



# Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias  
Escuela de Química y Farmacia

**PROFESOR PATROCINANTE:** Dr. Eduardo Quiroz R  
**INSTITUTO:** Química  
**FACULTAD:** Ciencias

## **ANÁLISIS DE (As, Ca, F, Fe, Mn y Mg) EN AGUAS MINERALES Y TERMALES DE LA NOVENA Y DÉCIMA REGIONES DE CHILE**

Tesis de Grado presentada como  
parte de los requisitos para optar  
al Título de Químico Farmacéutico.

**XIMENA MARGARITA LORCA MUÑOZ**

VALDIVIA-CHILE  
2005

*“Con Amor para mis más preciados tesoros  
Mis Padres mami Beche y Moncho, tía Lala,  
mis hermanos Edy, Yana, Keka, Mery  
mi hermanita Evelyn y Carlos, juntos a mis sobrinitos  
Leonardito, Francys, Rominita, Rorito, Bechita y  
para aquel angelito Noelia, por la cual esperamos ansioso*

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Laboratorio de Elementos Traza y Nutrientes, Instituto de Química, Universidad Austral de Chile por el financiamiento para esta investigación.

Al Dr. Eduardo Quiroz, por la oportunidad brindada de trabajar con él, por su apoyo, confianza, consejos, enseñanzas y por su calidad humana, que Dios lo bendiga siempre.

Al profe Jara, por el apoyo, su calidad humana, por el amigo que encontré en él. Gracias por sus consejos que Dios lo bendiga por siempre profe.

A mi familia por su amor y apoyo cuando más los necesite, en especial al ser maravilloso que siempre esta a mi lado, por la fuerza que me da su amor incondicional. Este logro es tuyo mamá, muchas gracias por confiar en mí. Te amo mucho mi viejita sin ti no lo hubiese logrado. Le agradezco a Dios por haberme dado la dicha de tenerte. Te amo, te amo mucho mamita Beche.

A mis amigas Pola, Rosana (Estita), Karina, Yenny (Guachi), Marce, Cecilia, Yasna y Vale, por su ayuda y apoyo, por el tiempo compartido y por el que queda por compartir. A las dos más grandes personitas Normita (Bolita) y Ada por su amistad sincera, por escucharme, por sus consejos y apoyo. A mi bebe por su cariño y ayuda.

*“A Dios por ser mi fiel refugio, mi escudo, mi fuerza y mi roca, a la virgencita por cubrirnos siempre con su mantito. A Teresita de Los Andes y Laurita Vicuña por la fe hacia ellas.”*

## INDICE

	Pág.
Resumen	2
Sumamary	3
Introducción	4
Materiales y Métodos	18
Resultados	22
Discusión y Conclusiones	26
Bibliografía	39
Tablas	46
Gráficos	62
Anexos	67
➤ Anexo 1: Análisis de arsénico utilizando la técnica de Generador de hidruros.	
➤ Anexo 2: Análisis de Fluoruro (F <sup>-</sup> ) en equipo Accumet modelo 50 con electrodo selectivo de F <sup>-</sup> , orion modelo 96 – 09.	
➤ Anexo 3: Análisis de Ca, Fe, Mn y Mg, en Espectrofotómetro de Absorción Atómica (AAS) modalidad llama.	
Fotografías	75

## RESUMEN

Existe un fuerte incremento tanto por la concurrencia a centros termales, como por el consumo de aguas minerales, debido al conocimiento benéfico que poseen estas aguas para la salud. Cuando hay contaminación geológica natural, se pueden encontrar altos niveles de arsénico en el agua de bebida que proviene de pozos profundos. Es por ello que nace el interés de estudiar el nivel de arsénico. No siendo esencial, es un elemento que produce graves daños a la salud cuando se encuentra en concentraciones elevadas. También se estudió algunos elementos esenciales: Ca, Fe, F, Mn y Mg.

Para el análisis se recolectaron siete marcas diferentes de aguas minerales (Cachantún, Vital, Puyehue, Porvenir, Ultra pura, Villa Alegre y Líder), disponibles en el comercio. El área de muestreo fueron Termas de la novena y décima regiones.

Para la determinación de As, Ca, Fe, Mn y Mg, se utilizó el método Espectrofotometría de Absorción Atómica. Para el análisis de flúor se utilizó el método del ión selectivo de fluoruro.

En aguas termales las mayores concentraciones de arsénico se encontraron en las Termas de Coñaripe con valores de 958  $\mu\text{g/L}$  y 1119  $\mu\text{g/L}$ , y Pellaifa con valores de 566  $\mu\text{g/L}$  y 832  $\mu\text{g/L}$ , y en aguas minerales, Puyehue presentó las concentraciones más altas de arsénico con valores de 20,7  $\mu\text{g/L}$  y 26,6  $\mu\text{g/L}$ .

## SUMMARY

There has been an increasing interest for visiting thermal centers as well for drinking mineral waters mainly due to their well known benefit and their impact on human health. High levels of arsenic can be found in drinking water coming from deep water holes when natural geological contamination exists. Due to this fact and its importance, a great necessity to study this issue has been rising. However, arsenic is not essentially important; it can cause severe injuries on human health when it is expressed on high concentrations. The study of certain essential elements, such as Ca, Fe, Mn, Mg and F, has been done as well.

Seven different mineral water's trademarks were chosen (Cachantún, Vital, Puyehue, Porvenir, Ultra pura, Villa Alegre, Líder) with the aim of this analysis; all of them available in markets. The selected sampling areas were hot springs located in the ninth and tenth regions of Chile.

As, Ca, Fe, Mn, and Mg elements, Atomic Absorption Spectrophotometer technique was used of analyze. The Fluoride Ion Selective Method was used for the analysis of fluoride. The highest concentrations of arsenic in hot spring centers were found in Coñaripe's hot spring within a range of 958 µg/L and 1119 µg/L; and Pellaifa's hot spring within a range of 566 µg/L and 832 µg/L. In mineral water testing, Puyehue's presented the highest concentration of arsenic within a range of 20,7 µg/L and 26,6 µg/L.

## INTRODUCCIÓN

El agua desempeña determinantes funciones en las actividades vitales del organismo humano. El cuerpo necesita aproximadamente dos litros diarios para poder realizar las funciones de transportar nutrientes, ayudar a la digestión, reconstituir tejidos, eliminar toxinas y regular la temperatura.

La eficacia terapéutica de numerosas aguas termales, tanto en el extranjero como en Chile, ha quedado debidamente acreditada en el ambiente de la medicina (Hauser, 1997). La temperatura de las aguas es capaz de modificar, favorablemente, el calibre de los vasos y la irrigación sanguínea, provocando una alta gama de acciones benéficas para el sistema motor, actividad muscular, dolor, contracturas (Hauser, 1997), ayudando de esta forma a la prevención y cura de diversas afecciones, aunque los efectos no son siempre los mismos. Hay enfermos a quienes el agua termal resulta contraproducente por lo menos de un modo temporal, por este motivo se debe pensar en una prescripción médica para no hacer un mal uso terapéutico y evitar así que estas prácticas compliquen las dolencias de un individuo. Por lo que es importante, señalar que para cualquier diagnóstico en el cual se recomiende la cura termal, sea el médico el que ordene y trate dicha cura hidrotermal (González, 1993).

El hombre en búsqueda de ambiente atractivos para la recreación, descanso y rehabilitación, está recurriendo cada vez con mayor interés a balnearios termales. Un importante número de países (Italia, Francia, España, Rumania, Japón, Nueva Zelanda, EE.UU y México), han logrado eficientemente el manejo de sus recursos termales a través de la creación de balnearios, generando grandes flujos turísticos, traducidos en importantes beneficios económicos y sociales (Hauser, 1997).

En Chile la distribución geográfica, sus características volcánicas, deportivas, de alimentación y la cantidad de fuentes termales, con las diversas composiciones fisicoquímicas y biológicas de sus aguas (González, 1993), la atracción turística sobretodo en épocas veraniegas y el conocimiento benéfico para la salud de estas aguas, hace que exista una mayor afluencia de público para gozar de las atribuciones que puedan presentar las termas.

Se sabe que nuestro organismo tiende a perder sales minerales, las cuales deben ser restituidas, y una fuente importante para recuperarlas puede ser el agua mineral, definida en el decreto N° 106 de 1997 del Ministerio de Salud, como aquellas “aguas minerales” que surgen del suelo, que no provienen de napas o cursos de aguas superficiales, de composición conocida y que por su constitución son susceptibles de aplicaciones benéficas para la salud. En nuestro país existen 60 fuentes de agua, de las que sólo están en funcionamiento 11 plantas de envasado. Estas producen aproximadamente cerca de 110 millones de litros anuales, para abastecer a una población que consume cerca de 7 litros al año por persona, cantidad muy baja si es comparado con los países Europeos que exhiben un consumo que bordea los 80 litros anuales por habitante (Pacheco, 2001). En años recientes se ha producido un fuerte incremento en el consumo de aguas minerales envasadas. La ingestión de ellas, produce además favorables consecuencias terapéuticas relacionadas, principalmente, con sus acciones catárticas (purgantes); diuréticas (incremento de la orina) y diaforéticas (incremento en la transpiración corporal con eliminación de toxinas) (Hauser, 1997). Existe una elevada demanda de aguas minerales en países tropicales con gran población, en los cuales el agua potable no satisfacen las normas internacionales. Un alto porcentaje de la población flotante que practica el turismo en países con modestos niveles de desarrollo, al desconfiar de la calidad del agua potable local recurre al uso de aguas envasadas; incluso, un



número creciente de turistas viaja al extranjero provistos de reservas de agua mineral, para ser consumidas durante la permanencia fuera de sus países de origen (Hauser, 1997).

Una fuente segura de agua potable, es uno de los requisitos principales para una vida sana, pero las enfermedades transmitidas por ella sigue siendo una causa importante de muerte en muchas partes del mundo, particularmente en niños. El agua potable se deriva a partir de dos fuentes básicas: aguas superficiales (tales como ríos y depósitos) y aguas subterráneas. Toda agua contiene contaminantes naturales, particularmente inorgánicos que surgen de los estratos geológicos a través de los cuales el agua fluye y, un grado que varía, entre la contaminación antropogénica, microbiana y productos químicos. En general el agua subterránea es menos vulnerable a la contaminación que las aguas superficiales (Fawell & Nieuwenhuijsen, 2003). La base sobre la cual se juzga la seguridad del agua potable es a través de estándares nacionales e internacionales. El más importante de ellos son las pautas de la World Health Organization (WHO) (Fawell & Nieuwenhuijsen, 2003).

El normal funcionamiento de los organismos vivientes requiere un balance cuidadoso y un equilibrio delicado entre los diferentes elementos que ellos necesitan para realizar sus funciones vitales (Baran, 1995). Esto significa que aun un elemento esencial puede transformarse en tóxico, cuando se pasan ciertos límites de concentración (Baran, 1995; Nielsen, 2000).

En la actualidad, se ha llegado a reconocer como esenciales para el organismo una serie de elementos, los cuales ya han sido aceptados universalmente. Para definir la esencialidad de estos elementos se tiene en cuenta habitualmente, varios criterios concurrentes: a) un elemento se considera esencial cuando su ingesta insuficiente produce deficiencia funcional, las que pueden revertirse cuando el elemento recupera su nivel fisiológico óptimo b) el organismo no puede

crecer ni completar su ciclo sin ese elemento c) el elemento debe poseer una influencia directa sobre el organismo y estar involucrado en sus procesos metabólicos d) el efecto de un elemento esencial no puede ser logrado por ningún otro elemento (Baran, 1995).

Todos los elementos pueden ser divididos en tres grandes grupos, de acuerdo a su abundancia en el sistema biológico. En el primer grupo se ubican los elementos mayoritarios los que, en su conjunto representan prácticamente más del 98% del peso del ser humano adulto e incluye además de los cuatro elementos típicos de la química orgánica: C, H, O y N, a elementos representativos: Na, K, Mg, Ca, Cl, S y P. El segundo grupo lo constituyen los llamados elementos traza en esta categoría se encuentra un elemento de transición sumamente importante Fe, así como también F. Finalmente, en el tercer grupo, se ubican los elementos cuyas concentraciones son sumamente bajas, pero de esencialidad conocida entre ellos esta Mn; y otros cuyas concentraciones y funciones no están claramente establecidas como As (Baran, 1995).

Este trabajo de investigación se centrará en el estudio del arsénico, debido a que este elemento se comporta más como un contaminante del medio ambiente que como un mineral esencial de nutrición (Eisler, 2000). Lo que no significa que un déficit o una sobre ingesta de los otros elementos analizados no afecte el normal funcionamiento de un ser vivo, ya que existe cierto número de enfermedades y desórdenes fisiológicos claramente asociados con desbalances en la distribución de estos elementos (Baran, 1995).

