



RELEVAMIENTO DE LA CONTAMINACIÓN CON MERCURIO EN EL CANAL CACIQUE GUAYMALLÉN Y EVALUACIÓN DEL RIESGO POTENCIAL EN ALIMENTOS.



Bromatóloga Marcela Mónica López

**Tesina para obtener el título de grado de:
LICENCIATURA EN BROMATOLOGÍA.**

Facultad de Ciencias Agrarias – UNCUYO

Mendoza, Septiembre 2019

Tema: RELEVAMIENTO DE LA CONTAMINACIÓN CON MERCURIO EN EL CANAL CACIQUE GUAYMALLÉN Y EVALUACIÓN DEL RIESGO POTENCIAL EN ALIMENTOS.

Tesista: Brom. Marcela Mónica López

Directora: Lic. María Esther Barbeito

Co-directora: Dra. Laura Mercado

Miembros del comité evaluador:

Presidente: Ing. Qca Silvia POETTA

Vocales: Dr. Ing Rec Nat. Iván FUNES
Msc Daniela CÓN SOLI

Suplente: Lic. Analía VALDÉS

RESUMEN

En el año 2010 en la provincia de Mendoza, una industria que elaboraba cloro - álcali utilizando el método de la celda de cátodo de mercurio, ocasionó un importante incidente produciendo la liberación de mercurio metálico y la consecuente contaminación del suelo y el agua de un cauce. En este proceso electrolítico se generaban “lodos” ricos en mercurio metálico que se depositaban en diferentes recintos de la planta, estos lodos se acumulaban de forma deliberada cuya disposición final se realizaba a través del sistema cloacal. Luego de un tiempo el sistema cloacal colapsó y se desbordó volcando todo el residuo acumulado hacia el Canal Cacique Guaymallén. Por este hecho se vieron afectadas las industrias que hacían uso de este recurso y las plantas potabilizadoras de agua Benegas y Alto Godoy que tuvieron que cesar su funcionamiento hasta que se culminaran las tareas de saneamiento y los análisis dieran como resultado que no existía riesgo alguno de contaminación. Para conocer la situación actual de contaminación que reviste el Canal Cacique Guaymallén y el riesgo potencial que esto significa para la población y el medio ambiente se extrajeron muestras de agua y suelo de siete puntos de muestreo a lo largo del predio de la fábrica en tres años diferentes. Las muestras se procesaron siguiendo las especificaciones de normas adecuadas para este tipo de muestras, luego se determinó mercurio a través de la técnica de absorción atómica de vapor frío o generador de hidruros. Para lo cual se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica marca SHIMADZU modelo AA 7000 con acoplamiento de generador de hidruros marca SHIMADZU modelo HVG-1. Se obtuvieron en algunas muestras de agua y suelo valores de mercurio que superaron los límites permitidos de varias legislaciones. A pesar del paso del tiempo sigue existiendo contaminación con mercurio en la zona debido a que este metal es capaz de movilizarse, de formar compuestos orgánicos, de bioacumularse y biomagnificarse en el ambiente.

PALABRAS CLAVES

Mercurio, contaminación, agua, suelo, industria cloro – álcali, Mendoza.

Dedicatoria

A mi hijo Matías, el regalo que el cielo me dio.
A Juan José mi compañero y el amor de mi vida.
A Esther mi mamá, mi gran pilar y ejemplo.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia por su apoyo incondicional y por entender las largas ausencias generadas en este último tiempo.

A mi co-directora y amiga Dra. Laura Mercado por su infinita paciencia, dedicación y por no dejarme bajar los brazos. También agradezco a mis grandes amigos y compañeros de la Cátedra de Química General e Inorgánica por el apoyo y el ánimo que me brindan día a día.

A mi directora Lic. María Esther Barbeito por la colaboración desinteresada que me brindó para realizar las determinaciones que concluyeron en esta tesis. Así también agradezco a la Ing. Ruth Clausen, a mis compañeros y amigos del laboratorio de análisis instrumental Carolina, Adrián y Laura por el apoyo brindado día a día; y a Miguel por ayudarme en la toma de muestra.

No puedo dejar de agradecer a mis queridas amigas Laura Mercado y Andrea Antonioli por su perseverancia y su confianza en mí, muchísimas gracias de corazón.

ÍNDICE

1. Introducción	1
1-1. Usos y aplicaciones	1
1-2. El mercurio en el ambiente y su impacto en la salud	2
1-3. Manejo del mercurio y contaminación en Mendoza	7
2. Hipótesis y Objetivos	9
2-1. Hipótesis	9
2-2. Objetivo general	9
2-3. Objetivos particulares	9
3. Materiales y Métodos	9
3-1. Área de estudio	9
3-2. Muestreo	10
3-3. Análisis	11
3-3.1. Digestión de muestras	12
3-3.2. Determinación de mercurio	12
3-3.3. Análisis estadístico	13
4. Resultados y discusión	14
4-1. Muestras de agua	14
4-2. Muestras de suelo	16
4-2.1. Resultados de la muestra de suelo BA	17
4-2.2. Resultados de la muestra de suelo PA1	19
4-2.3. Resultados de la muestra de suelo PA2	19
4-2.4. Resultados de la muestra de suelo PA3	20
4-2.5. Resultados de la muestra de suelo PA4	20
4-2.6. Resultados de la muestra de suelo PA5	21
4-2.7. Resultados de la muestra de suelo PA6	22
4-2.8. Resultados de la muestra de suelo PA7	22
5. Conclusiones	25
6. Bibliografía	27
7. Anexo	30

1- INTRODUCCIÓN

1-1. Usos y aplicaciones

El mercurio presenta enlaces metálicos muy débiles, debido a esto es el único metal líquido a presión atmosférica y a 20 °C, su presión de vapor en estas condiciones es muy elevada por lo que se volatiliza fácilmente. Teniendo en cuenta esta propiedad y que forma aleaciones con casi todos los metales (amalgamas), entre las que se destacan las de oro y plata, se utiliza el mercurio para amalgamar estos metales preciosos y luego recuperarlos a través de la volatilización del mercurio por calor (Housecroft & Sharpe, 2006).

Los alquimistas medievales usaban el mercurio en sus intentos por transformar los metales comunes en oro. Sin embargo, la demanda por el mercurio aumentó drásticamente alrededor de 1570, cuando se averiguó que podía utilizarse para extraer plata de menas que contenían ese metal. La solución de plata en mercurio se separaba del residuo sólido y luego se calentaba intensamente. El mercurio se evaporaba y se disipaba a la atmósfera. Esto obviamente era peligroso para los trabajadores, y aún estamos sufriendo la contaminación producida en esos procesos. Uno de los castigos más temidos por los convictos romanos era ser sentenciados a trabajar en las minas de mercurio, ya que estar en una atmósfera rica en vapores de mercurio garantizaba una muerte muy dolorosa en cuestión de meses. Apenas en 1665 se decretó que era ilegal trabajar en la mina más de ocho días al mes y más de seis horas diarias, aunque esta preocupación por la salud de los trabajadores tenía que ver más con la eficiencia de la producción que con el bienestar de los mismos (Rayner - Canham, 2000).

Por muchos años el mercurio se ha utilizado ampliamente en la industria, en su forma inorgánica, por ejemplo, como catalizadores en la síntesis de componentes industriales; en la confección de sombreros utilizando nitrato mercúrico para tratar la piel utilizada para hacer el fieltro, debido a esta práctica los sombrereros fueron especialmente afectados por la toxicidad del mercurio. De allí proviene la expresión "*loco como un sombrerero*" (Blesa & Castro, 2015). En su forma metálica, ha sido utilizado en la fabricación de: termómetros, manómetros, baterías, interruptores, lámparas fluorescentes, plaguicidas, amalgamas, entre otros.

Finalmente, se ha sido utilizado como electrodo para la fabricación de cloro e hidróxido de sodio (cloro – álcali) a partir de cloruro de sodio en la celda con cátodo de mercurio. Con este método se produce cloro gaseoso en el ánodo, y en el cátodo el ion sodio se reduce a sodio metálico. En este entorno, la reducción "esperada" del ion hidrógeno a hidrógeno gaseoso en realidad requiere un potencial más alto que la reducción del ion sodio. El fenómeno de superficie que produce este resultado se llama sobrevoltaje. La amalgama

sodio-mercurio se bombea a una cámara aparte, donde se hace reaccionar agua con la amalgama en una superficie de grafito. La solución de hidróxido de sodio que se produce por esta vía es mucho más pura y concentrada que la que se obtiene por otros métodos. Por ello, la celda con cátodo de mercurio es la fuente preferida de hidróxido de sodio sólido puro. Lamentablemente, durante este proceso algo de mercurio escapa al entorno como efluente líquido. Tradicionalmente, la pérdida de mercurio se veía sólo como otro gasto comercial más, y la gente casi no se preocupaba por el destino final del mercurio. Gran parte de éste iba a dar a los ríos, donde causó una severa contaminación (Rayner - Canham, 2000).

1-2. El mercurio en el ambiente y su impacto en la salud

La intoxicación con mercurio produce alteraciones pulmonares y gastrointestinales, daño renal, teratogénesis, afecciones hepáticas, así como, alteraciones reversibles e irreversibles a nivel del Sistema Nervioso Central dependiendo de la edad de la persona y del grado de exposición a la que incurra. Cuando se vaporiza el mercurio metálico por acción de la temperatura puede provocar cuadros de neumonía intersticial, además de atravesar la barrera hemato-gaseosa para llegar principalmente al sistema nervioso central donde se aloja. Debido a que el mercurio puede ser transferido de una madre a su hijo durante el embarazo, ya que atraviesa la barrera placentaria, los bebés, niños y mujeres embarazadas, son considerados las poblaciones más vulnerables (Ministerio de Salud de la Nación, 2008).

Las principales fuentes de liberación de mercurio (fenómenos que determinan su disponibilidad en la naturaleza) son:

- Fuentes naturales: movilización del mercurio de la corteza terrestre, por fenómenos como la actividad volcánica o la erosión en las rocas;
- Fuentes antropogénicas (asociadas con la actividad humana): movilización de impurezas de mercurio en materias primas utilizadas por el hombre durante una actividad realizada (combustibles fósiles, el carbón, etc.); utilización intencional del mercurio en productos y procesos durante la fabricación de diferentes productos; los derrames, la eliminación o incineración de productos agotados y liberaciones de otro tipo. También puede ser liberado a partir de la remoción intencional, o no, de liberaciones antropogénicas pasadas de mercurio el cual ha quedado depositado en suelos, sedimentos, masas de agua, vertederos y acumulaciones de desechos o residuos (López-Tejedor, 2014).

