prevents an adequate chlorine residual in the distribution system.	Not fit for human consumption (turbidity identified visually in water)	None
Las Piedritas 'House 4'	There is a stream intake in the Arroyo Colorado, followed by a sand trap and then slow sand filters which are in a state of disrepair and poorly maintained.	Not fit for human consumption (turbidity identified visually in water)	<0.1 mg/L
Las Piedritas 'School 186'	As above	Not fit for human consumption (turbidity identified visually in water), and also a break identified in the chlorine dosing system)	<0.1 mg/L
'In front of the fire station' (El Once neighbourhood)	Lomas del Correntoso treatment system has intakes on Lago Nahuel Huapi and Lago Correntoso. An additional intake on the Arroyo Piedritas is currently not used because of problems with suspended solids in flood flows. For the Lago Correntoso intake, there is a new filtration system with four rapid sand filters. However, this water is then mixed with unfiltered water from the other intakes. The stored water is then chlorinated.	Fit for human consumption	0.5 mg/L

φ to prevent re-infection in the distribution system, residual chlorine should be in the range 0.2-0.5 mg/L.

APPENDIX 4: PREVIOUS INVESTIGATIONS ON 1991 HUDSON ERUPTION

Lessons from Hudson – coping with wind remobilisation of ash

Our field team conducted a study (in January 2008) of long-term recovery of rural communities and farming operations in the area affected by ashfall from the 1991 eruption of Hudson volcano, located approximately 600 km south of Puyehue-Cordón Caulle. The Hudson eruption was the third-largest of the 20th century, and deposited ashfall over approximately 150,000 km² of land in Santa Cruz province. For several years after the eruption, recovery of farming areas was severely inhibited by problems caused by wind-remobilised ash ('ash storms', see Wilson et al. 2011a). Seedlings were sheared off by windblown ash or buried by ash deposits, inhibiting any pasture growth. Livestock health continued to suffer, with gastrointestinal blockages, tooth abrasion and eye irritation continuing. Many of the marginal farms were abandoned and there were extensive migrations out of the area throughout the 1990s.

Lessons from this event are applicable to the 2011 Cordón Caulle eruption, especially for the steppe region where remobilised ash is already causing problems for agricultural recovery (Wilson et al., 2011b, 2012):

- Farmers who acted quickly to stabilise ash fall deposits by cultivating them into the soil and replanting had a clear advantage over those who did not. Cultivation using a chisel plough (to maintain a textured surface) and hay mulch (to increase soil organic content) were found to be most effective.
- The use of shelter belts of willow or poplar was valuable in providing protection for crops from windblown ash. These are not an immediate solution as they require time to become established.
- Diversification of production into greenhouse cultivation was advantageous as it provided farmers with an additional income stream and are relatively resilient to conditions with high levels of windblown ash.
- The development of district irrigation schemes has allowed greater resilience to climatic variability, and greatly increased production volumes.

APPENDIX 5: 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.

CONTENTS

RESUMEN EJECUTIVO	46
1.0 INTRODUCCIÓN DEL EQUIPO DE ESTUDIO Y OBJETIVOS	49
2.0 BREVE SÍNTESIS DE LA ERUPCIÓN DEL PUYEHUE-CORDÓN CAULLE	51
2.1 Características variables de la ceniza.....	52
2.2 Removilización de los depósitos de ceniza.....	52
3.0 OBSERVACIONES	53
3.1 Peligros de ceniza en suspensión.....	53
3.1.1 Riesgos del agua potable.....	55
3.2 Pastoreo	56
3.2.1 Impactos de la erupción	56
3.2.2 Estrategias para la recuperación.....	58
3.3 Infraestructura/Servicios Básicos	58
3.3.1 Red eléctrica.....	58
3.3.2 El suministro de agua	60
3.3.3 Tratamiento de aguas residuales/domiciliarias	61
3.3.4 Transporte	61
3.3.5 Limpieza en ambientes urbanos	62
3.3.6 Comunicaciones	64
3.4 Manejo de la Emergencia.....	64
3.4.1 Alerta de erupción y comprensión de las consecuencias	64
3.4.2 Marco de Protección Civil Local-Provincial-Nacional (manejo de emergencias)	65
3.4.3 Resumen y Recomendaciones	65
4.0 AGRADECIMIENTOS.....	69

FIGURES

Figure 2.1	Área de estudio mostrando la ubicación de isopacas de cenizas (cm), los centros poblados visitados y los sitios de muestreo.....	51
-------------------	--	----

APPENDICES

APPENDIX 1: PELIGROS PARA LA SALUD DERIVADOS DE LA CENIZA VOLCÁNICA DE LA ERUPCIÓN DEL PUYEHUE-CORDÓN CAULLE	73
A1.1 Marco General	73
A1.2 Caracterización de la ceniza.....	74
A1.3 Medidas para reducir la exposición	74
A1.4 Efectos clínicos a la exposición de partículas finas (PM _{2.5}) en áreas impactadas por la ceniza.....	75
A1.5 Aspectos toxicológicos	76
A1.6 Investigación de Salud Pública.....	78
A1.7 Midiendo exposición a PM.....	78
A1.8 Reduciendo la exposición a la ceniza.....	79
A1.9 Estudios en animales.....	80
A1.10 Impactos de las erupciones Andinas.....	80
APPENDIX 2: SURFACE WATER QUALITY DATA COLLECTED IN STUDY REGION FOLLOWING THE JUNE 2011 PCC-VC ERUPTION	82
APPENDIX 3: DATOS DE VILLA LA ANGOSTURA.....	85
APPENDIX 4: INVESTIGACIONES PREVIAS SOBRE LA ERUPCIÓN DEL 2008 DEL CHAITÉN Y LA ERUPCIÓN DE 1991 DEL HUDSON	87

APPENDIX TABLES

Table A 2.1	Physicochemical properties of surface waters used for drinking-water supplies in greater Bariloche region	82
Table A 2.2	Physicochemical properties of source waters used for drinking-water supplies and treated water in distribution system in Villa la Angostura.....	83
Table A 2.3	Time series of physicochemical properties in tap water collected from Barrio Las Piedritas, Villa la Angostura.....	84
Table A 2.4	Time series of physicochemical properties in tap water collected from central Villa la Angostura	84
Table A 3.1	Agua corriente (<i>agua de red</i>) colectada el día 11 de Julio de 2011 en distintos barrios. Datos gentilmente proporcionados por el Laboratorio de Bromatología Municipal, cortesía del bromatólogo Alejandro Murcia.	85

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



Photo: Ailén Rodríguez

Mayo 2012

Thomas Wilson¹, Carol Stewart¹, Heather Bickerton¹, Peter Baxter²,
Valeria Outes³, Gustavo Villarosa³, Elizabeth Rovere⁴

1. University of Canterbury, Christchurch New Zealand
2. University of Cambridge, Cambridge, United Kingdom
3. INIBIOMA (CONICET-Universidad Nacional del Comahue), Bariloche, Argentina
4. SEGEMAR, Buenos Aires, Argentina

RESUMEN EJECUTIVO

Los efectos de la erupción del Complejo Volcánico Puyehue-Cordón Caulle (PCC-VC) de junio de 2011, sobre la infraestructura urbana, rural, ganadería, agricultura y la salud en Argentina fueron estudiados por un equipo multidisciplinario de Nueva Zelanda, Reino Unido y Argentina. El equipo también evaluó la gestión de la emergencia volcánica. Las tareas de campo se llevaron adelante entre el 27 de Febrero y el 16 de Marzo de 2012. Se concentraron los esfuerzos en los centros urbanos (Villa la Angostura, San Carlos de Bariloche e Ing. Jacobacci) y en las zonas rurales, más afectadas por caídas de ceniza.

Una característica notable de esta erupción, y de otras en Patagonia, ha sido la removilización generalizada de los depósitos de tefra por los vientos predominantes en la región. Las localidades en la estepa como Jacobacci, han sido particularmente afectadas, y al momento de nuestra visita, la calidad del aire se veía con frecuencia, severamente afectada.

La respuesta de Salud Pública a la extensa caída de ceniza fue limitada debido a la falta de información que se le impartió a la población sobre: posibles efectos en la salud, a corto y largo plazo, por la exposición a la ceniza; los tamaños de las partículas y los resultados sobre las mediciones de concentraciones de ceniza en el aire para evaluar los riesgos a la salud respiratoria. El hallazgo más relevante ha sido, que hasta el momento, no se ha determinado la presencia de sílice cristalina (posible causa de silicosis) en la fracción respirable (PM_{4}), pero aún restan evaluar muestras de una zona geográfica más extensa para confirmar este resultado. Sin embargo, un valor elevado de la fracción $PM_{2.5}$ está presente en la ceniza y estos depósitos son muy persistentes en las zonas áridas favoreciendo la continua y elevada exposición a $PM_{2.5}$ y PM_{10} en la estepa, provocando gran preocupación, ya que podrían a largo plazo, causar enfermedades respiratorias, como la Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC), la reducción del crecimiento pulmonar en los infantes, así como la exacerbación del asma en adultos y en niños. Se requiere de forma urgente, desarrollar un programa de evaluación de la contaminación del aire y monitoreo de los niveles de ceniza dentro de los hogares, y, en individuos de grupos de riesgo de la estepa, junto con un estudio epidemiológico y supervisión de enfermedades respiratorias. Sigue siendo imperioso aplicar y extender las medidas de seguridad, reduciendo la filtración de ceniza en los hogares y edificios como las escuelas, durante los frecuentes episodios de fuertes vientos. Se debe aplicar y fortalecer los métodos para reducir el movimiento de la ceniza provocado por el viento, continuando con la limpieza efectiva de la misma, tanto de las calles como alrededor de los hogares.

La erupción tuvo graves repercusiones en la ganadería extensiva en los mallines desde la región de Comallo hasta Jacobacci, con pérdidas de hacienda de 40-60%. Las causas de muerte incluyen el hambre, la deshidratación, los bloqueos del rumen y el daño por abrasión de los dientes. Los efectos de la erupción se vieron agravados por las condiciones de sequía pre-existentes en la región. Los efectos fueron comparativamente menos severos en las zonas agrícolas más cercanas al volcán (con pérdidas de hacienda de alrededor del 25%). Hemos sugerido algunas estrategias para la recuperación de la agricultura basándonos en nuestras experiencias sobre anteriores erupciones en la Patagonia.

En general, los impactos sobre las redes eléctricas, el abastecimiento de agua, el tratamiento de los efluentes domiciliarios, la red de comunicaciones y el transporte terrestre, fueron los esperados, basándonos en nuestros estudios de otras erupciones. Probablemente la más grave e 'inesperada' interrupción fue la del aeropuerto internacional de Bariloche, que se mantuvo en gran medida fuera de servicio, aún pasado su período de

cierre oficial de un mes, por reparaciones y limpieza. Esto se debió a la cautela implementada por las principales compañías aéreas ante la continua actividad del Complejo Volcánico Puyehue-Cordón Caulle (CV-PCC), y la incertidumbre acerca de los umbrales de seguridad operativa. Las interrupciones en los vuelos tuvieron un efecto considerable sobre la economía de la región, consecuencia acaecida, más allá de la competencia de nuestro estudio de evaluación.

En términos de gestión de emergencia durante la crisis eruptiva, se nos hizo evidente que hubo un grupo comprometido, capaz de responder ante las emergencias incluyendo a los responsables de los servicios básicos, que han trabajado incansablemente para responder y recuperarse de la crisis de la erupción. Sin embargo, estos esfuerzos individuales se vieron opacados por la falta de coordinación general y enlace deficiente entre Defensa Civil, local, regional y nacional, los organismos científicos y el observatorio volcanológico en Chile. Dada la frecuencia de erupciones volcánicas andinas, es vital que las lecciones aprendidas sean incorporadas para reducir la vulnerabilidad de esta zona en futuras erupciones.

Finalmente nos gustaría remarcar que este informe presenta nuestras observaciones sobre la crisis eruptiva en Argentina, no constituyendo un registro oficial del evento.

1.0 INTRODUCCIÓN DEL EQUIPO DE ESTUDIO Y OBJETIVOS

Un equipo de campo viajó a Chile y Argentina entre el 27 febrero-16 marzo 2012, para investigar el impacto y sus consecuencias, en la erupción de junio de 2011-presente, del Complejo Volcánico Puyehue-Cordón Caulle (en adelante, VC-PCC), Chile.

Los objetivos específicos de la visita fueron investigar:

- Los impactos de la erupción en los servicios básicos críticos en las zonas urbanas;
- Los impactos en la agricultura-ganadería y sus repercusiones en la salud del ganado, la evacuación, las adaptaciones en las prácticas agrícolas junto con los plazos de recuperación y rehabilitación de tierras cultivables;
- la gestión de emergencias de la crisis de la erupción e identificar las lecciones importantes aprendidas;
- el fenómeno de la movilidad de los depósitos de cenizas por el viento y la acción fluvial, y
- las implicancias en la salud por la erupción.

Miembros del equipo de campo: Dr Tom Wilson, Dr Carol Stewart and Heather Bickerton, de la Universidad de Canterbury, Nueva Zelanda, y Dr Peter Baxter, de la Universidad de Cambridge, RU, quien se unió al equipo entre el 27 febrero y el 5 de marzo. El equipo recibió constante e invaluable asistencia de colaboradores locales del Instituto de Investigaciones en Biodiversidad y Medioambiente Instituto de Investigaciones en Biodiversidad y Medioambiente INIBIOMA (CONICET - Universidad Nacional del Comahue), Bariloche (Dr Gustavo Villarosa and Lic. Valeria Outes). La Dra Elizabeth Rovere del SEGEMAR organizó el itinerario del Dr Peter Baxter, tramitando varios contactos locales. Este trabajo se encuentra apoyado por un gran grupo de colegas de Nueva Zelanda, Estados Unidos y del Reino Unido, de las siguientes organizaciones: GNS Science, Massey University, Durham University y el US Geological Survey. Comentarios de asesoramiento sobre este informe, fueron aportados por el Dr John Ewert, USGS; Profesor David Johnston, Massey University/GNS Science, Nueva Zelanda; y el Dr Richard Smith, Ministerio de Defensa Civil y Administración de Emergencias, Nueva Zelanda.

El objetivo general de nuestra investigación es reducir la vulnerabilidad a las erupciones volcánicas; los objetivos específicos: comprender mejor los impactos de las erupciones (particularmente con la caída de ceniza volcánica, siendo el producto más ampliamente distribuido en las erupciones explosivas) en la salud humana, la agricultura y ganadería, en los servicios básicos, avanzando hacia la identificación de mejores prácticas para la gestión de emergencias. Hemos realizado evaluaciones de impacto volcánicas en una serie de países alrededor del mundo, incluidos los trabajos previos en la Patagonia relacionados con las erupciones del Hudson de 1991 y Chaitén del 2008. Trabajamos bajo el auspicio del Grupo de Trabajo de Impacto de Cenizas y la Red Internacional Volcánica de Salud en Riesgo (IVHHN)¹.

