

Proyecto Bienes Públicos para la Competitividad 2011,

**“DESARROLLO DE UN SISTEMA PARA LA
CARACTERIZACIÓN Y GESTIÓN DE SUELOS CON
POTENCIAL PARA EL DESARROLLO DE LA AGRICULTURA
ORGÁNICA EN LA REGIÓN DE O'HIGGINS.”**

Código 11BPC-10088

Beneficiario: Universidad Técnica Federico Santa María

14 de Diciembre de 2012

Informe de Avance Técnico

Informe Técnico

1. Fecha Inicio Proyecto: 25 de Octubre de 2011.

2. Grado de Cumplimiento de las Actividades

Nombre de la Actividad	Hitos de la Actividad	Grado de Cumplimiento	Observaciones
Recopilación de información secundaria de estudios efectuados en la región durante los últimos 3 años sobre contaminación de suelos y aguas	Generación de línea base de fuentes contaminantes.	100%	Si bien se han efectuado seguimientos a las fuentes de contaminación de la región, lo que se pudo obtener de la información secundaria es la existencia de datos de zonas muy específicas como microorganismos en la cuenca del Cachapoal y acumulación de metales traza por sedimentación en el lago rapel. Se definió como parámetros a ser considerados contaminantes, los agroquímicos y metales traza.
	Caracterización de la residualidad de los suelos. Identificación de las zonas que deben ser analizadas para complementar la línea base de la región.	100%	Se efectuaron mediciones de agroquímicos y metales traza para determinar el grado de persistencia y acumulación en suelos como primera fuente de contaminación, los resultados se exponen en el punto 4 de este informe.
Recopilación de información en zonas no alcanzadas por los estudios ya efectuados.	Carga residual de las zonas evaluadas.	100%	Se cuantificó la carga residual de las zonas evaluadas y se clasificó su nivel de riesgo de acuerdo a parámetros internacionales.
	Carga residual de la región	100 %	Se determinó y clasificó las comunas con mayor carga de residuos, por número de residuos acumulados en suelo y por concentración de residuos en suelos.
	Movilidad de los contaminantes a través de cursos fluviales y suelos	100%	Se utilizó un indicador ambiental para determinar la presencia de residuos en zonas de baja carga agrícola, en este caso miel producida en 52 apiarios de la zona de

Centro de Investigaciones Aplicadas CIAP, Universidad Técnica Federico Santa María.

Madrid 344, Rancagua.

Fono : 72- 248264. E-mail: ct.rancagua@usm.cl. www.ciap.usm.cl

	de la región.		secano de la Región de O'Higgins, encontrándose 13 residuos de agroquímicos diferentes. Los resultados se exponen en el punto 4 de este informe.
Diseño e implementación de una metodología de seguimiento de variables de degradación de suelos	Obtención de tasas de degradación a partir de elementos contaminantes individuales y agrupados.	80%	El proceso de determinación de las tasas de degradación está no se ha completado pues si bien se ha identificado las fuentes de contaminación así como la carga residual de los suelos, las variaciones que reflejan la acumulación no han sido significativas para la unidad de tiempo, por lo que se sigue trabajando en Microcosmos y se espera alcanzar valores significativos de tasas de degradación en a fines de febrero de 2012 que corresponde al 4to mes de la etapa de validación.
	Relación de tipo de suelo y su degradación ante la presencia de contaminantes individuales y agrupados.	80%	Se ha construido una relación entre la presencia de residuos acumulados al suelo y las propiedades del suelo, lo que crea una correlación, ahora se debe esperar a la obtención de la tasa de degradación para terminar el proceso de correlacionar las propiedades del suelo con las variables contaminantes y sí identificar el peso específico que tiene cada una de ellas en la composición de la tasa de degradación.
Implementación de una metodología de seguimiento de la movilidad de los contaminantes.	Obtención de las variables que influyen en la degradación y movilidad de los contaminantes.	90%	Se diseño e implementó un sistema de monitoreo de la acumulación de residuos en 14 puntos de la región de forma de evaluar la distribución temporal de contaminantes, su degradación y su acumulación, así como la biodisponibilidad de metales traza. Es una plataforma web que permite a las empresa colaboradoras efectuar un seguimiento de su punto de muestreo y a los mandantes y al beneficiario evaluar la acumulación y movilidad de los residuos en la región. Está en periodo de marcha blanca por eso se califica con 90% de avance.

	Identificación de la superficie contaminada y del índice de contaminación a partir de fuentes identificadas.	80%	Se implementó en laboratorio una metodología especial de seguimiento de metales traza, de forma de evaluar el potencial toxico de los residuos y con ello se han efectuado mediciones en puntos de la región para determinar la presencia de residuos y el estado de biodisponibilidad en que se encuentran.
Generación de una base de datos con la degradación de los suelos	Disponibilidad de la base de datos con el análisis de los casos considerados.	80%	Se ha construido una base de información con la presencia de residuos en suelos, su localización geográfica y su toxicidad, identificando los elementos que alcanzan toxicidad en suelos según las normas de referencia internacionales y con ello están en fase de degradación productiva. Los detalles se exponen en el punto 4 de este informe.
Identificación de las variables meteorológicas y su relación con la aceleración o desaceleración en la degradación de suelos.	Identificación de la variación en la velocidad de degradación a partir de la influencia de las variables meteorológicas,	60%	Si bien se han evaluado los efectos de las altas temperaturas del año que termina y la falta de agua, los efectos son dispares y se relacionan con la carga residual existente en cada suelo, particularmente de metales traza ya que pequeñas variaciones de PH hacia niveles ácidos pueden aumentar la disponibilidad de algunos elementos. Se está terminando de construir la base de los indicadores y se espera completar su construcción en enero, lo que corresponde al tercer mes de la etapa de validación del bien.
Diseño del modelo matemático que caracteriza el proceso de degradación de suelos	Modelo matemático conceptual de degradación de suelos a partir de elementos contaminantes de origen minero y agrícola.	60%	A la fecha de cierre de la etapa 1 se ha construido el seguimiento de las variables que inciden en la lixiviación de los residuos, en la disponibilidad o retención de metales traza y en el efecto de la falta o abundancia de agua en la biodisponibilidad de contaminantes. Se continua desarrollando el modelo que relaciona la acumulación de residuos con la perdida de vida del suelo a través de la reducción de la disponibilidad de microelementos para el cultivo a pesar de contar con un inventario alto en el suelo, esta fase en desarrollo estará terminada en febrero que

			corresponde al mes 4 de la etapa de Validación del bien.
Programación del sistema informático y diseño del modelo probabilístico	Modelo Probabilístico sustentado en un sistema informático.	20%	Con el diseño completado en un 90 % hasta octubre de 2012, se está en proceso de elaboración de la base de programación y de los requerimientos para la subcontratación del sistema Informático, que se efectuará en enero 2012, fase de validación del bien. Cabe recordar que la programación del sistema predictivo es la fase final que compone la aplicación del modelo matemático de seguimiento y degradación, por lo que la validación del modelo predictivo y de los elementos que lo componen se puede efectuar a partir del segundo mes de desarrollo que corresponde al 4to mes de validación.

En líneas generales se considera un avance de la etapa 1 de 85% respecto de las actividades realizadas a octubre de 2012, se debe tener en cuenta que si bien la aprobación del proyecto se efectuó el 25 de octubre de 2011, la puesta en marcha definitiva del proyecto se alcanzó en diciembre de 2011, lo que explica en parte el cumplimiento parcial del 85% de las actividades. No obstante, no existen retrasos que pongan en riesgo la obtención de los objetivos planteados en el proyecto.

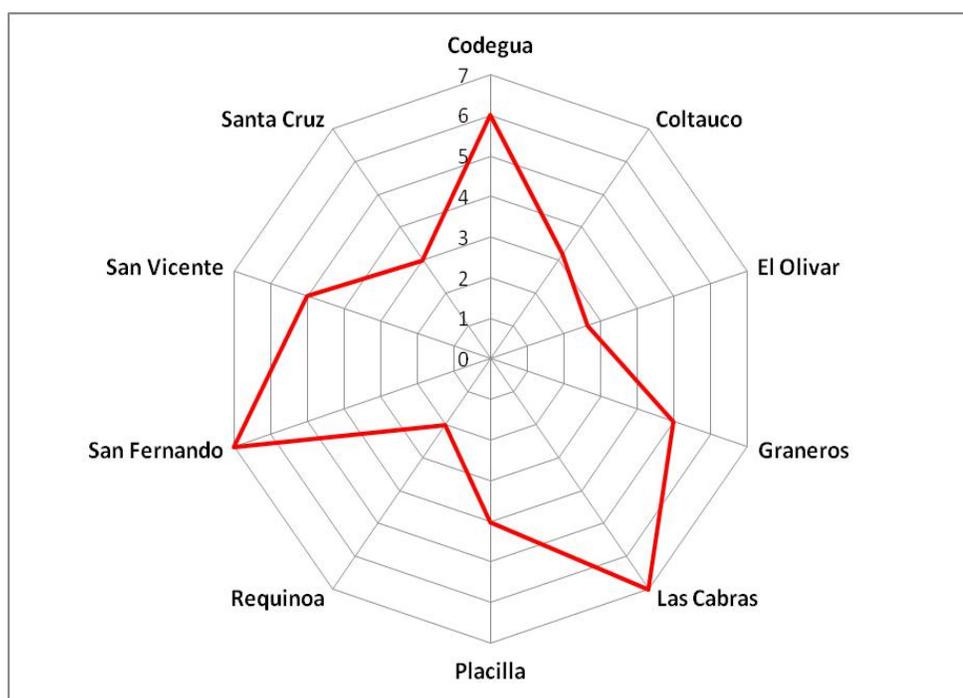
3. Identificación de los participantes y beneficiarios finales que participaron de las actividades de Difusión

La etapa 1 corresponde al desarrollo del bien y no considera actividades de Difusión, a pesar de ello y debido a la naturaleza del proyecto las empresas participan significativamente del levantamiento de información, siendo hasta ahora 12 empresas las participantes.

4. Logros Destacables del Programa de Bienes Públicos para la Competitividad.

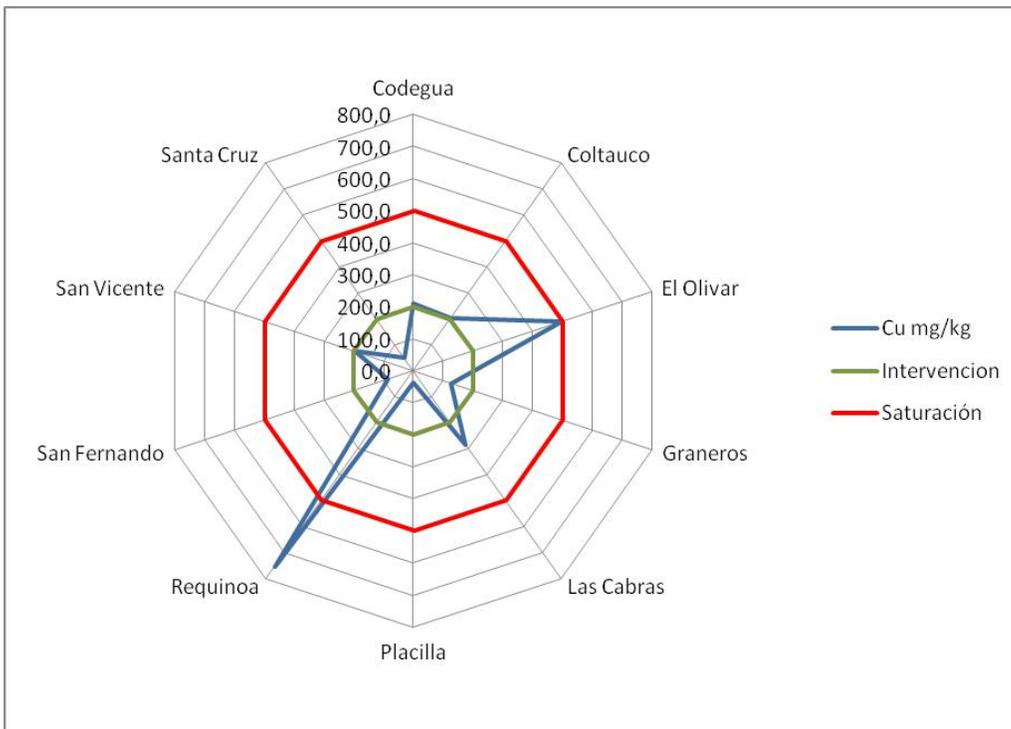
En la fase de diseño del bien se consideran como logros los resultados que generan información hasta hora no disponible y que pueden ser utilizados desde el momento de su obtención, así se pueden mencionar:

- Carga residual de agroquímicos en suelos agrícolas de la región de O'Higgins.