Una vez que el mercurio ingresa al ambiente como contaminante, es sumamente nocivo, dada su persistencia; movilidad (en la atmósfera puede transportarse a largas

distancias); capacidad para formar compuestos orgánicos, bioacumulación (se acumula en los seres vivos) y biomagnificación (aumenta la concentración a medida que se asciende en la cadena trófica) por lo que altera el equilibrio ecológico y genera graves problemas de salud pública (Ortega-Ortega, 2011)

En el ciclo global del mercurio intervienen una variedad de fuentes y procesos complejos de transporte y movilización del mercurio (Figura 1). Se estima que un 30% de las emisiones anuales a la atmósfera son de origen antropogénico (unas 2000 toneladas), mientras que un 10% proceden de fuentes naturales y el resto (60%) proviene de “re-emisiones” de mercurio depositado y acumulado históricamente en los suelos y los océanos (UNEP, 2013)

En los sistemas acuáticos, una de las vías más importantes de introducción del mercurio es la deposición atmosférica, proceso por el cual las sustancias químicas son transferidas de la atmósfera a la superficie de la tierra, a aguas superficiales y también llegar a aguas subterráneas. El mercurio depositado en el suelo puede ser parcialmente transportado al sistema acuático local (a través de los sistemas de escorrentía superficial), ya que una parte considerable es retenido por la vegetación y el suelo. Los suelos y sedimentos también se pueden enriquecer significativamente en mercurio a través de liberaciones puntuales de instalaciones industriales y otras actividades como extracción de metales y minería del oro. Este mercurio en los suelos y sedimentos también es una fuente de mercurio para los sistemas de agua dulce (ríos, lagos, cañadas) a través de la lixiviación del suelo y la erosión, y la suspensión de sedimentos.

A nivel mundial, se estimó que en el año 2010 la deposición atmosférica de mercurio fue de 3.200 toneladas/año a la tierra y 3.700 toneladas/año a los océanos. Sin embargo, una gran parte del mercurio depositado, tanto en la tierra como en los océanos, es re-emitido a la atmósfera (UNEP, 2013).

Un porcentaje del mercurio liberado al medio acuático es convertido por microorganismos a metilmercurio (MeHg), que es más tóxico y disponible que el mercurio elemental (Hg), quedando en ese medio para su bioacumulación y biomagnificación tanto en cadenas tróficas acuáticas como terrestres. (CCCB/CRCE, 2014)

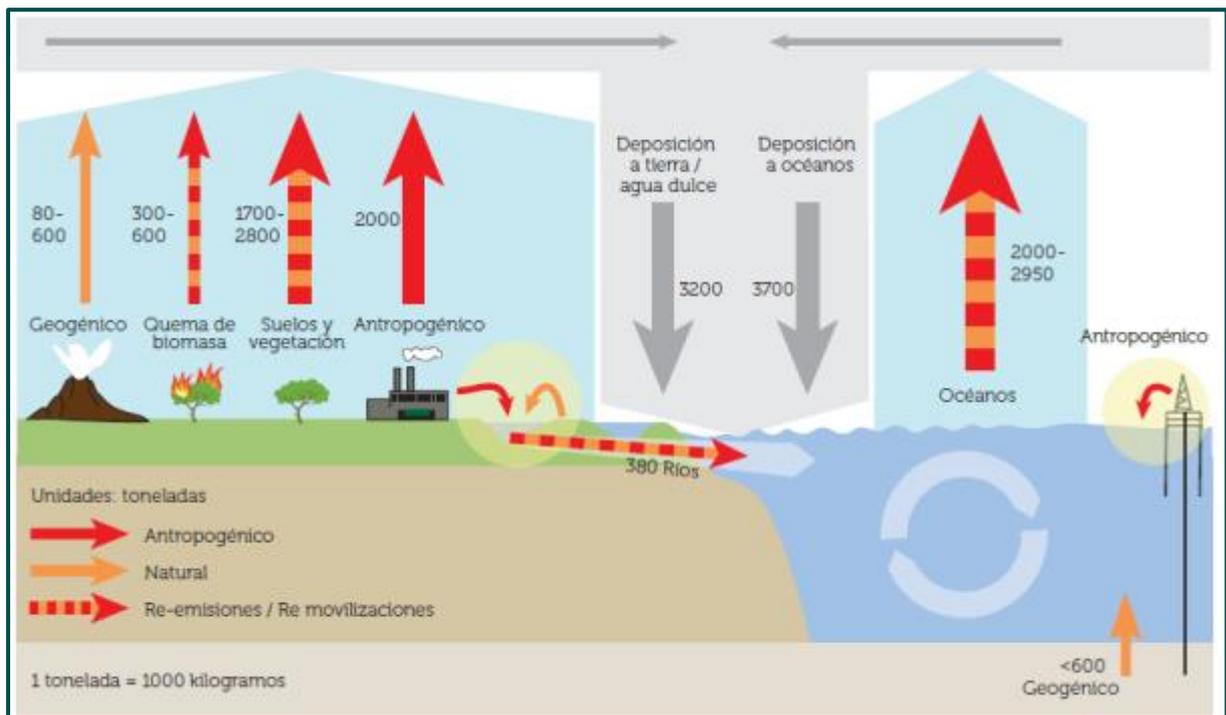


Figura 1: Ciclo global del mercurio. Liberaciones naturales y antropogénicas al aire y a la tierra y reemisiones de mercurio previamente depositadas del aire en los suelos, las aguas superficiales y la vegetación (valores expresados en toneladas). (Imagen modificada de (UNEP, 2013).

La liberación y deposición que experimenta el mercurio, evidencia la alta probabilidad de contaminación a la que se expone el ambiente y la salud humana. Entre 1932 y 1968 la empresa Chisso Corporation, productora de fertilizantes químicos, carburo y cloruro de vinilo vertió en la Bahía de Minamata, Japón alrededor de 27 toneladas de compuestos de mercurio y otros contaminantes. Hacia mediados de los '50, la gente empezó a notar síntomas extraños en el entorno: gatos que bailaban, pájaros en vuelo que súbitamente caían a la tierra y, peor aún, comportamientos anómalos en los seres humanos, como discursos sin sentido, movimientos involuntarios, desmayos y hasta ceguera (Yacuzzi, 2008).

En 1956 se documentó el primer caso de envenenamiento por mercurio a través de alimentos (en su forma de metilmercurio), cuando centenares de personas murieron por el consumo de peces contaminados de la bahía de Minamata, otras miles de personas sufrieron malformaciones y alteraciones permanentes en el sistema nervioso, y en particular el sistema nervioso en desarrollo (feto en el vientre materno). Debido a esto, y a la razón de que el mercurio puede ser transferido de una madre a su hijo durante el embarazo, ya que atraviesa la barrera placentaria, los bebés, niños y mujeres embarazadas, fueron las poblaciones más vulnerables. (PNUMA, 2017)

A raíz de este desastre ambiental desde el 2001, el Programa de las Naciones Unidas por el Medio Ambiente (PNUMA) se ha comprometido activamente a la implementación de políticas con respecto a la intoxicación por mercurio. En 2003, se examinaron distintas evaluaciones que se realizaron sobre el mercurio y sus efectos, y se concluyó que no había pruebas suficientes de impactos adversos mundiales significativos como para justificar una mayor acción internacional en la reducción de los riesgos para la salud humana y el medio ambiente. Entre 2005 y 2007 se estableció la Asociación Mundial sobre el Mercurio del PNUMA para hacer frente a las preocupaciones que se planteaban. En 2007, se concluyó que las opciones de medidas voluntarias y los instrumentos jurídicos internacionales deberían ser revisados y evaluados con el fin de avanzar en el tratamiento del problema del mercurio. En febrero de 2009, el Consejo de Administración del PNUMA decidió desarrollar un instrumento mundial jurídicamente vinculante sobre el mercurio. El trabajo para preparar este instrumento fue llevado a cabo por un Comité Intergubernamental de Negociación que se reunió desde junio de 2010 hasta enero de 2013. Posteriormente dicho Comité aprobó el proyecto final del texto del Convenio de Minamata sobre el Mercurio, que fue adoptado y quedó abierto a la firma durante un año, en la Conferencia Diplomática (Conferencia de Plenipotenciarios) celebrada en Kumamoto, Japón, en octubre de 2013. El convenio de Minamata entró en vigencia en agosto del 2017 y tiene como objetivo proteger la salud humana y el medio ambiente de las emisiones y liberaciones antropógenas de mercurio y compuestos de mercurio (PNUMA, 2017) .

La República Argentina a partir de septiembre de 2017 manifestó su consentimiento de ser parte de dicho Convenio registrando dos exenciones por un período de cinco años a partir del 2020 en la eliminación de termómetros con mercurio añadido en todos los hospitales y centros de salud del país. La otra exención por un período de cinco años a partir del 2025 es para la eliminación de mercurio o compuestos de mercurio utilizados en procesos de producción de cloro – álcali. (Ministerio de Relaciones Exteriores y Culto, 2017)

Según la última revisión disponible del inventario mundial de plantas de cloro-álcali con celdas de mercurio, en el año 2012 existían a nivel mundial 75 plantas con unos 5 millones de toneladas anuales de capacidad de producción de cloro con celdas de mercurio, un 20% menos que la capacidad existente en 2010. Esa reducción se debe al cierre de plantas, o a la reconversión de las mismas a tecnologías libres de mercurio, como es la utilización de celdas de membranas donde no se emplea dicho metal (García Valverde, 2016).

Luego del vertido accidental o intencional proveniente de diferentes actividades humanas el contenido de mercurio puede detectarse analíticamente en agua, suelo y/o plantas.

Las condiciones del suelo son favorables a la formación de complejos con aniones orgánicos y otros compuestos. El comportamiento acomplejante controla en gran medida la movilidad del mercurio en el suelo. Gran parte del mercurio se encuentra unido de esta manera a la masa de materia orgánica del suelo y puede ser lixiviado. Por estas razones, el mercurio tiene un largo tiempo de permanencia en el suelo y, por lo tanto, puede seguir liberándose a las aguas superficiales y a otros medios durante largos períodos de tiempo, posiblemente hasta cientos de años (Ministerio de Salud - Gobierno de Chile, 2014).