¹ El Volcanic Ash Impacts Working Group (Grupo de trabajo sobre impactos de la ceniza volcánica) y el IVHHN (Red internacional sobre peligros volcánicos y su impacto en la salud) son grupos de trabajo oficiales de la Asociación de Volcanología y Química del Interior de la Tierra (IAVCEI), reconocida como la asociación de volcanólogos del mundo

Contactos:

- carol.stewart@canterbury.ac.nz
- thomas.wilson@canterbury.ac.nz
- heather.bickerton@pg.canterbury.ac.nz
- pjb21@medschl.cam.ac.uk Peter Baxter
- valeria.outes@gmail.com
- villarosag@comahue-conicet.gob.ar
- eirovere@gmail.com

2.0 BREVE SÍNTESIS DE LA ERUPCIÓN DEL PUYEHUE-CORDÓN CAULLE

El 27 de abril de 2011, se detectó un enjambre de sismos localizados en la zona de la fisura del Cordón-Caulle². Estos sismos continuaron aumentando en magnitud y frecuencia hasta el sábado 4 de junio, dando inicio a la secuencia de erupción actual, generando una pluma de gas y ceniza de 5 km de ancho y cuya altura fue de 12,2km, acompañado de flujos piroclásticos. En las primeras horas del domingo 5 de junio, se habían producido lluvias de ceniza en los siguientes centros poblados (Figure 2.1):

- Aproximadamente 15-17 cm de caída de ceniza gruesa sobre Villa La Angostura, a 54 km ESE del foco;
- Alrededor 3-4,5 cm de tefra media a gruesa (hasta 6 mm de tamaño, de partículas especialmente planas, 3-4 mm de piroclastos más esféricos) cayeron sobre la ciudad de San Carlos de Bariloche, ubicada a 100 km SE del foco;
- Aproximadamente 5 cm de ceniza fina sobre en Ing. Jacobacci, que se encuentra a 240 km ESE del volcán en la estepa³.

Al 7 de junio, la piedra pómez y la pluma de ceniza se habían corrido hacia el norte para depositar hasta 2 cm en San Martín de los Andes, a 80 km al NE. Desde el 5 de junio, la Ciudad de Buenos Aires estaba cubierta por una fina capa de ceniza (Botto et al., 2012). El aeropuerto internacional de Ezeiza permaneció cerrado por más de 15 días, así como los aeropuertos locales de más de 10 ciudades, incluyendo Uruguay y Sur de Brasil. Para el 16 de Junio², la difusa pluma de ceniza había circunnavegado el globo. La pluma de gas y ceniza continuaron siendo eyectadas desde la fisura con alturas de hasta 13 km, reduciéndose a unos pocos kilómetros para principios de julio, causando continuas interrupciones en itinerarios de vuelos en Nueva Zelanda, Australia y Sudáfrica, durante ese periodo.

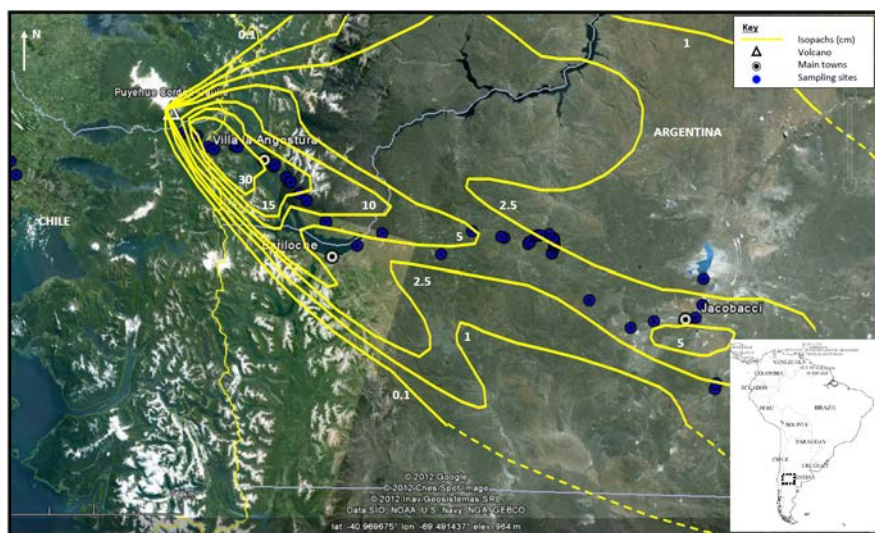


Figure 2.1 Área de estudio mostrando la ubicación de isopacas de cenizas (cm), los centros poblados visitados y los sitios de muestreo.

² Observatorio volcanológico de los Andes del Sur, Reportes de actividad volcánica 2011/12. OVDAS-SERNAGEOMIN. Consultados en Enero 5, 2012, en http://www2.sernageomin.cl/ovdas/ovdas7/informativos2/informes_ovdas01.php

³ Área que recibió acumulaciones de ceniza mayores a las esperadas de acuerdo a su distancia al volcán. Esto se conoce como máximo secundario de distribución de ceniza, habitualmente se produce por la formación de agregados de ceniza transportada a sotavento en la pluma eruptiva.

2.1 CARACTERÍSTICAS VARIABLES DE LA CENIZA

La variación y distribución del tamaño de la ceniza en las muestras tomadas en Villa La Angostura en Junio 2011, reflejan las variaciones de los parámetros eruptivos, la dirección e intensidad de los vientos. Las muestras de grano grueso recogidas durante los primeros cuatro días de la erupción, se componen principalmente de lapilli y ceniza gruesa, la fracción principal oscila entre 500 μ -1,5 mm de diámetro con un contenido menor a 1% (en vol.) de fracción <63 μ . Las muestras de ceniza fina recolectadas el 8 de junio presentan 25% (en peso) de partículas de 500 μ de diámetro y 30 % (en peso) <63 μ . Los resultados de las muestras recogidas durante la caída de ceniza entre los días 13-14 de junio, indican que casi el 40 % (en vol.) del material es <63 μ de diámetro, y ~12 % (vol.) corresponde a PM₁₀ y 5% (vol.) de PM₄⁴.

Las muestras de grano grueso, colectadas en Bariloche durante el 4 de junio, presentan sus tamaños mayores en el rango 375-750 μ con menos del 2% del material de diámetros <63 μ . El tamaño de grano medido por difracción láser en la muestra de caída de ceniza directa del 11 de junio, oscila entre 0,5-650 μ , con ~53% (vol.) <63 μ de diámetro, 12,56 % (vol.) de PM₁₀ y 5% (vol.) de PM₄. La cantidad de material respirable (PM₄ y PM_{2,5}) en muestras de ceniza fina de zonas medias y distales recogidas durante junio de 2011, medidas por difracción láser (IADO CONICET-UNS) presentan contenidos de PM₄ entre 3,5-7,4 % (vol.) y de 2-4,6 % (vol.) de PM_{2,5}. Se informaron excepciones a estos rangos en las muestras recogidas durante los primeros días de la erupción en la Línea Sur, donde el contenido de fracción respirable era sustancialmente más alto, oscilando entre 12-30% (vol.) de PM₄ y 7-16% (vol.) de PM_{2,5}. Muestras colectadas de estos mismos lugares durante la última semana de junio, muestran contenidos dentro del rango informado para el resto de los sitios.

2.2 REMOVILIZACIÓN DE LOS DEPÓSITOS DE CENIZA

Los depósitos de ceniza no consolidada son propensos a ser removilizados por acción del viento y agua. Ha habido una amplia removilización de la ceniza debido a los fuertes y predominantes vientos del oeste en la región, siendo los pueblos de la estepa, como Jacobacci en particular, gravemente afectadas⁴. Las escuelas de la región estuvieron cerradas por casi cuatro meses después de la erupción, y durante condiciones de viento, los pobladores no tuvieron otra opción que permanecer en casa.

Es probable que la removilización fluvial de los depósitos de gran espesor de ceniza, sea más elevada en las zonas proximales en donde el terreno tiene mayor pendiente. Los servicios básicos en situación de riesgo pueden incluir rutas, puentes y zonas habitadas como Villa La Angostura. La pobre consolidación de la ceniza, en zonas áridas de la estepa, también plantea un riesgo por posible movilidad fluvial. Un evento de lluvia intensa ocurrido el 8 de marzo de 2012, provocó una movilización del material de superficie en forma de flujo, dañando los caminos e inundando tierras en la zona de Comallo. Al momento de escribir este informe, aún no se podía determinar hasta qué punto, el material movilizado consistía en ceniza recientemente depositada u otro material de superficie, pero los estudios actuales en curso debieran dar respuesta.

⁴ Material particulado (PM) menor a 10 micrones (PM₁₀) o menor a 4 micrones de diámetro (PM₄)

3.0 OBSERVACIONES

Las siguientes secciones describen nuestras observaciones sobre las consecuencias del impacto eruptivo en la salud, ganadería-agricultura y en los servicios básicos. Describimos, también, nuestras apreciaciones sobre el manejo de la emergencia junto con las operaciones de limpieza realizadas en los distintos centros urbanos.

3.1 PELIGROS DE CENIZA EN SUSPENSIÓN

La gestión de aspectos de la salud en erupciones volcánicas, forma parte importante de la respuesta inmediata a la emergencia y para la fase de restauración a la normalidad de las zonas afectadas. Medidas de salud pública, concernientes a la ceniza volcánica, deberían ser una parte integral de la gestión de crisis, éstas son discutidas en mayor detalle en el Anexo 1.

Las medidas deberían incluir la rápida difusión de información sobre la naturaleza de la ceniza y su potencial para causar problemas respiratorios, a corto y largo plazo, así como las medidas preventivas que individuos y la comunidad toda, podrían tomar para reducir la exposición. En todas las erupciones explosivas una proporción significativa de la ceniza es muy fina y es capaz de ser inhalada dentro de los sacos de aire (alvéolos) de los pulmones. Son estas partículas de ceniza fina que pueden ser fácilmente resuspendidas en el aire desde sus depósitos de superficie durante periodos de sequía, permaneciendo en el aire posteriormente, durante horas o hasta días.

El material particulado de diámetro equivalente a $10\ \mu$ y menor se denomina PM_{10} , siendo metódicamente medido por estaciones de monitoreo de aire, en ciudades de Europa y de Estados Unidos, asegurando que las concentraciones del material particulado (PM) en el aire ambiental, no exceda los límites legales en periodos de tiempo específicos, normalmente 24 horas. Luego de lluvias de ceniza los niveles de PM_{10} pueden superar con creces estos límites hasta tanto la lluvia limpie el aire, y luego estos niveles aumentarán nuevamente cada vez que las condiciones del tiempo sean de sequedad y ventoso. Los individuos más afectados por esta exposición de PM, son aquellos con afecciones respiratorias preexistentes tales como asma o bronquitis crónica, notando ellos, que se exacerban sus síntomas en los días ventosos, especialmente si están al aire libre. Afortunadamente, son poco comunes estos problemas agudos y severos en tales pacientes, aún cuando la ceniza es visible en el aire y los niveles de PM_{10} son altos, si bien, podrían requerir una modificación en su medicación.

La ceniza fina en suspensión por largos periodos de tiempo, junto con sus efectos sobre la salud, pueden crear a largo plazo gran preocupación. Un aspecto importante de la ceniza de volcanes andinos, es la necesidad de comprobar la presencia de sílice cristalina en el PM, ya que este mineral tiene el potencial de causar silicosis, forma de fibrosis o presencia de cicatrices en los pulmones en individuos anteriormente sanos. Afortunadamente los análisis realizados hasta el momento demuestran que este mineral no está presente, pero como la ceniza ha caído en una zona amplia de la Argentina y de forma prolongada, se deben llevar a cabo más análisis para corroborar este hallazgo.

Actualmente hay una muy alta exposición de PM en la estepa patagónica, siendo inquietante cuánto se podría eventualmente, llegar a perjudicar la salud respiratoria, por la persistente

alta exposición, de los niños y adultos sanos. Se recomienda la siguiente investigación para monitorear el riesgo de la salud de estos habitantes:

- La recopilación de datos sobre rutinas de las estadísticas de mortandad y de las consultas hospitalarias/clínicas deberían ser revisadas y supervisadas en las áreas donde cayó ceniza. La tuberculosis y la neumonía infantil deben ser incluidas en la vigilancia de las zonas rurales de menores recursos.
- Un estudio del asma y de la función pulmonar, en niños en edad escolar, debe ser considerado como prioridad. Los escolares de los poblados de la Línea Sur, son un grupo de alta exposición, garantizando un seguimiento a largo plazo; grupos coetáneos pero de baja o mediana exposición, para comparación, elegidos en las ciudades de la zona turística, donde recibieron mucha lluvia.
- Un estudio de los síntomas respiratorios y función pulmonar en un grupo determinado de adultos, por ejemplo, pobladores rurales de la Línea Sur, comparándolo con un grupo de pobladores de una zona rural en donde haya muchas precipitaciones. Podría establecerse un estudio de cohorte para el seguimiento a largo plazo.
- Las variables de varios objetivos de estudio podrían incluir marcadores inflamatorios demostrando inflamación sistémica, como signo a la alta exposición de ceniza fina como evidencia de riesgo de enfermedad cardiovascular. Se nos informó de estrés psicológico (ansiedad y depresión) debido a la caída de ceniza en la zona, a menudo causado por las incertidumbres sobre la evolución de esta erupción prolongada y los efectos económicos desestabilizantes. Fue un impacto grave en algunas zonas rurales. Esto también justifica una mayor investigación científica.
- Los síntomas oculares han sido comunes y en algunos casos lo suficientemente severos como para requerir hospitalización: se necesitan más estudios sobre efectos oculares atribuidos a ceniza volcánica ya que son inusuales estos efectos tan agudos debidos a la ceniza volcánica.

Los riesgos en la salud, tanto en áreas muy afectadas como en aquellas poco impactadas, deberían ser regularmente evaluados, monitoreando la exposición de fondo de la comunidad y la exposición personal en los individuos:

- Las estaciones de monitoreo de partículas de aire (como las instaladas en las principales ciudades de Europa y de Estados Unidos) deberían colocarse en las áreas de estudio para registrar a cada hora y diariamente, la media de fondo del PM₁₀ y el PM_{2.5}. Esto requiere apoyo técnico y es costoso. Los resultados pueden ser transmitidos automáticamente a una oficina central.
- Instrumentos de control manuales, como el DustTrak, deberían utilizarse para verificar los niveles de PM en el aire ambiente en pueblos y pequeños asentamientos, como en el aire ambiente interno de las escuelas y casas para medir la efectividad del sellado de los edificios contra la filtración de ceniza. Se puede configurar para registrar mediciones durante largos períodos y descargarlo con posterioridad.
- Las mediciones de trabajadores expuestos a la intemperie/al aire libre, o las mediciones directas de la exposición de individuos, se pueden realizar usando instrumentos como el Sidepak, que es un pequeño dispositivo que funciona como el DustTrak, pero se ajusta a un cinturón.