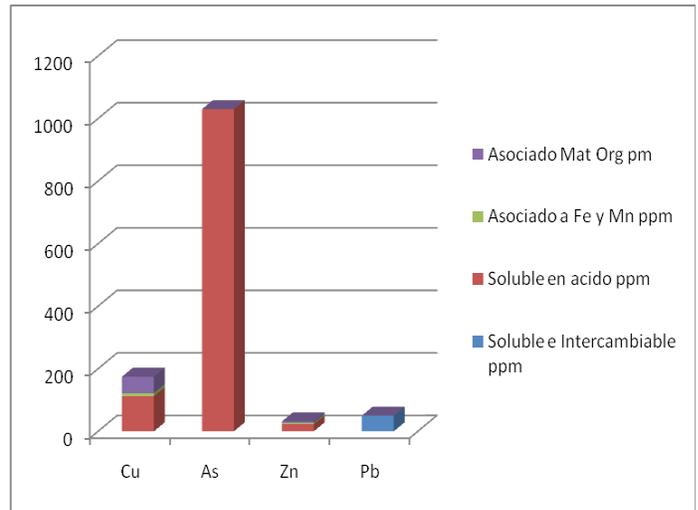
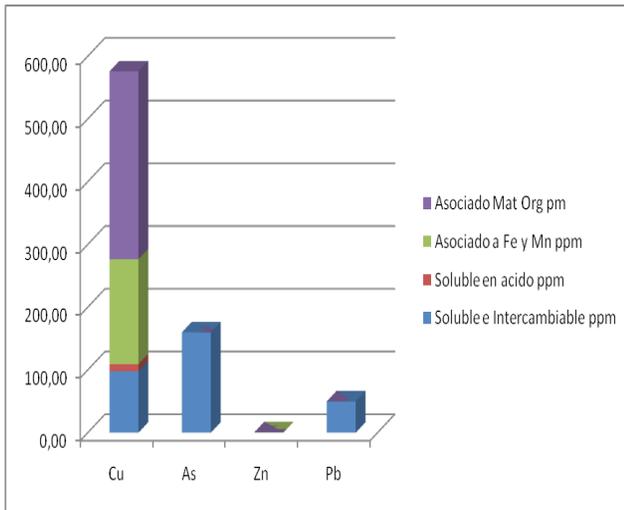
El gráfico identifica en número de residuos encontrados en suelos de las comunas.

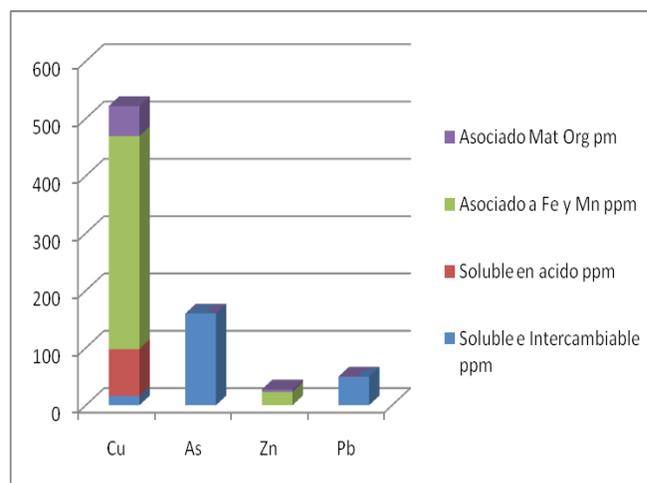
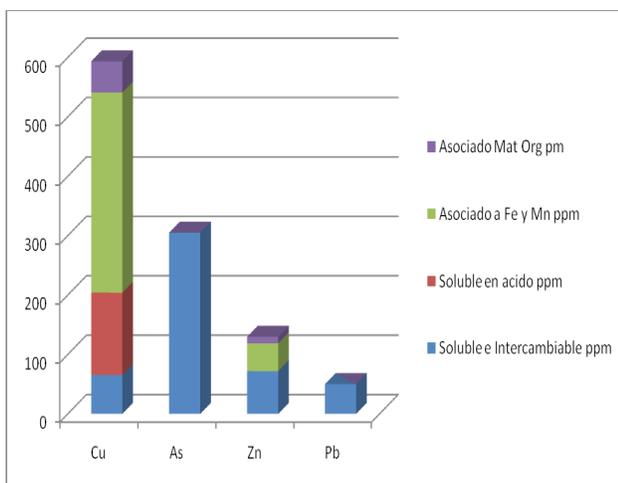
- Nivel de acumulación de Cu en suelos de la región:



Un umbral definido en línea verde indica el límite en el cual se recomienda invertir en recuperación según norma de metales en suelos de Holanda. El umbral Rojo recomienda dejar de producir en los suelos que lo superen según la Misma Norma.

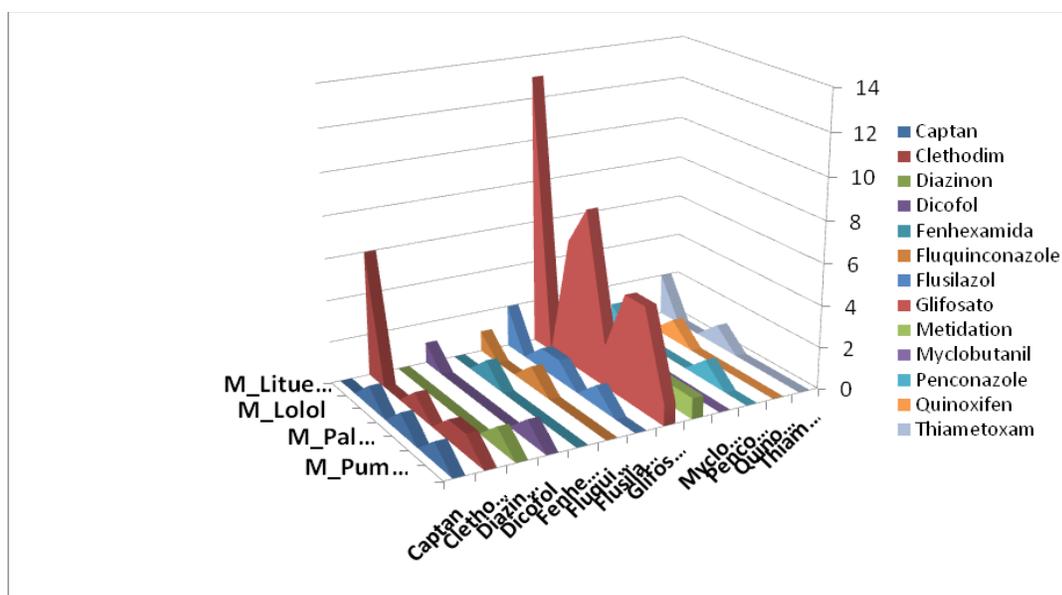
➤ BioDisponibilidad de Metales traza





Se exponen cuatro zonas de la región que forman parte de los puntos monitoreados y que reflejan la variabilidad de la condición de acumulación de metales traza, evidenciando la disponibilidad potencial de la fase acida ante cambios de PH en suelos.

➤ Movilidad de los Residuos dentro de la región.



Residuos de agroquímicos encontrados en muestras de miel utilizada como indicador ambiental de la situación de movilidad en las comunas de secano, Provincia de Cardenal Caro.

5. Resultados y Conclusiones

Se ha logrado construir una línea base de la situación de contaminación por zona de la región.

Se ha identificado los elementos que componen la condición de contaminación, particularmente el estado de los metales traza y con ello los riesgos de degradación de los suelos ante las variables ambientales y productivas que puedan provocar la

degradación.

Con los resultados descritos se está en proceso de construcción del modelo de seguimiento de la degradación, situación que apunta directamente a la capacidad productiva de los suelos y a su vida útil.

Informe Avance Proyecto

I. *Análisis de información secundaria para la Formulación de la Línea Base Regional y la Caracterización de los elementos contaminantes*

Metales Traza como fuente de contaminación:

La coexistencia Minero Agrícola genera perturbaciones producto de la acumulación y movilidad de residuos mineros a los cursos de agua siendo distribuidos a través de los procesos de riego dentro de los suelos agrícolas, los cursos de agua han sido discretamente monitoreados y con ello se permite disponer de información parcial para entender los riesgos asociados a la presencia de residuos.

Para evaluar los riesgos asociados a la presencia de metales pesados se expone la tabla siguiente su nivel de toxicidad:

Metal	Densidad	Nº	Suelos		
	(g / cm ³)	Atómico	(mg/ kg)	Esencial	Tóxico
Cd	8.7	48	0.35	-	A,P,H
Co	8.9	27	8	A,P,H	A,P,H
Cr	7.2	24	40	A,H	P,H
Cu	8.9	29	30	A,P,H	P
Fe	7.9	26	25x10 ³	A,P,H	H
Mn	7.4	25	1000	A,P,H	P
Ni	8.9	28	20	A,P,H	A,P,H
Pb	11.3	82	20	-	A,P,H
Zn	7.1	30	90	A,P,H	P

A, animales; P, plantas; H, humanos.

(Davies, 1980; Adriano, 2001).

La distribución y cobertura de las aguas de riego se presentan para el año 2004 en la región de O'Higgins, en el cuadro siguiente:

Fuente	Canales (Nº)	Longitud (km)	Embalses (Nº)	
			Menores	Mayores
Río Rapel	228	266,85	51	1
Río Cachapoal	371	1.594,50	227	3
Río Claro de Rengo	130	662,61	16	1
Estero Zamorano	64	447,45	11	-
Río Tinguiririca	260	S/I	S/I	2
Estero Las Toscas	50	S/I	S/I	1
Estero Chimbarongo	167	451,25	29	1

Fuente: "DIAGNOSTICO Y CLASIFICACION DE LOS CURSOS Y CUERPOS DE AGUA SEGUN OBJETIVOS DE CALIDAD, Cuenca del Rio Rapel, 2004 MOP"

La región tiene dos grandes cuencas, la primera y de mayor incidencia minera corresponde a la cuenca del Cachapoal, la que mediante la implementación de Norma Secundaria es monitoreada en 17 puntos desde hace dos años. Antes de eso era monitoreada por la

Centro de Investigaciones Aplicadas CIAP, Universidad Técnica Federico Santa María.
Madrid 344, Rancagua. Fono : 72- 248264.

E-mail: ct.rancagua@usm.cl www.ciap.usm.cl

Dirección de Aguas del Ministerio de Obras Públicas

Si bien se han monitoreado una serie de parámetros, solo se consideran de interés para el proyecto aquellos que pueden alcanzar niveles de toxicidad para los suelos, así se efectúa un seguimiento de metales y metaloides como Arsénico (As), Cobre (Cu) y Molibdeno (Mo) que forman parte importante de los residuos emitidos por la empresa minera.