En este contexto es de gran importancia contar con información que permita conocer el impacto que el manejo de efluentes poco responsable por parte de las industrias puede tener sobre las condiciones del agua que será utilizada con múltiples funciones, incluyendo el consumo humano y las posibles consecuencias posteriores en la contaminación de alimentos.

Por otro lado, varios estudios sostienen que ciertas especies vegetales son capaces de remediar suelos contaminados con mercurio. La fitorremediación consiste en el empleo de plantas y sus microorganismos asociados para remover, transferir, estabilizar y/o degradar contaminantes en suelo, sedimentos y agua. Dependiendo del contaminante, las condiciones del lugar, el nivel de descontaminación requerido y los tipos de plantas, la fitorremediación puede ser usada con propósitos de retención (fitoestabilización y fitofiltración) o remoción (fitoextracción y fitovolatilización). Cada proceso requiere, en primer lugar, de la capacidad de las plantas para tolerar la toxicidad de los contaminantes y posteriormente la habilidad para acumular, translocar y/o volatilizar los mismos (Thangavel & Subbhuraam, 2004).

Entre las plantas que se han evaluado y determinado su potencial acumulador de mercurio están: pastos como cola de zorro (*Polypogon monspeliensis*) y otras como mostaza salvaje (*Arabidopsis thaliana*), mostaza china (*Brassica juncea*), camalote (*Eichornia crassipes*), totora (*Typha sp*) y maderables en especial el álamo (*Populus sp*), sauce (*Salix sp*) y eucalipto (*Eucalyptus sp*). Incluso se han reportado especies comestibles como maíz (*Zea mays*), tomate (*Solanum lycopersicum*), arvejas (*Pisum sativum L.*), trigo (*Triticum spp*), pimienta (*Capsicum annuum*) y espárragos (*Asparagus officinalis*) (Vidal Durango, 2009).

El estado electroquímico y la especiación química de elementos contaminantes pueden contribuir a su movilidad desde las raíces a los retoños. En el caso del mercurio se consideran las especies más móviles el mercurio elemental y el ión Hg (II). La mayoría del mercurio Hg (II) que es capturado permanece ligado a los tejidos de la raíz, mientras que el

Hg (0) capturado por las raíces y por las hojas es oxidado a Hg (II) y permanece ligado a los tejidos (Vidal Durango, 2009).

Algunos autores indican que cerca del 80 % del metal se adhiere a las paredes celulares, haciendo de la raíz una barrera que limita el paso del metal hacia las partes aéreas de la planta como un mecanismo de defensa tóxica (Pérez-Vargas, Vidal-Durango, & Marrugo-Negrete, 2014). Este proceso es atribuido al papel de las fitoquelatinas, moléculas de naturaleza peptídica sintetizadas en el citosol, que poseen aminoácidos azufrados a los que el mercurio se une con facilidad formando complejos acumulándose en las vacuolas, disminuyéndose así su translocación hacia tallos y hojas (Navarro, 2007).

Especies como el tabaco, canola o colza, el algodón de madera, y el álamo amarillo han sido modificadas genéticamente para tolerar niveles de mercurio para poder ser utilizadas como fitorremediadoras, en estas especies se incorporaron genes bacterianos cuya expresión permite incrementar la tolerancia al mercurio mediante la transformación de metilmercurio y Hg (II) a Hg (0) (Vidal Durango, 2009).

1-3. Manejo del mercurio y contaminación en Mendoza.

En el año 2010 en la provincia de Mendoza, Argentina, se produjo un importante incidente que involucró la liberación de mercurio metálico proveniente de una industria del departamento de Luján de Cuyo que se dedicaba a la elaboración de cloro – álcali utilizando el método de la celda de cátodo de mercurio para su obtención, esto ocasionó la consecuente contaminación del suelo y el agua de un cauce. En este proceso electrolítico es necesario reponer el mercurio utilizado, lo que genera “lodos” ricos en mercurio metálico que se depositaban en diferentes recintos de la planta (Diario La Nación, 2010).

Lo crucial de este hecho puntual fue la acumulación en forma deliberada de este metal y la disposición final de estos lodos en forma inconsciente a través del sistema cloacal lo que produjo un colapso de éste haciendo que se desbordara volcando este residuo hacia el Canal Cacique Guaymallén. Se produjo la contaminación de este canal y se vio afectado todo el caudal de agua teniendo un efecto negativo para las industrias que hacían uso de este recurso. Esta situación produjo que las plantas potabilizadoras de agua cesaran su funcionamiento y es posible que el agua contaminada haya llegado a distintos hogares e incluso a los sectores agrícolas productivos (Morán, 2014).

El Sistema Cacique Guaymallén es una red de subsistemas conectados que se determinan entre sí: riego, agua potable, colector pluvioaluvional y conectividad. Este canal, que tiene casi 40 kilómetros de longitud y sólo 10 de ellos impermeabilizados, implica la

mitad del sistema de riego de todo el río Mendoza y tiene una superficie de 38.000 hectáreas en 17.000 parcelas de riego. Los problemas actuales del sistema tienen directa relación con sus funciones: es un canal matriz de riego, pero a la vez es el principal colector pluvioaluvional de la provincia, lo que entorpece su función anterior; como abastecedor de agua lleva más de la mitad del caudal que se potabiliza en el Gran Mendoza por cauces abiertos que atraviesan zonas urbanas (Menéndez, 2002).

El Canal Cacique Guaymallén constituye actualmente junto con el Río Mendoza y el canal San Martín el sistema primario de riego, que es administrado directamente por el estado a través de Departamento General de Irrigación. El Canal Cacique Guaymallén nace en el Río Mendoza y en su recorrido atraviesa los departamentos de Luján de Cuyo, Godoy Cruz, Guaymallén, Capital y Las Heras. Al pasar por la mancha urbana, se convierte en borde y límite departamental sucesivamente entre: Godoy Cruz y Guaymallén., Capital y Guaymallén, Las Heras y Guaymallén. Finalmente se pierde hacia el NE donde se deriva y divide en varios canales menores entre ellos el Jocolí y el Tulumaya (Ministerio de Agroindustria, 2016).

Dadas estas condiciones y funciones del canal Cacique Guaymallén, el riesgo que involucra su uso es elevado. Esto ha derivado entre otros problemas a una situación de vulnerabilidad involucrando: colapsos, desbordes, ordenamiento territorial deficiente, infraestructura insuficiente, deterioro, escaso control de vuelcos de efluentes cloacales e industriales y como consecuencia un elevado riesgo de afectación sanitaria a la población. (Morán, 2014).

Debido a todo lo expuesto anteriormente es necesario conocer la situación actual de la contaminación con mercurio que reviste el Canal Cacique Guaymallén luego de transcurrir algunos años desde el vuelco de lodos enriquecidos con dicho metal y el riesgo potencial que esto significa para la población y el medio ambiente.

2- HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

2-1. Hipótesis: Existe contaminación del cauce del Canal Cacique Guaymallén con mercurio en estado elemental debido al manejo inadecuado de residuos contaminantes por parte de una fábrica elaboradora de cloro – álcali.

2-2. Objetivo general:

- Evidenciar la contaminación con mercurio en un tramo del Canal Cacique Guaymallén luego de ocurrido el vuelco de este metal por parte de una planta elaboradora de sustancias química y verificar su evolución en el tiempo.

2-3. Objetivos particulares.

- Determinar el contenido de mercurio en suelo y agua en un sector del canal Cacique Guaymallén cercano a las instalaciones de una empresa elaboradora de productos químicos.
- Evaluar el nivel de contaminación en suelos y agua luego de haber transcurrido dos, tres y ocho años del derrame de mercurio.
- Reunir información de la posible acumulación de mercurio en plantas a partir de la contaminación presentes en agua y suelo.

3- MATERIALES Y MÉTODOS

3-1. Área de estudio

La zona de estudio se estableció en una franja adyacente a la industria elaboradora de cloro – álcali, donde en el año 2010 se produjo una importante contaminación con mercurio; limitando al este con el canal Cacique Guaymallén, entre las siguientes coordenadas: S 32° 58' 42,6" WO 68° 51' 38,5" y S 32° 58' 29,7" WO 68° 51' 35,7" (Figura 2).



Figura 2. Imagen satelital detallando los puntos de muestreo de la zona de estudio. Fuente: elaboración propia de una imagen de Google Earth. Las siglas que aparecen en esta figura hacen referencia a los distintos puntos de muestreo.

3-2. Muestreo

El muestreo se llevó a cabo en tres años diferentes 2012, 2013 y 2018 a fin de evaluar la variación en el tiempo de la presencia de mercurio en muestras de suelo y las muestras de agua solo pudieron ser extraídas durante los muestreos realizados en 2013 y 2018. Se extrajeron muestras de agua y suelo siguiendo los criterios dados por las normas Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM, 1999), se definieron siete puntos de muestreo, se extrajeron muestras de agua y suelo de cada punto. Por punto de muestreo se extrajeron dos submuestras que fueron compensadas y luego analizadas por triplicado.

Las muestras de agua fueron designadas como PM del número 1 al 7, los envases utilizados fueron de 1 L de capacidad y se conservaron refrigeradas y aciduladas con ácido nítrico (HNO_3) hasta $\text{pH} < 2$ respetando la metodología de conservación y espera según las Normas de la EPA (Environmental Protection Agency, 2014). Las muestras se extrajeron superficialmente desde el margen del canal en el lateral oeste del mismo.

Las muestras de suelo fueron designadas como PA del número 1 al 7, para la recolección de dichas muestras se utilizaron envases de vidrio y se conservaron refrigeradas hasta el momento de su análisis respetando la metodología de conservación y espera según las Normas de la EPA (Environmental Protection Agency, 2014). Las muestras se extrajeron en forma superficial a 20 cm de profundidad aproximadamente, la toma de muestra fue en el

camino o corona del canal (Figura 3), limitando al oeste con la fábrica en conflicto y al este con el Canal Cacique Guaymallén.