- Debe llevarse a cabo una encuesta de exposición utilizando los instrumentos DustTrak y Sidepak, en las ciudades severamente afectadas como Comallo y Jacobacci, para establecer los niveles medios de fondo actuales de PM₁₀ y de PM_{2.5} en el aire ambiente, en una amplia gama de condiciones climáticas representativas, y definir la media personal, que es más elevada en los niños, y de grupos representativos de adultos. Consúltase la metodología utilizada en Montserrat por Alison Searl y otros⁵.

Detalles sobre los instrumentos que registran y leen los niveles de PM pueden ser solicitados a pedido⁶.

3.1.1 Riesgos del agua potable

Después de una erupción volcánica es muy común que haya un alto nivel de preocupación entre las autoridades públicas y civiles, acerca de la contaminación química de los suministros de agua. Estas preocupaciones pueden ser parcialmente mitigadas por la caracterización del contenido de sales solubles de la ceniza, para permitir una evaluación de los peligros de los elementos lixiviables tales como el flúor, para los suministros de agua potable. Una muestra de ceniza del CV-PCC recogida el 4 de junio en Bariloche, fue sometida a ensayos de lixiviación en los laboratorios del INVAP. Sin embargo, por desgracia, el método utilizado para la caracterización de los lixiviados no fue estándar, por lo tanto los resultados tienen un valor limitado para evaluar riesgos. Asesoramiento sobre los métodos recomendados para la caracterización de los lixiviados de ceniza volcánica, se pueden encontrar en la página web www.ivhnn.org. Protocolos específicos están siendo desarrollados por un grupo de trabajo internacional para este fin.

De acuerdo con uno de los entrevistados, más de 500 análisis de agua superficial se llevaron a cabo después de la erupción. No se encontraron resultados alarmantes, ya sea para la salud humana o la vida acuática. La característica más notable fue el alto nivel de sólidos en suspensión. En la mayoría de los casos la presencia física de ceniza en los sistemas de tratamiento de agua, sobrepasaron los problemas de contaminación química. La ceniza puede ingresar en las plantas de tratamiento, siendo probable el daño de los equipos de bombeo (en particular, los impulsores y motores) y bloquear los filtros de arena, lo que requiere un programa de mantenimiento más intensivo (véase la Sección 3.2.2 para obtener un resumen de los impactos de la erupción en los suministros de agua municipales en las áreas del estudio).

De particular preocupación para la Salud Pública, es que, la ceniza en suspensión (turbidez) puede proporcionar un medio adecuado para el crecimiento de microorganismos, protegiéndolos de la desinfección y aumentando el riesgo de que, la población pueda estar expuesta a enfermedades transmitidas por el agua^{7,8}. Hemos recibido informes de boca en boca, sobre una alta incidencia de enfermedades gastrointestinales tanto en Bariloche como en Villa La Angostura. Las autoridades provinciales de Salud de Neuquén, son muy conscientes de un "corredor endémico" de diarrea aguda en la provincia, que se ha producido desde hace varios años. Las causas suelen ser múltiples y complejas, incluyendo el pobre saneamiento, alimentos o agua potable contaminada y otros problemas

⁵ Occup. Environ Med. 2002; 59; 523-531

⁶ Contactar a Dr Peter Baxter, University of Cambridge: pjb21@medschl.cam.ac.uk

⁷ Weniger, B.G. et al. (1983) An outbreak of waterborne *Giardiasis* associated with heavy water runoff due to warm weather and volcanic ashfall. American Journal of Public Health 73, 868-872.

⁸ Malilay, J. et al. (1996) Public health surveillance after a volcanic eruption: lessons from Cerro Negro, Nicaragua, 1992. Bulletin of PAHO 30(3), 1996.

subyacentes. Un informe de 2008 del Departamento de Epidemiología⁹, Dirección de Epidemiología y Estadística, Subsecretaría de Salud-Provincia del Neuquén, identificó el agente bacteriano *Shigella* como agente causal común; *Shigella* es un indicador de las deficiencias en el saneamiento ambiental y la presencia de efluentes domiciliarios no tratados. De acuerdo a personal entrevistado y a datos disponibles¹⁰, la erupción no produjo un aumento en el número de casos registrados de diarrea aguda.

Nuestras observaciones fueron que, algunos de los sistemas de abastecimiento de agua de pequeñas comunidades, tienen un nivel insuficiente de tratamiento, para confiar en que el agua es microbiológicamente segura, particularmente en aquellos sistemas alimentados por arroyos. En Villa La Angostura, cuatro de las ocho muestras de agua de bebida (agua corriente domiciliar) recogidas el 11 de julio 2011 por personal de Bromatología Municipal, fueron consideradas no aptas para el consumo humano (véase Cuadro Table A 3.1 del Anexo 3). Sin embargo cabe señalar que estos problemas son anteriores a la erupción, el personal local ha sido muy consciente de las deficiencias en los sistemas de tratamiento individuales desde marzo de 2009, y han hecho sugerencias para mejorarlo.

3.1.1.1 Recomendaciones

- Los sistemas de provisión de agua que se abastecen de agua superficial de vertientes no protegidas, que no contemplan el filtrado y reciben clorinación insuficiente, son altamente vulnerables y propensos a que se contaminen. Son necesarias mejoras urgentes en los sistemas de abastecimiento de agua de algunas de las comunidades más pequeñas en el área, particularmente aquellas alimentadas por arroyos, para garantizar la calidad del agua potable. Principalmente es necesario mejorar los sistemas de filtración.
- Se debiera considerar implementar un programa de inspecciones sanitarias¹¹
- El monitoreo de la red de suministro de agua debe incluir, mínimamente, turbidez, pH, residuos de *E. Coli* y cloro residual. Los laboratorios deberían ser provistos con los recursos necesarios para llevar a cabo esta labor de manera satisfactoria.

3.2 PASTOREO

3.2.1 Impactos de la erupción

El estilo de pastoreo y técnicas de producción, varían ampliamente en el área de depositación de ceniza caída (Figure 2.1), desde pequeñas prácticas dispersas en parcelas del Parque Nacional Nahuel Huapi, a prácticas de modelo extensivo en la estepa árida. Por ende los impactos de la ceniza caída, caminos de recupero y las opciones atenuantes también son variables.

La tierra agrícola-ganadera entre Jacobacci y Bariloche recibió hasta 5 cm de ceniza fina. Tanto la práctica extensiva como la intensiva ovina, caprina, caballar y vacuna, están concentradas en los mallines (valles con pasturas), ya que el resto del ambiente es muy

⁹ Alerta Epidemiológico, Semana 15 del 2008. Actualización de Diarrea Aguda desde la vigilancia de la Salud., Provincia del Neuquén. Situación Provincial relacionada a diarrea aguda, Dirección de Epidemiología y Estadística, Subsecretaría de Salud.

¹⁰ Datos provistos por cortesía de la Dra. Alejandra Piedecabras, Directora del hospital de Villa la Angostura y del Bromatólogo Alejandro Murcia, Laboratorio de Bromatología de la Municipalidad de Villa la Angostura.

¹¹ Consultar, por ejemplo, <http://www.epa.gov/ogwdw/mdbp/pdf/sansurv/sansurv.pdf>

árido, sumado a esto y con antelación a la caída de ceniza, hubo una sequía de 6 años con bajo promedio de precipitaciones (<100 mm/año). Esto agravó el impacto de la ceniza aumentando indudablemente la pérdida de ganado. Personal de la municipalidad de Jacobacci estimó la pérdida en alrededor de 40-60% del ganado de un total regional de 225.000 ovejas y 60.000 cabras, posteriormente a la caída de ceniza, debido a deshidratación, inanición, obstrucción del rumen y abrasión dentaria. La abrasión dentaria causó estragos con el forrajeo y la alimentación, induciendo a una mayor dependencia del alimento suplementario y el prematuro envejecimiento de los animales. Los precios del vellón de la región, son menores debido a la acumulación de ceniza en la lana, siendo utilizable solamente el 25-30% de la misma, contra el 50-55% anterior. Las pariciones descendieron de un 60% a un 10-30% debido a la mala nutrición o estrés materno. Estos impactos se prolongan aún en la actualidad, debido a que los depósitos de ceniza siguen removilizados por la acción eólica.

Todos estos factores han contribuido a la reducción de los ingresos de los productores rurales, cuya mayoría, ha empezado a depender de la alimentación complementaria aportada por el gobierno nacional, los municipios y el INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria). También ha habido casos de animales vendidos y trasladados a las provincias de Buenos Aires, La Pampa y Chubut (más de 100.000 animales). La región de Jacobacci-Bariloche también se ha visto gravemente afectada por el continuo viento que removiliza los depósitos de ceniza, prolongando los efectos de la caída de ceniza original.

La actividad agrícola-ganadera en el Parque Nacional Nahuel Huapi, es diferente, ya que tiene lugar en un parque nacional y es predominantemente vacuna. La cantidad de cabezas de ganado es limitada, sin embargo el estilo abierto motiva a que, los productores no siempre sepan el número exacto que poseen, ya que sólo pueden ver a cada animal una vez al año. Las pérdidas de animales en esta región fueron menores, comparables a las experimentadas después de un duro invierno (alrededor del 25%), a pesar de la mayor proximidad al volcán y la gran cantidad de ceniza caída. Al igual que en Jacobacci, las pérdidas sufridas fueron por inanición, bloqueos del rumen y el desgaste de los dientes causando dificultades con el forrajeo, más que por alguna toxicidad conocida causada por cuestiones químicas. El impacto de la caída de ceniza fue atenuado por el hecho de que en las primeras etapas muchos productores se percataron de que habría problemas con el acceso a la alimentación, por lo que comenzaron el sacrificio de sus animales para abastecer de comida a sus hogares, o vendieron los animales antes de que empeorara su condición. Las opciones de evacuación en esta región fueron muy limitadas, por la falta de acceso por ruta a muchos de los campos, y dado que el acceso en embarcaciones se vio limitado debido a las gruesas "islas" de piedra pómez que se formaron en el Lago Nahuel Huapi, haciendo que la navegación en el lago fuera difícil o imposible por un máximo de 11 días.

Para muchos pobladores de esta región, es probable que surjan dificultades importantes, tanto para determinar el mejor curso de acción en el manejo de los efectos de la erupción como para la búsqueda de los recursos necesarios para actuar. Sin embargo, observamos que los asesores rurales y los científicos, son muy conscientes de la situación en el área rural. Hay programas activos de evaluación e investigación del impacto en el área, cuyos objetivos son el de identificar dónde deben centrarse los esfuerzos de recuperación y qué estrategias podrían ser más eficaces. En general, los esfuerzos se han dirigido a fomentar la diversificación de los sistemas de producción pastoril, impulsando la producción y aumentando la resiliencia.

3.2.2 Estrategias para la recuperación

Debido a nuestra breve visita de campo, a una región tan diversa, no sería apropiado formular recomendaciones amplias para la recuperación. En su lugar, hemos elegido remarcar las estrategias exitosas que hemos reconocido en la zona afectada, y mencionar las estrategias identificadas en nuestras investigaciones de otras erupciones recientes en la Patagonia (ver Anexo 4 para más detalles):

- La construcción de refugios/cobertizos para proteger al ganado de la caída de ceniza directa o removilizada es una estrategia exitosa. Algunos productores de la zona de Jacobacci ya habían comenzado la construcción de cobertizos antes de la erupción (generalmente pequeñas estructuras de paredes a lo largo del borde occidental ofreciendo una protección del viento predominante), los cuales resultaron ser un capital muy valioso. Muchos otros productores lo están adoptando.
- En las áreas que recibieron menos de 15 cm de caída de ceniza, la recuperación de los pastos y la estabilización del depósito de ceniza se verá favorecida por el sembrado completo de la capa superior del suelo (lo ideal sería 20-25cm de profundidad). Sin embargo, los productores de la estepa no están equipados para el sembrado o la fertilización a gran escala. Una posible solución podría ser la adquisición comunitaria de los recursos necesarios para estas tareas.
- La diversificación hacia cultivos de invernadero, y la construcción de paravientos, son componentes esenciales en la recuperación de áreas como la de Puerto Ingeniero Ibáñez, sur de Chile, que fueron sometidos a las cenizas removilizadas por el viento, durante años, después de la erupción del Hudson en 1991. Éstos fueron apoyados por subsidios de desarrollo gubernamentales. En estas áreas, fue fundamental la inversión en sistemas de riego, favoreciendo el desarrollo de la producción agrícola-ganadera y mejorando el crecimiento de la vegetación proporcionando protección adicional de la ceniza arrastrada por el viento.
- Hay lecciones de erupciones anteriores en la Patagonia que pueden ayudar a informar sobre estrategias de recuperación. Se deben hacer esfuerzos por compartir recursos con el INTA, y, otros organismos pertinentes de las provincias de Santa Cruz y Chubut, y también con los equivalentes en Chile. Por ejemplo, una estrategia exitosa para el incremento de cabezas de ganado, en las zonas afectadas por las intensas caídas de ceniza en Chile, a partir de la erupción del Chaitén, fue el otorgamiento de subsidios para evitar que los productores vendan los terneros y los recién nacidos. Esto ayudó a promover la constante recuperación del ganado vacuno hasta llegar a los niveles de pre-erupción.

3.3 INFRAESTRUCTURA/SERVICIOS BÁSICOS

3.3.1 Red eléctrica

La lluvia de cenizas causó una interrupción generalizada del suministro eléctrico en el área de estudio. Como hemos observado en otras erupciones, el efecto predominante fue la contaminación por ceniza de las líneas de distribución y de los aislantes de la subestación, lo que indujo fuga de corriente y cortocircuitos en los aislantes¹². Las continuas fallas de los interruptores debido a estos cortocircuitos, combinados con la presencia de ceniza fina en

¹² Descargas eléctricas que se producen sobre o alrededor de un aislante, que pueden ocasionar cortos circuitos cuya liberación de corriente es la suficiente para provocar que el interruptor de seguridad se accione y se interrumpa la transmisión

los interruptores, condujo a la abrasión de los conductores metálicos que, al reducirse el contacto entre los electrodos se reducía su funcionalidad. Esto requirió del reemplazo continuo de los interruptores. Las instalaciones de generación térmica también sufrieron alteraciones significativas, tanto en Bariloche como en Villa La Angostura, sobre todo debido a la obstrucción por ceniza de las tomas de aire.