Presencia de Cobre en suelos agrícolas

En el verano del año 1998 el Centro de Investigación Minera y Metalúrgica, CIMM, realizó un estudio para evaluar si las altas concentraciones de cobre descritas por INIA (1998) en los suelos del Valle del Cachapoal, VI Región del Libertador Bernardo O'Higgins, imponían riesgos en la producción agrícola. El estudio indicó que las concentraciones de cobre total en los suelos agrícolas del valle variaban entre 27 y 1651 mg por kilogramo de suelo seco, en una muestra de 93 suelos (léase: Relationship between soil copper content and copper content of selected crop plants in central Chile, Environmental Toxicology and Chemistry, Vol.20, N°12. pp.2749- 2757,2001 SETAC).

Valle	Región	Promedio mg/kg ss	Mínimo mg/kg ss	Máximo mg/kg ss	Amplitud de rango	N
Huasco	III	31.4	12.5	52.5	4.2	29
Elqui	IV	86.7	14.0	160.0	11.4	21
Limari	IV	64.6	36.0	100.0	2.8	18
Ligua	V	71.6	15.9	273.7	17.2	34
Aconcagua	V	127.6	33.4	1733.1	51.9	67
Puchuncaví	V	542.5	51.7	3833.2	74.1	40
Mapocho	RM	196.6	41.5	856.4	20.6	40
Maipo	RM	72.3	7.5	242.8	32.4	19
Cachapoal	VI	427.3	39.0	1180.0	30.3	52
Tinguiririca	VI	53.9	14.0	245.0	17.5	18
Mataquito	VII	37.5	16.0	61.0	3.8	10
Maule	VII	27.6	15.0	65.0	2.7	40
Bío-Bío	VIII	30.9	6.3	62.7	10.0	42
	IX	49.7	8.4	90.0	42.0	68
	X	35.1	13.0	57.0	4.4	58
	XI	13.3	6.3	31.0	4.0	24

Presencia de Cobre en los suelos agrícolas de Chile, INIA 1990.

Una segunda aproximación a la presencia de cobre en los suelos agrícolas se pudo observar en un estudio comparativo de metodologías de extracción de cobre soluble por quelación con las sustancias DTPA y EDTA, en el estudio **“Relación entre el cobre extraído con EDTA y DTPA en suelos desde la IV a la X región de Chile con y sin antecedentes de contaminación”**. PUC. Publicado en la Revista ciencia vegetal 2001.

Las muestras pertenecen a la cuenca del Cachapoal, predios agrícolas y los resultados detectados fluctuaron entre los 30,5 y 657 mg/ kg, como se muestra en la Tabla siguiente

Punto	Cu mg/kg
0	
1	392
2	411
3	159
4	67,8
5	52,8
6	30,5
7	189,2
8	47,4
9	121
10	55,2
11	28,8
12	30,8

Situación de Residuos de metales traza para el año 2004

Durante 2004 se publica un estudio levantado por la Dirección general de aguas que caracteriza la cuenca del Cachapoal, "En el caso de la cuenca del Río Rapel, dentro de las fuentes de información se cuenta con la proveniente del programa de monitoreo realizado por ESSEL, que corresponde a información de Nivel 2 de acuerdo a la metodología. Por esta razón, se hace necesario aplicar algún test de validación de la información.

Utilizando un método gráfico de validación de la información entregada por ESSEL para los siguientes puntos de muestreos coincidentes con estaciones de monitoreo de la DGA: **río Cachapoal aguas arriba, estero Coya, estero Coya antes junta río Cachapoal, río Cachapoal en Bocatoma Canales Ribera Sur y río Cachapoal en Puente Coinco**, es posible observar si esta información es coincidente con aquella proveniente de la DGA.

Puntos de muestreo

El eje de las abscisas contiene las estaciones de monitoreo consideradas en el cauce principal y corresponden en el caso del río Cachapoal a:

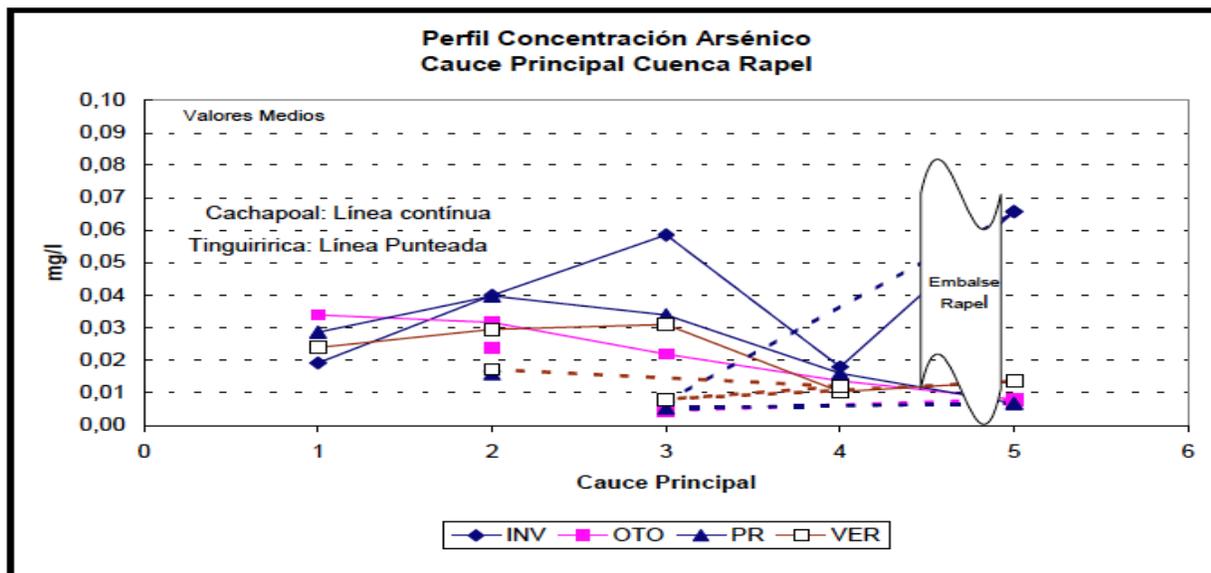
- Cachapoal en Bocatoma Chacales (1).
- Cachapoal en Canales Ribera Sur (2)
- Cachapoal en Puente Cónico (3)
- Cachapoal en Puente Arqueado (4).
- Rapel en Navidad (5).

Para el río Tinguiririca corresponden a:

- Tinguiririca en Los Briones (2).
- Tinguiririca en Panamericana (3)
- Tinguiririca en Los Olmos (4)
- Rapel en Navidad (5).

Se consideran en el seguimiento de metales traza el Arsénico (As), Cobre (Cu) y el Molibdeno (Mo).

Arsénico



Los valores de arsénico procedentes de la campaña de monitoreo de la DGA están comprendidos entre los 0,001 y 0,773 mg/L (Estación DGA - Estero Coya antes junta Cachapoal).

El Arsénico se encuentra excediendo la clase de excepción sólo en el estero Coya, debido a las actividades mineras de la mina Teniente de Codelco, tanto en las descargas de aguas industriales como en la lixiviación de las pilas de materiales inertes (relaves y botaderos).

Cobre

Los valores de cobre procedentes de la campaña de monitoreo de la DGA están

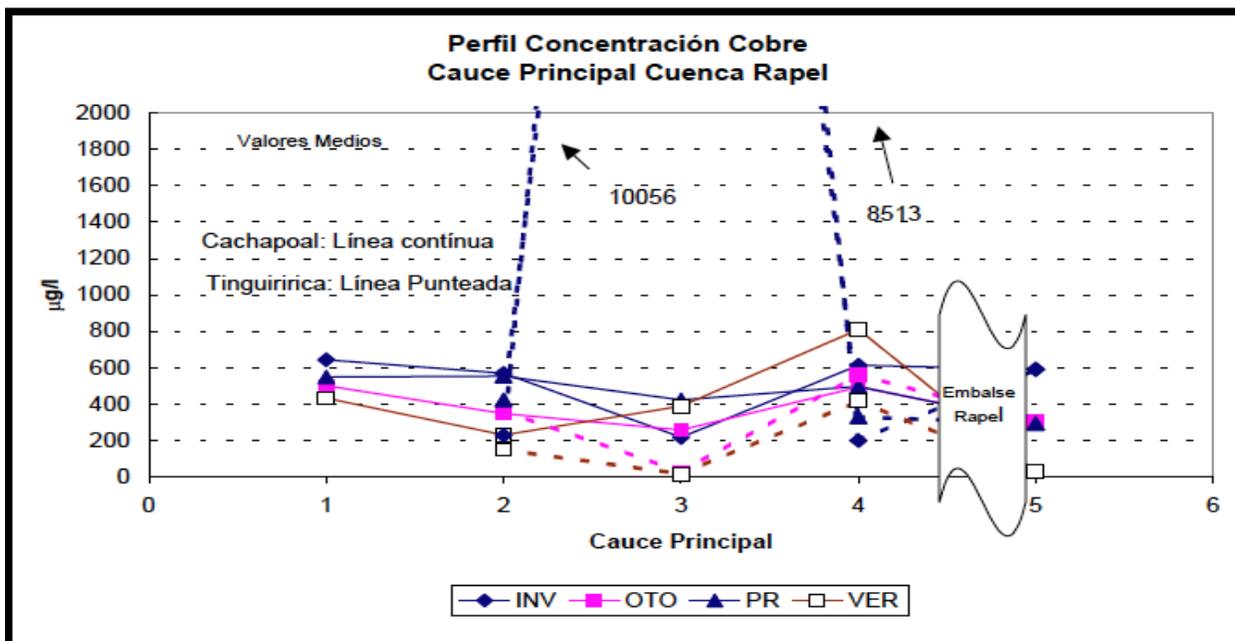
comprendidos entre los 40 y 6.760 $\mu\text{g/L}$ (Est. Zamorano en San Vicente).

La aparición de cobre es atribuible esencialmente a la existencia de la franja metalogénica, la cual por procesos de lixiviación de los filones mineralizados y minerales de pirita oxidada adiciona cobre al estero Coya el cual contamina todo el Cachapoal y Rapel hasta su desembocadura.

Esta lixiviación se manifiesta mayormente en las aguas superficiales debido a los efectos irreversibles de la Mina Teniente de Codelco, lo cual queda ratificado porque en el tramo más bajo del río la concentración es mayor, además **coinciden con la fuerte aparición de Cobre en aguas subterráneas.**

Adicionalmente a lo anterior, los depósitos de material de descarte procedentes de la minería del cobre, específicamente los tranques de relave como Las Juntas en Caletones, Barahona, Colihues y Embalse Carén constituyen fuentes irreversibles de contaminación de las aguas superficiales.

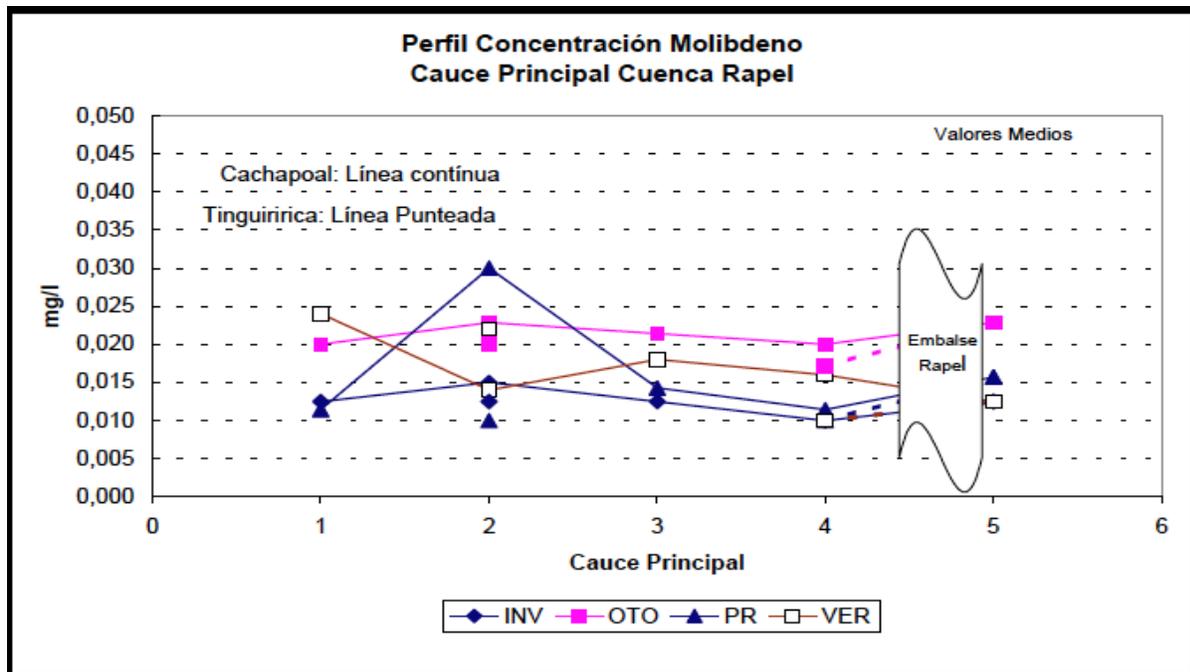
La fuerte presencia de cobre en Estero Zamorano como en el estero Chimbarongo son de origen antrópico, que puede deberse a la aplicación de oxiclورو de cobre como compuesto plaguicida en los campos.