**Hierro** es un metal abundante en la corteza terrestre, se encuentra más comúnmente en la naturaleza en la forma de óxidos, que en su estado elemental (WHO, 2003), hallándose en grandes cantidades en suelo y rocas (Gray, 1996), es soluble en su estado  $Fe^{+2}$ , y se oxida en presencia de aire a la forma insoluble de  $Fe^{+3}$ , así cuando las aguas subterráneas son anaeróbicas, o tienen baja

concentración de oxígeno disuelto, el hierro estará en su forma soluble (Gray, 1996), donde las concentraciones generalmente están entre 0,5 – 10 mg/L, pero pueden encontrarse a veces concentraciones hasta 50 mg/L. En agua potable las concentraciones son normalmente menores a 0,3 mg/L (WHO, 2003; NCh 409/1. of 84). En su estado metálico, se utiliza como material de construcción, formando parte de cañerías para agua potable. Los óxidos de hierro se utilizan como pigmentos en pinturas y plásticos. Otros compuestos se utilizan como colorante en alimento y para el tratamiento de la deficiencia de hierro en seres humanos (WHO, 2003).

Es un elemento esencial en la nutrición humana, es un componente de la hemoglobina (sustancia encargada del transporte de oxígeno en la sangre), la mioglobina, y de muchas enzimas en el organismo, siendo de este modo esencial en todas las etapas de la vida (Merck, 1999).

Las estimaciones del requerimiento mínimo diario de hierro, dependen de la edad, sexo, estado fisiológico, y de la biodisponibilidad (WHO, 2003). El exceso de hierro es tóxico, y causa vómitos, diarrea y lesión del intestino (Merck, 1999). La sobrecarga crónica de hierro (Fe) se caracteriza por un aumento del depósito, local o generalizado, de Fe en el interior de los tejidos del organismo. Esta alteración se denomina habitualmente hemosiderosis. Cuando el depósito excesivo de Fe se asocia a lesión tisular o el Fe total orgánico es superior a 5 g, se aplica el término hemocromatosis (Merck, 1999). Un déficit de este elemento ocasiona en el organismo anemia (Baran, 1995).

**Manganeso** es un elemento esencial para el funcionamiento apropiado de seres humanos y animales, pues se requiere para el funcionamiento de muchas enzimas celulares (WHO, 2004). Es necesario para la formación de tejido conectivo y para la estructura normal del hueso (IPCS, 1981).

Está presente en las rocas, que son una fuente importante de manganeso en la atmósfera, suelo y agua. Es ubicuo en el medio ambiente y representa alrededor del 0,1% de la corteza terrestre (IPCS, 2004).

Se utiliza principalmente en la fabricación de aleaciones de hierro y acero. Dióxido de manganeso en productos tales como baterías, cristal y fuegos artificiales. El Permanganato de potasio se utiliza como oxidante para fines de limpieza, blanqueamiento y desinfección (WHO, 2004). Está naturalmente en aguas superficiales, subterráneas, y en los suelos que pueden erosionar en estas aguas. Sin embargo, en algunas áreas, las actividades humanas son también responsables en gran parte de la contaminación del agua (WHO, 2004). El contenido permitido en agua potable es de 0,1 mg/L (NCh 409/1. of 84). Una excesiva ingesta de manganeso causa efectos adversos psicológicos, particularmente neurológicos (Gray, 1996), y un déficit, problemas en la estructura ósea, y problemas de reproducción (Baran, 1995).

**Magnesio** es un mineral esencial para los seres humanos, juega un rol clave en muchos procesos biológicos (Sabatier *et al*, 2002). Desempeña un papel importante como cofactor y activador de más de 300 reacciones enzimáticas, incluyendo glicólisis, metabolismo del ATP, transporte de elementos tales como Na, K, y Ca a través de membranas, la síntesis de proteínas y ácidos nucleicos, y la excitabilidad neuromuscular. La deficiencia de magnesio aumenta el riesgo en los seres humanos a desarrollar patologías tales como: hipertensión, arritmias cardíacas, enfermedad vascular como arteriosclerosis, infarto agudo al miocardio, eclampsia en mujeres embarazadas (Koisek, 2003).

Estudios epidemiológicos son la base de la importancia del agua mineral como fuente dietética de magnesio, y sugieren que este elemento en agua potable está asociado a una mortalidad más baja de enfermedad cardiovascular (Verhas *et al*, 2002).

**Calcio** es uno de los elementos más abundante del cuerpo, desempeña dos papeles predominantes en él, es necesario para el funcionamiento correcto de numerosos procesos intracelulares y extracelulares, como la contracción muscular, la conducción nerviosa, la liberación de hormonas y la coagulación sanguínea (Merck, 1999); más del 99 % está situado en huesos, donde desempeña un rol importante en su estructura y fuerza (Gurr, 1994). Osteoporosis y Osteomalacia son las manifestaciones más comunes de la deficiencia de calcio, un desorden menos común es la hipertensión (Koisek, 2003).

El agua mineral con un alto contenido en calcio no sólo es una fuente dietética de calcio adicional, sino que también podría regular la función de la hormona paratoidea (Guillemant *et al*, 2000).

**Flúor** es un elemento común, pero sin embargo no se encuentra en su estado elemental en la naturaleza debido a su alta reactividad. Se considera cerca de 0,3 g/Kg de la corteza terrestre, existiendo en la forma de fluoruro (WHO, 2004).

Los fluoruros se liberan al medio ambiente de manera natural a través de la meteorización y disolución de minerales, las emisiones de volcanes. También se liberan a través de la combustión del carbón y desechos de diversos procesos industriales. La utilización de plaguicidas que contienen fluoruros, así como la fluoración del abastecimiento de agua potable contribuyen a la emisión de fluoruros a partir de actividades humanas. Según datos disponibles, la obtención y uso

de minerales de fluoruro, así como la fabricación de aluminio, son las principales fuentes industriales de emisiones de fluoruro en el medio ambiente (IPCS, 2002).

Los fluoruros están presentes tanto en aguas subterráneas como superficiales. La concentración natural del fluoruro en aguas subterráneas depende de los factores tales como: características geológicas, químicas y físicas del área de la cual proviene, de la consistencia del suelo, porosidad de las rocas, del pH, la temperatura, de la acción compleja de otros elementos, y de la profundidad de los pozos (IPCS, 1984).

Los niveles de fluoruros en las aguas superficiales varían en función del lugar y de la proximidad a fuentes de emisión. Las concentraciones en aguas superficiales generalmente oscilan entre 0,01 y 0,3 mg/L. El agua marina contiene más fluoruros que el agua dulce, con concentraciones que van de 1,2 a 1,5 mg/L. Se han registrado niveles más altos en zonas cuyas rocas naturales los contienen en una elevada proporción, y se observan con frecuencia niveles altos de fluoruros inorgánico en regiones con actividad geotermal o volcánica (IPCS, 2002).

Se considera que los efectos en los huesos (por ejemplo, la fluorosis esquelética y las fracturas) son los resultados más importantes en la evaluación de los efectos adversos de la exposición prolongada de las personas a los fluoruros. La fluorosis esquelética es una incapacidad invalidante que afecta a millones de personas en diversas regiones de África, China y la India, con repercusiones importantes para la salud pública y socioeconómicas (IPCS, 2002).

**Arsénico** es un metaloide que se encuentra ampliamente distribuido en la corteza terrestre con una concentración media de 2 mg/Kg. Está presente en cantidades ínfimas en todo tipo de rocas, suelos, agua y aire (IPCS, 2001). Es de material cristalino y gris, caracterizado por su número atómico 33, peso atómico de 74,92 g/mol, densidad de 5,727 g/mL, punto de fusión de 817 °C,

sublimación de 613 °C (Eisler, 2000). El arsénico puede existir en cuatro estados de valencia: -3, 0, +3, y +5. En condiciones de reducción, la forma predominante es el arsenito (As(III)); el arseniato (As(V)) suele ser la forma estable en condiciones oxigenadas. El arsénico elemental no es soluble en agua. Las sales de arsénico tienen una amplia gama de solubilidades en función del pH y de las condiciones iónicas (IPCS, 2001). Los arsenicales son usados comercialmente e industrialmente como agentes de aleación en la fabricación de transistores, láser y de semiconductores, así como en el proceso del cristal, pigmentos, textiles, papel, adhesivos, preservativo de maderas y munición. También se utiliza en un grado limitado como pesticidas, aditivos en alimentos y productos farmacéuticos (WHO, 2003).

El arsénico se encuentra frecuentemente en aguas naturales a las que llega por la erosión de rocas superficiales y volcánicas (Albert, 2001). La actividad volcánica es la fuente natural más importante de arsénico (IPCS, 2001). Por lo común las aguas superficiales tienen bajos contenidos. En cambio, en los casos de vertientes calientes, dichas concentraciones pueden ser muy elevadas. Esto se ha observado, por ejemplo, en Japón, Nueva Zelandia y Estados Unidos. Se han encontrado también concentraciones de arsénico muy elevadas en aguas subterráneas destinadas para el consumo humano en Argentina, Chile, estados Unidos, Inglaterra y México entre otros (Albert, 2001).

Los seres humanos están expuestos a diferentes formas de arsénico inorgánico y orgánico presente en la comida, agua y otros medios del ambiente (Mandal & Suzuki, 2002). Los compuestos arsenicales se absorben por vía inhalatoria, ingestión y dérmica. La forma trivalente (trióxido de arsénico), es más soluble en agua que la forma pentavalente (París, 2000). El arsénico en agua potable se absorbe bien en el aparato gastrointestinal (IARC, 2004). La biodisponibilidad de la ingesta de arsénico inorgánico varía dependiendo de la matriz en la cual esté (comida, agua,

bebida o suelo), de la solubilidad de los compuestos arsenicales y la presencia de otros constituyentes de alimentos y nutrientes en el tracto gastrointestinal (Mandal & Suzuki, 2002). Una vez absorbidos, el arsénico o sus derivados se distribuyen entre los distintos compartimentos corporales.

El modo de distribuirse es importante en relación a los efectos producidos en el organismo, y depende del compuesto y de la especie (Albert, 2001). En el organismo humano, el arsénico se concentra en los leucocitos y se acumula fundamentalmente en hígado, riñón, pulmón, pelo, dientes, uñas y piel (Albert, 2001). Se metaboliza en forma diferente en el cuerpo, dependiendo de las especies químicas administradas en los alimentos y en el agua (Suzuki *et al*, 2002).

En muchas especies, el metabolismo del arsénico se caracteriza por dos tipos principales de reacciones: 1) reacciones de reducción del arsénico pentavalente a trivalente, y 2) reacciones de metilación oxidativa, en las cuales las formas de arsénico trivalente experimentan una metilación secuencial dando lugar a productos como: ácido metilarsónico y ácido dimetilarsínico (IPCS, 2001). La vía de eliminación principal es por la orina, pero pequeñas cantidades son excretadas por la bilis, saliva, pelo, heces y sudor (París, 2000).

Las formas químicas y estados de oxidación son importantes en cuanto a la toxicidad (Mandal & Suzuki, 2002). Las especies de As(III) (arsenito,  $\text{AsO}_3^{3-}$ ) son más tóxicas que el As(V) (arseniato,  $\text{AsO}_4^{3-}$ ) (Magalhães, 2002; Jain & Ali, 2000; Eisler, 2000; Mandal & Suzuki, 2002), debido probablemente a que se une con mayor facilidad a los grupos SH de las proteínas (Spiro, 2004). Esta también depende de otros factores tales como estado físico, gas, solución, o tamaño de partículas de polvo, la velocidad de absorción en células, la velocidad de eliminación, la naturaleza química en compuestos tóxicos, y el estado preexistente del paciente (Mandal & Suzuki, 2002).



La toxicidad de los compuestos de arsénico conforma el siguiente orden, de la mayor a la menor toxicidad: arsina > arsenitos inorgánicos > compuestos orgánicos trivalentes (arsenóxidos) > arseniatos inorgánicos > compuestos orgánicos pentavalentes > compuesto de arsonium > arsénico elemental (Jain & Ali, 2000; Eisler, 2000). La solubilidad en agua y en fluidos corporales parece estar directamente relacionada con la toxicidad (la toxicidad más baja del arsénico elemental se atribuye a su insolubilidad virtual en el agua y los fluidos corporales, donde el más alto trióxido por ejemplo, es soluble en agua con 12,0 g/L a 0 °C; 21,0 g/L a 25 °C; y 56,0 g/L a 75 °C) (Eisler, 2000).