Bariloche experimentó un corte de electricidad durante más de 8 horas el 7 de junio, antes de la reinstalación parcial. Muchos sectores de la ciudad quedaron sin energía eléctrica durante más de 24 horas. Los cortes intermitentes se prolongaron hasta finales de Julio. La ciudad se abastece de la red nacional a través de una sola línea de transmisión y de una subestación (punto de salida de esta red). En esta subestación, cenizas gruesas de 3-4 cm causaron cortocircuitos en la barra colectora y en los interruptores, dejando sin electricidad a la ciudad. Hubo producción de energía de reserva disponible, a través de generadores de motores a gas o diesel. Estos fueron activados, pero las tomas de aire se bloquearon rápidamente con la ceniza, dando lugar a la desconexión. Esto se sumó a los efectos de las interrupciones en la subestación. Se experimentaron cortocircuitos en la red de distribución a través de toda la ciudad causando la interrupción local. El intermitente suministro de energía a la ciudad tuvo un efecto dominó afectando a otros servicios básicos tales como, la planta de tratamiento de agua.

En Villa La Angostura, la lluvia de cenizas de 15-17 cm causó cortocircuitos en los aislantes de la red de 13,2 kV, 380 V y 220 V de forma permanente y generalizada. Hubo 20 días de interrupción de electricidad inmediatamente después de la erupción, y el suministro continuó siendo inseguro por muchos meses. La ciudad no está conectada a la red nacional, por ende, hubo total dependencia de la usina de 6,1 MW de energía térmica. Esta planta sufrió problemas con la contaminación por ceniza de los filtros de las tomas de aire por aproximadamente un mes, en los días secos, requiriéndose de cortes preventivos luego de fuertes caídas de ceniza.

Al momento de nuestra visita, los problemas se habían resuelto en gran medida, y pudimos observar la aplicación de algunas estrategias únicas de mitigación y de adaptación. En todas las zonas afectadas, se utilizaron los camiones de bomberos para eliminar las cenizas de los equipos contaminados y así reducir el riesgo de cortocircuito. Sin embargo, las continuas lluvias de ceniza, causaban continuos cortocircuitos. Esto llevó al diseño y la colocación de protecciones de polipropileno en los aislantes, en las zonas más densamente pobladas, en un intento por reducir la contaminación por ceniza. A pesar de cierto éxito con este método, los mejores resultados fueron encontrados por el EPEN aumentando la longitud del pin del aislante de 25 cm a 50 cm. Todos los 3.500 aislantes de la red de la ciudad fueron rápidamente pasados a esta norma.

En Bariloche ha habido una significativa inversión en el aumento de resiliencia de la provisión eléctrica. Se instaló una planta diesel generadora de 20 MW para proveer capacidad de respaldo para la ciudad. Aunque este valor está muy por debajo de la demanda habitual, (45-55 MW), representa una mejora significativa en el seguro suministro de energía de Bariloche, que debe ser aplaudido. El efecto dominó de los cortes de energía en otros sectores de los servicios básicos, así como de clientes comerciales y residenciales, pone de relieve la importancia crítica de un suministro eléctrico seguro y confiable.

3.3.1.1 Recomendaciones

Es esencial un suministro confiable de electricidad para el funcionamiento de la sociedad moderna. Así como nos impresionamos con la habilidad de los proveedores de electricidad

para responder a la emergencia con el diseño de adaptaciones eficaces, sugerimos, que debería haber una mayor capacidad de suministro de energía eléctrica en el área de estudio. Específicamente:

- El único punto de salida de la red, en la subestación de Bariloche, crea vulnerabilidad para la ciudad. Circuitos adicionales dentro de la subestación mejorarían la capacidad. En forma similar, la ampliación de la instalación de la planta del generador de reserva, garantizaría el suministro eléctrico.
- La conexión de Villa La Angostura a la red nacional contribuiría a garantizar el suministro.

3.3.2 El suministro de agua

Cada uno de los tres centros urbanos estudiados experimentó impactos diferentes en sus redes de abastecimiento de agua. Para recomendaciones relacionadas a la Salud Pública, véase la sección 3.1.2.

Para la planta de tratamiento de agua de Bariloche, (DPA), el principal desafío era que la planta está diseñada para un nivel muy bajo de turbidez en la fuente de agua cruda (0,2-0,4 NTU en el Lago Nahuel Huapi) y por lo tanto el paso de floculación inicial no forma parte del tratamiento. La erupción causó un aumento en la turbidez alcanzando 26 NTU, lo cual fue un reto importante para la planta. La ceniza que ingresó por las tomas, causó la abrasión de los impulsores de las bombas, también causando un desgaste adicional y rotura en los motores de las bombas. La limpieza de la ceniza de los filtros de arena requirió un nivel mucho mayor de mantenimiento, durante varios meses. Sin embargo, la interrupción del servicio sólo se debió a un corte de energía en toda la ciudad. El DPA de Bariloche suministra alrededor del 80% de agua a la ciudad, el resto proviene de pequeños arroyos y vertientes. Estas fuentes adicionales se utilizan más durante los períodos de alta demanda. Los barrios periféricos de Bariloche tienen su propio sistema autónomo de abastecimiento, tratamiento y de distribución de agua, operado por las juntas vecinales, que generalmente extraen el agua del Lago Nahuel Huapi. El agua del lago y el agua de arroyo es filtrada y clorinada, la de vertiente es clorinada sin filtrar. El personal entrevistado en el Departamento Provincial de Agua (DPA) informó que, en general, la erupción causó menos problemas de abastecimiento de agua que en Villa La Angostura. Una vertiente fue cerrada debido a altos niveles de turbidez, pero los sistemas de filtración para las vertientes en general funcionaron bien, debido a que el tratamiento está diseñado para niveles más altos de turbidez típica de las crecientes por tormenta (hasta 400 NTU). No obstante, el personal del DPA considera que, si bien los efectos de la erupción en la Planta principal de tratamiento fueron controlables, el evento puso de manifiesto la vulnerabilidad de los sistemas de tratamiento más pequeños, siendo urgente la necesidad de mejorar los sistemas de filtración.

En Villa La Angostura, se experimentaron los mismos problemas generales, como daños a los equipos de bombeo, obstrucción de las tomas de agua, tuberías y filtros de arena. La ciudad se abastece utilizando diversas fuentes de agua: la toman del Lago Nahuel Huapi y del Lago Correntoso, tomas de arroyos y desde un pozo subterráneo. Los problemas más severos fueron con los sistemas de suministro de arroyos, ya que se vieron colmatados de ceniza y debieron ser limpiados manualmente. Estos sistemas siguen teniendo problemas en condiciones de lluvia. Para satisfacer la demanda, fue excavado un nuevo pozo de 21m de profundidad distribuyendo el agua en tanques de 10.000 litros. Agua embotellada fue suministrada de forma adicional en los barrios abastecidos por agua de arroyo. Véase la discusión en la Sección 3.1.2.

En Jacobacci, 17 pozos se utilizan como fuentes de provisión de agua. Los pozos fueron cubiertos, por lo que el sistema demostró alta resiliencia. El reto principal fue satisfacer la demanda de agua. El área fue (y sigue siendo) muy afectada por la removilización de la ceniza a causa del viento. En los momentos de calma, la demanda de agua aumentaba a medida que la comunidad limpiaba y humedecía la ceniza en las calles, con un uso de 3 millones de l/día contra 1 millón l/día de demanda habitual pre-erupción. Fue un acto de malabarismo continuo cumplir con estos picos de demanda, y fue una suerte que la erupción no ocurrió durante el verano, cuando la demanda es mayor.

3.3.3 Tratamiento de aguas residuales/domiciliarias

El principal problema experimentado en la Planta de Tratamiento de Efluentes Cloacales de Bariloche fue el ingreso a la planta de un gran volumen de cenizas, por caída directa a las piletas y a través de las líneas de alcantarillado, a pesar de que los desagües pluviales y la red cloacal están, en teoría, separados. La carga de entrada de sólidos en suspensión casi se duplicó, del nivel habitual de 4,500 mg /l a 8000 mg / l. Se acumuló, fundamentalmente, en el reactor biológico, que es el “corazón” del sistema y no puede ser puesto fuera de línea. Fue necesario durante los primeros días, derivar al lago algunas de las aguas cloacales parcialmente tratadas, para mantener la operatividad de la planta. La capacidad del reactor biológico se ha reducido debido a que un metro de ceniza se ha acumulado en el fondo del tanque de 4,5 m de profundidad. Los profesionales de saneamiento todavía están investigando opciones para la limpieza de esta ceniza.

3.3.4 Transporte

La alteración más grave en las redes de transporte en el área afectada fue el cierre del aeropuerto de Bariloche. El aeropuerto fue cerrado a las 17:00 horas del 4 de junio, justo antes de la llegada de la nube de cenizas. El aeropuerto no recibió ninguna advertencia oficial, fue informado por el piloto de un vuelo entrante por la inminente llegada de la pluma de ceniza. El aeropuerto fue cerrado durante un mes (hasta el 5 de julio) para las operaciones de limpieza. Durante las operaciones de limpieza, aproximadamente 1000 toneladas de cenizas fueron retirados del lugar, de los cuales la mayoría fueron utilizados como relleno en huecos y depresiones en el área aledaña. Otra iniciativa ha sido la instalación de sistemas de riego rodeando la pista de aterrizaje, para fomentar el crecimiento del pasto para atrapar la ceniza y suprimir la removilización de la misma por el viento.

A pesar de que el aeropuerto volvió a abrir el 5 de julio, fue recién muchos meses después que, las dos líneas aéreas principales del país (LAN y Aerolíneas Argentinas) retomaran los servicios regulares a Bariloche, ya que la actividad eruptiva continuaba en el Cordón Caulle. La decisión de volar depende exclusivamente de cada línea aérea, siendo el procedimiento estándar evitar volar en nubes de cenizas. Según la perspectiva de los pilotos, el problema era la falta de un buen sistema para la identificación de plumas pequeñas y difusas. Una complicación adicional fue que, el modelo de pronóstico de cenizas desarrollado por el Servicio Meteorológico Nacional, y publicado en su sitio web para ser utilizado por las compañías aéreas, fue percibido por las mismas como demasiado “experimental”. El reconocimiento de las incertidumbres, asociadas con los datos y el modelo, desaconsejaron su uso. Como no había parámetros de seguridad definidos de la densidad de la pluma de ceniza, se vacilaba sobre si las empresas aseguradoras continuarían con la cobertura. Durante este período (5 julio-20 octubre) algunas líneas aéreas volaron a Bariloche, sin reportar problemas. El aeropuerto fue cerrado nuevamente el 20 de octubre hasta el 20 de diciembre, para la construcción de una nueva pista; este

proyecto fue postergado de su fecha programada, marzo de 2012, para aprovechar el período de interrupciones incertidumbre existente.

Inmediatamente después de la masiva caída de ceniza el 4/5 de junio, y durante las dos semanas siguientes, las condiciones para conducir fueron difíciles, sobre todo debido a la baja visibilidad en las zonas afectadas. Severos problemas relacionados con la baja visibilidad se experimentaron en la ruta nacional 40, entre Piedra del Águila, Villa La Angostura y Bariloche, y la ruta nacional 231. Estos dos caminos son la conexión principal de Bariloche y Villa La Angostura con el resto del país y con Chile. La frontera internacional fue cerrada al tránsito durante varias semanas.

Jacobacci, estuvo "completamente a oscuras" durante tres días después de la erupción, y el personal municipal sólo pudo comenzar la limpieza después de una semana. Hubo algunos informes, de fallas de motores, debido a la filtración de cenizas obstruyendo filtros de aire y de aceite. En las zonas con acumulaciones de ceniza de más de 10 cm, los vehículos de tracción delantera experimentaron problemas para circular en condiciones de humedad y ceniza mojada. Las condiciones para conducir siguen siendo por momentos traicioneras, debido a la ceniza en suspensión que reduce la visibilidad, y las advertencias oficiales sobre estas condiciones siguen funcionando. Estrategias para reducir la removilización de cenizas en zonas urbanas incluyen restringir la velocidad de los vehículos y humedecer las cenizas con agua. La región, en general, está bien equipada para abordar la conducción vehicular en condiciones invernales, y esto probablemente confiere un cierto grado de resiliencia.

La formación de gruesas "islas" de piedra pómez sobre el Lago Nahuel Huapi interrumpió el transporte lacustre por un máximo de 11 días después de la erupción. Esto causó problemas para la evacuación y traslado de personas y ganado desde las zonas en donde viven, en las orillas occidentales del lago, inaccesibles por ruta (véase la Sección 3.2.1).

3.3.5 Limpieza en ambientes urbanos

La eliminación de las cenizas de las zonas comerciales y residenciales es de vital importancia para la recuperación. Sin embargo, las operaciones de limpieza son más complejas que la simple eliminación de la ceniza, también requiere ser desechada y estabilizada evitando futuros problemas con su removilización.

Villa La Angostura recibió hasta 15-17 cm de caída de ceniza primaria. Dieciséis casas sufrieron el colapso de su techo, y se reforzaron 40 más, evitándose el colapso del techo. La municipalidad y la comunidad en general tuvieron una respuesta rápida y eficaz de limpieza. El enfoque inicial se centró en la limpieza de las rutas principales. En el 7 de junio, se cerraron 40 km de la ruta principal (Ruta 231) limpiándola con topadoras. La ceniza eliminada por los residentes con la ayuda de brigadas de voluntarios, se apiló a los costados de las calles y ruta siendo recogidos luego, por el municipio y llevados a los vertederos de cenizas provisorios, ubicados en cada barrio. Estos vertederos se situaban según disponibilidad, pero por desgracia un niño murió mientras jugaba sobre una pila de ceniza que estaba demasiado cerca de líneas de alta tensión. El material de los vertederos está siendo rápidamente trasladado al vertedero principal, que es una antigua cantera situada en Puerto Manzano. En este sitio se planifica la compactación y la estabilización de la ceniza. Otro eje de los esfuerzos de limpieza en Villa La Angostura ha sido, la limpieza de los diques naturales formados río arriba de los arroyos que corren a través de la ciudad. Esto se hizo en un intento de reducir el riesgo de lahares secundarios, ya que se pensó que estos diques

podrían provocar la acumulación de ceniza seguida por un colapso catastrófico. Fueron desplegados equipos del Ejército para cortar y remover el material acumulado.

Bariloche recibió hasta 4-5cm de ceniza, que equivale a aproximadamente 1.500.000m³ de material en la ciudad. En general, la ciudad estaba pobremente equipada para desarrollar las pesadas tareas de limpieza y tuvo que alquilar las máquinas necesarias y utilizar vehículos y equipos de particulares. La primera zona que se limpió fueron las calles principales paralelas al lago que constituyen el sector comercial turístico por excelencia. La limpieza demandó dos meses con un costo estimado de alrededor de los 35 millones de dólares, sin incluir las pérdidas de los comerciantes. Los habitantes de Bariloche fueron alentados para que se concentraran en la limpieza de sus hogares y se le solicitó que formaran una única pila de ceniza por cuadra en la ciudad para facilitar la tarea de recolección lleva adelante por la municipalidad. Los esfuerzos de la municipalidad continuaron hasta el mes de Diciembre 2011. Hubo un alto grado de compromiso y voluntarismo en las tareas de limpieza, en particular en aquellas zonas de alto valor turístico, en las zonas próximas al hospital, centros de salud y escuelas, en la zona céntrica de la ciudad. Los vecinos tomaron la iniciativa de promover campañas de limpieza a través de redes sociales y los medios. La mayoría del material colectado (incluyendo ceniza volcánica y residuos sólidos urbanos) se dispusieron en una cantera municipal en desuso ubicada en al sur de la ciudad, próxima al sector urbano. Este sitio rápidamente se colmató con lo cual nuevos sitios para disposición de la ceniza fueron seleccionados. El más importante se ubica próximo a una planta de gas en donde el material se colocó en pilas y se cubrió con suelo para evitar la removilización por la acción del viento, y también se utilizó el predio destinado para la disposición de resto de poda.