Molibdeno

Los valores de molibdeno procedentes de la campaña de monitoreo de la DGA presentan valores comprendidos entre los 0,02 y 2,20 mg/L (estación DGA Alhué en Quilamuta - Verano).

La aparición de molibdeno en los cursos de agua es atribuible esencialmente a la existencia de molibdeno asociado al cobre en las franja metalogénica F11 que le adiciona molibdeno a las corrientes de agua. Esta lixiviación se manifiesta tanto en las aguas subterráneas como en las superficiales, lo cual queda ratificado por la existencia de molibdeno disuelto en todos los tributarios y curso principal. La aparición de un alto valor de molibdeno en el estero Carén, se debería a filtraciones difusas procedentes del tranque de relaves Carén de Codelco y es de origen netamente antrópico.



Situación de Residuos de metales traza para el año 2009

Durante los años 2007 a 2008 se efectúa un nuevo estudio de residuos de metales traza, los puntos de muestreo que se consideran son los siguientes:

Zona y tramo (1)	Estación	Nombre estación	Georeferencia(2)		Altura (m)	Ruta acceso
			Este	Norte		
CA-10	E1	Cachapoal bajo Cortaderal	373621	6198887	1100	5 Km aguas abajo río Cortaderal
CO-10	E2	Río Coya	59167	6214085	816	antes confluencia río Cachapoal
CA-20/30	E3	Río Cachapoal Ribera sur	340880	6213133	546	Bocatoma canales
CA-40	E4	Coinco	330360	6215299	415	Puente Coinco
CA-50/60	E5	Codao	293880	6194046	152	Puente Codao
CA-60	E6	Arqueado	282651	6204877	112	Puente Nuevo, Las Cabras

(1) Fuente: ANSCA Cuenca del río Cachapoal; (2) Datum: PSAD 56, UTM 19S

E1: Cortaderal



E2: Río Coya



E3: Ribera Sur



E4: Coinco



E5: Codao



E6: Las Cabras

Situación de los metales traza durante el periodo de toma de muestras.

Primavera, Campaña 1:

La E2 presentó un 41 % de metales totales a partir de la clase objetivo 2, contrario a E5 en que todos los metales pesados se presentaron bajo C2. Los metales totales que con mayor concentración se presentaron a lo largo del río fueron cobre, aluminio, plomo y molibdeno.

Respecto a los metales disueltos, la mayor cantidad por sobre C2 se presentaron en las estaciones E2, E3 y E4 lo que representó entre un 25 a 33 %. Destacó la presencia de Cobre,

Manganeso, Aluminio y Cadmio. Las estaciones E5 y E6 localizadas en la parte potámica del río resultaron tener concentraciones similares de metales disueltos.

Verano, Campaña 2:

La presencia de cobre, molibdeno y aluminio en clase objetivo 2 se presentó a lo largo de todo el sistema desde la primera estación. En la estación E2 el cobre y molibdeno se destacaron, reflejando la actividad minera de la zona. El cobre se presentó con valores de 751 $\mu\text{g/L}$ y el Mo con 35,4 $\mu\text{g/L}$. En las otras estaciones el Cu no superó los 67 $\mu\text{g/L}$ y el Mo los 14,5 $\mu\text{g/L}$. El Al fue el otro metal destacado, con mayor concentración en la E1 y E4 con valores de 6.620 $\mu\text{g/L}$ y 6.090 $\mu\text{g/L}$ respectivamente, para el resto de las estaciones a lo más se observó un valor de 734 $\mu\text{g/L}$ y fue en la E6. También se observó en E1 y E4 altas concentraciones de hierro con rangos entre 2970 $\mu\text{g/L}$ a 3.600 $\mu\text{g/L}$ respectivamente, y en las otras estaciones el mayor valor fue de 651 $\mu\text{g/L}$ en E6. La E4 corresponde a Coinco estación influenciada por la cantidad de materia orgánica vertida históricamente desde el Estero La Cadena, esto la convierte en una estación vulnerable por toxicidad por metales, con riesgos a sufrir disminución de pH y solubilización de estos, como por ejemplo el Al y el Fe. Respecto a los metales disueltos el Cu fue alto en E2, E4 y E6 con rangos entre 144 $\mu\text{g/L}$ a 11,3 $\mu\text{g/L}$ representando a Clase objetivo 2. El Mo fue parejo presentándose en C2, en todas las estaciones con rangos entre 34,8 $\mu\text{g/L}$ (en Coya) a 10,5 $\mu\text{g/L}$. En Coya se observó además, una alta concentración de Mn con 276 $\mu\text{g/L}$ que correspondió a C4. El Al se presentó también en altas concentraciones en E1 con 276 $\mu\text{g/L}$ asociado a procesos de meteorización, en E4 y E5 con 933 $\mu\text{g/L}$ y 161 $\mu\text{g/L}$ respectivamente clasificando estas estaciones en C3.

Otoño, Campaña 3:

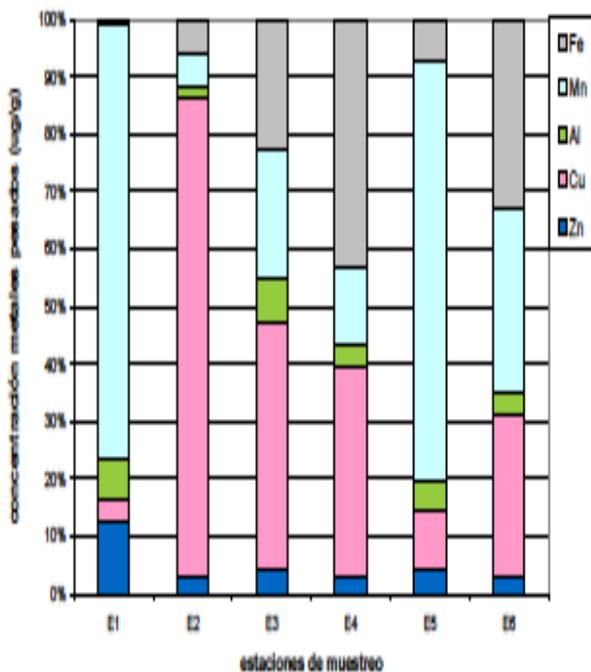
En esta campaña se observó alta concentración de metales producto del aluvión que removió gran parte de los sedimentos. Los metales totales son los que más se destacaron en concentración. En la E1 sólo el B se encontró en (C4) con 706 $\mu\text{g/L}$, para la E2 fue más serio puesto que el 50% de los metales analizados cayeron en (C4) con valores desproporcionados dado el impacto hidrodinámico a que fue sometido el sistema, estos metales fueron Cu, B, Fe, Mo, Mn, Al y As. La situación se tornó más delicada pues el pH del agua fue de 6,57 ligeramente ácido. El resto de las estaciones respondió en forma pareja desde E3 a E6 y los metales que cayeron en (C4) fueron Fe y Al. Los rangos para el caso del Fe se presentaron entre $1,57 \times 10^4$ $\mu\text{g/L}$ a $9,01 \times 10^3$ $\mu\text{g/L}$ y para el caso del Al estuvieron entre $1,72 \times 10^4$ $\mu\text{g/L}$ y $1,54 \times 10^3$ $\mu\text{g/L}$. Para el caso de los metales disueltos la E2 nuevamente presentó la mayor concentración de metales entre calidad objetivo (C3) y (C4) representando un 42 %, estos fueron Cu, Fe, Mn, Al y Zn. Se destacó el Aluminio que se presentó en (C3) a partir de la E3 con $2,08 \times 10^3$ $\mu\text{g/L}$ concentración que fue disminuyendo río abajo terminando en la última estación E6 con $1,01 \times 10^3$ $\mu\text{g/L}$.

Invierno, Campaña 4:

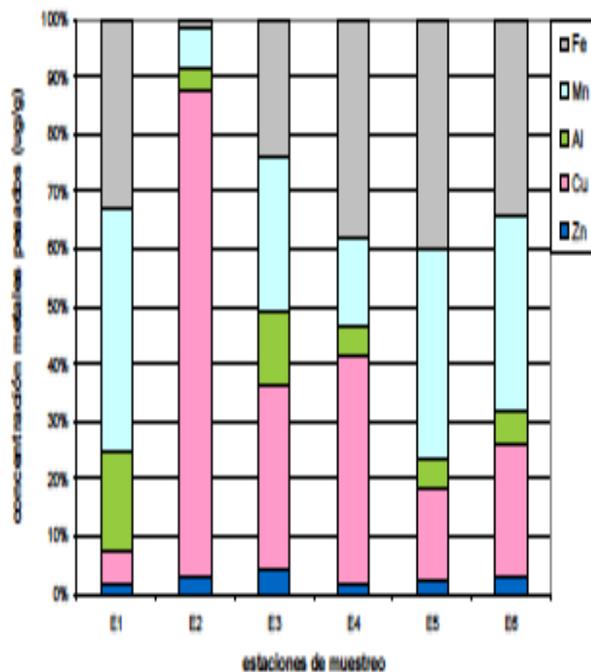
En esta campaña se destacó el hierro y aluminio total presentándose en altas concentraciones llegando a calidad objetivo C4 en todas las estaciones desde E2 a E6. Sus valores fluctuaron entre $7,22 \times 10^4$ $\mu\text{g/L}$ a $7,22 \times 10^3$ $\mu\text{g/L}$ para hierro y de $5,9 \times 10^4$ $\mu\text{g/L}$ a 308 $\mu\text{g/L}$ para el aluminio. El Cobre total se detectó en C2 en todas las estaciones desde $6,17 \times 10^3$ a 64,3 $\mu\text{g/L}$, sólo en E2 y E4 se detectó a la forma disuelta con 26,5 $\mu\text{g/L}$ y 15,9 $\mu\text{g/L}$ respectivamente.