La contaminación por arsénico en agua natural es un problema amplio en el mundo y ha llegado a ser un desafío para los científicos mundiales (Jain & Ali, 2000). Es importante mantenerlo en concentraciones bajas, por que puede producir un daño significativo a la salud. Es un elemento teratogénico y carcinogénico, atraviesa la barrera placentaria y puede producir muerte fetal en varias especies de mamíferos (Eisler, 2000; Figueroa, 2004; Ahmad *et al*, 2001).

La exposición prolongada al arsénico en el agua de bebida tiene una relación causal con un aumento de los riesgos de cáncer de piel, pulmón, vejiga y riñón, así como con otros cambios cutáneos, por ejemplo hiperqueratosis (sobrecrecimiento de la capa córnea de la piel; Merck, 1999), y cambios de pigmentación (IPCS, 2001; IARC, 2004; Cantor, 2001). La agencia internacional en la investigación del cáncer ha clasificado al arsénico en agua potable como una causa establecida de cada uno de estos cánceres (Smith & Hira, 2004; IARC; 2004).

Estos efectos se han puesto de manifiesto en numerosos estudios utilizando diferentes diseños. Se han observado relación exposición - respuesta y riesgo alto para cada uno de estos efectos finales. Los efectos se han estudiado mas detalladamente en Taiwan, pero también hay un gran número de estudios sobre poblaciones en otros países (IPCS, 2001). Como el incidente ocurrido en Chile en

la ciudad de Antofagasta, durante los años 1959 a 1970, los habitantes de la ciudad estuvieron bebiendo agua con altos contenidos de arsénico. La fuente de arsénico es el río Tocante, que proviene de la Cordillera de los Andes a una altitud de 3000 metros y recorre 300 Km hacia Antofagasta. A comienzos de 1960, se notó la primera manifestación dermatológica, especialmente en niños. Las manifestaciones vasculares periféricas en estos niños incluían el síndrome de Raynaud (episodios intermitentes de isquemia en las extremidades del cuerpo, provocada por la exposición al frío o por estímulos emocionales. El trastorno se denomina enfermedad de Raynaud cuando existe una historia de síntomas durante al menos dos años sin progresión de los mismos ni signos de causa subyacente; Merck, 1999), isquemia de la lengua, hemiplejía con oclusión parcial de la arteria carótida, trombosis arterial e isquemia miocardia. Una autopsia demostró hiperplasia de la arteria media. Para proteger a las personas, se desarrolló un tratamiento de aguas mediante una planta para remover el arsénico del agua potable antes de su uso. Las fuentes de arsénico han sido reportadas tanto en sedimentos volcánicos, como minerales y de suelo (Mandal & Suzuki, 2002).

La amplia naturaleza de exposición humana al arsénico en agua potable ha llegado a ser evidente en muchos países. El potencial riesgo para la salud, en particular el peligro de cáncer son muy elevados. La regulación de la concentración de arsénico en agua potable ha sido un proceso polémico y prolongado. Incluso cuando la concentración se reduce a 10 µg/L como lo recomienda la Organización Mundial de la Salud, el riesgo de cáncer sigue siendo alto (Smith & Hira, 2004).

En Chile se mantiene un estándar de concentración para el arsénico en agua de beber de 50 µg/L. En los Estados Unidos, fijar el nivel máximo de contaminante (MCL) que regula la concentración

de arsénico en abastecimiento públicos de agua, ha sido un proceso extraordinariamente prolongado. Recientemente, el MCL fue bajado a 10  $\mu\text{g/L}$ , del estándar de 50  $\mu\text{g/L}$  establecido en 1942 (Smith *et al*, 2002; Magalhães, 2002).

En enero de 2001 la Environmental Protection Agency (EPA), anuncia su intención de hacer que todos los abastecimientos públicos de agua en los EE.UU contengan no más de 10 ppb de arsénico antes de 2006 (Brown, 2002).

Con todos los antecedentes ya señalados se llega a plantear la siguiente hipótesis: **“Las aguas termales por ser de origen volcánico y algunas aguas minerales, por considerarse del mismo origen, se encontrarían con un alto contenido de arsénico, concentración que estaría fuera de los rangos permitidos en la norma vigente en el país, la de USA y Europa para el año 2006, que son de 50 ppb y 10 ppb, respectivamente. También se deberían encontrar concentraciones altas a lo permitido en la norma Chilena, de otros elementos químicos tales como: Ca, Fe, F, Mn y Mg”**

**OBJETIVO GENERAL:**

Determinar la concentración de los elementos: As, Ca, Fe, F<sup>-</sup>, Mn y Mg en Aguas Minerales comerciales y en aguas Termales de la IX región (Palguin, Huife y Los Pozones), y X región (Pellaifa y Coñaripe).

**OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Colectar aguas minerales comerciales entre los años 2003 y 2004.
- Muestreo a las aguas termales de la novena región (Palguin, Huife y Los Pozones) y de la décima región (Pellaifa y Coñaripe).
- Establecer condiciones experimentales para la determinación de As, Ca, Fe, F<sup>-</sup>, Mn y Mg
- Determinar y cuantificar As, Ca, Fe, F<sup>-</sup>, Mn y Mg en aguas minerales disponibles en el comercio.
- Determinar y cuantificar As, Ca, Fe, F<sup>-</sup>, Mn y Mg en aguas termales de la novena y décima regiones.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### ÁREA DE ESTUDIO:

El área de muestreo corresponde a las Termas de la Novena y Décima regiones de Chile, donde la naturaleza les regaló a estas zonas varias vertientes de aguas calientes, que han sido aprovechadas para el turismo, tomando cada centro termal características propias.

Entre las Termas de la novena región están:

### **Palguin:**

Asociadas al cordón volcánico Villarrica – Lanín, estas termas se ubican al suroriente de Pucón (39°25'S y 71°47'W), y a 800 m.s.n.m. Muchas vertientes y manantiales termales, más una piscina, forman el conjunto de Palguin. Las aguas son hipertermales alcalinas y neutras en algunas vertientes. Cuenta con aguas ricas por sus cualidades terapéuticas y baños con aguas que contienen minerales como potasa, litio o azufre.

En su composición química se advierte la presencia de sulfatos, bicarbonatos, cloruros, indicios de hierro y litio, calcio y magnesio con predominio de sulfato de sodio (Montero *et al*, 1981).

**Huife:**

Ubicada casi en el lecho mismo del río Liucura. Afloran varios manantiales de aguas termales, al norte de la cordillera Cañe, en el sector oriente de Pucón ( $39^{\circ}13'S$  y  $71^{\circ}30'W$ ), y a 500 m.s.n.m.

En su composición química sus aguas cuentan con la presencia de sulfatos, cloruros, bicarbonatos, potasio, sodio y calcio, con predominio de sulfato de sodio (Montero *et al*, 1981).

**Los Pozones:**

Este yacimiento se ubica en el valle del río Liucura, al interior de Pucón ( $39^{\circ}12'S$  y  $71^{\circ}37'W$ ), y a 545 m.s.n.m. Famosas por sus pozones naturales con rocas y su estilo rústico. Son aguas alcalinas y en su composición química se advierte la presencia de azufre, sulfatos, carbonatos, sodio, calcio, potasio y magnesio, con predominio de sulfato de sodio (Montero *et al*, 1981).

Dentro de las Termas de la décima región están:

**Pellaifa y Coñaripe:**

Ambas Termas se encuentran ubicadas a orillas del Lago Pellaifa (265 m.s.n.m.). Sus aguas hipertermales cuyas temperaturas que oscilan entre los 40 y 70 °C, son del tipo sulfatadas y cloradas, con presencia de sodio, potasio, calcio, boro, magnesio y hierro entre otros minerales. Recomendadas para el alivio de enfermedades de la piel, el reumatismo, la ciática, el lumbago, estrés y las enfermedades nerviosas, pero su uso no es recomendado para personas con enfermedades psiquiátricas, fiebre reumática y problemas neurológicos agudos.

## MUESTREO

Para el análisis se recolectaron siete marcas diferentes de aguas minerales disponibles en el comercio: Cachantún (sexta región, sector de Coinco), Vital (sexta región, sector de Rengo), Puyehue (décima región, sector de Puyehue), Porvenir (quinta región, sector Casablanca), Ultra pura (región Metropolitana), Villa Alegre con flúor (séptima región, sector de San Javier), Líder (séptima región, sector de Colbún). La recolección se hizo por año, teniendo un primer lote correspondiente al año 2003 y un segundo lote año 2004. El único tratamiento que recibieron las aguas minerales fue la desgasificación y dilución de algunas de ellas.

Los muestreos a las Termas (Palguin, Huife, Los Pozones, Pellaifa y Coñaripe), se realizaron después y antes del periodo estival, en los meses de abril y diciembre de 2004. Las muestras fueron tomadas directamente en botellas de plástico de un litro, las que previamente se acidifican con ácido nítrico concentrado ( $\text{HNO}_3$ ), para preservar los metales. A cada muestra se le midió la conductividad, pH y temperatura.

En el análisis de las muestras, para la determinación de arsénico se utilizó Espectrofotómetro de Absorción Atómica (AAS), Perkin - Elmer, modelo 3110, acoplado a un generador de hidruros, Perkin - Elmer MHS-10.

La determinación de los elementos Ca, Fe, Mn y Mg se realizó mediante la técnica de Espectrofotómetro de Absorción Atómica en su modalidad llama, Unicam modelo M-5.

Para el análisis de flúor se utilizó el equipo Accumet modelo 50, con un electrodo selectivo de F Orion modelo 96 – 09, que entrega la concentración de flúor en forma de ión fluoruro.



## RESULTADOS

El resultado de las concentraciones para cada elemento analizado, se encuentra en el anexo correspondiente.

### **Arsénico:**

El análisis de este elemento para las diferentes aguas minerales, entregó la mayor concentración en agua mineral Puyehue, siendo esta de 20,7  $\mu\text{g/L}$  y 26,6  $\mu\text{g/L}$  primer y segundo lote respectivamente. Encontrándose la menor concentración en agua mineral Porvenir con 0,25  $\mu\text{g/L}$  (primer lote analizado), Ultra pura y Porvenir con un valor de 0,14  $\mu\text{g/L}$  (segundo lote analizado).

En aguas termales las altas concentraciones se encontraron, en las Termas de Coñaripe con valores de 958  $\mu\text{g/L}$  y 1119  $\mu\text{g/L}$ , primer y segundo muestreo respectivamente, y Pellaifa con un valor de 566  $\mu\text{g/L}$  en el primer muestreo y 832  $\mu\text{g/L}$  segundo muestreo, mientras que la menor concentración se determinó en las Termas de Palguin (azufre), con un valor de 30,2  $\mu\text{g/L}$  de igual forma para ambos muestreos (Tablas N° 4 y 10).

**Calcio:**

Este metal se encuentra en mayor concentración en agua mineral Cachantún para ambos lotes analizados. La concentración determinada fue de 123 mg/L primer lote y 113 mg/L segundo lote. Mientras que el agua mineral Ultra pura y Líder no se determina presencia de este elemento en ambos lotes en estudio.

En aguas termales la mayor concentración se presentó en las Termas de Huife con un valor de 16,1 mg/L en el primer muestro y 14,0 mg/L en el segundo muestreo, la menor concentración se determinó en aguas termales de Palguin (azufre), también en ambos muestreos, con valores de 4,75 mg/L y 2,92 mg/L primer y segundo muestreo, respectivamente (Tablas N° 5 y 11).

**Hierro:**

Al realizar el análisis de este metal en las diferentes aguas minerales de ambos lotes, así como también en aguas termales del primer muestreo, se obtuvieron resultados inferiores al límite de cuantificación del equipo (menor a 0,1 mg/L y 0,2 mg/L), siendo no significativa su concentración (Tablas N° 2, 5 y 8). Mientras que el análisis realizado al muestreo en diciembre de 2004, si registró una concentración considerable en algunas termas, encontrándose la mayor concentración en las Termas de Pellaifa con un valor de 6,09 mg/L, y una menor concentración en Termas de Huife con un valor de 0,3 mg/L (Tabla N° 11).

**Manganeso:**

Al igual que para el hierro los resultados del análisis realizado a las aguas minerales primer y segundo lote, dieron valores inferiores al límite de cuantificación del equipo menor a 0,04 mg/L (Tablas N° 3 y 9), como así también las concentraciones obtenidas en el estudio a las termas en ambos muestreos cuyos valores fueron menores a 0,04 mg/L y 0,06 mg/L (Tablas N° 6 y 12), por lo que no son significativos estos resultados.

**Flúor:**

Al realizar el análisis de este elemento en las aguas minerales, se pudo determinar que la mayor concentración se presenta en agua mineral Puyehue en ambos lotes estudiados. La concentración determinada fue de 0,51 mg/L primer lote y 0,37 mg/L segundo lote. Mientras que la menor concentración la presentó agua mineral Ultra pura también en ambos lotes analizados, las concentraciones fueron de 0,04 mg/L primer lote y 0,05 mg/L segundo lote.