Durante los primeros dos días de caída de ceniza, en Bariloche y Villa La Angostura, parte del material acumulado se dispuso en el lago Nahuel Huapi.

En Jacobacci, las condiciones eran tan difíciles (debido al oscurecimiento y baja visibilidad) inmediatamente después de la caída de ceniza que las tareas de limpieza sólo pudieron iniciarse a la semana. Primero se limpiaron las calles, utilizando los camiones, retroexcavadoras y palas mecánicas disponibles en la localidad. Luego, los vecinos fueron provistos con bolsones grandes para colocar la ceniza de la limpieza de sus viviendas. Toda la ceniza colectada se dispuso en depresiones naturales hacia el este (a sotavento) del pueblo, y sobre la ceniza se colocó restos de mampostería, materiales de obra en un intento a corto plazo para lograra estabilizar la ceniza. Hay planes a largo plazo para vegetar estos depósitos. La limpieza en esta localidad ha llevado mucho tiempo y continuaba al momento de nuestra visita, debido a la continua removilización de los depósitos de ceniza (de los sectores a barlovento). La Municipalidad cuenta con dos camiones para riego que están en forma constante en uso; humedecer la ceniza es una parte importante de la estrategia para reducir los niveles de ceniza en suspensión, junto con la rápida colección, acopio y estabilización de la ceniza.

3.3.5.1 Recomendaciones

Dado que la rápida remoción de la ceniza volcánica de los ambientes urbanos es esencial para su recuperación, las áreas expuestas a los peligros derivados de la exposición a la ceniza debieran contar con planes de acción previos, que incluyan los siguientes aspectos:

- Personal requerido
- Equipos/máquinas requeridos, incluyendo los medios para alquilar equipos en caso de ser necesario

- Identificación de potenciales sitios para acopio de ceniza volcánica
- Estrategias para estabilizar los depósitos de ceniza.

3.3.6 Comunicaciones

La forma de comunicación más confiable durante la emergencia fue la radio (VHF y UHF). En Bariloche, los radioaficionados fueron el instrumento más confiable para la transmisión de información. Las redes de telefonía celular tuvieron inconvenientes debido a la saturación de las mismas. Se reportaron fenómenos de atenuación de la señal de celulares debido a la presencia de ceniza en el aire y fallas en equipos producto de la depositación de ceniza sobre equipos ubicados sobre el suelo tal como ser antenas. La autonomía de las antenas, proporcionada por las 12 horas de duración de las baterías, estuvo muy cerca de agotarse durante los cortes de luz.

3.4 MANEJO DE LA EMERGENCIA

La erupción del CV-PCC de 2011-presente ha sido una emergencia compleja para su manejo y ofrece una serie de lecciones sobre la gestión de emergencias

Al momento de nuestra visita, la atención en Bariloche parecía estar desplazándose, de las necesidades inmediatas de las operaciones de limpieza y manejo de los impactos de la caída de ceniza, hacia el uso de los aprendizajes de la erupción para mejorar la resiliencia de la infraestructura/servicios básico y respaldar la recuperación de las actividades locales. Había aún una apreciable sensación de emergencia en Villa La Angostura y Jacobacci. Aún estaban presentes desafíos que debían afrontarse por el manejo de la incesante ceniza removilizado produciendo preocupación en la salud pública, agricultura-ganadería e impactos económicos en el sector turístico.

Era evidente que hay un grupo dedicado y capaz en el manejo de emergencias y personal idóneo a cargo de los servicios básicos que trabajaron incansablemente para dar respuesta y recuperarse de la crisis producida por la erupción. Sin embargo, se ve un marco poco integrado/cohesionado entre representantes/miembros/autoridades de Protección Civil de Nación, provincial y local (municipal). El cambio de referentes o autoridades luego de las elecciones muestra haber tenido un efecto negativo en el desarrollo y mantenimiento de la capacidad de respuesta y gestión de la emergencia.

3.4.1 Alerta de erupción y comprensión de las consecuencias

Al comienzo de la crisis hubo algunos informes en los medios sobre inestabilidad en el Cordón Caulle. Responsables de la gestión de emergencias habían tendido conocimiento sobre el estado de inestabilidad del complejo volcánico. Volcanólogos locales estaban activos trabajando para que las autoridades y la comunidad tomaran conocimiento sobre la situación del volcán. Sin embargo, estas advertencias no llegaron a todos debido a la falta de un sistema efectivo y formal de alerta volcánica. Muchas personas manifestaron estar sorprendidas por la erupción –muchas de ellas no vinculadas a personal encargado del manejo de emergencias o autoridades municipales.

Parecía haber una pobre/mala difusión de la alerta sobre la erupción y hacia dónde podía dispersarse la ceniza volcánica. Muchos encargados de los servicios, funcionarios y vecinos manifestaron que la primera noticia sobre el inicio de la erupción fue al ver la pluma acercándose.

En otros casos, en donde los encargados de los servicios y funcionarios habían recibido alguna alerta sobre la inminencia de la erupción, no pudieron dimensionar apropiadamente las consecuencias que conllevaría la erupción del Cordón Caulle. Había una sorpresa generalizada al ver el espesor y extensión de los depósitos de ceniza, y una pobre o escasa comprensión sobre cuáles serían las consecuencias de la ceniza sobre las redes de los servicios básicos, y sobre las comunidades rurales y urbanas, a pesar de los esfuerzos previos realizados por científicos locales.

Algunos encargados de los servicios y funcionarios municipales tenían una escasa comprensión del Nivel de Alerta Volcánico empleado por el OVDAS-SERNAGEOMIN. El sistema de alerta volcánico solamente indica el estado de actividad del volcán, y no es una herramienta para advertir sobre posible caída de ceniza. Hubo una limitada integración de este sistema con los encargados de la gestión de emergencias en Argentina. Esto es complejo al ser un tema que involucra a dos países

3.4.2 Marco de Protección Civil Local-Provincial-Nacional (manejo de emergencias)

Con respecto al marco de trabajo, parecía haber problemas de comunicación y de coordinación para los encargados del manejo de la emergencia en la zona afectada. Sentimos que no había un marco adecuado para compartir información y recursos. Otro problema fue la falta de entendimiento de los roles y las responsabilidades durante la crisis volcánica. La mayoría de las falencias se percibieron entre los distintos niveles de Protección Civil Nacional-Provincial-Municipal. Al parecer, ha habido varias lecciones aprendidas. Pero éstas deben ser integradas/incorporadas a la planificación formal.

Hemos percibido que el actual marco de la Protección Civil no incluye instancias adecuadas para la coordinación y utilización del necesario asesoramiento de los expertos (específicamente, sobre la ocurrencia, distribución, características e impactos de las caídas de ceniza). Aunque las autoridades han hecho esfuerzos excepcionales durante la emergencia para formalizar los canales de cooperación con científicos locales y nacionales y con instituciones académicas, estos acuerdos deben establecerse en los períodos previos a las emergencias y deben funcionar durante el tiempo que dure la crisis volcánica. Hay en la actualidad varias iniciativas importantes a nivel nacional, provincial y municipal para desarrollar estrategias para monitoreo, reducción de peligros y manejo de emergencias que involucren a instituciones científico-técnicas y académicas.

3.4.3 Resumen y Recomendaciones

Hubo excelentes ejemplos de vecinos, comerciantes y organizaciones gubernamentales que desarrollaron estrategias de mitigación y adaptación en respuesta a las caídas de ceniza. Esto va a aumentar la resiliencia en futuras erupciones volcánicas y en otros desastres naturales.

En general, las estrategias utilizadas en las zonas afectadas para el manejo de la emergencia fueron razonablemente efectivas. No obstante, estas estrategias parecieran haber respondido a la capacidad individual y organizativa de adaptación más que a una planificación pre-existente. Esto debiera ser un aprendizaje clave para iniciar una planificación coherente e integral para el manejo de caídas de ceniza volcánica. Ofrecemos a continuación algunas recomendaciones para mejorar en un futuro el manejo de crisis volcánicas en la región:

A corto plazo, hay pasos críticos que podrían mejorar la efectividad de la respuesta a futuras crisis. Las siguientes estrategias pueden ser útiles:

- Aumentar la distribución de información sobre peligros volcánicos, preparación frente a caídas de ceniza, con especial referencia a los impactos de la ceniza en los diferentes sectores y las opciones disponibles para su mitigación.
- Mejorar el contenido, distribución y destinatarios de los mensajes de advertencias/avisos y alertas. Los temas clave para las advertencias debieran incluir: a) el estado de la actividad del volcán, b) cuándo ha ocurrido una erupción, c) posible distribución de la ceniza, y d) información para los vecinos de áreas urbanas y rurales y para los encargados de los servicios básicos sobre cómo prepararse y cómo manejar los impactos de la ceniza. El material elaborado por los científicos locales debería ser utilizado por Protección Civil para mejorar el conocimiento sobre los peligros y riesgos volcánicos a los que está expuesta la Patagonia Norte.
- Planificación escrita y ejercitación de tareas de mitigación de los impactos de la ceniza volcánica en toda la Protección Civil Argentina y oficinas/dependencias de servicios públicos. Los planes deben ser sencillos, específicos, ampliamente discutidos y ejercitados regularmente y actualizados.
- Una mejor integración de la información proveniente de los observatorios volcánicos chilenos en el marco organizativo de la Protección Civil Argentina (manejo de emergencias).
 - Coordinación de esta información por una agencia/oficina central para Argentina sería recomendable, pero los responsables de manejo de emergencias locales y regionales deberían ser integrados al sistema e informar sobre dónde ingresar la información sobre alertas.
 - Mejorar el conocimiento sobre el sistema de alerta volcánica del OVDAS-SERNAGEOMIN y la comprensión de las implicancias de este sistema en relación a los sistemas de alerta de las Defensas Civiles locales para distintos municipios, regiones.
 - Establecer una comunicación formal entre el OVDAS-SERNAGEOMIN y las autoridades de Protección Civil en Patagonia Norte.
- Promover el desarrollo de las capacidades de modelado de la pluma de ceniza
 - Mejor integración/coordinación de los usuarios finales de los modelos de la pluma de ceniza, especialmente en términos de cómo los modelos se presentan y cuál es el texto explicativo que los acompaña. Si están bien diseñados, esto tendrá una aplicación amplia.
 - Desarrollo de capacidad de modelado cercano a tiempo real de la pluma volcánica para alertas y evaluaciones de impacto preliminares. Durante la erupción estuvieron disponibles modelos Fall3D via internet, los que pronosticaban para los 2 ó 3 días siguientes, pero no tuvieron amplia difusión.
- Debiera haber un cuidadoso balance de simplicidad y consistencia en toda la información sobre cómo prepararse, alertas, planes, niveles de alerta y formato de informes y modelos de la pluma de ceniza.

A largo plazo, contar con personal profesionalmente entrenado, permanente y enfocado exclusivamente en el manejo de emergencias es esencial para mantener y mejorar la capacidad de respuesta frente a emergencias. Los profesionales de manejo de emergencias

también deben ser provistos con el tiempo y recursos necesarios para planificar adecuadamente e implementar acciones y estrategias de recuperación.

Es esencial incorporar las lecciones aprendidas de este desastre en la planificación futura. En nuestra experiencia hay una pequeña ventana de tiempo durante la cual habrá deseos políticos, sociales, y económicos para destinar recursos financieros y tiempo para mejorar la resiliencia de las zonas afectadas. Esto debe ser aprovechado. En particular, hay una oportunidad de actualizar los sistemas de servicios básicos que se encuentran obsoletos o por debajo de los estándares, mejorar la productividad agrícola-ganadera y el marco de manejo de emergencias a nivel nacional-provincial-municipal de la Protección Civil.

Se requiere mejorar la articulación entre agencias científicas y de gestión de emergencias. En particular debe haber una forma más eficiente de suministrar y distribuir la siguiente información:

- Asignar una prioridad alta al correcto mapeo de distribución, espesores y otras características de los depósitos de ceniza (tamaño de piroclastos, composición química¹³). Estos mapas isopáquicos son esenciales para realizar evaluaciones de impacto y planificar la recuperación.
- Análisis de las características de la ceniza utilizando métodos estandarizados para:
 - Riesgos respiratorios
 - Composición de lixiviados, para evaluar riesgos por presencia de elementos lixiviables
 - Los resultados deben ser obtenidos en forma rápida y distribuidos entre las partes interesadas.
- Establecer grupos permanentes formados por las partes interesadas y los grupos de científicos para informar sobre los riesgos e intercambiar información. Este debiera ser un proceso de ida y vuelta en donde el experto proporciona información y las partes interesadas identifican sus necesidades y faltantes de información en un sistema colaborativo y de respuesta. Sería útil tener grupos separados para salud, servicios y comercios e industrias primarias.
 - Por ejemplo, las compañías de servicios eléctricos debieran considerar formar un Grupo de Ingenieros de Servicios vitales, que comparten información sobre los riesgos, y trabajan como un grupo para reducir las fallas en cadena debido a la interdependencia.
 - Habría un valor muy importante al intercambiar y compartir información sobre los impactos de la ceniza. Por ejemplo, muchas compañías afectadas por la erupción del Chaitén en 2008 podrían haber suministrado información y advertencias a aquellos que se vieron afectados durante la erupción del CV-PCC 2011-presente.

Por último, sugerimos que muchas de estas recomendaciones se facilitarían si se estableciera un observatorio volcanológico para servir como catalizador/disparador y abogar por la sensibilización, conocimiento sobre los peligros y riesgos volcánicos y preparación para emergencias en Argentina. Un cuidadoso tratamiento deberá darse a la estructura de dicho observatorio, debido a la compleja situación ya que la mayoría de los volcanes andinos activos no se encuentran en territorio Argentina, y están distribuidos a lo largo de

¹³ Incluyendo la composición de muestra total y la química de las sales solubles

tres zonas volcánicas diferentes. Un modelo exitoso podría incluir la participación de instituciones nacionales y regionales y compartir los recursos y la capacidad de las instituciones gubernamentales y académicas. La cooperación y el compartir información con el OVDAS en Chile serían vitales.