Concentración de Metales Traza en Sedimentos

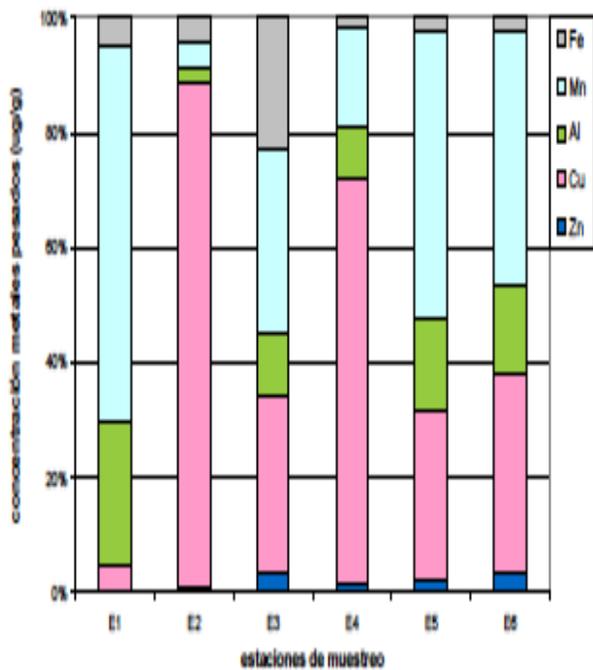
Distribución metales pesados, por estaciones, campaña primavera



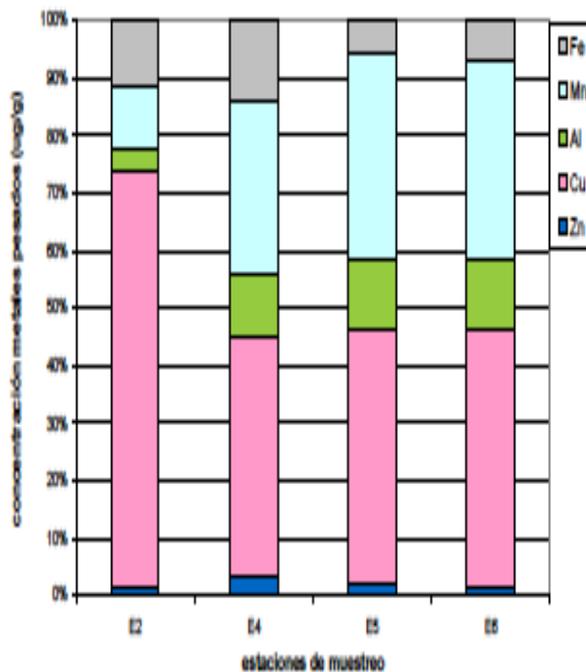
Distribución metales pesados, por estaciones, campaña verano



Distribución metales pesados, por estaciones, campaña otoño



Distribución metales pesados, por estaciones, campaña invierno



Distribución de metales pesados mayoritarios ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos, Cuenca del Río Cachapoal

Centro de Investigaciones Aplicadas CIAP, Universidad Técnica Federico Santa María.
 Madrid 344, Rancagua. Fono : 72- 248264.
 E-mail: ct.rancagua@usm.cl www.ciap.usm.cl

En verano, el metal predominante es Cobre, destacando la estación con actividad minera (Río Coya 3249,5 $\mu\text{gg-1}$), lo que indica que esta faena genera grandes aportes de este metal en la cuenca. Manganeseo y Aluminio están presentes en toda la cuenca en concentraciones similares, lo que indica el origen litogénico de estos metales.

Hierro también está presente en toda la cuenca, destaca Coinco (E4 691,4 $\mu\text{gg-1}$), este elemento tiene origen litogénico y también origen antrópico debido a la actividad urbana e industrial. En parte se podría considerar traslado de material por la actividad de minería, que en parte contribuiría a disminuir el pH, en las estaciones de menor pendiente, el que en condiciones *in situ* se detectó un pH ácido respecto a las otras estaciones.

En otoño la concentración de Manganeseo se mantiene relativamente constante, indicando su origen litogénico, mientras que Cobre, se encuentra en altas concentraciones en Río Coya (E2, 2352,6 $\mu\text{gg-1}$), la alta concentración de Cu encontrada muestra claramente el aporte antrópico de origen minero de este elemento el que por traslado de materiales se encuentra en las estaciones de menor pendiente.

En invierno, el elemento de mayor concentración en Río Coya fue Cobre, también se detectó Hierro en alta concentración, sus valores fueron para Cu 1203,0 $\mu\text{gg-1}$ y para Fe 187,4 $\mu\text{gg-1}$.

La concentración de Cobre y Hierro decrecen hacia los sitios de menor pendiente indicando que el arrastre de materiales lleva consigo estos elementos, cuando las condiciones hidrodinámicas de la cuenca lo permiten.

Manganeseo y Aluminio mantienen su concentración relativamente constante en todos los sitios indicando su procedencia litogénica, lo mismo ocurre con Cinc aunque este elemento se presentó siempre en menor concentración.

Situación de Metales Pesados 2007 a 2008, por tipo de metal.

Cinc

Presentó las concentraciones más altas en todos los sitios en primavera y verano respecto a otoño e invierno. Los valores fluctuaron entre 2,1 $\mu\text{gg-1}$ (Cortaderal, campaña otoño) y 115,6 $\mu\text{gg-1}$ (Río Coya campaña verano).

Cobre

Este elemento fue el que se encontró en mayor concentración, especialmente en Río Coya, mostrando claramente la actividad minera. Los valores fluctuaron entre 5,1 $\mu\text{gg-1}$ (Cortaderal, campaña primavera) y 3252,6 $\mu\text{gg-1}$ (Río Coya, campaña otoño).

Aluminio

Este elemento se encontró en concentraciones relativamente medianas en casi todas las estaciones y en todas las campañas, se destacó la segunda campaña (verano), en las concentraciones de este elemento las que aumentaron, especialmente en Río Coya. Los valores fluctuaron entre 10,1 $\mu\text{gg-1}$ (Cortaderal, campaña primavera) y 136,9 $\mu\text{gg-1}$ (Río Coya, campaña verano).

Manganeseo

Este elemento se encontró en concentraciones relativamente constante en todos los sitios y todas las campañas, lo que indica claramente su origen litogénico. Los valores fluctuaron

entre 108,7 µgg-1 (Cortaderal, campaña primavera y 626,6 µgg-1 (Codao, campaña primavera).

Hierro

Las concentraciones de este elemento fueron variables en las estaciones y las diferentes campañas. Los valores fluctuaron entre 1,5 µgg-1 (Cortaderal, campaña primavera) y 691,4 µgg-1 (Coinco, campaña verano).

Distribución de metales pesados y elementos traza metálicos totales (µgg-1) en sedimento, Campaña verano, Cuenca del Río Cachapoal

El resumen de los elementos encontrados se presenta en el cuadro siguiente:

Estación	Cd	Zn	Cr	Cu	Ni	Pb	Al	Mn	Mo	B	Fe	As
E1: Cortaderal	1,3	36,1	66,8	61,7	38,3	9,7	5607,7	445,1	0,3	61,5	12515,7	13,3
E2: Río Coya	3,1	175,8	336,5	5832,7	125,3	26,4	14899,3	876,7	77,4	120,2	54330,2	75,0
E3: Ribera Sur	2,9	76,4	184,7	961,2	124,9	14,2	10224,0	403,0	37,6	117,4	52123,2	196,6
E4: Coinco	2,3	102,2	84,2	1125,5	51,3	15,4	13818,5	751,9	44,0	97,5	44003,9	758,6
E5: Codao	2,1	75,1	11,5	496,5	13,1	11,8	19319,2	874,4	16,1	87,8	38632,5	201,6
E6: Las Cabras	2,3	83,8	57,8	643,3	35,3	12,5	12193,6	379,8	29,2	94,8	45309,0	<LD

Entre los metales pesados mayoritarios (en azul), claramente Hierro es el elemento de mayor concentración, con aporte litogénico desde Cortaderal y antrópico desde la minería de río Coya, la que en parte contribuiría a las concentraciones mayores de las estaciones de menor pendiente.

Entre los metales pesados y elementos trazas metálicos (en rojo) cabe destacar la presencia de Arsénico en la mayoría de las estaciones, especialmente en E4 Coinco, indicando origen antrópico por arrastre desde la minería o alguna descarga adicional.

Concentración de Metales traza en Agua.

Primavera, Campaña 1:

La E2 presentó un 41 % de metales totales a partir de la clase objetivo 2, contrario a E5 en que todos los metales pesados se presentaron bajo C2. Los metales totales que con mayor concentración se presentaron a lo largo del río fueron cobre, aluminio, plomo y molibdeno.

Centro de Investigaciones Aplicadas CIAP, Universidad Técnica Federico Santa María.
Madrid 344, Rancagua. Fono : 72- 248264.

E-mail: ct.rancagua@usm.cl. www.ciap.usm.cl

Respecto a los metales disueltos, la mayor cantidad por sobre C2 se presentaron en las estaciones E2, E3 y E4 lo que representó entre un 25 a 33 %. Destacó la presencia de Cobre, Manganeso, Aluminio y Cadmio. Las estaciones E5 y E6 localizadas en la parte potámica del río resultaron tener concentraciones similares de metales disueltos.

Verano, Campaña 2:

La presencia de cobre, molibdeno y aluminio en clase objetivo 2 se presentó a lo largo de todo el sistema desde la primera estación. En la estación E2 el cobre y molibdeno se destacaron, reflejando la actividad minera de la zona. El cobre se presentó con valores de 751 $\mu\text{g/L}$ y el Mo con 35,4 $\mu\text{g/L}$. En las otras estaciones el Cu no superó los 67 $\mu\text{g/L}$ y el Mo los 14,5 $\mu\text{g/L}$. El Al fue el otro metal destacado, con mayor concentración en la E1 y E4 con valores de 6.620 $\mu\text{g/L}$ y 6.090 $\mu\text{g/L}$ respectivamente, para el resto de las estaciones a lo más se observó un valor de 734 $\mu\text{g/L}$ y fue en la E6. También se observó en E1 y E4 altas concentraciones de hierro con rangos entre 2970 $\mu\text{g/L}$ a 3.600 $\mu\text{g/L}$ respectivamente, y en las otras estaciones el mayor valor fue de 651 $\mu\text{g/L}$ en E6. La E4 corresponde a Coinco estación influenciada por la cantidad de materia orgánica vertida históricamente desde el Estero La Cadena, esto la convierte en una estación vulnerable por toxicidad por metales, con riesgos a sufrir disminución de pH y solubilización de estos, como por ejemplo el Al y el Fe. Respecto a los metales disueltos el Cu fue alto en E2, E4 y E6 con rangos entre 144 $\mu\text{g/L}$ a 11,3 $\mu\text{g/L}$ representando a Clase objetivo 2. El Mo fue parejo presentándose en C2, en todas las estaciones con rangos entre 34,8 $\mu\text{g/L}$ (en Coya) a 10,5 $\mu\text{g/L}$. En Coya se observó además, una alta concentración de Mn con 276 $\mu\text{g/L}$ que correspondió a C4. El Al se presentó también en altas concentraciones en E1 con 276 $\mu\text{g/L}$ asociado a procesos de meteorización, en E4 y E5 con 933 $\mu\text{g/L}$ y 161 $\mu\text{g/L}$ respectivamente clasificando estas estaciones en C3.