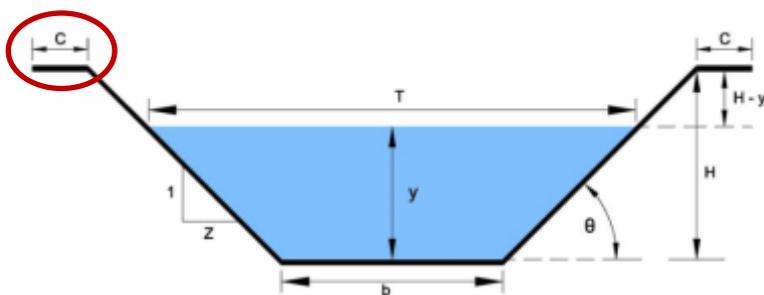


Figura 3: Elementos geométricos de la sección transversal de un canal. (y : Tirante de agua o profundidad; b : Ancho solera del canal; T : Ancho de la superficie libre del

agua (Espejo); **C: Camino o corona del canal**; **H:** Altura del canal). Imagen de (Gálvez Riberin & Camacho Salazar, 2006)

La distancia entre el primer punto de muestreo (B) y el último punto muestreado (P7) fue de 402 m, en la tabla 1 se muestran las distancias entre los puntos de muestreo.

Tabla 1: Distancia entre puntos de muestreo, expresada en metros.

Puntos de muestreo	Distancia (m)
BA – P1	62
P1 – P2	31
P2 – P3	62
P3 – P4	31
P4 – P5	62
P5 – P6	31
P6 – P7	123
P1 – P7	340
B – P7	402

3-3. Análisis

Una vez obtenidas las muestras (Figura 4) fueron llevadas al Laboratorio de Análisis Instrumental de la Facultad de Ingeniería – UNCUIYO para su procesamiento y posterior análisis.

Figura 4: Muestras de agua y suelo después de su recolección y acondicionamiento, para ser trasladadas al laboratorio.



Todas las drogas utilizadas en el laboratorio para realizar las digestiones y la determinación de mercurio tanto para muestras de suelo como para las muestras de agua son de grado analítico pro análisis y con ausencia de mercurio.

3-3-1. Digestión de muestras

Las muestras de agua se procesaron y analizaron siguiendo las especificaciones de la norma EPA 7470 A (EPA 7470 A, 1994): procedimiento de absorción atómica de vapor frío utilizada para determinar la concentración de mercurio en extractos de desechos acuosos y aguas subterráneas. Dicha norma establece el siguiente procedimiento: se transfieren 100 mL de muestra a un erlenmeyer, se agrega ácido sulfúrico y nítrico concentrado, luego se añade permanganato de potasio al 5% y persulfato de potasio al 5%, se calienta por 120 minutos a 95°C, se deja enfriar y se adiciona clorhidrato de hidroxilamina (12% p/v de cloruro de sodio y 12% p/v de hidroxilamina) para reducir el permanganato excedente que no reaccionó. Se lleva a volumen adecuado con agua destilada para su análisis.

Las muestras de suelo fueron procesadas y analizadas de acuerdo a especificaciones de la Norma EPA 7471 B para medir el mercurio total (orgánico e inorgánico) en suelos, sedimentos, depósitos de fondo y materiales tipo lodo (EPA 7471 B, 2007). Dicha norma utiliza el siguiente procedimiento: pesar por duplicado entre 0,5 y 0,6 g de suelo aproximadamente, agregar agua regia y agua destilada en partes iguales, calentar por el término de dos minutos, enfriar, agregar nuevamente agua destilada y permanganato de potasio al 5%, calentar por 30 minutos a $95\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$, dejar enfriar y adicionar clorhidrato de hidroxilamina (12% p/v de cloruro de sodio y 12% p/v de hidroxilamina) para reducir el permanganato excedente que no reaccionó. Luego filtrar y llevar a volumen adecuado con agua destilada para su análisis.

Los métodos mencionados anteriormente para la determinación de mercurio en agua y suelo, utilizaron estándares de trabajo cuyas concentraciones varían de 0 a $25\text{ }\mu\text{g L}^{-1}$, estos estándares fueron obtenidos de diluciones sucesivas de un patrón certificado de mercurio. A los estándares de trabajo se los procesó de igual manera que a las muestras.

3-3-2. Determinación de mercurio

Para la determinación de mercurio se utilizó la técnica de absorción atómica de vapor frío o generador de hidruros (HVG) a una longitud de onda de 253,7 nm. El mercurio se reduce a estado elemental y es evaporado de la solución en un sistema cerrado. El vapor de mercurio pasa a través de una celda situada en la trayectoria de la luz de un espectrofotómetro de absorción atómica obteniéndose una señal expresada en absorbancia,

esta absorbancia luego se traduce a unidades de concentración expresadas en partes por billón (ppb).

Para el análisis de mercurio se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica marca SHIMADZU modelo AA 7000 con acoplamiento de generador de hidruros marca SHIMADZU modelo HVG-1(Figura 5).



Figura 5: Equipo de absorción atómica Shimadzu AA 7000 con acoplamiento de generador de hidruros utilizado en la determinación de mercurio.

La norma EPA 7000B define “Límite de Detección” (LD) como una herramienta para evaluar el nivel de ruido del instrumento de medición y los cambios de respuesta a lo largo del tiempo, a través de una serie de análisis de un blanco de reactivos (se analizan todos los reactivos que se utilizan en el tratamiento de las muestras). Los límites de detección pueden estimarse realizando siete mediciones del blanco de reactivos en tres días distintos, el promedio de las desviaciones estándares de dichas mediciones por un factor de tres.

El límite de cuantificación (LQ) puede estimarse realizando siete mediciones del blanco de reactivos en tres días distintos, el promedio de las desviaciones estándares de dichas mediciones por un factor de diez (EPA 7000 B, 2007).

3-3-3.Análisis estadístico.

Para analizar los resultados obtenidos para las muestras correspondientes al mismo punto de muestreo en los diferentes momentos de muestreo se utilizó el programa STATGRAPHICS Centurion para realizar análisis de la varianza (ANOVA) para observar si existen diferencias significativas en los valores de Mercurio hallados, también se analizó una prueba de múltiples rangos para observar entre cuales muestras la existió diferencia estadísticamente significativa. En todos los casos se utilizó un nivel de significancia de 0,05

(Ver Anexo). Además se elaboraron gráficos de caja y bigote para representar la variabilidad de los resultados.

4- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4-1. Muestras de Agua.

Las muestras de agua fueron obtenidas en dos etapas, con cinco años de diferencia entre muestreos. La primera toma de muestra fue en el año 2013 (Figura 6) y la segunda en el 2018. Las muestras de agua fueron designadas con las letras PM del 1 al 7, la muestra BM se utilizó como “control” y se extrajo a 62 m aguas arriba del predio de la fábrica.



Figura 6: Muestreo de agua a orillas del Canal Cacique Guaymallén. Año 2013

En la tabla 2 y en la figura 8 se presentan los resultados obtenidos en los diferentes muestreos.

Tabla 2: Contenido promedio de mercurio en muestras de agua extraídas del canal Cacique Guaymallén, correspondientes a los puntos de muestreo. El límite de detección es de 0,0005. ND = No Detectado.

Muestras	Muestreo	
	2013 Hg (mg L ⁻¹)	2018 Hg (mg L ⁻¹)
BM	ND	ND
PM1	0,0018	ND
PM2	0,0022	ND
PM3	0,0013	ND
PM4	0,0011	ND
PM5	0,0032	ND
PM6	0,0014	ND
PM7	0,0012	ND

Para evaluar el impacto de los valores hallados se tuvieron en cuenta los límites permitidos aplicables de acuerdo a la legislación vigente para este tipo de muestras. Dichos límites se muestran en la figura 7.

Figura 7: Límites permitidos para mercurio en agua, expresados en mg L^{-1} .

C.A.A.: Código Alimentario Argentino. L.R.P.: Ley 24051. Decreto 831/73 (Ley de Régimen de Desechos Peligrosos). Anexo II Tabla 1. Niveles guía de calidad de agua para bebida humana con tratamiento convencional.

D.G.I.: Departamento General de Irrigación. Resolución N° 778/96. Anexo I Normas para vertido de Líquidos a Cuerpos Receptores.

0.001	•CAA
0.001	•LRP
< 0.001	•DGI (permitido)
0.005	•DGI (tolerable)

El gráfico de caja y bigotes (Figura 8) permite valorar el nivel de dispersión presente en estas muestras y las diferencias significativas en los valores mencionados.

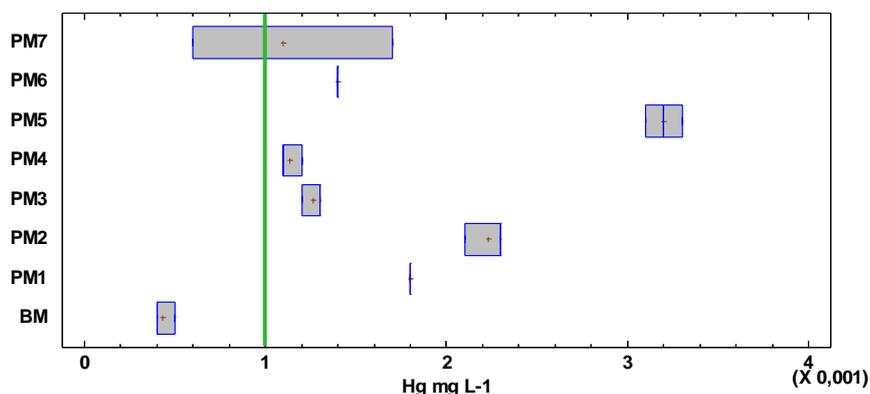


Figura 8: Concentración de mercurio (Hg) expresado en mg L^{-1} en muestras de agua obtenidas en los distintos puntos de muestreo en el año 2013. La línea verde corresponde al límite permitido por el Código Alimentario Argentino y Ley de Régimen de Desechos Peligrosos (Figura 7).

Nota: para la muestra BM se ha utilizado el dato del límite de detección (0,0005) para realizar este gráfico.

Puede observarse que en el año 2013 todas las muestras de agua, excepto la denominada como BM (muestra tomada a 62 m aguas arriba del predio en conflicto.), superan los límites permitidos por las tres legislaciones antes mencionadas (Tabla 3) obteniendo la muestra PM5 el mayor contenido de mercurio. Además, los valores obtenidos en los puntos medios (PM3, PM4) y más alejados (PM6 y PM7) del muestreo mostraron valores homogéneos entre sí, pero los puntos iniciales del muestreo (PM1 y PM2) presentaron contenidos superiores de Hg y como ya se mencionó el punto PM5 fue ampliamente superior.