4.0 AGRADECIMIENTOS

Nos gustaría agradecer a todas aquellas personas que nos brindaron su tiempo al responder nuestras preguntas y compartir sus experiencias, fotografías y datos. En Chile, agradecemos a Zach Ward y Cristian Uribe, de Manuka, por su tiempo y conocimiento. En Bariloche, les estamos agradecidos a Claudio Knaup y a Gabriel Cazalá, al Aeropuerto Internacional de Bariloche, Departamento Provincial de Aguas, INTA, Cooperativa de Electricidad Ltda., Carlos Fullana y Horacio Fernández. También a Analena Santagni, Guillermo Mujica, Silvia Uber y Andrea Tombari. En Villa La Angostura, a Roberto Cacault, Marcos Arretche, Fernando Anselmi, Alejandro Murcia, Janet Galera, Alejandra Piedecaas, Andrés Sandoval, Hernán Garabali, Edgardo Carignano y Javier Abraham, quienes nos aportaron valiosa información incluyendo una salida de campo. De Ingeniero Jacobacci queremos agradecer especialmente a Mario del Carpio, Ailén Rodríguez, Helena Herrero, Guido Santana y Alberto Mondillo, Juan Escobar, José Mellado e Idelma Sarlor. Del Hospital de Pilcaniyeu, a Marcelo Graemiger y Maria Laura Sassone. De Comallo a Marta Ester Llanos, Miguel Angel Cunilof, Andrés Nahuel Colaso y Bibiana Favre. De la IV Zona Sanitaria (Neuquén) agradecemos a Fernanda Hadad, Daniel Ricardi, Ricardo Powel y Alejandro Ojeda. El equipo del INIBIOMA (Instituto de Investigaciones en Biodiversidad y medioambiente) desea agradecer al Dr. E. Gómez del Instituto Argentino de Oceanografía - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (IADO-CONICET) por los análisis de tamaños de partículas. Agradecemos al Dr Roberto Volante. Muchas gracias a los pobladores rurales que nos permitieron entrevistarlos. Finalmente, un agradecimiento especial para David Dewar por su sobresaliente apoyo con la traducción durante las entrevistas.

El equipo de Nueva Zelandia fue financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación de Nueva Zelandia a través del subcontrato para Investigaciones sobre Peligros Naturales: C05X0804. Apoyo adicional fue proporcionado por la Comisión de Sismos de Nueva Zelandia y el Consejo de Auckland a través del proyecto DEVORA. El equipo del INIBIOMA fue financiado por CONICET (Subsidio Especial por la Emergencia y proyecto de Investigación PIP 2011 0311 GI) y por Convenios de Asistencia Institucionales con la provincia de Neuquén.

APPENDICES

APPENDIX 1: PELIGROS PARA LA SALUD DERIVADOS DE LA CENIZA VOLCÁNICA DE LA ERUPCIÓN DEL PUYEHUE-CORDÓN CAULLE

Dr Peter J Baxter
University of Cambridge, UK
Abril, 2012
pjb21@medschl.cam.ac.uk

A1.1 MARCO GENERAL

1.1 *El estado actual del problema de la ceniza:* los depósitos de ceniza de la erupción del CV-PCC que se depositaron durante el inicio de la actividad entre los días 3-5 de junio de 2011 están siendo gradualmente incorporados al suelo en las áreas en donde se registran precipitaciones en forma regular. Sin embargo, en las áreas áridas impactadas en la estepa Patagónica los depósitos son persistentes y durante los días ventosos se verifican en el aire niveles de exposición al material particulado fino (PM) muy elevados afectando, en forma regular, a toda la población. Estas condiciones que están afectando severamente a los poblados en la Línea Sur y en otros sectores impactados por la ceniza en la estepa, producen gran preocupación ya que posiblemente demande años para resolverse. El CV-PCC continúa registrando pequeñas explosiones¹⁴ y aún son visibles los extensos depósitos de ceniza cubriendo el cordón montañoso en los alrededores de Bariloche y Villa La Angostura.

1.2 Este punto resume la preocupación permanente por el riesgo para la salud de la población de las localidades que se encuentran expuestas en forma continua a la ceniza volcánica y que surgió en nuestras reuniones con profesionales locales de la salud y medioambiente. Se realizaron reuniones en Bariloche, Villa La Angostura, San Martín de Los Andes, Junín de Los Andes, Pilcaniyeu, Comallo y Jacobacci.

1.3 Las persistentes caídas de ceniza que se experimentaron durante el mes de junio 2011 en Argentina inevitablemente producen ansiedad por los posibles efectos en la salud a corto y largo plazo por la inhalación de ceniza fina y podría ser un factor subyacente que ha determinado que alguna gente abandone las zonas afectadas para ir a vivir y trabajar a otros lugares. Algunos de los temores más importantes luego de la erupción son aquellos vinculados a los medios de subsistencia, los factores económicos como la caída en la demanda turística, el cierre de los aeropuertos locales, y las pérdidas de ganado en las zonas rurales. Sin embargo, la preocupación por la salud puede ser un aspecto importante por el cual algunos comercios cerraron y la gente se desplazó hacia otras zonas. Por lo tanto, es una necesidad que las autoridades provean advertencias confiables y a tiempo sobre los posibles peligros para la salud luego de una erupción, lo que constituye un aspecto fundamental de la resiliencia y sustentabilidad de una comunidad y contar con planes para limitar la exposición de la población a la ceniza, especialmente en los trabajadores con tareas al aire libre y en los niños, y establecer guías para los profesionales médicos.

1.4 A pesar de que los laboratorios locales han realizado una labor valiosa en caracterizar la ceniza y sus lixiviados en agua, nuestra impresión fue que la información no fue oficialmente coordinada o distribuida por los responsables de Salud Pública. Además, médicos locales que hemos entrevistado estaban confundidos sobre si había que considerar seriamente a la ceniza como un riesgo a la salud respiratoria y de la necesidad de más investigación, en particular en niños. Había un acuerdo general entre los profesionales de la

¹⁴ Al momento de la visita de campo

salud que entrevistamos en Bariloche, San Martín y Junín que no se había registrado un incremento significativo de problemas respiratorios agudos ni empeoramientos entre sus pacientes que acudieron a consultas en clínicas y hospitales luego de las caídas de ceniza del mes de junio. Se han realizado algunos estudios epidemiológicos basados en los pacientes que concurrieron a consulta, pero no pudieron ser interpretados debido a la caída en el turismo y disminución en la población local, comparado con los valores de años anteriores.

Se delinearán a continuación aquellos aspectos que requieren mayor atención en cualquier evaluación sobre los riesgos de la ceniza para la salud respiratoria, y para la planificación de medidas de mitigación.

A1.2 CARACTERIZACIÓN DE LA CENIZA

2.1 *Distribución del tamaño de partículas.* Claire Horwell (Durham University, UK) recibió cinco muestras de ceniza fina de la presente erupción: dos de ellas constituidas por material grueso y tres contienen 4.5 – 9.0 %vol. de tamaños con diámetros inferiores a 4 μ (fracción respirable), y alrededor del doble de esa cantidad de tamaños menores a los 10 μ (fracción torácica). Es de esperarse que la ceniza resuspendida de estos depósitos de ceniza fina contribuya sustancialmente en las mediciones en el aire de las fracciones PM₁₀ y PM_{2.5}, con cantidades elevadas de partículas capaces de ser inhaladas hasta los alvéolos, profundamente dentro de los pulmones.

2.2 *Sílice cristalina.* Claire Horwell no encontró sílice cristalina en sus muestras. Personalmente colecté dos muestras de ceniza fina acumulada contra unos arbustos por la acción del viento en las afueras de Jacobacci y Comallo, y fueron analizadas por Jennifer Le Blond empleando DRX-RCM en el Natural History Museum, Londres. No se detectó la presencia de sílice cristalina. Este resultado es muy tranquilizador, ya que de alguna manera excluye a la mayor causa potencial de enfermedad fibrótica pulmonar (silicosis y fibrosis pulmonar producida por exposición a una mezcla de sílice cristalina y silicatos no-fibrosos - MDP), y a un factor causal de la Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC) y cáncer de pulmón. Sin embargo, la principal caída de ceniza registrada en el mes de junio continuó por dos o tres días y el área cubierta por la ceniza continúa siendo muy amplia: el análisis de más muestras de ceniza colectadas en un área mayor, junto con las muestras colectadas por el volcanólogo Gustavo Villarosa en diferentes estadios de la erupción, garantizan análisis adicionales para una confirmación final sobre la ausencia de sílice cristalina.

A1.3 MEDIDAS PARA REDUCIR LA EXPOSICIÓN

3.1 Desde que se inició la erupción en Junio 2011, la exposición a la ceniza ha sido fundamentalmente a través de la resuspensión de los depósitos persistentes acumulados sobre la superficie, por la acción de los vientos o de la actividad humana. Las precipitaciones hacen una diferencia crucial en la resuspensión y exposición a la ceniza. Las ciudades de Bariloche (120.000 hab.), Villa La Angostura (11.000 hab.), San Martín de los Andes (24.000 hab.) y Junín de los Andes (10.000 hab.) están favorecidas por lluvias o nieve en forma regular durante el invierno, y la exposición general a la ceniza tiende a ser baja en comparación con los asentamientos en las zonas áridas de la Estepa Patagónica (por ejemplo Comallo –2.000 hab. y Jacobacci 5.000 hab.).

3.2 Una observación notable es la persistencia de los depósitos de ceniza en las montañas luego de haber caído nieve; en los climas secos y ventosos pueden contribuir al

particulado de la polución del aire en ciudades cercanas. Menos sorprendente, pero mucho más peligroso para la salud son los extensos y persistentes depósitos de ceniza en las poblaciones que hemos visitado a lo largo de la Línea Sur, las que son cubiertas por verdaderas tormentas de ceniza que vuelva por la acción de los fuertes vientos y que pueden durar toda la tarde, cuatro días a la semana como promedio, a lo largo del año.

3.3 Se requieren de mediciones diarias de PM_{10} (y $PM_{2.5}$) en el aire ambiente para comprender los niveles de fondo de ceniza fina a los cuales están expuestas las personas en las diferentes ciudades y poblados, tanto cada hora como en promedios de 24hs (incidencias medias). Además del medidor en el aeropuerto de Bariloche, utilizado para controlar las condiciones para la aeronavegación, y unos pocos resultados de un monitor de aire empleado por el SEGEMAR, la cantidad de datos disponibles sobre exposición a la ceniza son muy limitados.

3.4 Las exposiciones individuales a la ceniza en condiciones secas serán mayores que las lecturas del entorno, especialmente en los trabajadores que desarrollan sus actividades en el exterior, al aire libre, como los agricultores y ganaderos. Por momentos, algunos individuos, por ejemplo, realizando tareas en contacto con polvo o caminando en depósitos de ceniza, podrán experimentar picos transitorios de exposición, pero sus promedios de exposición para 24hs (incluyendo los niveles bajos que se registran cuando se encuentran en el interior de sus hogares, especialmente durante la noche) debieran ser mucho más bajos.

3.5 Las medidas para limitar la exposición dentro y fuera de las viviendas/edificaciones serán útiles para evaluar la efectividad de las medidas de limpieza de la ceniza y de los sellados de los hogares, escuelas y otras edificaciones para evitar el ingreso de la ceniza, especialmente bajo las condiciones de aridez y viento en la estepa.¹⁵

3.6 Al momento de nuestra visita ninguna de estas medidas para limitar la exposición a la ceniza se estaban utilizando debido a la falta de los elementos necesarios.

A1.4 EFECTOS CLÍNICOS A LA EXPOSICIÓN DE PARTÍCULAS FINAS ($PM_{2.5}$) EN ÁREAS IMPACTADAS POR LA CENIZA

4.1 Efectos irritativos agudos de la partículas en el tracto respiratorio superior, ojos y posiblemente en la piel expuesta son los efectos esperados cuando los niveles de ceniza en el aire son elevados. Los individuos con problemas pulmonares crónicos preexistentes, incluyendo asma, serán los más afectados. En las zonas urbanas como Bariloche, Villa La Angostura, San Martín y Junín el número de personas gravemente afectadas será limitado debido al tipo de viviendas bien aisladas para resistir el clima lo que reduce el ingreso de la ceniza y las precipitaciones frecuentes que evitan la resuspensión, así como el fácil acceso a la asistencia médica.

4.2 Por el contrario, en la Estepa Patagónica, los niveles de precipitaciones por debajo a los normales durante los últimos cinco años, las persistentes condiciones de sequía y los intensos vientos garantizan que se alcancen valores extremadamente elevados de PM y los hogares, en líneas generales, son de calidad inferior y no están construidas para evitar el ingreso de ceniza; el acceso a la asistencia médica es también más reducido en las

¹⁵ Se debe tener en cuenta que hogares calefaccionados a leña deben mantener sistemas de ventilación adecuados para evitar la intoxicación con CO y CO₂, por lo que se deben elaborar estrategias adecuadas para el caso

comunidades rurales. Los problemas oculares, por ejemplo, fueron muy frecuentes y algunas personas debieron ser hospitalizadas. Los niños pasaron cuatro meses viviendo bajo severas condiciones de presencia de ceniza luego de las caídas de ceniza del mes de junio hasta que las escuelas fueron reabiertas. La exposición a la ceniza habría sido sustancialmente menor en las escuelas debido a que los establecimientos educativos pueden ser más fácilmente sellados y protegidos contra el ingreso de la ceniza que sus propios hogares.

4.3 Es más difícil averiguar sobre el estado de la salud, como por ejemplo asma en los niños, o agravamiento del estado de los adultos con problemas de salud preexistentes, en las zonas de la estepa en donde se crían ovejas, en donde las tormentas de ceniza que duraban horas, y que alcanzan frecuencias de cuatro días por semana, comparado con ciudades grandes. Además requiere de una investigación epidemiológica formal, ya que no se puede contar con el dato del número de consultas recibidas en hospitales y clínicas. El impacto puede ser sustancial y las familias pueden decidir abandonar el área si uno de sus integrantes se encuentra afectado severamente por la ceniza. La persistencia de síntomas asmáticos en niños de entre 13-14 años en Argentina (Neuquén) es de alrededor del 10% en una investigación ISAAC ¹⁶ publicada. Los pacientes con enfermedades cardíacas y pulmonares avanzadas deberían considerar consultar con sus médicos la posibilidad de mudarse, si la opción es viable, mientras las condiciones de exposición severa permanezcan.

4.4 Factores adversos adicionales que deben ser considerados en algunas comunidades rurales incluyen la quema de combustibles fósiles en el interior de las viviendas y el hábito de fumar tabaco (ambas prácticas pueden exponer a los integrantes del núcleo familiar a mayor contaminación del aire). La tuberculosis y la neumonía infantil están asociadas a la pobreza y a la desnutrición (siendo la neumonía la causa más común de enfermedad y muerte, en menores de 5 años en economías de bajos y medianos recursos), ambas enfermedades pueden aumentar su incidencia y gravedad debido a la elevada exposición a la ceniza.