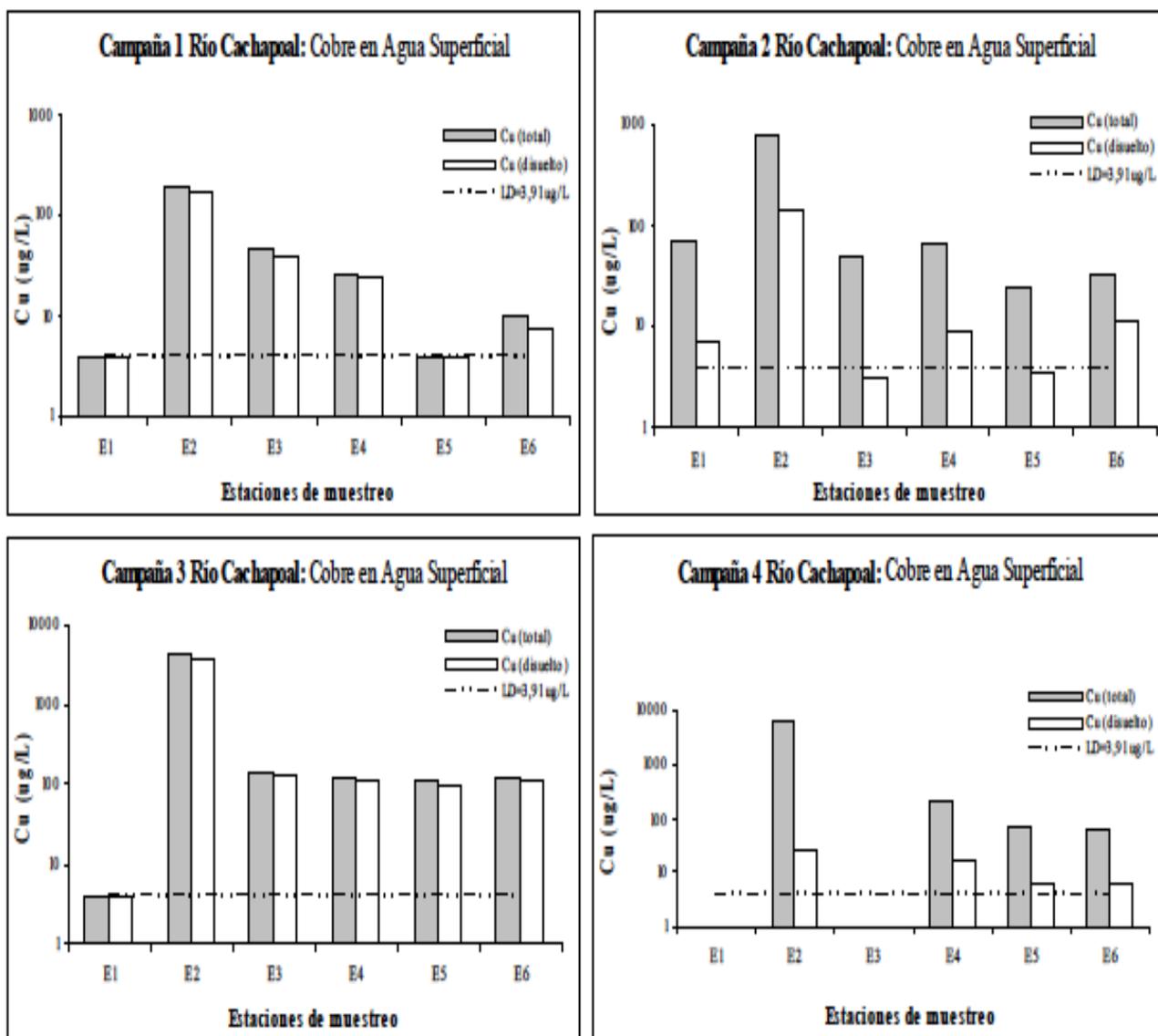
Otoño, Campaña 3:

En esta campaña se observó alta concentración de metales producto del aluvión que removió gran parte de los sedimentos. Los metales totales son los que más se destacaron en concentración. En la E1 sólo el B se encontró en (C4) con 706 $\mu\text{g/L}$, para la E2 fue más serio puesto que el 50% de los metales analizados cayeron en (C4) con valores desproporcionados dado el impacto hidrodinámico a que fue sometido el sistema, estos metales fueron Cu, B, Fe, Mo, Mn, Al y As. La situación se tornó más delicada pues el pH del agua fue de 6,57 ligeramente ácido. El resto de las estaciones respondió en forma pareja desde E3 a E6 y los metales que cayeron en (C4) fueron Fe y Al. Los rangos para el caso del Fe se presentaron entre $1,57 \times 10^4$ $\mu\text{g/L}$ a $9,01 \times 10^3$ $\mu\text{g/L}$ y para el caso del Al estuvieron entre $1,72 \times 10^4$ $\mu\text{g/L}$ y $1,54 \times 10^3$ $\mu\text{g/L}$. Para el caso de los metales disueltos la E2 nuevamente presentó la mayor concentración de metales entre calidad objetivo (C3) y (C4) representando un 42 %, estos fueron Cu, Fe, Mn, Al y Zn. Se destacó el Aluminio que se presentó en (C3) a partir de la E3 con $2,08 \times 10^3$ $\mu\text{g/L}$ concentración que fue disminuyendo río abajo terminando en la última estación E6 con $1,01 \times 10^3$ $\mu\text{g/L}$.

Invierno, Campaña 4:

En esta campaña se destacó el hierro y aluminio total presentándose en altas concentraciones llegando a calidad objetivo C4 en todas las estaciones desde E2 a E6. Sus valores fluctuaron entre $7,22 \times 10^4$ $\mu\text{g/L}$ a $7,22 \times 10^3$ $\mu\text{g/L}$ para hierro y de $5,9 \times 10^4$ $\mu\text{g/L}$ a 308 $\mu\text{g/L}$ para el aluminio. El Cobre total se detectó en C2 en todas las estaciones desde $6,17 \times 10^3$ a 64,3 $\mu\text{g/L}$, sólo en E2 y E4 se detectó a la forma disuelta con 26,5 $\mu\text{g/L}$ y 15,9 $\mu\text{g/L}$ respectivamente.

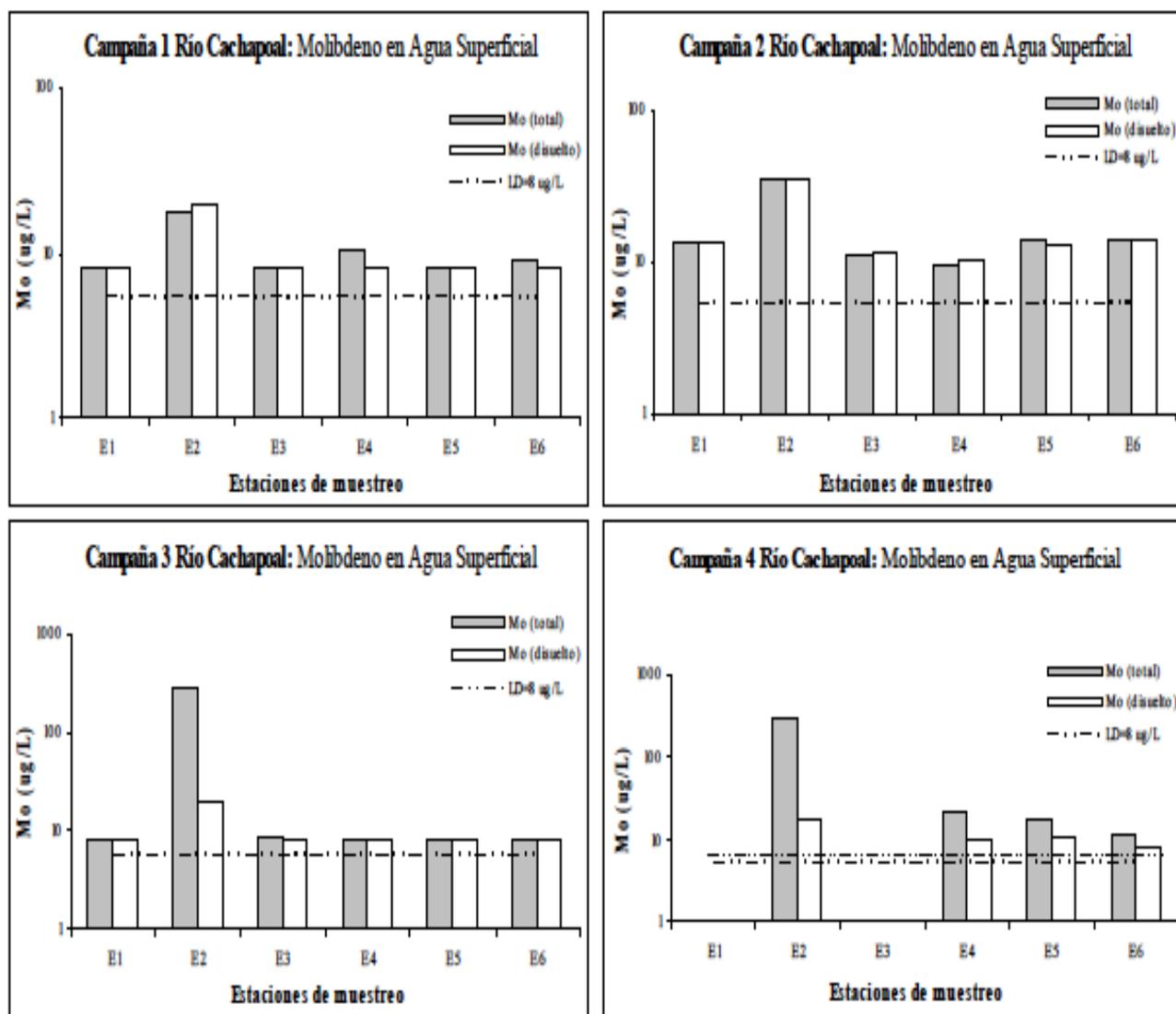
Cobre



Se observa que las mayores concentraciones de cobre total y disuelto fueron a partir de la E2 donde su efecto estaría repercutiendo en gran medida hasta la estación E4. Para el caso de

la campaña 2 (verano), donde el caudal disminuye, la estación E2 presentó los mayores valores tanto de cobre total como disuelto. Respecto a metales totales destacó la E3 y E4 por sobre la E5 y E6. En metales disueltos la E4 y E6 presentaron mayor concentración respecto a E3 y E5. Se debe considerar el contenido de materia orgánica, los aportes alóctonos especialmente por minería que se dan en el curso del río y los aportes de la matriz sedimentos. En la campaña 3 destacó la estación E2, pero en las estaciones río abajo la concentración de cobre tanto disuelto como total fueron similares. En este último caso podría ser atribuible a la crecida del río resultando que homogenizó el sistema respecto a la concentración de cobre y a la actividad minera que es preponderante en la E2. Para el caso de la época de invierno los mayores valores para cobre total se encontraron en la E2 con $6,17 \cdot 10^3 \mu\text{g/L}$ y en E4 con $217 \mu\text{g/L}$. También los mayores valores para cobre disuelto fueron de $26,6 \mu\text{g/L}$ en la E2 disminuyendo a $15,9 \mu\text{g/L}$ en E4.

Molibdeno



En todas las campañas se presentó la misma respuesta, en la estación E2 se detectó la mayor concentración atribuible a la minería cuprífera y en el resto de las estaciones la concentración disminuyó. Para las tres primeras campañas el molibdeno total presentó su valor más bajo alrededor de 8 µg/L y para la campaña de invierno este subió a 12 µg/L, sólo en un sólo caso alcanzó la calidad objetivo C4, correspondiente a época de otoño con 19,8 µg/L. Sin embargo en invierno la E4, E5 y E6 alcanzaron la clase objetivo C2 estando los valores entre 12 µg/ y 21,7 µg/ sólo en la E2 alcanzó la clase objetivo C3 con 302 µg/L. Para el caso del molibdeno disuelto el valor más bajo en esta campaña fue cercano a 8 µg/L, y no se superó la clase objetivo C2.