En el año 2018 todas las muestras dieron como resultado “No Detectado” con un límite de detección de $0,0005 \text{ mg L}^{-1}$. Debe destacarse que semanas antes del muestreo 2018 se registraron varios días con intensas lluvias (Cátedra de Meteorología, 2018), lo que podría haber provocado un aumento del caudal del canal y como consecuencia una disminución del valor en la concentración de mercurio en el agua en el momento evaluado.

Es importante evaluar la presencia de mercurio en esta zona luego de ocurrido el vuelco y en diferentes momentos posteriores, debido a que cada vez que suceden precipitaciones en forma de lluvia, nieve o granizo es probable que haya arrastre de esta contaminación hacia el canal y que se vea afectada el agua que circula por este.

Por otro lado, el mercurio es biotransformado, en especial en agua de ríos por la presencia de microorganismos y es incorporado a las cadenas tróficas como metilmercurio; compuesto de mercurio más tóxico conocido debido que se acumula en el hígado y en el sistema nervioso adquiriendo un alto riesgo para salud. En medio anaerobio en presencia de *Pseudomonas* puede reducirse el dimetilmercurio a Hg_0 , y éste en presencia de suficiente oxígeno puede oxidarse a Hg^{2+} (Jiménez Gómez, 2005).

4-2. Muestras de Suelo.

En este caso las muestras pudieron ser obtenidas en tres muestreos diferentes, el primero fue en el año 2012, el segundo en el 2013 (Figura 9) y el tercero en el 2018. A continuación se muestran los resultados obtenidos de mercurio, expresados en mg kg^{-1} , de los diferentes muestreos.



Figura 9: Muestreo de suelo en el perímetro externo de la fábrica en el camino oeste del canal Cacique Guaymallén. Año 2013.

Tabla 3: Contenido promedio de mercurio en muestras de suelo, extraídas de la sección denominada camino o corona del canal Caci que Guaymallén, correspondiente a los distintos puntos de muestreo. El límite de detección es de 0,2 y el límite de cuantificación de 0,5.

Muestras	Muestreo		
	2012 Hg (mg kg ⁻¹)	2013 Hg (mg kg ⁻¹)	2018 Hg (mg kg ⁻¹)
BA	ND	ND	1,3
P1A	1,0	1,2	< 0,5*
P2A	3,0	0,8	6,5
P3A	9,4	0,9	2,1
P4A	1,3	20	60
P5A	39	2,5	< 0,5*
P6A	< 0,5*	2,9	139
P7A	S/D	67	54

ND: No Detectado; S/D: Sin Dato; * Muestras con un contenido inferior al límite de cuantificación.

Para evaluar el impacto o significancia de los valores hallados se tuvieron en cuenta los límites permitidos por la Ley 24.051 sobre Régimen de Desechos Peligrosos. Dichos límites se muestran en la figura 10. El 78 % de las muestras analizadas superaron el límite para suelo de uso agrícola de la Ley 24051. La provincia de Mendoza adhiere a dicha ley a través del decreto N° 2.625/99 “Generación, manipulación, transporte, tratamiento y disposición final de residuos peligrosos” (reglamentación ley n° 5.917.Modificado por Decreto N° 851/02).



Figura 10: Niveles guías de calidad de suelo de mercurio, expresados en mg kg⁻¹. Decreto Reglamentario 831/93 de la Ley 24.051 sobre Régimen de Desechos Peligrosos. (L.R.P.). Anexo II Tabla 9.

4-2.1 Resultados de la Muestra BA

La muestra BA fue tomada aguas arriba en el punto accesible más alejado del predio en conflicto (Figura 11). Esta muestra se extrajo para ser utilizada como “control”, ya que corresponde a un punto en el cual no debería registrarse presencia del contaminante atribuido a la actividad de esta industria.

Figura 11: Extracción de la muestra BA usada como control a 62 m del perímetro del lote donde se asentaba la fábrica de cloro – álcali. Muestreo año 2018



En el muestreo del año 2012 (BA12) y del año 2013 (BA13) no se observó presencia de mercurio ya que el valor obtenido fue “No Detectado”, significa que el equipo no presenta respuesta al leer esta muestra, en este caso se utiliza el límite de detección, que para el caso de suelos es de 0,2 mg kg⁻¹. En cambio en el año 2018 (BA18) el valor de mercurio supera el límite la L.R.P. legislado para suelos de uso agrícola (Figura 10 y 11). Este resultado es preocupante ya que ocho años después el nivel encontrado en esta zona indica un aumento del nivel de contaminación, esto puede deberse a la característica del Hg de movilizarse de un lugar a otro en el ambiente.

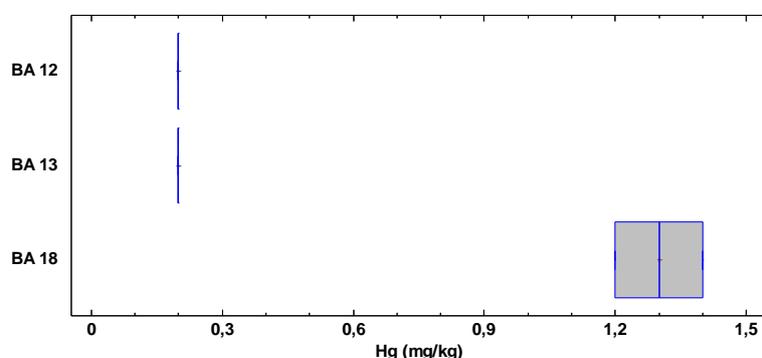


Figura 12: Concentración de mercurio expresado en mg kg⁻¹ en el punto de muestreo designado como BA, en los tres años de muestreo.

Nota: para los años de muestreo 2012 y 2013 se ha utilizado el dato del límite de detección (0,2) para realizar este gráfico.

De acuerdo a los análisis estadísticos presentados en el Anexo, los valores correspondientes al año 2018 en este punto fueron significativamente superiores.

4-2.2 Resultados de la Muestra P1A

Esta muestra fue obtenida del primer punto de muestreo ubicado a 62 m del punto BA en el lateral exterior del predio de la fábrica, el lineamiento seguido para la extracción de las muestras fue de sur a norte.

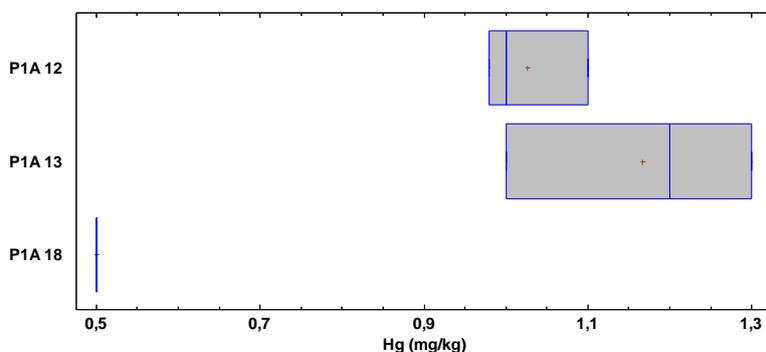


Figura 13: Concentración de mercurio expresado en mg kg^{-1} en el punto de muestreo designado como P1A, en los tres años de muestreo.

Nota: para el año de muestreo 2018 se ha utilizado el dato del límite de cuantificación (0,5) para realizar este gráfico.

En el muestreo del año 2012 (P1A12) y 2013 (P1A13) los valores obtenidos en este punto superaron el límite de suelo para uso agrícola de la L.R.P. (Figura 10 y 13). En el muestreo del año 2018 (P1A 18) se observó una disminución de la concentración de mercurio, cuyo resultado fue menor al límite de cuantificación que para el caso de suelos es de $0,5 \text{ mg kg}^{-1}$.

De acuerdo a los análisis estadísticos presentados en el Anexo, los valores correspondientes al año 2018 en este punto fueron significativamente inferiores.

4-2.3 Resultados de la Muestra P2A

Este punto de muestreo se encuentra a 31 m del punto P1A. Puede observarse que en el muestreo 2012 (P2A12) el valor obtenido supera los límites de la L. R. P. para suelo de uso agrícola y residencial (Figura 10 y 14), en 2013 (P2A13) el valor disminuyó a 0,8 que coincide con el límite de suelo de agrícola, en 2018 (P2A18) el valor de mercurio aumentó a más del doble del resultado obtenido en el muestreo del 2012, superando el límite de suelo de usos residencial (Figura 10).

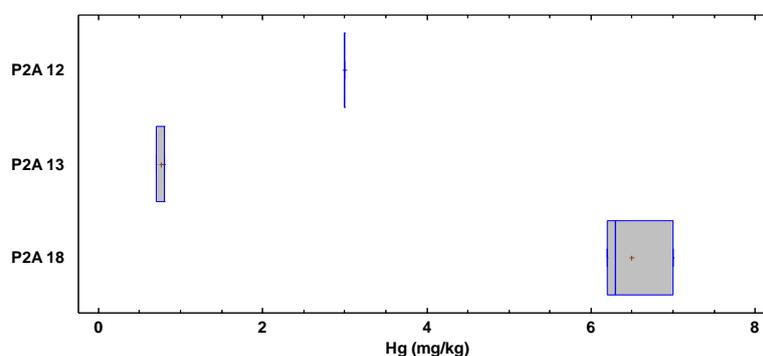


Figura 14: Concentración de mercurio expresado en mg kg^{-1} en el punto de muestreo designado como P2A, en los tres años de muestreo.

De acuerdo a los análisis estadísticos presentados en el Anexo, los valores correspondientes a los tres muestreos presentaron diferencias significativas entre sí.

4-2.4 Resultados de la Muestra P3A

Esta muestra se extrajo a 62 m del punto anterior. El valor de mercurio encontrado en el año 2012 (P3A12) superó el límite de suelo para uso residencial, en el año 2013 (P3A13) disminuye el valor por debajo del límite residencial, pero por encima del límite de suelo de uso agrícola, en cambio en el muestreo del año 2018 (P3A18) el valor de mercurio aumentó a más del doble del valor obtenido en el muestreo del año 2013, superando al límite permitido para suelo de uso residencial (Figura 10 y 15).