4.5 Como los estudios epidemiológicos necesarios de poblaciones numerosas luego de erupciones volcánicas no se han encarado en ningún lugar del mundo, la evidencia de la ocurrencia de efectos en la salud a largo plazo como resultado a la actual exposición a niveles elevados de ceniza volcánica fina es menos segura que los efectos agudos descritos en el ítem anterior. No obstante, podría ser plausible que prolongadas y elevadas exposiciones a PM_{2.5} volcánica podrían contribuir a, por ejemplo, el deterioro del crecimiento pulmonar infantil y el desarrollo de enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) en adultos (WHO, 2006). EPOC es la cuarta causa más común de muerte en el mundo (se convertirá en la tercera para el 2030) y el peligro de contraerla durante la vida es uno de cada cuatro; el factor causal clave es el tabaquismo. Hay una alta prevalencia de fumadores en Argentina. EPOC puede ser también ocasionada, o inducida por agresiones ambientales (incluyendo polvos minerales).

A1.5 ASPECTOS TOXICOLÓGICOS

5.1 La reseña sobre los efectos en la salud respiratoria por la ceniza volcánica realizada por Horwell y Baxter (2006) resume la literatura científica hasta el 2005 inclusive. Desde aquel momento, investigaciones sobre el material particulado PM derivado de la combustión

¹⁶ International Study of Asthma and Allergies in Childhood: Estudio internacional sobre asma y alergias en la niñez

se ha empleado para desarrollar políticas para reducir la contaminación del aire en las ciudades y evaluar su impacto en la salud pública (COMEAP,¹⁷ 2009; 2010). ¿Qué tan relevante es esta investigación para la ceniza volcánica?

5.2 La concentración promedio anual de la contaminación de $PM_{2.5}$ en el aire urbano del Reino Unido y de EUA está en el orden de los $7-30 \mu g/m^3$. Dentro de este rango y sin especificar qué componentes de $PM_{2.5}$ son los más importantes, los expertos han llegado a algunas conclusiones sobre la relación, o coeficientes de riesgo, entre la exposición a $PM_{2.5}$ y el riesgo de muerte utilizando los resultados de estudios epidemiológicos realizados en poblaciones grandes. (Un coeficiente de riesgo resume el cambio en la salud expresado en porcentaje por unidad de cambio en la concentración de la contaminación del aire). Un incremento de $10 \mu g/m^3$ en PM_{10} por sobre los niveles de fondo/base es suficiente para registrar un aumento en las muertes producidas por enfermedades cardio-respiratorias en alrededor de un uno por ciento (0,6%) durante horas y días posteriores. Las exposiciones a largo plazo al aire con una concentración de base aumentada de $10 \mu g/m^3$ de $PM_{2.5}$ pueden incrementar en un 6% todas las causas de mortandad (fundamentalmente enfermedades cardio-respiratorias y cáncer de pulmón). Los mecanismos responsables están lejos de ser entendidos aún, pero los toxicólogos están a favor de una explicación basada en las propiedades inflamatorias de las partículas carbonosas ultrafinas, junto con los orgánicos asociados y metales de transición formados a partir de la conversión química de los gases emitidos por los motores de automóviles (WHO¹⁸, 2006).

5.3 Por el contrario, no hay estudios epidemiológicos que hayan monitoreado la mortandad en la población luego de una erupción volcánica y es imposible proporcionar estimaciones de riesgo similares para $PM_{2.5}$ en ceniza volcánica. Sin embargo, hay un consenso general, que los polvos minerales son menos tóxicos que las partículas en el aire urbano derivadas de la combustión. Por ejemplo, no observamos un aumento en las admisiones en hospitales (o mortandad) que solían ocurrir durante los tremendos episodios de smog debido a la quema de carbón en el pasado, a pesar de que las concentraciones de partículas finas en el aire luego de la erupción podrían ser aún más elevadas que las partículas derivadas de la combustión en los letales smogs.

5.4 Como las partículas cuyos diámetros aerodinámicos son menores a $2,5\mu$ se depositan en forma efectiva dentro del alveolo pulmonar, especialmente en los subgrupos en riesgo de la población, tales como los enfermos, los ancianos y los niños, debemos considerar a la fracción $PM_{2.5}$ de la ceniza en suspensión como la de mayor importancia para las evaluaciones de riesgos para la salud. Las partículas de ceniza ultrafinas también pueden estar presentes. Las partículas gruesas no debieran ignorarse, ya que pueden, por ejemplo, actuar en las vías aéreas mayores y provocar asma y síntomas de bronquitis; por lo tanto, la fracción PM_{10} (fracción torácica) también es una medida útil e incorpora a $PM_{2.5}$. Los coeficientes de riesgo discutidos más arriba para $PM_{2.5}$ y PM_{10} en el aire urbano son útiles pues permiten definir un nivel de riesgo relativamente pequeño en una gran población expuesta y la exposición a la ceniza en tan bajas concentraciones es improbable que implique un riesgo tan alto. Sin embargo, la extrapolación de estos coeficientes de riesgo u otros coeficientes a concentraciones mucho más elevadas como se observa habitualmente en las erupciones no es tan sencillo en el estado actual del conocimiento.

¹⁷ Committee on the Medical Effects of Air Pollutants

¹⁸ WHO: World Health Organization; OMS: Organización Mundial de la Salud

A1.6 INVESTIGACIÓN DE SALUD PÚBLICA

6.1 Si la población será informada adecuadamente sobre los riesgos por exposiciones pasadas y presentes, y a la luz de las incertidumbres planteadas en el párrafo anterior, debieran encararse más investigaciones sobre los efectos de la ceniza del CV-PCC. Esto es importante por las elevadas exposiciones en la estepa Patagónica, que podrían continuar por meses o años, dado que la población rural ha estado y continua estando, expuesta a valores diarios elevados de $PM_{2.5}$.

Se sugieren como prioritarios a los siguientes estudios:

- Colección rutinaria de datos estadísticos sobre mortalidad y atención en hospitales/clínicas debieran ser revisadas y monitoreadas en las áreas con cenizas. TB y neumonía infantil deben ser incluidas en el monitoreo en las áreas rurales de bajos recursos.
- Un estudio sobre asma y función pulmonar en niños en edad escolar debiera considerarse una prioridad. Los niños en la Línea Sur son un grupo de alta exposición y garantizan un seguimiento a largo plazo; podrían elegirse grupos de mediana a baja exposición en las ciudades en la zona turística en donde reciben mayor cantidad de lluvia.
- Un estudio de síntomas respiratorios y de función pulmonar en un grupo de adultos, por ejemplo, pobladores rurales, en la Línea Sur y un grupo para comparar en zonas rurales con mayores precipitaciones. Podría realizarse un estudio de cohorte para seguimiento a largo plazo.
- Como signo de alta exposición a ceniza fina y evidencia de impacto por riesgo potencial de enfermedad cardiovascular se podrían estudiar varias variables objetivas que podrían incluir marcadores inflamatorios de inflamación sistémica. Se nos informó que en algunas zonas rurales fueron frecuentes los casos de stress psicológico (ansiedad y depresión): esto también requiere de más investigaciones.
- Los síntomas oculares han sido comunes y en algunos casos han sido lo suficientemente severos como para requerir hospitalización: se requieren mayores estudios ya que los efectos de esta severidad debido a la ceniza volcánica son infrecuentes.

6.2 Estos estudios que involucran muestreo de población deben ser desarrollados por expertos y darles continuidad por el tiempo necesario para poder asegurarle a la población que la salud de los adultos y de los niños no están siendo afectadas en forma irreversible por la continua exposición a la ceniza, en particular en la estepa.

A1.7 MIDIENDO EXPOSICIÓN A PM

7.1 La medición de PM en el aire del ambiente es una parte esencial de la evaluación de riesgo y será un parámetro clave en los estudios epidemiológicos mencionados más arriba. Las fracciones PM_{10} y $PM_{2.5}$ son invisibles y no pueden ser estimadas sin el instrumento adecuado.

- Las estaciones para el monitoreo de las partículas en el aire (como las instaladas en la mayoría de las ciudades de la UE y EUA) debieran ser colocadas en las zonas de estudio para registrar los valores de las medias de PM_{10} y $PM_{2.5}$ por hora y diarias del entorno. Esto requiere de apoyo técnico y son costosas. El resultado puede ser transmitido en forma automática a una oficina central.

- Los monitores portátiles para determinar concentraciones de PM_{10} y $PM_{2.5}$ como los DusTrak debieran emplearse para chequear los niveles de PM en el aire exterior en las ciudades y poblados pequeños, y en el interior de las escuelas y viviendas para medir la efectividad del sellado de las construcciones para evitar el ingreso de la ceniza. Pueden ser programados para registrar por períodos largos y luego estos registros pueden ser bajados en la computadora.
- Las exposiciones a PM de los trabajadores que desarrollan sus actividades en el exterior al aire libre, o las mediciones directas en otros individuos pueden realizarse utilizando un instrumento como el Sidepak, que es un dispositivo pequeño que trabaja como el DustTrak pero que se coloca en el cinturón.
- Un estudio sobre la exposición empleando los instrumentos DustTrak y el Sidepak debiera encararse en las localidades más afectadas tales como Pilcaniyeu, PichiLeufú, Corralito, Ing. Clemente Onelli, Comallo y Jacobacci, para establecer los niveles de base medios actuales de PM_{10} y $PM_{2.5}$ en el aire bajo una serie de condiciones climáticas representativas, y así definir las exposiciones medias más elevadas de los niños y grupos de adultos representativos. Consúltase la metodología utilizada en Montserrat by Alison Searl y otros (Occup. Environ. Med. 2002, 59: 523-531).

7.2 SEGEMAR ha realizado un muestreo limitado colectando la fracción PM_{10} en un filtro por medio de una bomba. Pudimos ver el resultado (valor medio) para una semana completa (día y noche) de muestreo de aire en las afueras del hospital de Jacobacci en el mes de Agosto, cuando las condiciones eran aún muy desfavorables; el resultado fue de $600 \mu g/m^3$, un valor muy elevado.

A1.8 REDUCIENDO LA EXPOSICIÓN A LA CENIZA

8.1 El factor determinante más importante en la exposición a la ceniza volcánica es la lluvia. Suprime la resuspensión de la ceniza, limpia el aire de ceniza suspendida, y elimina por lavado la ceniza depositada en las pendientes. Favorece el crecimiento de pasto a través de los depósitos de ceniza en terrenos sin pendiente o del césped alrededor de las casas y, la incorporación de la ceniza al suelo en campos cultivados.

8.2 Las escasas precipitaciones en la estepa tienen un efecto opuesto, la ceniza fina es apilada por la acción del viento contra los arbustos y allí se mantiene hasta que llegan los fuertes vientos capaces de removilizarla. En promedio se registran en promedio durante cuatro días a la semana tormentas de ceniza que reducen la visibilidad a menos de 1 km, duran por varias horas durante la tarde y son peores en la primavera y verano.

8.3 Durante una de estas tormentas de ceniza estábamos en Jacobacci y se midieron las concentraciones de PM_{10} en la calle durante 15 minutos obteniéndose un valor de $919 \mu g/m^3$ (rango: 277 - 6530) y de $625 \mu g/m^3$ (rango: 374 - 1300) en el interior de un restaurant. Al mismo tiempo dentro del hospital, en donde las ventanas se encontraban selladas para evitar el ingreso de ceniza, las concentraciones de ceniza en suspensión en puntos de control eran de aproximadamente $130 \mu g/m^3$ y de $30 \mu g/m^3$ en el quirófano (vacío). Esto demuestra la efectividad de las medidas tomadas para prevenir la filtración de ceniza durante una de estas tormentas de ceniza. Las condiciones empeoran más tarde cuando salimos del pueblo; la velocidad del viento aumentó y comenzó a levantar suelo y ceniza, y la visibilidad disminuyó a unos pocos metros.

8.4 Las medidas esenciales para reducir las exposiciones promedio de ceniza son sellar las edificaciones para evitar el ingreso de ceniza movida por el viento; mantener calles y los alrededores de escuelas, hogares y otras edificaciones libres de ceniza. Esto requiere de esfuerzos permanentes en las localidades de la Línea Sur, pero debiera ser posible para toda persona reducir significativamente su exposición protegiéndose de estas tormentas de ceniza, permaneciendo en el interior de las viviendas u otras edificaciones. Las viviendas que lo requieran deben ser mejoradas para evitar que la ceniza movilizada por el viento ingrese a las mismas. En Comallo, la ceniza estaba en las calles principales y en las plazas; por el contrario, en Jacobacci las calles se limpiaban en forma regular.

8.5 Si bien están disponibles los barbijos o máscaras que son eficientes y livianos (N95, o FP2/FP3 standard), éstos no eran utilizados por la mayoría de las personas. Para aquellas tareas que involucren polvo o períodos de exposición alta estos barbijos debieran utilizarse siempre. También debieran estar disponibles para aquellas personas con problemas respiratorios crónicos. En general los fabricantes de barbijos y mascarillas no contemplan modelos adaptados para niños.

A1.9 ESTUDIOS EN ANIMALES

9.1 El ganado ovino y vacuno está altamente expuesto en los campos. Al principio de la crisis volcánica muchos animales murieron por inanición y falta de agua y los casos de ceguera fueron muy frecuentes. En las ovejas se observó la obstrucción del rumen por bolos formados de una mezcla de ceniza ingerida y de su propia lana. No se reportaron casos de problemas respiratorios en el ganado, pero se debieran hacer intentos de estudiar el tejido pulmonar de las ovejas muertas en busca de evidencia histológica de indicios de cambios inflamatorios crónicos debido a la ceniza. Los hallazgos negativos en ovejas con una historia de prolongada y elevada exposición a la ceniza podría ser una evidencia contundente para los pobladores que viven en estas zonas castigadas por tormentas de ceniza.

A1.10 IMPACTOS DE LAS ERUPCIONES ANDINAS

10.1 Durante el siglo XX se registró en la Argentina una erupción de magnitud cada 10 años aproximadamente. La erupción del Hudson en 1991 fue la tercera más grande en el mundo del siglo XX y tuvo un impacto similar que la actual erupción del CV-PCC en las zonas áridas de la Patagonia. Las lecciones dejadas por el Hudson deben ser estudiadas. Sería también importante saber si los profesionales de la salud han encontrado evidencias de fibrosis en las radiografías de tórax que se le han practicado a pacientes por otros motivos y que puedan atribuirse a la exposición a la ceniza con posterioridad a la erupción. Proporciona otra oportunidad importante para estudiar los impactos en la salud respiratoria en los pobladores de los asentamientos que fueron afectados por la exposición a la ceniza que continuó por muchos años luego del inicio de la erupción.

10.2 El volcán Chaitén entró en erupción en 2008 y la caída de ceniza inicial no contenía cristobalita. El volcán permaneció activo y la ceniza de las erupciones menores subsiguientes contenía hasta un 20% de cristobalita. Los funcionarios de Salud Pública deben estar preparados para una erupción futura importante del Chaitén de manera tal de asegurar que la ceniza se analice en busca de cristobalita sin demoras. Esta concentración de cristobalita en los depósitos de ceniza presentaría un riesgo potencial severo de producir silicosis en localidades impactadas en la Estepa Patagónica y las medidas para reducir la exposición deberán tomarse en forma urgente alcanzando a toda la población afectada.