En aguas termales se obtuvo la mayor concentración en las Termas de Palguin (litio), en ambos muestreos analizados, con un valor de 1,70 mg/L y 1,83 mg/L primer y segundo muestreo, respectivamente (Tablas N° 5 y 11). Mientras que la menor concentración se presentó en aguas termales de Pellaifa con un valor de 0,83 mg/L primer muestro y 0,85 mg/L en el segundo muestreo (Tablas N° 5 y 11).

**Magnesio:**

Este metal se encuentra en mayor concentración en agua mineral Villa Alegre en ambos lotes analizados, siendo la concentración de 15,0 mg/L primer lote y 64,3 mg/L segundo lote estudiado. Tanto agua mineral Ultra pura con un valor de 0,27 mg/L y Líder con un valor de 0,53 mg/L, presentaron la menor concentración en el segundo lote analizado, mientras que en el primer lote no se detectó presencia de este elemento (Tablas N° 3 y 9).

En aguas termales la mayor concentración se determina en las Termas de Palguin (agua mote), en el primer y segundo muestreo con valores de 1,14 mg/L y 1,10 mg/L, respectivamente (Tablas N° 6 y 12). Mientras que la menor concentración se encuentra en las termas de Huife en el primer muestreo con un valor de 0,27 mg/L, y en Termas de Coñaripe en el segundo muestreo con un valor de 0,12 mg/L (Tablas N° 6 y 12).

## DISCUSIÓN

En Chile son muy pocos los estudios que existen referente a la caracterización química de las aguas termales y minerales. Los datos puntuales sobre el análisis de arsénico en este tipo de aguas son muy escasos, por lo que no fue posible comparar en forma extensa los resultados obtenidos en esta investigación. Sin embargo esta puede dar pie para futuros análisis e investigaciones referente a este tema.

El carácter químico de las aguas minerales y termales Chilenas, se vincula a procesos de disolución de los minerales alojados en las respectivas rocas huésped. Las aguas termales normalmente se enriquecen con determinados elementos contenidos en las rocas por donde ellas transitan.

Muchos factores como la relación temperatura/solubilidad influyen la composición química de las aguas. En término general la solubilidad de la mayoría de los minerales contenidos en las rocas, aumenta a medida que incrementa la temperatura. Elevadas gradientes geotermales aumenta la capacidad de disolución de las sales y sustancias solubles alojadas en las rocas, favoreciendo su enriquecimiento en compuestos aniónicos y catiónicos, dando origen a aguas con altos niveles de mineralización (Hauser, 1997).

Otro factor importante, es el tiempo de circulación en la profundidad de las aguas, el cual resulta determinante en el control de su composición química. Una circulación lenta, favorece la interacción agua/roca, resultando aguas con mayores niveles de mineralización (Hauser, 1997).

Lo que pudiera explicar que exista una leve disminución en la concentración de algunos elementos en el análisis de las muestras tomada en diciembre de 2004, antes del período estival.

La geoquímica de manganeso y hierro es muy similar, aun cuando, normalmente en las aguas naturales la concentración de Fe duplica a la de Mn.

El manganeso corresponde a un elemento poco común en las aguas naturales, cuando está presente, normalmente lo hace asociado al hierro. La presencia de ambos cationes en las aguas, determina el desarrollo de incrustaciones anaranjadas y/o negruzcas en torno a los puntos de alumbramiento de las aguas termales (Hauser, 1997).

Las concentraciones obtenidas de manganeso (Mn) en el análisis realizado a las aguas termales de la novena y décima regiones para ambos muestreos, y los resultados de hierro (Fe) en el primer muestreo y algunas de las concentraciones obtenidas en el estudio del segundo muestreo, dieron valores inferiores al límite de cuantificación (menor a 0,04 mg/L y 0,06 mg/L (Mn), y menor a 0,2 mg/L (Fe)), del equipo utilizado para dicho análisis, por lo que no son relevantes las concentraciones presentes de estos elementos (Tablas N° 5, 6, 11 y 12).

Cabe señalar que el análisis efectuado al segundo muestreo, registró concentraciones considerables de hierro en algunas termas, especialmente en Termas de Pellaifa con un valor de 6,09 mg/L.

Los estudios realizados por Hauser (1997), y Pérez (1999), detectaron concentraciones de Mg y Fe menores a 0,1 mg/L. Montero *et al* (1981), no reporta presencia de estos elementos en las mismas zonas de estudio.

De los elementos analizados en las aguas termales el calcio (Ca), es el que se encuentra en mayor concentración. Corresponde a un elemento muy abundante en la corteza terrestre, su gran movilidad en la hidrosfera, determina que sea uno de los iones más comunes en las aguas subterráneas (Hauser, 1997). Las Termas de Huife y Los Pozones presentaron las mayores concentraciones de calcio (Tablas N° 5 y 11). Hauser (1997), a excepción de las Termas Los Pozones, detectó concentraciones levemente inferiores a las obtenidas en esta investigación. Los valores reportados por Pérez (1999), son semejantes a los arrojados en este estudio.

Los valores obtenidos en esta investigación en Termas de Huife y Palguin, son semejantes a los informados por Montero *et al* (1981). En Termas Los Pozones el valor obtenido en este estudio es inferior al detectado por el autor, que señala una concentración de 93 mg/L, valor que coincide con la concentración reportada por Hauser (1997).

El magnesio (Mg), se encuentra en concentraciones menores que el calcio en las aguas subterráneas. En las aguas termales el contenido de calcio, supera en cuatro veces los valores de magnesio. Las mayores concentraciones de magnesio se detectaron en las Termas de Palguin (Tabla N° 6 y 12). Los estudios realizados por Hauser (1997) y Pérez (1999), reportan concentraciones de Mg en Termas de Palguin, similares a las obtenidas en esta investigación. Los valores obtenidos en Termas de Palguin son inferiores a los detectados por Montero *et al* (1981), cuyas concentraciones están en el rango de 3,1 – 7,8 mg/L. El autor no señala presencia de este elemento en Termas de Huife. En aguas termales Los Pozones el valor obtenido (0,50 mg/L), en el presente estudio, coincide con el valor informado por los autores Montero *et al* (1981) y Hauser (1997).

La concentración de Mg detectada en Termas Los Pozones, es superior a la informada por Pérez (1999), que señala un valor de 0,28 mg/L, este valor es inferior al reportado por Montero *et al* (1981) y Hauser (1997).

En aguas subterráneas, las concentraciones de fluoruro varían con el tipo de roca por la cual atraviesa, pero no exceden generalmente los 10 mg/L (WHO, 2003).

Las mayores concentraciones de fluoruro en aguas termales se obtuvieron en Palguin (Tablas N° 5 y 11), en ambos muestreos, las que no superan los 2 mg/L. Estas concentraciones son muy similares a las detectadas por Hauser (1997) y Pérez (1999).

Resulta interesante destacar que en Chile existe una creciente demanda en el consumo de agua mineral, con gran competencia frente a determinadas bebidas refrescantes no alcohólicas. Una fuerte motivación del consumo es consecuencia de campañas publicitarias, donde se destacan virtudes como: “bebida natural”, “envasada en su punto de origen”, “pureza garantizada”, “exenta de tratamiento”, “beneficiosa para la salud”, lo que finalmente fomentan y/o incentivan los hábitos de consumo de agua mineral.

A diferencia de las aguas potable normales, las aguas minerales no tienen normas específicas, en cuanto a sus características fisicoquímicas. Normalmente, se espera que su ingesta produzca efectos beneficiosos o favorables para la salud. Adicionalmente se exige características de pureza, entendiendo como tal, que el agua mineral no evidencie contaminación en cuanto a la presencia de sustancias extrañas, capaces de poner en riesgo la salud del consumidor. Cuando ellas están presentes, es necesario distinguir su origen: exógeno o antropogénico y endógeno o



geogénico: En el primer caso puede corresponder a sustancias incorporadas, tanto accidentalmente, como por actividades humanas, mientras que en el segundo, a elevadas concentraciones de minerales tales como: hierro, manganeso, arsénico, plomo, fluoruros, etc., vinculados a actividad química natural (Hauser, 1997).

En Chile las aguas minerales para el consumo humano, deben cumplir con los estándares comunes que se aplican al agua potable, indicados en la Tabla N° 13.

Es necesario señalar que agua mineral Puyehue no presenta información de su composición química en la rotulación del envase, por lo que no fue posible comparar los resultados obtenidos de cada elemento analizado en el presente estudio.

Además, para una mejor comparación de los resultados obtenidos en esta investigación, se analizó el contenido de los minerales en estudio en agua potable (red pública y privada).

De las aguas minerales estudiadas Cachantún presenta las mayores concentraciones de calcio (Ca), este resultado se obtuvo tanto para el primer y segundo lote analizado. Pacheco (2001), detectó concentraciones similares, donde el agua mineral Cachantún fue clasificada por el autor como un tipo de agua semidura. Los valores obtenidos en esta investigación son levemente superiores a los reportados por Hauser (1997).

Las concentraciones de calcio obtenidas en el presente estudio son superiores, en comparación al agua potable (red pública y privada), y a lo señalado en la rotulación del envase de cada agua mineral analizada (Tablas N° 14, 15 y 16).

El agua mineral Villa Alegre con flúor contiene la mayor concentración de magnesio (Mg); lo que coincide con los resultados obtenidos por Pacheco (2001). Hauser (1997), reportó concentraciones en agua mineral Villa Alegre (con flúor), relativamente inferiores, sin embargo estas fueron muy superiores al resto de aguas minerales analizadas por el autor.

En comparación a lo señalado en el rótulo de los envases de cada agua mineral estudiada (Tablas N° 14 y 15), las concentraciones de magnesio son levemente inferiores a las encontradas en el presente estudio.

A excepción de agua mineral Líder y Ultra pura, la concentración de magnesio en agua potable (red pública y privada), es muy inferior a las arrojadas en la presente investigación, como también a la concentración señalada en la rotulación de cada envase de agua mineral.

Para los elementos manganeso (Mn) y hierro (Fe) en las aguas minerales estudiadas, las concentraciones arrojadas por el equipo están bajo el límite de detección (menor a 0,04 mg/L (Mn) y 0,1 mg/L (Fe)), del método de análisis usado para estos elementos (Tablas N° 3 y 9), por lo tanto dichos valores no son significantes.

Se puede decir que si existe coincidencia con los resultados obtenidos en esta investigación en comparación al análisis en agua potable (red pública y privada), y a lo estipulado en el rótulo de cada envase, por lo señalado en ellos estas aguas no contienen los elementos Mn y Fe, a excepción de agua mineral Villa Alegre (con flúor), que señala una concentración de hierro de 0,4 mg/L, lo que estaría dentro del máximo permitido por el Ministerio de Salud, que acepta que el contenido de hierro en agua potable pueda ser mayor a 0,3 mg/L (Tabla N° 13).

En el agua de bebida, los fluoruros pueden estar presentes de forma natural por el entorno geológico de donde provienen, o en forma artificial. Los fluoruros son ubicuos en el medio ambiente; por ello, es frecuente que las aguas de bebida los contengan por lo menos en pequeña cantidades.

Se estima que el flúor ejercería una reconocida acción para limitar el desarrollo de caries dentales, por este motivo ha sido adicionado, tanto en el tratamiento de aguas potables, como en algunas pastas dentales (Hauser, 1997).

La cantidad presente de manera natural en el agua potable no fluorada (es decir, agua de bebida a la cual no se han añadido deliberadamente fluoruros para prevenir las caries dental) es muy variable, dependiendo del entorno geológico de donde el agua proviene. Los niveles pueden alcanzar hasta unos 2,0 mg/L; sin embargo, en las zonas del mundo con fluorosis endémica del esqueleto y/o los dientes, las concentraciones de fluoruros en la red de abastecimiento de agua potable van de 3 a más de 20 mg/L. En zonas con agua potable fluorada (con adición deliberada de fluoruros para la prevención de la caries dental), la concentración de fluoruro en ella oscila entre 0,7 y 1,2 mg/L (IPCS, 2002).

Las concentraciones de fluoruro en las aguas minerales analizadas no superan 1mg/L (Tablas N° 2 y 8). Estos valores están muy por debajo del límite máximo permitido en agua potable cuyo valor es de 1,5 mg/L (Tabla N° 13). Hauser (1997), no reporta la presencia de fluoruro, en las aguas minerales analizadas por el autor.