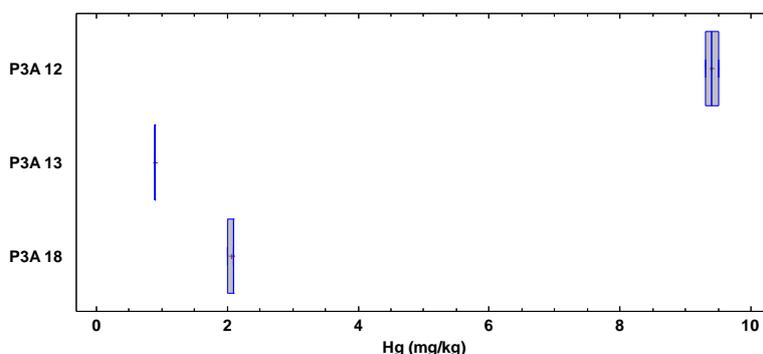


Figura 15: Concentración de mercurio expresado en mg kg^{-1} en el punto de muestreo designado como P3A, en los tres años de muestreo.

De acuerdo a los análisis estadísticos presentados en el Anexo, los valores correspondientes a los tres muestreos presentaron diferencias significativas entre sí.

4-2.5 Resultados de la Muestra P4A

Este punto de muestreo se encuentra a 31 m del punto P3A. El valor obtenido en el año 2012 (P4A12) fue mayor al límite de suelo de uso agrícola, en 2013 (P4A13) aumentó

mucho más superando el límite de uso residencial, muy cercano al límite de suelo de uso industrial, en el muestreo del año 2018 (P4A 18) el valor de mercurio superó el límite determinado para suelo de uso industrial (Figura 10 y 16).

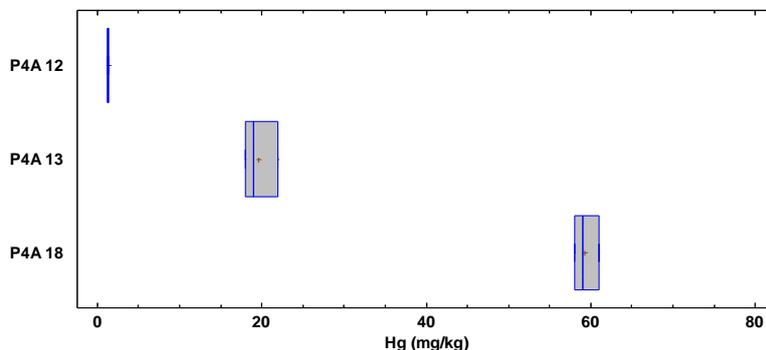


Figura 16: Concentración de mercurio expresado en mg kg^{-1} en el punto de muestreo designado como P4A, en los tres años de muestreo.

De acuerdo a los análisis estadísticos presentados en el Anexo, los valores correspondientes a los tres muestreos presentaron diferencias significativas entre sí.

4-2.6 Resultados de la Muestra P5A

En el año 2012 (P5A12) el resultado obtenido supera el límite permitido para suelos de usos industrial, en 2013 (P5A13) se ve una disminución del valor obtenido de 39 a 2,5 mg kg^{-1} aunque de todos modos supera el límite para uso residencial (Figura 10 y 17), en el año 2018 (P5A18) se obtiene un valor inferior al LQ del equipo.

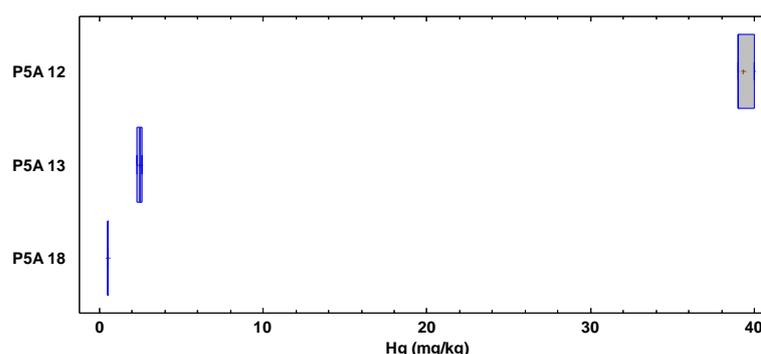


Figura 17: Concentración de mercurio expresado en mg kg^{-1} en el punto de muestreo designado como P5A, en los tres años de muestreo. Nota: para el año de muestreo 2018 se ha utilizado como dato del límite de cuantificación (0,5) para realizar este gráfico.

En este punto en particular se determinó una disminución del contenido de mercurio a lo largo de los tres años muestreados, esto podría deberse al lugar donde se localiza este punto muestreado ya que se encuentra muy cerca del margen del canal y cuando el caudal de éste se incrementa dicho punto de muestreo se inunda.

De acuerdo a los análisis estadísticos presentados en el Anexo, los valores correspondientes al muestreo del año 2012 fueron significativamente superiores.

4-2.7 Resultados de la Muestra P6A

En el transcurso de los años muestreados en este punto se observó un incremento en el contenido de mercurio, obteniéndose en el año 2012 (P6A12) un valor inferior al LQ, en el año 2013 (P6A13) el contenido de mercurio superó el límite de suelo para uso residencial, en el año 2018 (P6A18) el resultado de mercurio superó casi siete veces el límite permitido de suelo para usos industrial (Figura 10 y 18), esto evidencia la propiedad del Hg de bioacumularse y de persistir en el tiempo. Este punto muestreado es donde se encontró la mayor presencia de mercurio de los tres años muestreados.

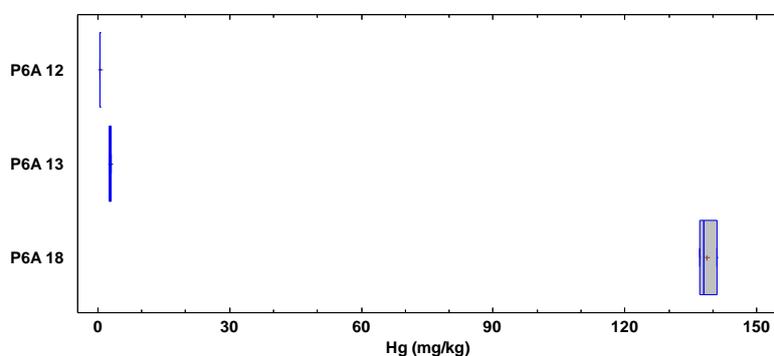


Figura 18: Concentración de mercurio expresado en mg kg^{-1} en el punto de muestreo designado como P6A, en los tres años de muestreo.

Nota: para el año de muestreo 2018 se ha utilizado el dato del límite de cuantificación (0,5) para realizar este gráfico.

De acuerdo a los análisis estadísticos presentados en el Anexo, los valores correspondientes al muestreo del año 2018 fueron significativamente superiores.

4-2.8 Resultados de la Muestra P7A

En el muestreo 2012 no se pudo extraer muestra de este punto ya que fue imposible acceder. En el año 2103 (P7A13) y en el año 2018 (P7A18) el valor obtenido supera el límite de suelo de uso industrial (Figura 10 y 19).

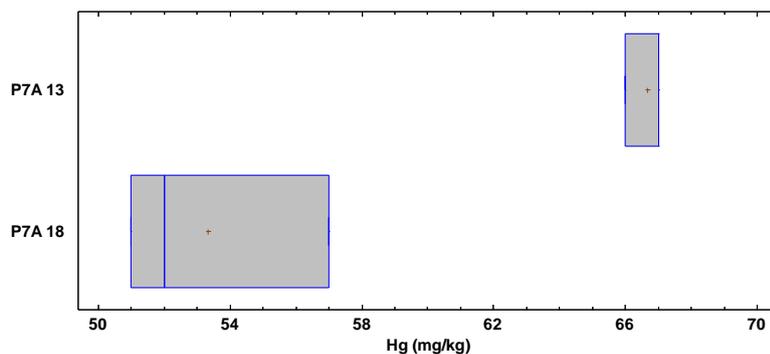


Figura 19: Concentración de mercurio expresado en mg kg^{-1} en el punto de muestreo designado como P7A, en los dos años de muestreo.

De acuerdo a los análisis estadísticos presentados en el Anexo, los valores correspondientes a los dos muestreos presentaron diferencias significativas entre sí.

En la figura 20 se encuentran resumidos los resultados anteriormente expuestos, destacando que el mayor valor de mercurio obtenido en los tres años muestreados fue el punto P6A-18, luego se encuentran los puntos P7A13; P4A18; P7A18 y P5A12; todos estos valores superan el límite de suelo de uso industrial de la Ley de residuos peligrosos.

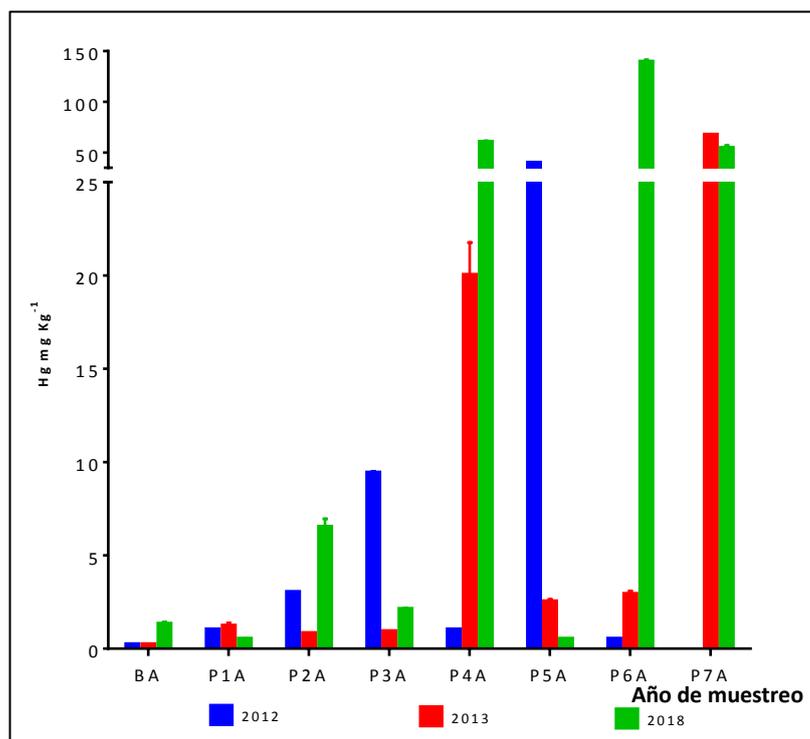


Figura 20: Valores promedio de mercurio expresados en mg kg^{-1} de muestras de suelo, en los distintos puntos de muestreo, en los tres diferentes años de muestreo.