Referencias Generales del Anexo 1

Versiones electrónicas están disponibles online

Horwell C.J. and Baxter P.J. The respiratory health hazards of volcanic ash: a review for volcanic risk mitigation. Bull. Volcanol. 2006, 69: 1-24.

WHO Europe. Air Quality Guidelines. Global Update 2005. Copenhagen: WHO, 2006.

Committee on the Medical Effects of Air Pollution (COMEAP). Long term exposure to air pollution: effects on mortality. A report by COMEAP. London: Health Protection Agency, 2009.

Committee on the Medical Effects of Air Pollution (COMEAP). The mortality effects of long term exposure to particulate air pollution. A report by COMEAP. London: Health Protection Agency, 2010.

APPENDIX 2: SURFACE WATER QUALITY DATA COLLECTED IN STUDY REGION FOLLOWING THE JUNE 2011 PCC-VC ERUPTION

Table A 2.1 Physicochemical properties of surface waters used for drinking-water supplies in greater Bariloche region (analyses performed at INVAP laboratory and reproduced here by kind permission of Departamento Provincial de Aguas). Highlighted cells indicate values outside acceptable range.

Sample	Date of sampling	pH	Conductivity	Cl	Na	K	SO ₄	Si	As	Fe	F	Mn	Pb	Ca	Mg	Cu	Cr	Al
			µS/cm															
CAB water intake	6-Jun-11	7.72	38.1	<250	<200	0.29	<250	3.1	<0.05	<0.3	<1.5	<0.5	<0.01	4.87	0.53	<2	<0.05	<0.2
Municipalidad de Dina Huapi	6-Jun-11	6.53	34.4	<250	<200	0.3	<250	3	<0.05	<0.3	<1.5	<0.5	<0.01	3.7	0.56	<2	<0.05	<0.2
Municipalidad de Dina Huapi	8-Jun-11	6.94	34.7	<250	<200	0.27	<250		<0.05	<0.3	<0.05	<0.5	<0.01	3.27	0.77	<2	<0.05	<0.2
Villa los Coihues	6-Jun-11	7.06	64.6	<250	<200	0.34	<250	3.8	<0.05	<0.3	<1.5	<0.5	<0.01	11.3	1.71	<2	<0.05	<0.2
Villa los Coihues	8-Jun-11	7.16	65.1	<250	<200	0.35	<250		<0.05	<0.3	<0.05	<0.5	<0.01	7.59	0.5	<2	<0.05	<0.2
Barrio Parque El Faldeo	6-Jun-11	6.93	34.8	<250	<200	0.28	<250	2.7	<0.05	<0.3	<1.5	<0.5	<0.01	3.9	0.58	<2	<0.05	<0.2
Barrio Parque El Faldeo	8-Jun-11	6.96	35.3	<250	<200	0.3	<250		<0.05	<0.3	<0.05	<0.5	<0.01	3.12	0.74	<2	<0.05	0.3
Barrio Nahuel Malal	6-Jun-11	6.98	35.4	<250	<200	0.27	<250	2.6	<0.05	<0.3	<1.5	<0.5	<0.01	4.2	0.57	<2	<0.05	<0.2
Barrio Nahuel Malal	8-Jun-11	7.02	38.1	<250	<200	0.33	<250		<0.05	<0.3	<0.05	<0.5	<0.01	3.51	0.8	<2	<0.05	0.8
Villa Campanario	6-Jun-11	6.97	36.2	<250	<200	0.27	<250	2.5	<0.05	<0.3	<1.5	<0.5	<0.01	3.8	0.57	<2	<0.05	<0.2
Villa Campanario	8-Jun-11	6.97	37.3	<250	<200	0.27	<250		<0.05	<0.3	<0.05	<0.5	<0.01	3.12	0.77	<2	<0.05	<0.2
Casa de Piedra	8-Jun-11	7.04	40.1	<250	<200	0.18	<250		<0.05	<0.3	<0.05	<0.5	<0.01	5	2.15	<2	<0.05	<0.2
Tolerable limits	-	6.5-8.5	-	250	200	-	250	-	0.05	0.3	1.5	0.5	0.01	-	-	2	0.05	0.2

Table A 2.2 Physicochemical properties of source waters used for drinking-water supplies and treated water in distribution system in Villa la Angostura (analyses performed at INVAP laboratory and reproduced here by kind permission of Bromatología Municipal, courtesy of Alejandro Murcia).

Parameters	Tolerable limits	Units	11 June 2011				17 June 2011	
			Muestra Río Correntoso	Muestra Lago Nahuel Huapi	Muestra A° Piedritas	B° Pto Manzano (con cloración)	Muestra Río Bonito	Agua de Red de Bomberos
			Stream	Lake	Stream	Treated tap water	Stream	Treated tap water
pH (25°C)	6,5 - 8,5		6.57	6.62	6.35	6.67	6.44	6.8
Conductivity	*	uS/cm	27.5	28.6	74.4	85.6	58.8	27.4
Na	200	mg/L	<200	<200	<200	<200	<200	<200
K	*	mg/L	0.43	0.38	0.70	0.95	0.83	0.41
Cl	250	mg/L	<250	<250	<250	<250	<250	<250
SO4	250	mg/L	<250	<250	<250	<250	<250	<250
As	0,05 (p)	mg/L	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Fe	0.3	mg/L	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
F	1,5 (2)	mg/L	<1.5	<1.5	<1.5	<1.5	<1.5	<1.5
Mn	0,1 (p)	mg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Pb	0.01	mg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Ca	*	mg/L	2	2	4.8	6.2	3.9	3.55
Mg	*	mg/L	0.6	0.72	1.20	1.60	1.10	0.73
Cu	1 (p)	mg/L	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Turbidity	2	NTU	65	13	60	45	50	2
Cr	0,05 (p)	mg/L	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Al	0.2	mg/L	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2

Table A 2.3 Time series of physicochemical properties in tap water collected from Barrio Las Piedritas, Villa la Angostura (analyses performed at INVAP laboratory and reproduced here by kind permission of Bromatología Municipal, courtesy of Alejandro Murcia).

Parameters	Units	Tolerable limits	7 June 2011	8 June 2011	9 June 2011	10 June 2011	13 June 2011	14 June 2011	16 June 2011	11 July 2011	2 August 2011
pH		6.5 - 8.5	6.91	6.2	6.67	6.54	6.76		6.34	6.07	7.1
Si	mg/L		2.1	3	12.3	11.4	7.5		13.4	12.3	26.7
SO ₄	mg/L	400	8	5	8	5	2		6	4	9
Turbidity	NTU	2	8	23	10	19	12		16	47	3
As	mg/L	0.01	0.01				0.01		0.01	0.01	< 0,01

Table A 2.4 Time series of physicochemical properties in tap water collected from central Villa la Angostura (analyses performed at INVAP laboratory and reproduced here by kind permission of Bromatología Municipal, courtesy of Alejandro Murcia).

Parameters	Units	Tolerable limits	7 June 2011	8 June 2011	9 June 2011	13 June 2011	16 June 2011	11 July 2011	2 August 2011	2 August 2011
pH		6.5 - 8.5	7.19	6.54	7.16	6.81	6.83	6.12	6.87	6.77
Si	mg/L		6.6	4.3	7.6	8.1	6.9	8.7	13.9	13.8
SO ₄	mg/L	400	2	2	< 2	2	2	4	< 2	< 2
Turbidity	NTU	2	1	4	3	1	16	19	2	5
As	mg/L	0.01	< 0.01			< 0.01		< 0.01	< 0.01	< 0.01

APPENDIX 3: DATOS DE VILLA LA ANGOSTURA

Table A 3.1 Agua corriente (*agua de red*) colectada el día 11 de Julio de 2011 en distintos barrios. Datos gentilmente proporcionados por el Laboratorio de Bromatología Municipal, cortesía del bromatólogo Alejandro Murcia.

Barrio	Descripción breve sobre el sistema de provisión	Resumen de la Calidad de agua (microbiológica)	Cloro residual ^φ
Las Bandurrias	Toma en el Lago Nahuel Huapi, almacenada en 3 tanques de 30 m ³ c/u, desinfección con hipoclorito de sodio. Se considera al sistema bien mantenido.	Apto para consumo humano	Ausente
Villa Correntoso	Como en el caso anterior	NO Apto para consumo humano (indicadores microbianos exceden los niveles permisibles)	Ausente
Club Cumelén Tanque #1	Sistema Privado, tiene su propia toma del Lago Nahuel Huapi. Sin filtración, únicamente clorinación.	Apto para consumo humano	<0.1 mg/L
Club Cumelén Tanque #2	Como en el caso anterior	Apto para consumo humano	<0.1 mg/L
Puerto Manzano	Hay una toma en un arroyo, tributario del río Bonito, y una bomba en el río Bonito. El sistema posee una malla para retener restos orgánicos gruesos y una trampa de arena, pero no tiene filtros de arena. Hay grandes problemas con los restos orgánicos en la toma del arroyo y sería conveniente utilizar únicamente el agua de bombeo. Hay una bomba de dosaje para clorinación pero la cantidad de sólidos suspendidos y de material orgánico en el sistema evitan la existencia de una adecuada cantidad de cloro residual en el sistema de distribución.	NO Apto para consume humano (se identifica visualmente turbidez en el agua)	Ausente
Las Piedritas 'Casa 4'	Hay una toma en el arroyo Colorado, seguido de una trampa de arena y un filtro lento de arena que se encuentran en un estado de deterioro y mal mantenidos.	NO Apto para consume humano (se identifica visualmente turbidez en el agua).	<0.1 mg/L
Las Piedritas 'Escuela 186'	Como en el caso anterior	NO Apto para consume humano (se identifica visualmente turbidez en el agua) y también una ruptura en el sistema de dosaje de clorinación	<0.1 mg/L
'En frente de la estación de Bomberos' (barrio El Once)	El sistema de tratamiento de Lomas del Correntoso tiene tomas en el Lago Nahuel Huapi y Lago Correntoso. La toma adicional en el Arroyo Piedritas actualmente se encuentra en desuso debido a los problemas con sólidos en suspensión producto de los flujos por desbordes. Para la toma del Lago Correntoso, hay un Nuevo sistema de filtración con cuatro filtros rápidos de arena. Sin embargo, este agua se mezcla luego con el agua sin filtrar proveniente de las demás tomas. El agua almacenada es luego clorinada.	Apto para consumo humano	0.5 mg/L

φ para prevenir re-infección en el sistema de distribución, el cloro residual debería estar dentro del rango 0.2-0.5 mg/L.

APPENDIX 4: INVESTIGACIONES PREVIAS SOBRE LA ERUPCIÓN DEL 2008 DEL CHAITÉN Y LA ERUPCIÓN DE 1991 DEL HUDSON

Lecciones del Hudson – lidiando con la removilización de la ceniza por acción del viento

Nuestro equipo de campo realizó un estudio (en enero de 2008) de la recuperación a largo plazo de las comunidades rurales y de las actividades agrícolas en el área afectada por la caída de ceniza de la erupción de 1991 del volcán Hudson, ubicado aproximadamente a 600 km al sur del Puyehue-Cordón Caulle. La erupción del Hudson fue la tercera más importante del siglo XX, y depositó ceniza sobre aproximadamente 150.000 km² en la provincia de Santa Cruz. Durante varios años luego de la erupción, la recuperación de las áreas agrícola-ganaderas fue severamente impedida por los problemas causados por la removilización de la ceniza por el viento (“tormentas de ceniza”, consultar Wilson et al. 2011a).

Las primeras pequeñas plántulas con las semillas fueron cortadas por la ceniza movilizada por el viento o bien sepultadas por los depósitos de ceniza inhibiendo el crecimiento de la pastura. La salud del ganado continuó afectándose debido a que se seguían produciendo bloqueos gastrointestinales, abrasión dentaria e irritación ocular. Muchos de los campos productivos más aislados fueron abandonados y hubo una migración importante a lo largo de la década de los ´90.

Las lecciones de este evento son aplicables a la erupción del CV-PCC de 2011, especialmente para la región de la estepa en donde la ceniza removilizada está causando problemas en la recuperación agrícola-ganadera.

Los agricultores que actuaron rápidamente para estabilizar los depósitos de ceniza, mezclándola con el suelo y luego replantando, tuvieron una ventaja importante sobre aquellos que no lo realizaron. Se comprobó que las técnicas más eficientes fueron el empleo de un arado cincel (para mantener la porosidad del suelo) y abono del heno (para aumentar el contenido de suelo orgánico).

Una práctica valiosa ha sido el uso de arboledas, de sauces o álamos, como protección de los cultivos contra la ceniza movilizada por el viento. Esto no es una solución inmediata ya que requiere de tiempo para que se establezcan.

La diversificación de la producción incorporando el cultivo en invernaderos fue muy beneficioso ya que les permitió a los productores contar con un flujo de ingreso adicional y estas prácticas son bastante resistentes a las condiciones con altos niveles de ceniza removilizada por el viento.

El desarrollo de sistemas de irrigación ha permitido lograr mayor resiliencia frente a las condiciones climáticas variables, aumentando notablemente los volúmenes de producción.

Referencias

- Wilson, T.M., Cole, J.W., Stewart, C., Cronin, S.J., Johnston, D.M., 2011a. Ash Storm: Impacts of wind-remobilised volcanic ash on rural communities and agriculture following the 1991 Hudson eruption, southern Patagonia, Chile. *Bulletin of Volcanology* 73 (3): 223-239
- Wilson, T.M., Cronin S.J., Stewart, C., Cole, J.W., Johnston, D.M. 2011b. Agricultural recovery following the 1991 eruption of Vulcan Hudson. *Natural Hazards* 57 (2): 185-212.
- Wilson, T.M., Cole, J.W., Johnston, D.M. Cronin S.J., Stewart, C., Dantas, A., 2012. Short- and long-term evacuation of people and livestock during a volcanic crisis: lessons from the 1991 eruption of Volcán Hudson, Chile. *Journal of Applied Volcanology* 1:2 doi:10.1186/2191-5040-1-2



www.gns.cri.nz

Principal Location

1 Fairway Drive
Avalon
PO Box 30368
Lower Hutt
New Zealand
T +64-4-570 1444
F +64-4-570 4600

Other Locations

Dunedin Research Centre
764 Cumberland Street
Private Bag 1930
Dunedin
New Zealand
T +64-3-477 4050
F +64-3-477 5232

Wairakei Research Centre
114 Karetoto Road
Wairakei
Private Bag 2000, Taupo
New Zealand
T +64-7-374 8211
F +64-7-374 8199

National Isotope Centre
30 Gracefield Road
PO Box 31312
Lower Hutt
New Zealand
T +64-4-570 1444
F +64-4-570 4657