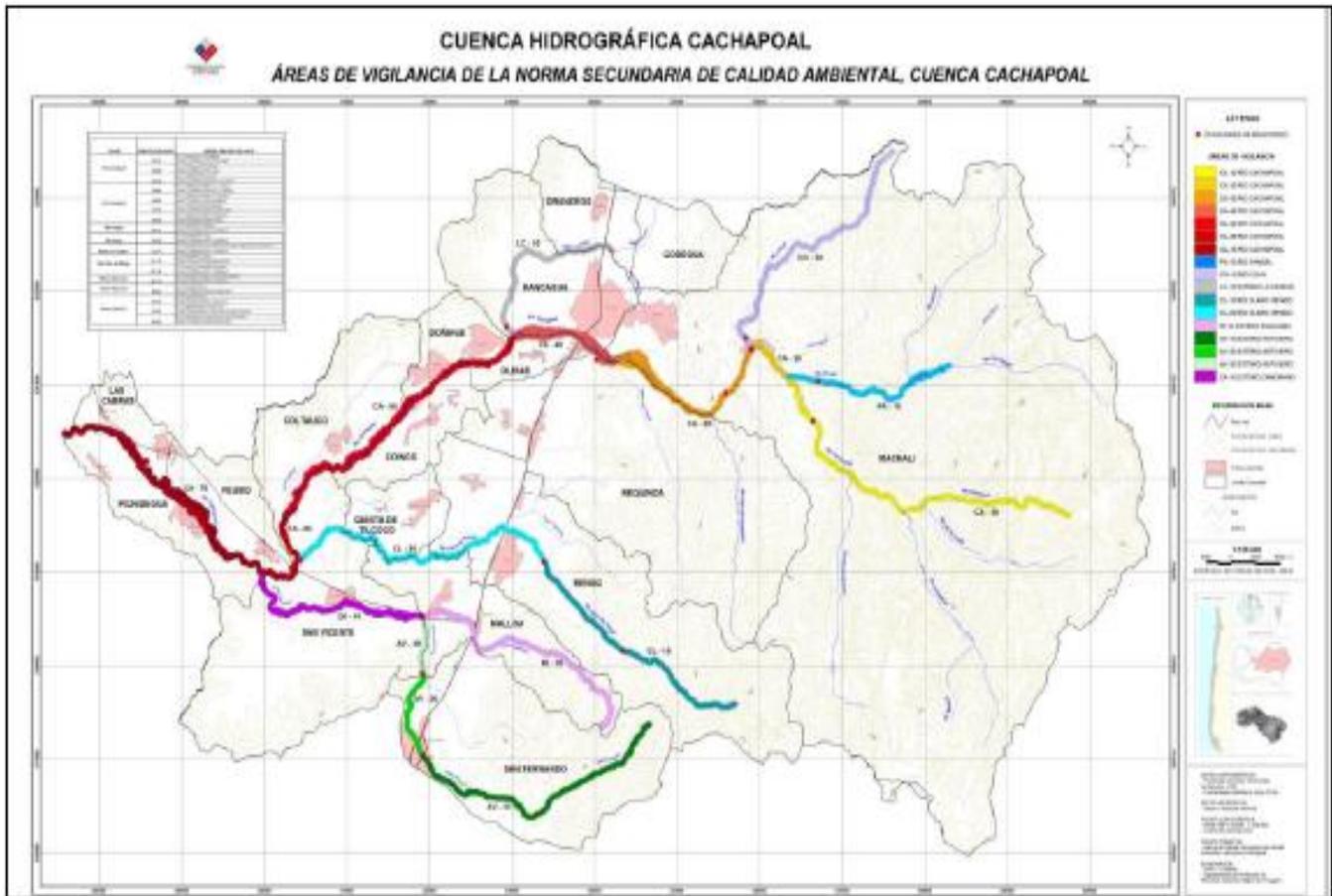
Situación de contaminación de las Aguas para el año 2011

Áreas de Vigilancia

Norma de Calidad Secundaria de Aguas Continentales Superficiales de la Cuenca del Río Cachapoal establece 17 estaciones de monitoreo asociadas a 8 cauces de la cuenca. Los cauces considerados son (entre paréntesis aparece el número de tramos individuales o estaciones de monitoreo por cause):

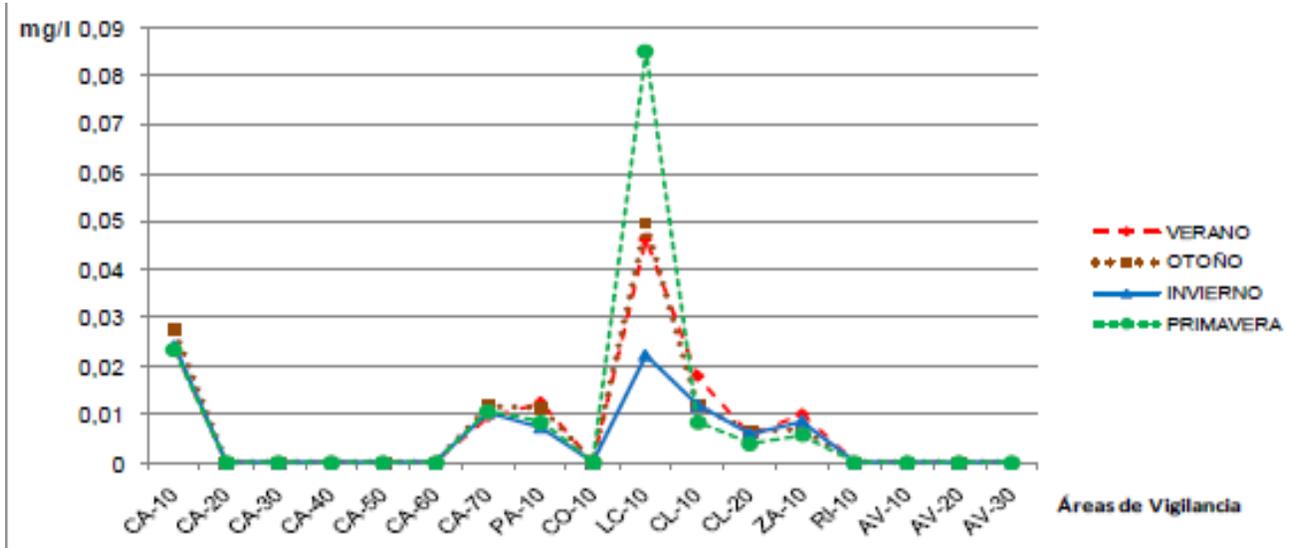
- Río Cachapoal (7).
- Río Pangal (1).
- Río Coya (1).
- Estero La Cadena (1).
- Río Claro de Rengo (2).
- Estero Zamorano (1).
- Estero Rigolemu (1).
- Estero Antivero (3).

Las respectivas estaciones de monitoreo y tramos asociados pueden apreciarse en la Figura siguiente:



Arsénico

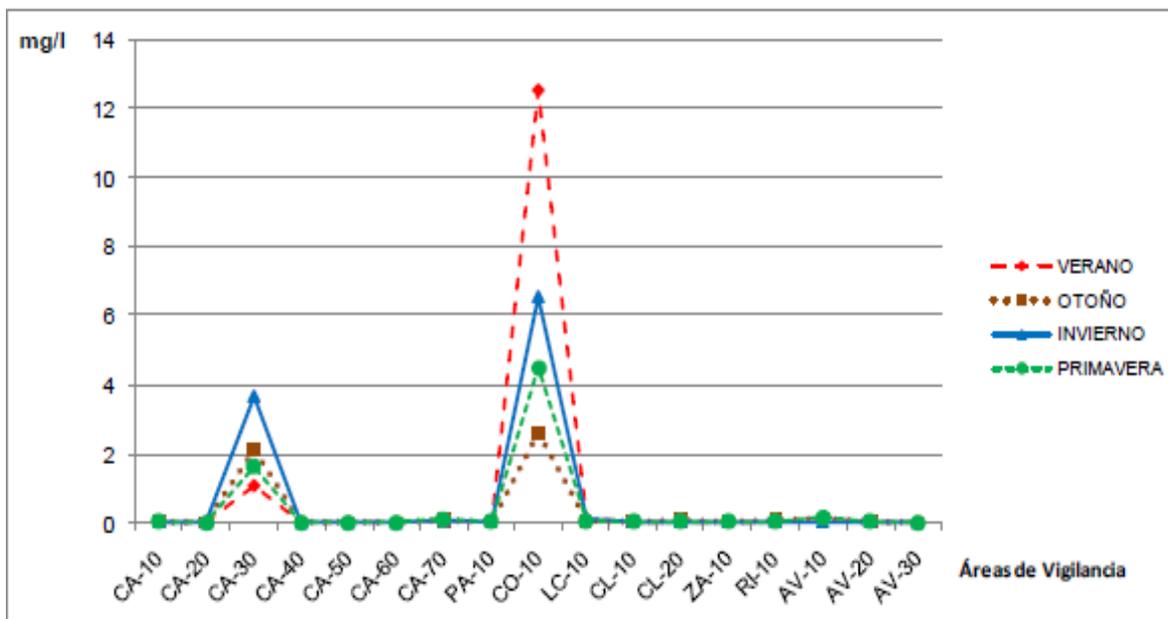
Comportamiento de la presencia de Arsénico a lo largo de las estaciones de monitreo, en las cuatro campañas o estaciones.



Se observan niveles significativos de arsénico en la tramo siete del río Cachapoal, y en mayor volumen en el estero La Cadena

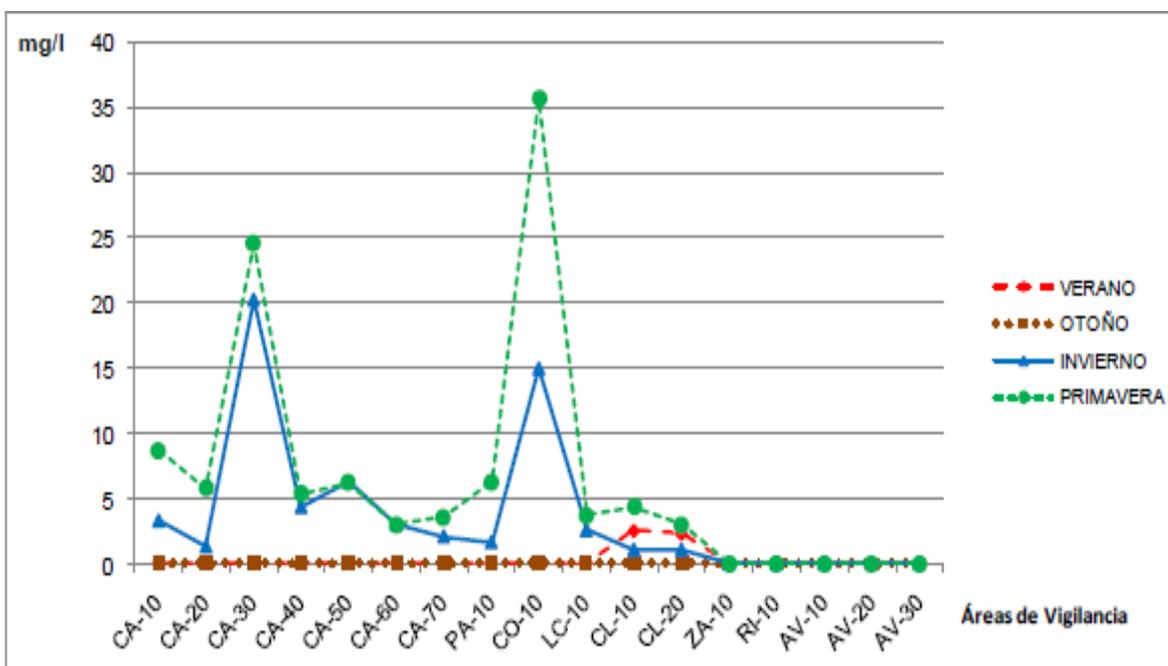
Cobre

Las mediciones de Cobre reportan niveles significativos en el tercer tramo de río Cachapoal, alcanzando los niveles más altos en las mediciones efectuadas en el Río Coya.