Según la rotulación de las aguas estudiadas solo agua mineral Villa Alegre (con flúor) y Líder, contienen flúor, dichas concentraciones son similares a las arrojadas en este estudio, pero inferiores a la detectada en agua potable fluorada (red pública de Valdivia). Sin embargo,

también se detectó presencia de este elemento en las otras aguas minerales estudiadas, donde agua mineral Puyehue con valores de 0,51 mg/L (primer lote) y 0,37 mg/L (segundo lote), presenta las mayores concentraciones de este elemento (Tablas N° 2 y 8).

En comparación con el contenido de flúor en agua potable fluorada (red pública de Valdivia), que registró una concentración de 1,07 mg/L, los valores obtenidos en aguas minerales son muy inferiores al analizado en dicha agua (Tabla N° 16).

En el ambiente acuático, se reportan concentraciones de arsénico más elevado en aguas termales, en aguas subterráneas de áreas con actividad termal, o en áreas que contengan rocas con alto contenido de arsénico, y en algunas aguas con grandes contenidos de sal disuelta (Eisler, 2000).

Las concentraciones totales de arsénico en las aguas superficiales y en aguas subterráneas en general son  $< 10 \mu\text{g/L}$ . Sin embargo, en ciertas áreas, han sido registrados niveles por sobre 1 mg/L (Eisler, 2000).

Mandal & Suzuki (2002), reportan altos niveles de arsénico en aguas de áreas con actividad termal en Nueva Zelanda por sobre los 8,5 mg/L. En agua geotermal de Japón niveles entre los 1,8 – 6,4 mg/L y en regiones adyacentes concentraciones alrededor de 0,002 mg/L.

La mayoría de los valores elevados reportados en lagos, ríos, y sedimento son debido probablemente a fuentes antropogénicas, las cuales incluyen operaciones de fundición y minas; combustión de combustibles fósiles; detergentes sintéticos y desperdicios en barros de alcantarilla; herbicidas y pesticidas (Eisler, 2000).

En el análisis realizado a las termas de la novena y décima regiones, las mayores concentraciones de arsénico están presentes en las aguas termales de Pellaifa y Coñaripe, tanto en el muestreo efectuado en abril y diciembre de 2004 (Tablas N° 4 y 10). Los valores son muy superiores a 10 µg/L pero no sobrepasan los 1,2 mg/L, concentraciones que son muy inferiores a las informadas por Mandal & Suzuki (2002).

Tal como lo señala Figueroa (2004), esto es claramente atribuible a la actividad geotermal presente en la zona, así como la presencia cercana del lago Pellaifa, zona tomada como estación control por el autor en su estudio, por considerarse que Pellaifa es un lago pequeño de fácil impacto.

Las concentraciones de arsénico obtenidas en Termas de Coñaripe y Pellaifa, son inferiores a las reportadas por Hauser (1997), y Pérez (1999), que señalan un valor de 1300 µg/L.

Las concentraciones detectadas en este estudio son inferiores a las reportadas por Hauser (1997), que señala un valor de 90 µg/L en Termas de Palguin, y un valor de 80 µg/L en Termas de Huife y Los Pozones. En Termas de Huife el valor obtenido en este estudio es superior al registrado por Pérez (1999), que informa un valor de 20 µg/L, concentración inferior a la señalada por Hauser (1997). En Termas Los Pozones el valor obtenido en esta investigación es inferior al reportado por Pérez (1999), que informa un valor de 90 µg/L, concentración levemente superior a la detectada por Hauser (1997) (Tablas N° 4 y 10).

En Termas de Palguin los valores obtenidos en el presente estudio están dentro del rango de concentraciones (30 - 40 µg/L) informadas por Pérez (1999), valores inferiores a los señalados por Hauser (1997).

Es importante señalar que en las termas de Palguin, existen aguas para el consumo de las personas, específicamente Palguin (agua mote), considerada beneficiosa para afecciones gastrointestinales entre otras, existiendo el desconocimiento por parte de sus consumidores del daño que puede provocar ésta para su salud, ya que la concentración de arsénico (As) presente (Tablas N° 4 y 10), supera tres veces al máximo recomendado por la World Health Organization (WHO) y Environmental Protection Agency (EPA).

En el período de 1989 a 1993, existe evidencia en Chile que indica un predominio de la mortalidad por cáncer frente a otras causas de muerte. En el mismo tiempo debido a la población máxima, expuestas a niveles de arsénico de 570 µg/L en agua potable por un período de tiempo de 15 años, resultó que una de cada 10 muertes en hombre, se atribuyeron al arsénico contenido en el agua potable, y alrededor de una de cada 20 muertes en mujeres. Por lo tanto es razonable enfocarse en cáncer cuando se consideran los riesgos a largo plazo que resultan del contenido de arsénico en agua potable (Smith & Hira, 2004).

El análisis efectuado por Hauser (1997), a las aguas minerales, solo detectó concentraciones de arsénico en agua mineral Villa Alegre (con flúor), cuyo resultado supera notablemente a la concentración arrojada en esta investigación.

De las aguas minerales, Puyehue contiene la mayor concentración de arsénico en ambos lotes estudiados con valores de 20,7 µg/L (primer lote) y 26,6 µg/L (segundo lote) (Tablas N° 1 y 7). Se observó claramente un considerable aumento del contenido de arsénico en el lote 2004. Dichas concentraciones son el doble a lo aceptado actualmente por la World Health Organization

(WHO) y Environmental Protection Agency (EPA), que aconsejan una concentración de 10  $\mu\text{g/L}$  en el agua potable.

Puyehue es una zona de fuente termal y mineral. Hauser (1997) y Pérez (1999), en sus estudios señalan concentraciones de arsénico que están en el rango de los 400–600  $\mu\text{g/L}$ , lo que explicaría que el agua mineral contenga niveles relativamente altos de arsénico. Además, cabe señalar la ubicación cercana de las Termas y la planta de envasado al volcán Puyehue.

Se puede concluir que en general las aguas termales demuestran mayores concentraciones en arsénico y flúor, respecto a las aguas minerales. Esta particularidad se puede asociar al hecho, ya señalado, que la solubilidad de la mayoría de los elementos se incrementa con la temperatura, como también a las oscilaciones estacionales en el régimen climático, particularmente referidas a las precipitaciones pluviales y nivales, el escurrimiento de aguas terrestre superficiales, el lavado de rocas y contenido de minerales en ellas, y al escape desde volcanes.

Las personas cada vez, están recurriendo más a los centros termales, por razones de salud, diversión o relajación, y por la popularidad beneficiosa, que pueden poseer sus aguas. Si las personas por desconocimiento bebieran de estas aguas, sobretodo los lugareños, estarían ingiriendo niveles altos de arsénico, lo que con el tiempo su salud se vería seriamente afectada.

Existe variación en las concentraciones de aguas termales, en el muestreo realizado en abril y diciembre de 2004, como también en los lotes analizados de agua mineral. Esta diferencia es razonable debido a las variaciones estacionales, y a condiciones climáticas (precipitaciones) propias de la zona.

La mayoría de las aguas minerales estudiadas mostraron una mineralización relativamente baja, en comparación a lo señalado en la rotulación se puede decir que si existe diferencia entre la composición química de estas aguas en relación a los resultados obtenidos en esta investigación.

Con respecto al agua potable a excepción de flúor, ésta presenta un grado de mineralización inferior en relación a la mayoría de los valores obtenidos en aguas minerales, especialmente para calcio y magnesio cuyas concentraciones en aguas minerales son muy superiores.

El agua mineral Villa Alegre (con flúor), señala dentro de su composición una concentración de hierro de 0,4 mg/L, según el resultado arrojado en este estudio esta agua mineral no contendría dicho elemento. Situación similar ocurre con calcio en agua mineral Líder.

Según los resultados de esta investigación, agua mineral Ultra pura, si contiene un pequeño grado de mineralización, sobretodo de arsénico, lo que se contrapone a la imagen que se le quiere dar a este tipo de agua.

Todas las aguas minerales estudiadas contienen cantidades de arsénico, en mayor o menor proporción. Por lo señalado en la rotulación, dicha concentración no es incluida como parte de la composición química de cada agua mineral.

El contenido de arsénico en aguas minerales es mayor en comparación a la concentración presente en el agua potable (red pública de Valdivia) analizada.



En la mayoría de las aguas minerales analizadas, la concentración de arsénico, de un lote a otro aumenta, lo que demuestra que en diferentes elaboraciones los niveles de arsénico pueden variar, lo que se puede atribuir a variaciones climáticas y estacionales. Por lo cual sería recomendable por parte de los elaboradores de estas aguas, agregar a la rotulación de cada producto el contenido de arsénico que presentan, dando una mayor información y seguridad a sus consumidores. Ya que en Chile existe una demanda creciente por el consumo de aguas minerales la cual no tiene ninguna contraindicación pues no debiera ser un riesgo para la salud de ningún grupo etario.

Finalmente, se puede concluir que en aguas termales y minerales no se encontraron concentraciones altas de los elementos Ca, Mn, Fe, Mg y F. El contenido de arsénico encontrado en Termas de Palguin esta fuera del rango permitido en la norma de USA y Europa, pero sí se encuentra dentro del límite aceptado en Chile. En aguas termales de Huife, Los Pozones, Pellaifa y Coñaripe, las concentraciones de arsénico encontradas en este estudio, están fuera de los rangos permitidos en la norma vigente del país, la de USA y Europa. En cuanto a las concentraciones en aguas minerales, sólo agua mineral Puyehue se encontraría fuera de estándar recomendado por la World Health Organization (WHO) y Environmental Protection Agency (EPA), pero sí esta dentro de lo permitido en la norma vigente del país. Por lo señalado anteriormente la hipótesis planteada se acepta parcialmente.

## BIBLIOGRAFÍA

**Albert, L. A.** (2001) Curso Básico de Toxicología Ambiental. UTEHA, Noriega, Editores, 311p.

**Ahmad, S. A., Sayed, M. H., Barua, S., Khan, M.H., Faruquee, M.H., Jalil, A., Hadi, S. A., Talukder H.K.** (2001) Arsenic in Drinking Water and Pregnancy Outcomes. *Environmental Health Perspectives*, 109 (16), 629–630.

**Baran, J.** (1995) Química Bioinorganica. M<sup>c</sup> Graw – Hill / Interamericana de España, SA, 321p.

**Brown, K. G.** (2002) Arsenic, Drinking Water, and Health. *Based on a Report Prepared for the American Council on Science and Health.*

**Cantor, K. P.** (2001) Arsenic and Cancer of the Urinary Tract. *American Journal of Epidemiology*, 153 (5), 419–421.

**Eisler, R.** (2000) Handbook of Chemical Risk Assessment, Hazard to Humans, Plants and Animal. Lewis publishers, Boca Raton, Florida, 650p.

**Fawell, J., Nieuwenhuijsen, M. J.** (2003) Contaminants in drinking water. *British Medical Bulletin*, 68, 199 – 208.

**Figuroa, M.** (2004) Determinación de Metales Trazas (Ni, Pb, Cu y As) en *Scirpus californicus*. Tesis, Escuela de Química y Farmacia. Facultad de Ciencias. Universidad Austral de Chile.

**Gray, N. F.** (1996) *Calidad del Agua Potable, Problemas y Soluciones*. Acribia S.A., Zaragoza, España, 365p.

**González, C.** (1993) *Análisis de la Gestión de los Centros Termales de la provincia de Osorno*. Tesis para optar al título de Técnico en Turismo. Universidad Austral de Chile.

**Guillemant, J., Huyen-Tran Le., Accarie, Ch., Tézenas du Montcel, S., Delabroise, A.M., Arnaud, M. J. and Serge Guillemant, S.** (2000) Mineral water as a source of dietary calcium: acute effects on parathyroid function and bone resorption in young men. *American Journal of Clinical Nutrition*, 71, 999–1002.

**Gurr, M.** (1994) Calcium in Nutrition. *American Journal of Clinical*, 60, 744–750.

**Hauser, A.** (1997) Catastro y Caracterización de las Fuentes de Aguas Minerales y Termales de Chile. Subdirección Nacional de Geología y Minería. Boletín N° 50, 89p. Santiago, Chile.

**IARC.** (2004) Arsenic in Drinking–Water. International Agency for Research on Cancer, vol. 84, 39–45.

**IPCS.** (2001) Arsenic and Arsenic Compounds. Geneva, World Health Organization, International Programme Chemical safety (Environmental Health Criteria 224).

**IPCS.** (1984) Fluoride and Fluorides. Geneva, World Health Organization, International Programme Chemical Safety (Environmental Health Criteria 36).

**IPCS.** (2002) Fluorides. Geneva, World Health Organization, International Programme Chemical Safety (Environmental Health Criteria 227).

**IPCS.** (1981) Manganese Geneva, World Health Organization, International Programme Chemical Safety (Environmental Health Criteria 17).