Con respecto a los puntos de muestreo podemos observar que el mayor contenido de mercurio obtenido en el año 2012 fue el punto P5A y el más bajo fue el punto P1A. En el muestreo del año 2013 el valor más alto fue el punto P7A y el más bajo el P2A. En el

muestreo 2018 el valor más alto se encontró en el punto P6A y el más bajo fue el punto BA. En este análisis no se ha tenido en cuenta las muestras cuyos resultados fueron ND e < LQ.

Días previos al muestreo 2018 hubieron precipitaciones lo que podría haber provocado que en algunos puntos de muestreo; como en los puntos P2A, P4A y P6A; se vea un incremento de mercurio por escurrimiento de la contaminación presente en estratos superiores a los puntos muestreados, o una disminución de la concentración de mercurio como en el caso del punto P5A debido a que este punto de muestreo es el más cercano al margen del canal podría haber sufrido un lavado y posterior arrastre de mercurio hacia el canal.

Otro factor que podría estar causando la presencia de estos contenidos de mercurio después de varios años es la movilidad y disponibilidad de este metal en el suelo. En los primeros centímetros de suelo es donde suele encontrarse la mayor concentración de mercurio y éste disminuye según avanza en profundidad.

Esto se relaciona con la disponibilidad de mercurio que depende de su especie química y de las propiedades que presenta el suelo (pH, potencial redox y contenido en coloides). Así podemos encontrar que a pH ácido (<2) la especie predominante es Hg^{2+} , al ir aumentando el pH predomina $HgOH^+$ y a $pH > 4,5$ se puede encontrar $Hg(OH)_2$ (que al ser inestable descompone en $HgO + H_2O$). A condiciones moderadas de oxidación y con $pH > 5$ la especie que predomina es Hg_0 , en condiciones reductoras el mercurio puede precipitar como HgS ; en condiciones de reducción más fuertes, aumenta la solubilidad por conversión de Hg^{2+} a Hg_0 o a HgS^- si el pH es elevado (Jiménez Gómez, 2005).

La concentración de mercurio en el suelo está controlada por reacciones de adsorción – desorción con la materia orgánica y los minerales, reduciendo la pérdida de mercurio por volatilización. Sin embargo, las precipitaciones ocasionan una disminución de la concentración de mercurio en las capas superficiales y un aumento en las capas profundas. La formación de complejos con la materia orgánica reduce la movilidad del metal. A $pH < 4$ el mayor adsorbente de mercurio es la materia orgánica; mientras que a $pH > 5,5$ son los óxidos de hierro y los minerales de la arcilla. (Jiménez Gómez, 2005).

Durante el muestreo 2013 se encontró una planta de tomates *Solanum lycopersicum* (Figura 19) en las cercanías donde se obtuvo la muestra P4A, así mismo en el año 2018 se encontró en las cercanías del punto de muestreo P5A un ciruelo *Prunus cerasifera var. Pissardii*. Lo que podría ser un riesgo si alguna persona de las viviendas aledañas al lote donde se asentaba la industria elaboradora de cloro – álcali o cualquier otra persona se aventurara a obtener dichos frutos, ya que existen estudios que determinan que al menos las plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) son potenciales acumuladoras de mercurio

(Vidal Durango, 2009). Si esto ocurre se incrementaría el riesgo para dichas personas, no solo por la exposición a los desechos enterrados en el lote sino también por el consumo de estos vegetales.



Figura 21: Plantas de *Solanum lycopersicum* halladas en las cercanías del punto de muestreo P4A. Año 2013

5- CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede concluir que existe contaminación con mercurio en la zona debido a que éste es persistente, capaz de movilizarse, de formar compuestos orgánicos, de bioacumularse y biomagnificarse en el ambiente. Esto podría acarrear una potencial contaminación hacia las napas de agua y producir una contaminación aún mayor teniendo en cuenta que en nuestra provincia el agua es recurso escaso.

Hay que tener en cuenta que las muestras de este trabajo se extrajeron en la periferia de la empresa elaboradora de cloro – álcali desde la cual se produjo el manejo inadecuado de residuos que derivó en la contaminación del agua del Canal Caci que Guaymallén en el año 2010 provocando el cierre de las plantas potabilizadoras de Benegas y Alto Godoy hasta que concluyera su saneamiento. Se podría presuponer que en el terreno de la empresa se podrían encontrar valores de mercurio aún mayores a los presentados en esta tesis.

En base a los resultados obtenidos se propone impermeabilizar el Canal Caci que Guaymallén y realizar estudios más exhaustivos en esta zona muestreando el suelo de la fábrica y sus alrededores a distinta profundidad, así como también los cultivos que se encuentren en la cercanía de la fábrica y que sean regados con el agua del canal. También se recomienda analizar el estado de contaminación o no de las napas de agua y abarcar un

terreno más amplio para conocer la distribución que puede llegar a tener en este momento el contenido de mercurio.

Se propone elaborar un informe y presentarlo ante las autoridades competentes de la provincia de Mendoza como la Secretaría de ambiente y ordenamiento territorial y la Dirección General de Irrigación (DGI) ya que este organismo administra el recurso hídrico en la provincia, reglamentando y fiscalizando su uso.

6- BIBLIOGRAFIA

- Blesa, M., & Castro, G. (2015). Historia natural y cultural del mercurio. Buenos Aires: Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias.
- Cátedra de Meteorología de la Facultad de Ciencias Agrarias - Universidad Nacional de Cuyo. (2018). Boletín Agrometeorológico, XXX(12), 1.
- Centro Coordinador Convenio Basilea - Centro Regional Convenio de Estocolmo para América Latina y el Caribe - CCCB/CRCE. (2014). El Convenio de Minamata sobre el Mercurio y su implementación en la región de América Latina y el Caribe. Montevideo - Uruguay: Webinteligente.
- Diario La Nación. (2010). Recuperado el 12 de Septiembre de 2018, de Diario La Nación: <https://www.lanacion.com.ar/1256560-cierran-una-fabrica-por-contaminacion>
- Environmental Protection Agency. (Julio de 2014). https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-10/documents/chap3_1.pdf. Recuperado el 01 de Abril de 2012, de <https://www.epa.gov>
- Environmental Protection Agency. Norma EPA 7000 B. (Febrero de 2007). www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/7000b.pdf. Recuperado el 01 de Abril de 2012, de <https://www.epa.gov>
- Environmental Protection Agency. Norma EPA 7470 A. (Septiembre de 1994). www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/7470a.pdf. Recuperado el 01 de Abril de 2012, de <https://www.epa.gov>
- Environmental Protection Agency. Norma EPA 7471 B. (Febrero de 2007). www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/7471b.pdf. Recuperado el 01 de Abril de 2012, de <https://www.epa.gov>
- Gálvez Riberin, H.; Camacho Salazar, W. (2006). Modernización de la enseñanza aprendizaje en la asignatura de Hidráulica II (CIV 230). Cochabamba: UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMÓN.
- García Valverde, R. (Mayo de 2016). <https://www.argentina.gob.ar/ciencia/publicaciones/estudios>. Recuperado el 13 de Septiembre de 2018, de <https://www.argentina.gob.ar/ciencia?p=:http://www.mincyt.gob.ar/adjuntos/archivos/000/047/0000047577.pdf>
- Housecroft & Sharpe. (2006). Química inorgánica. Madrid: Pearson Prentice Hall.
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación - IRAM. (1999). Norma de Calidad Ambiental - Calidad de Suelos - Muestreo - Parte I: Directivas para el diseño de Programas de Muestreo. (29481-1-99).
- Jiménez Gómez, A. M. (2005). Interacción del mercurio con los componentes de las aguas residuales. Colombia.: Universidad Nacional de Colombia.
- López-Tejedor, I. S. (2014). Estudio de la absorción y distribución de mercurio en nerium oleander L.en la ribera del río Valdeazogues (Estación de Chillón - Almadén). Departamento de Medio Ambiente. Madrid: Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT).

- Menéndez, G. (2002). El paisaje como patrimonio. Paisaje costero del Canal Zanjón Caci que Guaymallén. Investigación, sistematización y propuesta. Revista Proyección N° 2.
- Ministerio de Agroindustria de la Provincia de Mendoza - Argentina. (2016). Programa Integral Sistema Caci que Guaymallén. Riegos & Drenajes Argentina (85), 48-49.
- Ministerio de Relaciones Exteriores y Culto de la República Argentina. (27 de Diciembre de 2017). <http://mercuryconvention.org/Pa%C3%ADses/Partes/Exenciones/tabid/5969/language/es-CO/Default.aspx>. Recuperado el 28 de Noviembre de 2018, de <http://mercuryconvention.org/>: <http://mercuryconvention.org/Portals/11/documents/Notifications/Argentina%20Exemption.pdf>
- Ministerio de Salud - Gobierno de Chile. (2014). Guía Clínica: Vigilancia Biológica de la población expuesta a Mercurio en la comuna de Arica. Santiago: MINSAL.
- Ministerio de Salud de la Nación Argentina. (2008). Mercurio: Cartilla de información. Argentina: Salud sin daño.
- Morán. (13 de Abril de 2014). Diario UNO. Recuperado el Septiembre de 2018, de Diario UNO: https://www.diariouno.com.ar/mendoza/el-canal-caci que-guaymallen-esta-en-riesgo-hidrologico-13042014_rJW9RCzzBQ
- Navarro - Aviño, J.; Aguilar Alonso, I; López Moya J. (2007). Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. Ecosistemas.(16 (2)), 10-25.
- Ortega-Ortega R., B.-H. J.-N. (Enero / Junio de 2011). Acumulación de mercurio (Hg) por caña flecha (*Gynerium sagittatum*) (Aubl) Beauv. in vitro. . Revista Colombiana de Biotecnología, 13(1).
- Ortega-Ortega, B.-H. J.-N. (Enero / Junio de 2011). Acumulación de mercurio (Hg) por caña flecha (*Gynerium sagittatum*) (Aubl) Beauv. in vitro. Revista Colombiana de Biotecnología, 13(1).
- Pérez-Vargas, H. M., Vidal-Durango, J. V., & Marrugo-Negrete, J. L. (2014). Evaluación de la capacidad acumuladora de mercurio del ají (*Capsicum annum*). Revista de Salud Pública, 16(6), 897-909.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente - PNUMA. (2017). Convenio de Minamata sobre el Mercurio. Programa de las Naciones Unidas para El Medio Ambiente.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente - PNUMA. (2017). Recursos: Información. Recuperado el 28 de Noviembre de 2018, de <http://mercuryconvention.org/>: http://mercuryconvention.org/Portals/11/documents/Awareness%20raising/FACT%20SHEETS/Visi%C3%B3n%20general%20del%20Convenio%20de%20Minamata%20sobre%20el%20Mercurio_COP1%202017_rev.pdf
- Rayner - Canham, G. (2000). Química inorgánica descriptiva. En R. -C. Geoff, Química inorgánica descriptiva. México: Pearson Educación.
- Thangavel, & Subbhuraam. (2004). Phytoextraction: role of hyperaccumulators in metal contaminated soils. PROCEEDINGS-INDIAN NATIONAL SCIENCE ACADEMY ., Part B(70 (1)), 109-130.

- The United Nations Environment Programme - UNEP. (2013). Global Mercury Assessment 2013: Sources, Emissions, Releases and Environmental Transport. Geneva, Switzerland: United Nations Environment Programme, 2013.
- Vidal Durango, J. V. (2009). Capacidad del Guarumo (*Cecropia peltata*) como planta fitorremediadora de suelos contaminados con mercurio. Universidad de Cartagena.
- Yacuzzi, E. (2008). Chisso Corporation y la enfermedad de Minamata . (391). Buenos Aires, Argentina: Universidad del CEMA.

ANEXO

Análisis estadístico para muestras de Agua.

Tabla ANOVA

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,0000149229	7	0,00000213185	49,67	0,0000
Intra grupos	6,86667E-7	16	4,29167E-8		
Total (Corr.)	0,0000156096	23			

La tabla ANOVA descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 49,6741, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 8 variables con un nivel del 95,0% de confianza.

Pruebas de Múltiple Rangos

Método: 95,0 porcentaje LSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
BA	3	0,000433333	X
PA7	3	0,0011	X
PA4	3	0,00113333	X
PA3	3	0,00126667	X
PA6	3	0,0014	X
PA1	3	0,0018	X
PA2	3	0,00223333	X
PA5	3	0,0032	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
PA7 - PA6		-0,0003	0,000358579
PA7 - PA5	*	-0,0021	0,000358579
PA7 - PA4		-0,0000333333	0,000358579
PA7 - PA3		-0,000166667	0,000358579
PA7 - PA2	*	-0,00113333	0,000358579
PA7 - PA1	*	-0,0007	0,000358579
PA7 - BA	*	0,000666667	0,000358579
PA6 - PA5	*	-0,0018	0,000358579
PA6 - PA4		0,000266667	0,000358579
PA6 - PA3		0,000133333	0,000358579
PA6 - PA2	*	-0,000833333	0,000358579
PA6 - PA1	*	-0,0004	0,000358579
PA6 - BA	*	0,000966667	0,000358579
PA5 - PA4	*	0,00206667	0,000358579
PA5 - PA3	*	0,00193333	0,000358579
PA5 - PA2	*	0,000966667	0,000358579
PA5 - PA1	*	0,0014	0,000358579
PA5 - BA	*	0,00276667	0,000358579
PA4 - PA3		-0,000133333	0,000358579
PA4 - PA2	*	-0,0011	0,000358579
PA4 - PA1	*	-0,000666667	0,000358579
PA4 - BA	*	0,0007	0,000358579
PA3 - PA2	*	-0,000966667	0,000358579

PA3 - PA1	*	-0,000533333	0,000358579
PA3 – BA	*	0,000833333	0,000358579
PA2 - PA1	*	0,000433333	0,000358579
PA2 – BA	*	0,0018	0,000358579
PA1 – BA	*	0,00136667	0,000358579

* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 22 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 5 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

Análisis estadístico para muestras de Suelo.

MUESTRA BA

Tabla ANOVA

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	2,42	2	1,21	363,00	0,0000
Intra grupos	0,02	6	0,00333333		
Total (Corr.)	2,44	8			

La tabla ANOVA descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro de grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 363,0, es el cociente entre el estimado entre grupos y el estimado dentro de grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 3 variables con un nivel del 95,0% de confianza.

Pruebas de Múltiple Rangos

Método: 95,0 porcentaje LSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
BA 13	3	0,2	X
BA 12	3	0,2	X
BA 18	3	1,3	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
BA 12 - BA 13		0	0,115349
BA 12 - BA 18	*	-1,1	0,115349
BA 13 - BA 18	*	-1,1	0,115349

* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de

los 2 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

MUESTRA P1A

Tabla ANOVA

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
<i>Entre grupos</i>	0,741422	2	0,370711	40,49	0,0003
<i>Intra grupos</i>	0,0549333	6	0,00915556		
<i>Total (Corr.)</i>	0,796356	8			

La tabla ANOVA descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre grupos y un componente dentro de grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 40,4903, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro de grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 3 variables con un nivel del 95,0% de confianza.

Pruebas de Múltiple Rangos

Método: 95,0 porcentaje LSD

	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
P1A 18	3	0,5	X
P1A 12	3	1,02667	X
P1A 13	3	1,16667	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
P1A 12 - P1A 13		-0,14	0,191168
P1A 12 - P1A 18	*	0,526667	0,191168
P1A 13 - P1A 18	*	0,666667	0,191168

* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 2 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

MUESTRA P2A

Tabla ANOVA

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	50,1089	2	25,0544	388,78	0,0000
Intra grupos	0,386667	6	0,0644444		
Total (Corr.)	50,4956	8			

La tabla ANOVA descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre grupos y un componente dentro de grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 388,776, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 3 variables con un nivel del 95,0% de confianza.

Pruebas de Múltiple Rangos

Método: 95,0 porcentaje LSD

	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
P2A 13	3	0,766667	X
P2A 12	3	3,0	X
P2A 18	3	6,5	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
P2A 12 - P2A 13	*	2,23333	0,507185
P2A 12 - P2A 18	*	-3,5	0,507185
P2A 13 - P2A 18	*	-5,73333	0,507185

* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 3 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 3 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

MUESTRA P3A

Tabla ANOVA

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	127,389	2	63,6944	14331,25	0,0000
Intra grupos	0,0266667	6	0,00444444		
Total (Corr.)	127,416	8			

La tabla ANOVA descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre grupos y un componente dentro de grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 14331,3, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia

estadísticamente significativa entre las medias de las 3 variables con un nivel del 95,0% de confianza.

Pruebas de Múltiple Rangos

Método: 95,0 porcentaje LSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
P3A 13	3	0,9	X
P3A 18	3	2,06667	X
P3A 12	3	9,4	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
P3A 12 - P3A 13	*	8,5	0,133193
P3A 12 - P3A 18	*	7,33333	0,133193
P3A 13 - P3A 18	*	-1,16667	0,133193

* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 3 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 3 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

MUESTRA P4A

Tabla ANOVA

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	5273,56	2	2636,78	1185,96	0,0000
Intra grupos	13,34	6	2,22333		
Total (Corr.)	5286,9	8			

La tabla ANOVA descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre grupos y un componente dentro de grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 1185,96, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro de grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 3 variables con un nivel del 95,0% de confianza.

Pruebas de Múltiple Rangos

Método: 95,0 porcentaje LSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
P4A 12	3	1,33333	X
P4A 13	3	19,6667	X
P4A 18	3	59,3333	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
P4A 12 - P4A 13	*	-18,3333	2,97904
P4A 12 - P4A 18	*	-58,0	2,97904
P4A 13 - P4A 18	*	-39,6667	2,97904

* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 3 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 3 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

MUESTRA P5A

Tabla ANOVA

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	2871,05	2	1435,52	12074,50	0,0000
Intra grupos	0,713333	6	0,118889		
Total (Corr.)	2871,76	8			

La tabla ANOVA descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre grupos y un componente dentro de grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 12074,5, es el cociente entre el estimado entre grupos y el estimado dentro de grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 3 variables con un nivel del 95,0% de confianza.

Pruebas de Múltiple Rangos

Método: 95,0 porcentaje LSD

	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
P5A 18	3	0,5	X
P5A 13	3	2,46667	X
P5A 12	3	39,3333	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
P5A 12 - P5A 13	*	36,8667	0,688881
P5A 12 - P5A 18	*	38,8333	0,688881
P5A 13 - P5A 18	*	1,96667	0,688881

* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 3 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 3 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento

de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

MUESTRA P6A

Tabla ANOVA

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	37528,4	2	18764,2	12871,78	0,0000
Intra grupos	8,74667	6	1,45778		
Total (Corr.)	37537,1	8			

La tabla ANOVA descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre grupos y un componente dentro de grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 12871,8, es el cociente entre el estimado entre grupos y el estimado dentro de grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 3 variables con un nivel del 95,0% de confianza.

Pruebas de Múltiple Rangos

Método: 95,0 porcentaje LSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
P6A 12	3	0,5	X
P6A 13	3	2,9	X
P6A 18	3	138,667	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
P6A 12 - P6A 13		-2,4	2,41223
P6A 12 - P6A 18	*	-138,167	2,41223
P6A 13 - P6A 18	*	-135,767	2,41223

* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 2 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

MUESTRA P7A

Tabla ANOVA

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	266,667	1	266,667	50,00	0,0021
Intra grupos	21,3333	4	5,33333		
Total (Corr.)	288,0	5			

La tabla ANOVA descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre grupos y un componente dentro de grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 50,0, es el cociente entre el estimado entre grupos y el estimado dentro de grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 2 variables con un nivel del 95,0% de confianza.

Pruebas de Múltiple Rangos

Método: 95,0 porcentaje LSD

	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
P7A 18	3	53,3333	X
P7A 13	3	66,6667	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
P7A 13 - P7A 18	*	13,3333	5,23533

* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. Se ha colocado un asterisco junto a 1 par, indicando que este par muestra diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.