**IPCS.** (2004) Manganese and its Compounds. Geneva, World Health Organization, International Programme Chemical Safety (Environmental Health Criteria 63).

**Jain, C.K., Ali, I.** (2000) Arsenic: Occurrence, toxicity and speciation techniques. Pergamon, 34 (17), 4304–4312.

**Koisek, F.** (2003) Health significance of drinking water calcium and magnesium. National Institute of Public Health.

**Magalhães, M. F.** (2002) Arsenic: An environmental problem limited by solubility. Chemistry, 74, (10) 1843–1850.

**Mandal, B. K., Suzuki, K.** (2002) Arsenic round the world. Talanta, 58, 201–235.

**Merck, H.** (1999) Manual de Diagnóstico y Tratamiento. Harcourt, S.A, España, 2828p.

**Montero, H., Navarrete, G., Pino, M., Rifo, P.** (1981) Recursos Termales IX Región. Universidad de la Frontera, Temuco, Chile, 139 p.

**NCh 409/1. of 84** Instituto de Normalización. Agua Potable–Parte 1: Requisitos.

**Nielsen, F. H.** (2000) Evolutionary events culminating in specific minerals becoming essential for life. *European Journal of Nutrition*, 39, 62–66.

**Reglamento de Aguas Minerales.** (1997) Republica de Chile Ministerio de Salud Dpto. Asesoría Jurídica, DTO. N° 106.

**Pacheco, M.** (2001) Análisis de Cationes y Aniones en Aguas Minerales Chilenas. Tesis para optar al título de Técnico en Químico Analista. Universidad de Concepción.

**París, B.** (2000) Intoxicaciones Epidemiología Clínica y Tratamiento. Santiago, Universidad Católica de Chile, 302p.

**Pérez, Y.** (1999) Fuentes de Aguas Termales de la Cordillera Andina del centro - sur de Chile (39- 42° Sur). Servicio Nacional de Geología y Minería. Boletín 54. 65 p. Santiago, Chile.

**Sabatier, M., Arnaud, M. J., Kastenmayer, P., Rytz, A., Barclay, D.** (2002) Meal effect on magnesium bioavailability from mineral water in healthy women. *American Journal of Clinical Nutrition*, 75, 65–71.

**Smith, A. H., Hira, M. M.** (2004) Arsenic drinking water regulations in developing countries with extensive exposure. *Toxicology*, 198, 39–44.

**Smith, A. H., Lopipero, P. A., Bates, M. N., Steinmaus, C. M.** (2002) Arsenic Epidemiology and Drinking Water Standards. *Science*, 296, 2145–2146.

**Spiro, W.** (2004) *Química Medioambiental*. Madrid, Pearson Educación, 504p.

**Suzuki, K. T., Mandal, B. K., Ogra, Y.** (2002) Speciation of Arsenic in body fluids. *Talanta*, 58, 111–119.

**Verhas, M., De La Guéronnière, V., Grognet, J-M., Paternot, J., Hermanne, A., Van den Winkel, P., Gheldof, R., Martín, P., Fantino, M and Rayssiguier.** (2002) Magnesium bioavailability from mineral water. A study in adult men. *European Journal of Clinical Nutrition*, 56, 442–447.

**WHO, World Health Organization** (2003) Arsenic in Drinking – water. Background document for development of World Health Organization *Guidelines for Drinking – water Quality*.

**WHO, World Health Organization** (2004) Fluoride in Drinking – water. Background document for development of World Health Organization *Guidelines for Drinking – water Quality*.

**WHO, World Health Organization** (2003) Iron in Drinking – water. Background document for development of World Health Organization *Guidelines for Drinking – water Quality*.

**WHO, World Health Organization** (2004) Manganese in Drinking – water. Background document for development of World Health Organization *Guidelines for Drinking – water Quality*.



**Tabla N° 1:** Concentración ( $\mu\text{g/L}$ ) de As en Aguas Minerales primer lote año 2003.

<b>Muestra</b>	<b>Concentración</b>
Cachantún	0,28
Cachantún L/G	0,35
Cachantún S/G	0,48
Vital	4,03
Vital S/G	4,31
Puyehue	20,7
Porvenir	0,25
Villa Alegre con F	0,26
Ultra pura	0,31
Líder	3,10

**Tabla N° 2:** Concentración (mg/L) de F<sup>-</sup>, Ca y Fe, en Aguas Minerales primer lote año 2003.

<b>Muestra</b>	<b>F<sup>-</sup></b>	<b>Ca</b>	<b>Fe</b>
Cachantún	0,07	123	< 0,10
CachantúnL/G	0,05	122	< 0,10
Cachantún S/G	0,05	123	< 0,10
Vital	0,10	24,8	< 0,10
Vital S/G	0,10	24,2	< 0,10
Puyehue	0,51	6,0	< 0,10
Porvenir	0,19	33,0	< 0,10
Villa Alegre con F	0,07	31,0	< 0,10
Ultra pura	0,04	<b>N.D</b>	< 0,10
Líder	0,35	<b>N.D</b>	< 0,10

**N.D = No determinado**

**Tabla N° 3:** Concentración (mg/L) de Mn y Mg, en Aguas Minerales primer lote año 2003.

<b>Muestra</b>	<b>Mn</b>	<b>Mg</b>
Cachantún	< 0,04	11,6
Cachantún L/G	< 0,04	11,9
Cachantún S/G	< 0,04	11,8
Vital	< 0,04	2,82
Vital S/G	< 0,04	2,80
Puyehue	< 0,04	1,31
Porvenir	< 0,04	13,4
Villa Alegre con F	< 0,04	15,0
Ultra pura	< 0,04	<b>N.D</b>
Líder	< 0,04	<b>N.D</b>

**N.D = No determinado**

**Tabla N° 4:** Concentración ( $\mu\text{g/L}$ ) de As en Aguas Termales de la Novena y Décima Regiones, primer muestreo.

<b>Muestras</b>	<b>Concentración</b>
Palguin (potasa)	34,0
Palguin (litio)	35,1
Palguin (azufre)	30,2
Palguin (agua mote)	31,3
Huife	56,3
Los Pozones	55,6
Pellaifa 1	566
Pellaifa 2	556
Coñaripe 1	958
Coñaripe 2	625

**Tabla N° 5:** Concentración (mg/L) de F<sup>-</sup>, Ca y Fe, en Aguas Termales de la Novena y Décima Regiones, primer muestreo.

<b>Muestra</b>	<b>F<sup>-</sup></b>	<b>Ca</b>	<b>Fe</b>
Palguin(potasa)	1,30	8,14	< 0,2
Palguin (litio)	1,70	6,63	< 0,2
Palguin(azufre)	1,42	4,75	< 0,2
Palguin (mote)	1,40	5,52	< 0,2
Huife	1,32	16,1	< 0,2
Los Pozones	1,16	15,0	< 0,2
Pellaifa1	1,04	10,6	< 0,2
Pellaifa 2	0,83	10,7	< 0,2
Coñaripe 1	1,29	6,04	< 0,2
Coñaripe 2	1,11	8,42	< 0,2

**Tabla N° 6:** Concentración (mg/L) de Mn y Mg, en Aguas Termales de la Novena y Décima Regiones, primer muestreo.

<b>Muestras</b>	<b>Mn</b>	<b>Mg</b>
Palguin (potasa)	< 0,06	0,49
Palguin (litio)	< 0,06	0,49
Palguin (azufre)	< 0,06	1,06
Palguin (mote)	< 0,06	1,14
Huife	< 0,06	0,27
Los Pozones	< 0,06	0,53
Pellaifa 1	< 0,06	0,42
Pellaifa 2	< 0,06	0,66
Coñaripe 1	< 0,06	0,29
Coñaripe 2	< 0,06	0,58

**Tabla N° 7:** Concentración ( $\mu\text{g/L}$ ) de As en Aguas Minerales, segundo lote año 2004.

<b>Muestra</b>	<b>Concentración</b>
Cachantún	1,30
Cachantún L/G	0,90
Cachantún S/G	1,31
Vital	6,40
Vital S/G	5,25
Puyehue	26,6
Porvenir	0,14
Villa Alegre con F	0,62
Ultra pura	0,14
Líder	2,77

**Tabla N° 8:** Concentración (mg/L) de F<sup>-</sup>, Ca y Fe, en Aguas Minerales, segundo lote año 2004.

<b>Muestra</b>	<b>F<sup>-</sup></b>	<b>Ca</b>	<b>Fe</b>
Cachantún	0,12	112	< 0,10
Cachantún L/G	0,08	113	< 0,10
Cachantún S/G	0,07	92,7	< 0,10
Vital	0,09	27,2	< 0,10
Vital S/G	0,09	28,1	< 0,10
Puyehue	0,37	5,10	< 0,10
Porvenir	0,21	36,3	< 0,10
Villa Alegre con F	0,13	43,7	< 0,10
Ultra pura	0,05	<b>N.D</b>	< 0,10
Líder	0,31	<b>N.D</b>	< 0,10

**N.D = No determinado**



**Tabla N° 9:** Concentración (mg/L) de Mn y Mg en Aguas Minerales, segundo lote año 2004.

<b>Muestra</b>	<b>Mn</b>	<b>Mg</b>
Cachantún	< 0,04	29,9
Cachantún L/G	< 0,04	45,0
Cachantún S/G	< 0,04	45,0
Vital	< 0,04	13,1
Vital S/G	< 0,04	13,1
Puyehue	< 0,04	4,11
Porvenir	< 0,04	49,8
Villa Alegre con F	< 0,04	64,3
Ultra pura	< 0,04	0,27
Líder	< 0,04	0,53

**Tabla N° 10:** Concentración ( $\mu\text{g/L}$ ) de As en Aguas Termales de la Novena y Décima Regiones, segundo muestreo.

<b>Muestras</b>	<b>Concentración</b>
Palguin (potasa)	44,1
Palguin (litio)	47,3
Palguin (azufre)	30,2
Palguin (agua mote)	35,4
Huife	62,9
Los Pozones	64,9
Pellaifa 1	832
Pellaifa 2	762
Pellaifa 3	589
Coñaripe 1	1119
Coñaripe 2	915

**Tabla N° 11:** Concentración (mg/L) de F<sup>-</sup>, Ca y Fe, en Aguas Termales de la Novena y Décima Regiones, segundo muestreo.

<b>Muestras</b>	<b>F<sup>-</sup></b>	<b>Ca</b>	<b>Fe</b>
Palguin (potasa)	1,53	4,46	< 0,2
Palguin (litio)	1,83	4,65	0,44
Palguin (azufre)	1,48	2,92	0,58
Palguin (mote)	1,49	2,96	< 0,2
Huife	1,38	14,0	0,3
Los Pozones	1,34	13,8	< 0,2
Pellaifa 1	1,12	7,71	< 0,2
Pellaifa 2	0,96	6,62	2,70
Pellaifa 3	0,85	3,03	6,09
Coñaripe 1	1,57	5,06	< 0,2
Coñaripe 2	1,45	5,70	1,14

**Tabla N° 12:** Concentración (mg/L) de Mn y Mg, en Aguas Termales de la Novena y Décima Regiones, segundo muestreo.

<b>Muestras</b>	<b>Mn</b>	<b>Mg</b>
Palguin (potasa)	< 0,04	0,34
Palguin (litio)	< 0,04	0,31
Palguin (azufre)	< 0,04	0,97
Palguin (mote)	< 0,04	1,10
Huife	< 0,04	0,33
Los Pozones	< 0,04	0,57
Pellaifa 1	< 0,04	0,24
Pellaifa 2	< 0,04	0,29
Pellaifa 3	< 0,04	0,44
Coñaripe 1	< 0,04	0,12
Coñaripe 2	< 0,04	0,22

**Tabla N° 13:** Contenido máximo en agua potable de los elementos químicos analizados en esta investigación, NCh 409/1. of 84

<b>Elemento</b>	<b>Limite máximo (mg/L)</b>
Arsénico	0,05
Flúor	1,5
Hierro	0,3(*)
Magnesio	125
Manganeso	0,10(*)

(\*) = El Ministerio de Salud puede aceptar un contenido mayor de estos elementos.

**Tabla N° 14:** Información química señalada en rótulo de las aguas minerales primer lote, año 2003.

<b>Aguas minerales</b>	<b>Mg</b>	<b>Ca</b>	<b>Mn</b>	<b>Fe</b>	<b>F<sup>-</sup></b>	<b>As</b>
Cachantún	1,0**	7,6**	❖	❖	❖	❖
Cachantún(L/G)	1,0**	7,6**	❖	❖	❖	❖
Cachantún(S/G)	1,0**	7,6**	❖	❖	❖	❖
Vital	2,0*	12*	❖	0,01*	❖	❖
Vital(S/G)	2,0*	12*	❖	0,01*	❖	❖
Porvenir	1,4**	2,9**	❖	❖	❖	❖
Puyehue	❖	❖	❖	❖	❖	❖
Villa Alegre con F	20,7*	34,4*	❖	0,4*	0,1*	❖
Ultra pura	❖	❖	❖	❖	❖	❖
Líder	0,024*	0,2*	❖	0,13*	0,33*	❖

❖ = Sin información

\*\* = Concentración (mg/100mL)

\* = Concentración (mg/L)

**Tabla N° 15:** Información química señalada en rótulo de las aguas minerales segundo lote, año 2004.

<b>Agua mineral</b>	<b>Mg</b>	<b>Ca</b>	<b>Mn</b>	<b>Fe</b>	<b>F</b>	<b>As</b>
Cachantún	1,0 **	7,6**	❖	❖	❖	❖
Cachantún(L/G)	1,0**	7,6**	❖	❖	❖	❖
Cachantún(S/G)	1,0**	7,6**	❖	❖	❖	❖
Vital	2,0*	12*	❖	0,01*	❖	❖
Vital(S/G)	2,0*	12*	❖	0,01*	❖	❖
Porvenir	1,4**	2,9**	❖	❖	❖	❖
Puyehue	❖	❖	❖	❖	❖	❖
Villa Alegre con F	20,7*	34,4*	❖	0,4*	0,1*	❖
Ultra pura	❖	❖	❖	❖	❖	❖
Líder	< 0,1*	0,9*	❖	0,13*	0,3*	❖

❖ = Sin información

\*\* = Concentración (mg/100mL)

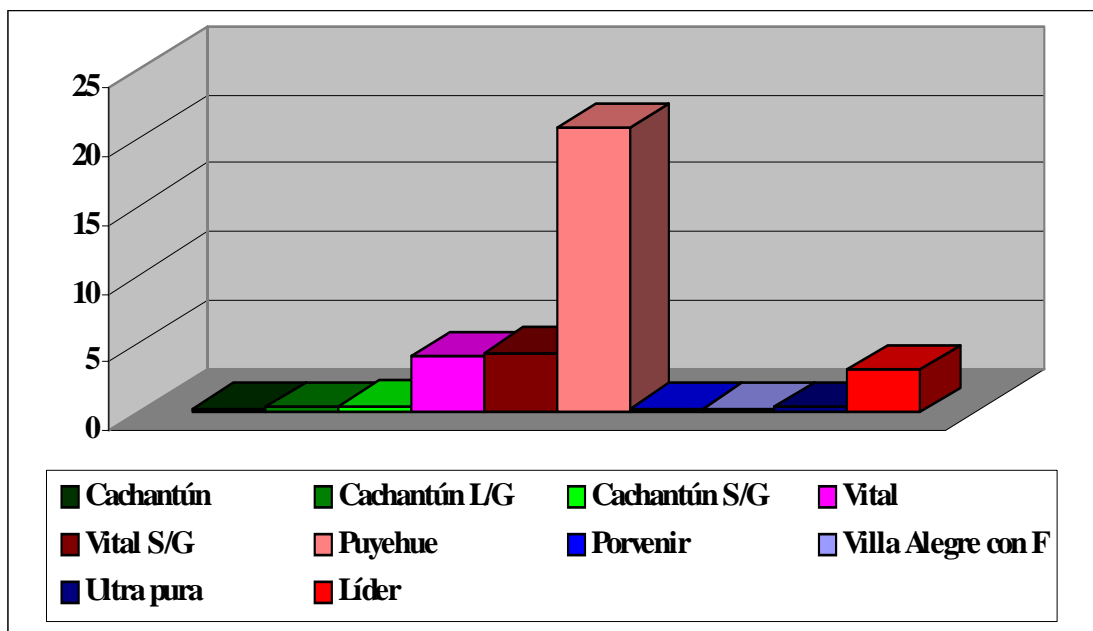
\* = Concentración (mg/L)

**Tabla N° 16:** Concentración (mg/L) de F<sup>-</sup>, Ca, Fe, Mn, Mg, y concentración (µg/L) de As en Agua potable de Valdivia y del Laboratorio de Elementos Traza y Nutrientes, UACH.

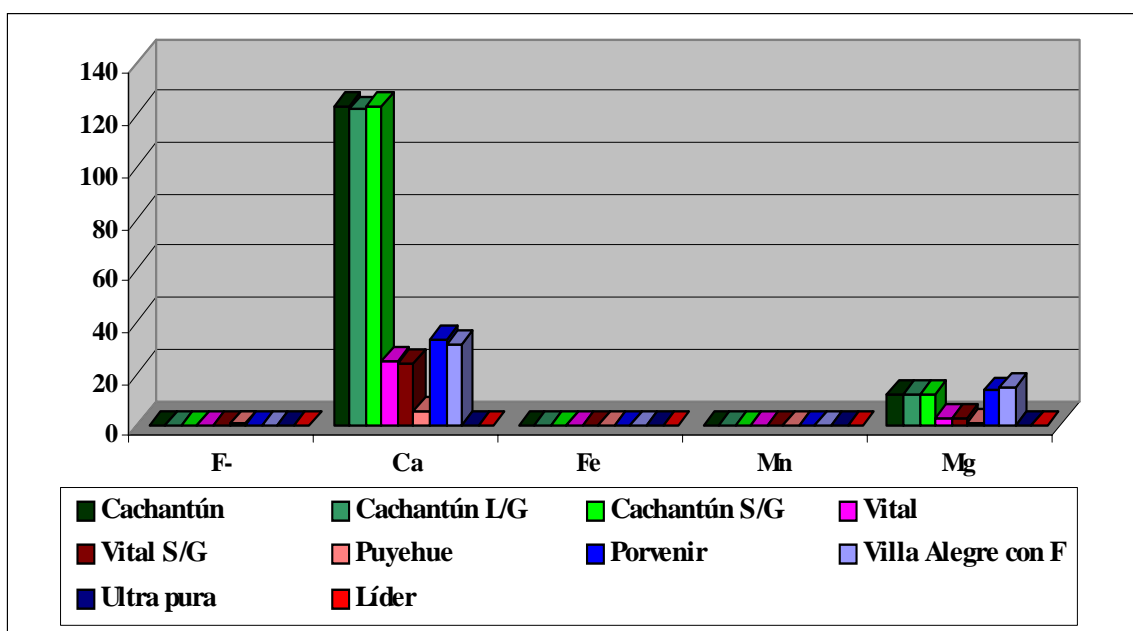
<b>Muestras</b>	<b>F<sup>-</sup></b>	<b>Ca</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Mg</b>	<b>As</b>
Agua potable	1,07	5,57	0,09	< 0,02	0,83	0,22
Agua laboratorio	0,17	0,95	< 0,07	< 0,02	0,52	0,60



**Gráfico N° 1:** Concentración ( $\mu\text{g/L}$ ), de As en Aguas Minerales, primer lote año 2003.

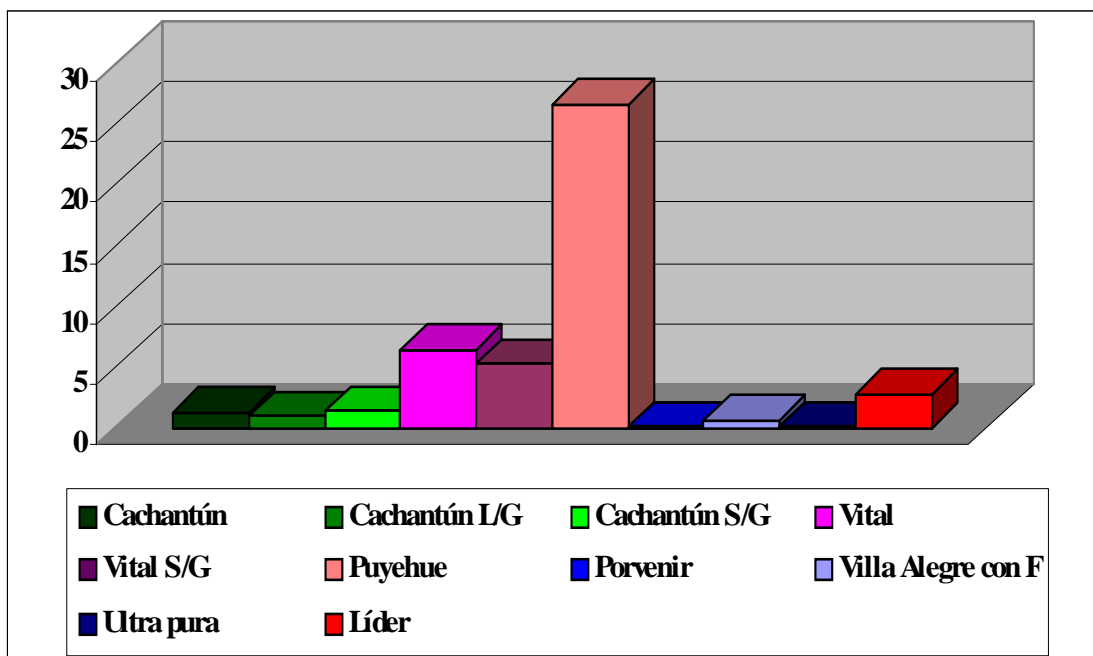


**Gráfico N° 2:** Concentración (mg/L) de F, Ca, Fe, Mn y Mg, en Aguas Minerales, primer lote año 2003.

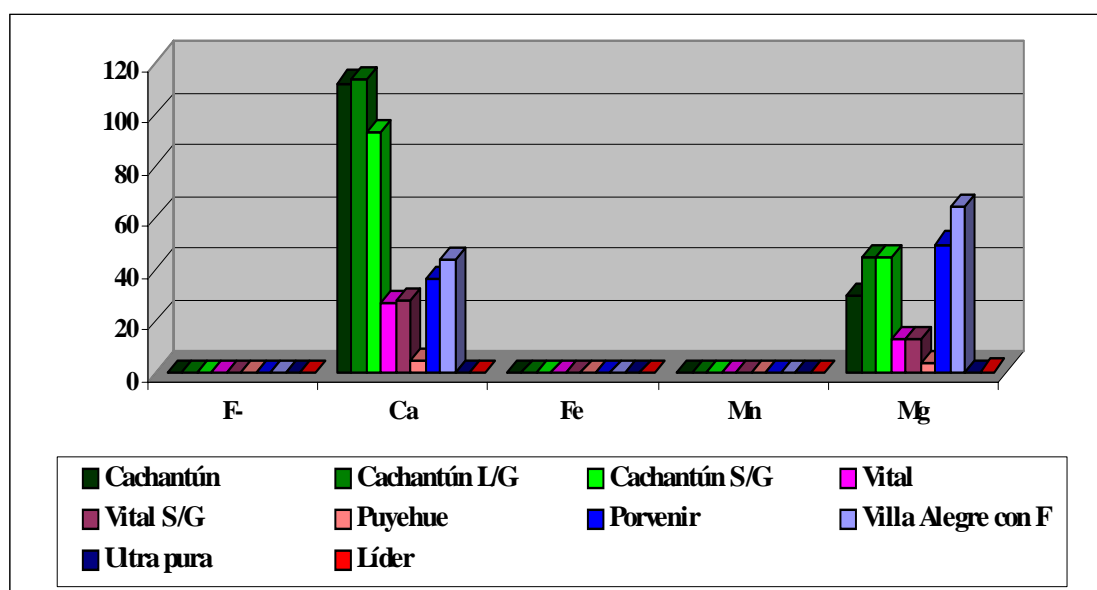




**Gráfico N° 5:** Concentración ( $\mu\text{g/L}$ ), de As en Aguas Minerales segundo lote año 2004.

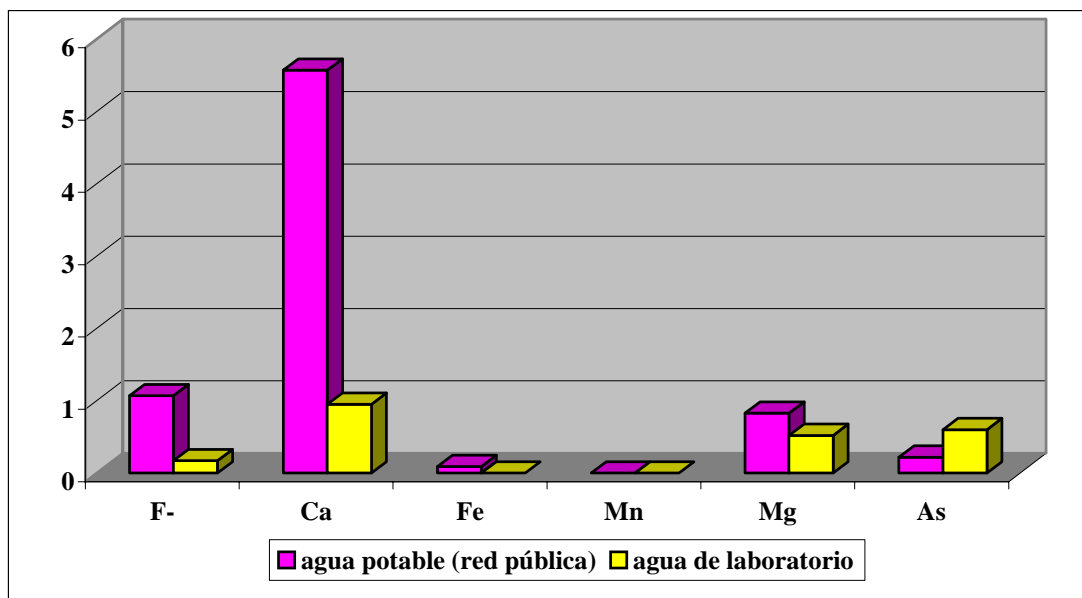


**Gráfico N° 6:** Concentración ( $\text{mg/L}$ ), de F, Ca, Fe, Mn y Mg en Aguas Minerales segundo lote año 2004.





**Gráfico N° 9:** Concentración (mg/L) de F<sup>-</sup>, Ca, Fe, Mn, Mg, y concentración (µg/L) de As en agua potable de Valdivia y del Laboratorio de Elementos Traza y Nutrientes, UACH.



## **ANEXOS**

## ANEXO 1

### **Análisis de arsénico utilizando la técnica de Generador de hidruros.**

#### Preparación estándar de Arsénico (As), concentración 1 ppm.

En un matraz de 50 ml se miden 0,75 ml de  $\text{HNO}_3$ , se agregan 5 ml de Arsénico 10 ppm (preparado a partir de una solución stock de arsénico 1000 ppm), se afora con agua desionizada y se agita.

### **Preparación de soluciones para análisis químico.**

#### Solución de Ácido Clorhídrico (HCL) al 1,5 %

Se miden con macropipeta-Socorex, bajo campana 15 ml de ácido clorhídrico concentrado se vierten en un matraz de 1000 ml, se afora con agua desionizada y se agita.

#### Solución de Yoduro de Potasio (KI) al 20%

Se pesan 20 gramos de yoduro de potasio y se colocan en un matraz de 100 ml, se afora con agua desionizada agitando debidamente.

### Solución de Borhidruro de Sodio al 3% ( $\text{NaBH}_4$ ) y Hidróxido de Sodio ( $\text{NaOH}$ ) al 1 %

Se pesan en un vaso precipitado 15 gramos de Borhidruro de Sodio y 5 gramos de hidróxido de sodio, se agrega a la mezcla una pequeña cantidad de agua desionizada y enseguida se coloca en el sonicador, para disolver completamente la mezcla, se filtra con papel Whatman. El filtrado se coloca en un matraz de 500 ml, se afora con agua desionizada y se agita.

### **Análisis de Muestras para As en Espectrofotómetro de absorción Atómica (AAS) con Generador de Hidruros.**

#### Preparación de las muestras

A cada uno de los vasos de reacción se coloca 10 ml de HCl 1,5 %, se adicionan 200 uL de KI 20% (para mantener el estado de oxidación (III) del arsénico), se agrega la cantidad (en ml), de muestra a determinar, aceptando el equipo un máximo de 20 ml

Antes de la medición de la muestra se calibra el equipo. Se coloca la longitud de onda correspondiente al arsénico 193,7. Se lee el blanco el cual contiene todos los reactivos a excepción de la muestra, luego se leen los estándares cada uno contienen los reactivos más 50  $\mu\text{L}$  de As 1 ppm. Una vez calibrado el equipo se procede a leer cada muestra.

Por medio de una válvula que permite el paso del nitrógeno, el que hace presión sobre la botella que contiene el Borhidruro de Sodio, el que llega por medio de un capilar al vaso de reacción. Se



espera un tiempo por cronómetro de 9 segundos para que ocurra la reacción donde se produce arsina en forma de gas la que llega a través de una manguera a la celda de cuarzo (encendida), con la temperatura la arsina se descompone formándose arsénico, entregando el equipo la absorbancia correspondiente.

Luego la concentración del arsénico en cada muestra se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Conc}_M = \frac{C_{St} \times \text{Abs}_M \times F \times V_{St}}{\text{Abs}_{St} \times V_M}$$

**Donde:**

**$C_M$  = Concentración de la muestra**

**$C_{St}$  = Concentración del estándar**

**$\text{Abs}_M$  = Absorbancia de la muestra**

**F = Factor de transformación (1  $\mu\text{g}$ / 1000 ng)**

**$V_{St}$  = Volumen del estándar**

**$\text{Abs}_{St}$  = Absorbancia del estándar**

**$V_M$  = Volumen de la muestra**

## ANEXO 2

**Análisis de Fluoruro ( $F^-$ ) en equipo Accumet modelo 50 con electrodo selectivo de  $F^-$ , Orion, modelo 96 – 09.**

### Preparación de los Estándares

Se prepararon cuatro estándares por dilución, de concentraciones 0,1; 0,5; 1 y 2 mg/L, para ello se toman 0,25; 1,2; 2,5; y 5 mL de la solución stock de fluoruro (100,4 ppm), se colocan en un matraz de 250 mL, se afora con agua desionizada agitando debidamente.

**Análisis de las muestras para la determinación de  $F^-$  en equipo Accumet modelo 50, con un electrodo selectivo de  $F^-$ , Orion, modelo 96 – 09.**

### Preparación de las muestras.

A cada uno de los vasos precipitados se colocan 5 ml de Tisab III concentrado con EDTA, un agitador magnético y se adicionan 50 ml de muestra. El volumen total debe ser suficiente para sumergir los electrodos, y permitir la operación de agitación de la barra imantada.

El equipo funciona a través de un electrodo de fluoruro en combinación con otro electrodo de referencia. En donde el elemento de detección entra en contacto con la solución que contiene el ion fluoruro, desarrollándose una diferencia de potencial, el que depende del nivel del ion flúor libre en la solución. El potencial de medición correspondiente al ion fluoruro se describe por medio de la ecuación de Nerst.

El equipo entrega la concentración en mg/L directamente en forma de ión fluoruro.

### ANEXO 3

#### **Análisis de Ca, Fe, Mn y Mg en Espectrofotómetro de Absorción Atómica (ASS) modalidad llama.**

Se prepararon una serie de estándares por dilución con agua destilada, tal como se detalla a continuación:

#### Preparación Estándar de Calcio.

De una solución de calcio de concentración 500,5 ppm se obtienen 10 ml. Este volumen se lleva a un matraz aforado 100 ml quedando con una concentración de 50 ppm. De esta preparación se obtienen los ml para preparar los diferentes estándares de concentración 0,5; 1; 2; y 5 ppm, teniendo cada uno un volumen final de 30 ml. Como se muestra en la siguiente tabla:

Concentración estándar	Vol. Ca 50ppm (µL)	Vol. Lantano 1% (ml)	Vol. HCl (ml)	Vol. Agua desionizada (ml)	Vol. Final (ml)
0,5	300	3	1	25,7	30
1,0	600	3	1	25,4	30
2,0	1200	3	1	24,8	30
5,0	3000	3	1	23,0	30

Para el análisis de las muestras de agua mineral se tuvo que hacer una dilución de 20 veces, por encontrarse muy concentradas algunas de ellas.

Para los elementos Fe, Mn y Mg se realizó la preparación de tres estándares para cada uno de ellos. La siguiente tabla resume cada concentración:

Concentración estándar	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Mg (mg/L)
1	1,0	0,5	0,1
2	2,5	1,0	0,25
3	5,0	2,0	0,5

Se ingresan al equipo los datos para el análisis, como nombre de la muestra, y volumen. El equipo es calibrado en cada medición con los respectivos estándares de cada elemento a determinar. Luego las muestras son leídas, y la concentración (mg/L), es entregada en forma corregida por el equipo.

Foto N° 1: Preparación de muestra para análisis de arsénico en equipo acoplado a generador de hidruros.



**Foto N° 2: Espectrofotómetro de Absorción Atómica (AAS), Perkin - Elmer, modelo 3110, acoplado a un generador de hidruros, Perkin - Elmer MHS-10.**



Foto N° 3: Análisis de flúor en equipo Accumet modelo 50, con electrodo selectivo para  $F^-$ , Orion, modelo 96 – 09.

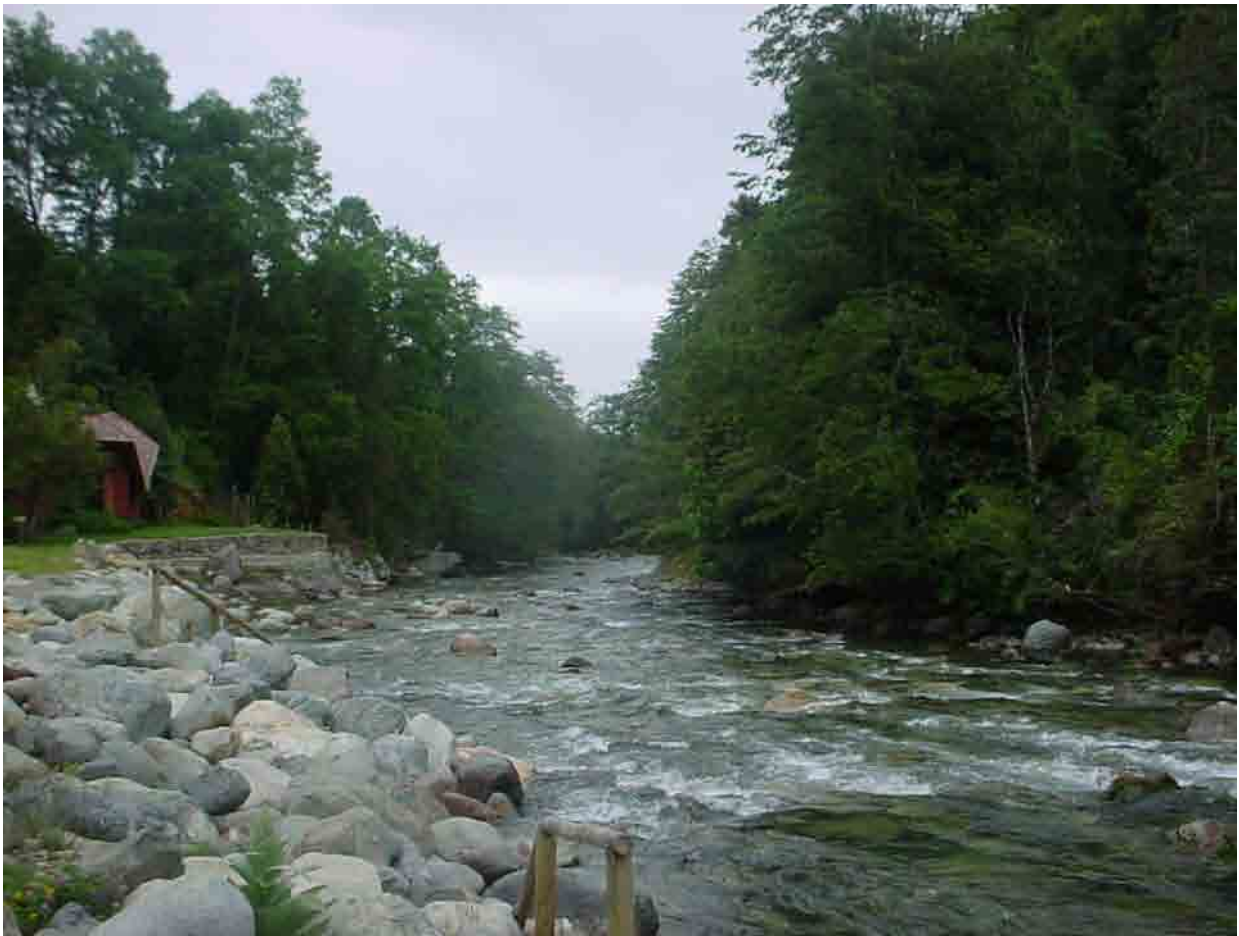




**Foto N° 4: Espectrofotómetro de Absorción Atómica en su modalidad llama, Unicam modelo M-5.**



**Foto N° 5: Área de muestreo Termas Los Pozones**



**Fotos N° 6: Área de nuestro Pellaifa**



**Fotos N° 7: Área de muestreo Termas de Huife**



**Foto N° 8: Termas de Coñaripe**