Molibdeno

En la figura se expone la situación de Molibdeno a lo largo de las estaciones de monitoréo

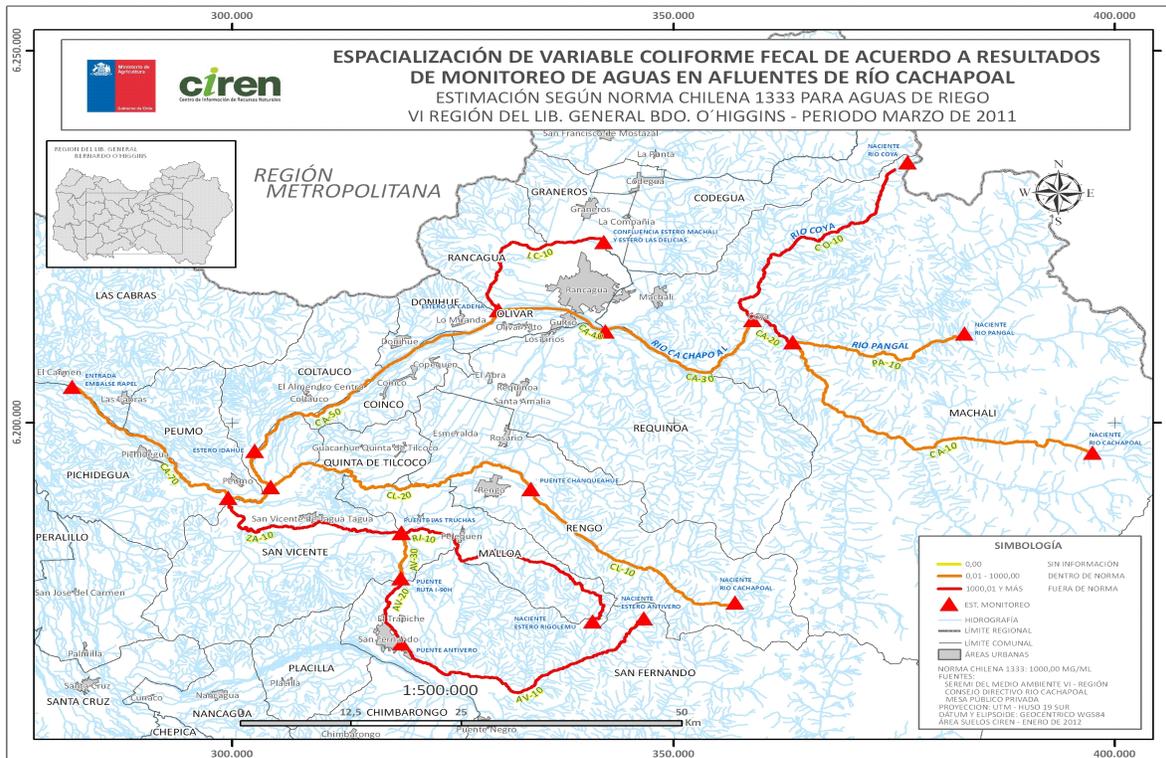


Las estaciones que presentaron mayor presencia de molibdeno fueron el tercer tramo del Rio Cachapoal y el mayor valor se encontró en la estación situada en el rio Coya.

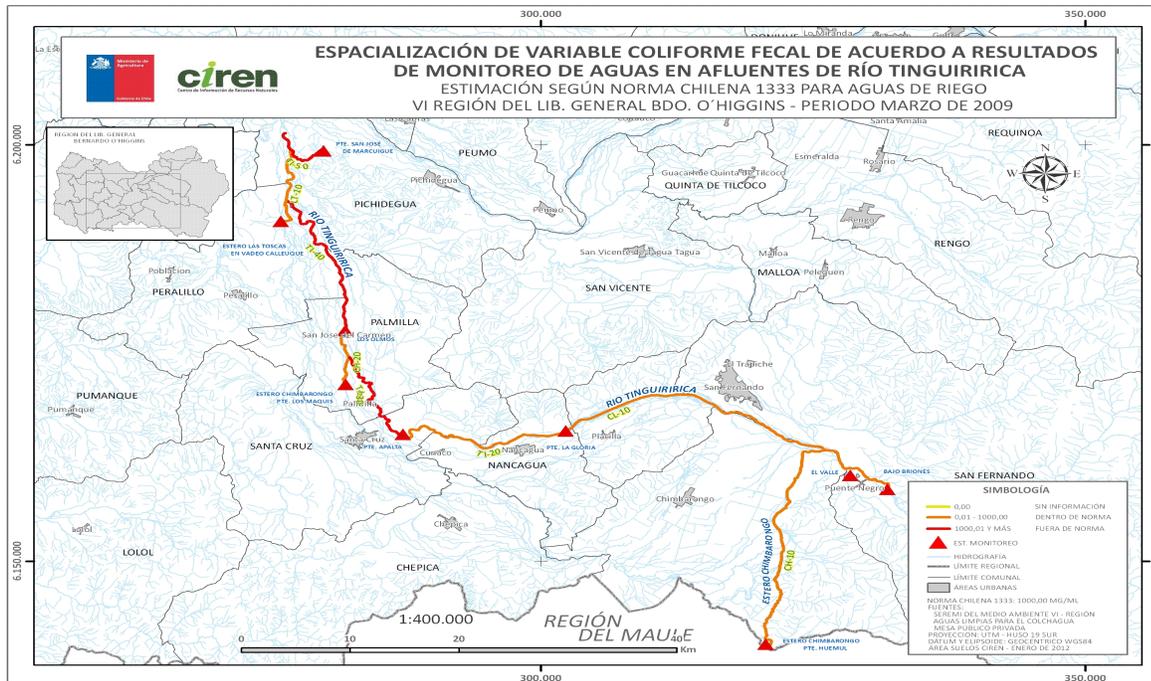
Situación de Contaminación por Materia Orgánica

Se considera para la recopilación de antecedentes de fuentes de contaminación solo la presencia de coliformes totales, dado que para la región representa un problema real afectar localidad de las aguas de riego, pudiendo generar sinergias con los residuos mineros y los residuos agrícolas.

La implementación de la Norma secundaria ha permitido la adquisición de información importante respecto de la situación de saturación de algunos tramos de las cuencas, como se puede apreciar en la gráfica que se presenta a continuación.

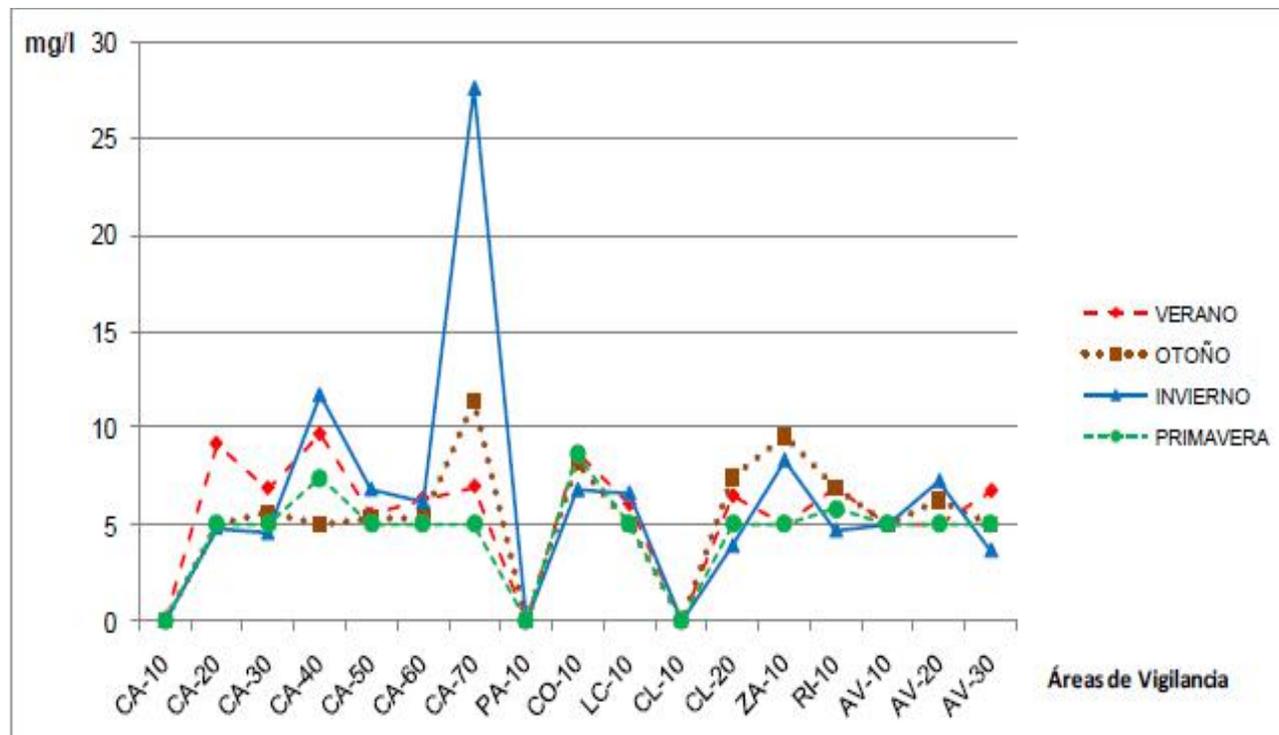


Las aguas superficiales de las mencionadas cuencas, cuentan con un **Programa de Vigilancia de Calidad de Aguas**, en el cual se evidencian altas concentraciones de bacterias *Coliformes totales y fecales*, en distintos tramos de los principales ríos de la región. Los *Coliformes fecales* muestran concentraciones que superan la norma de riego, por lo cual se establece que existe contaminación de aguas, en ciertos períodos del año. Las figuras adjuntas muestran las zonas contaminadas en los meses de Marzo, para las cuencas Cachapoal y Tinguiririca.

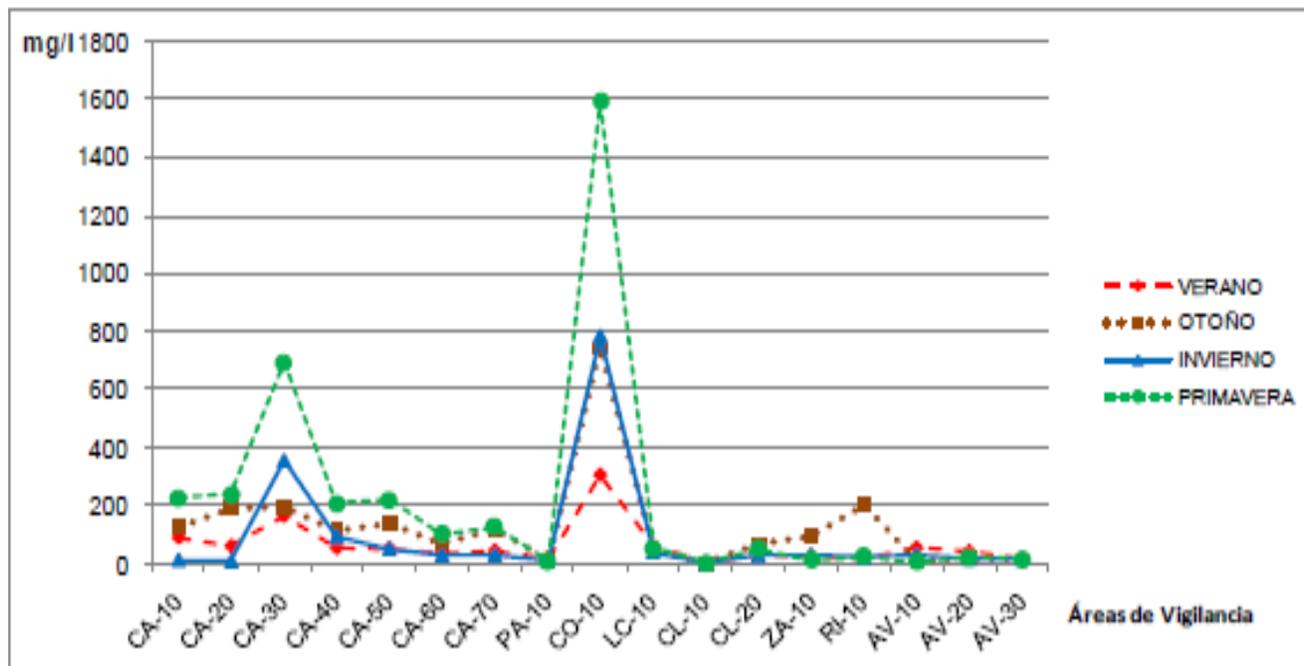


En los cuadros siguientes se presenta el comportamiento de algunos parámetros durante las estaciones del año, cuantificados en las estaciones de monitoreo de la cuenca del Río Cachapoal.

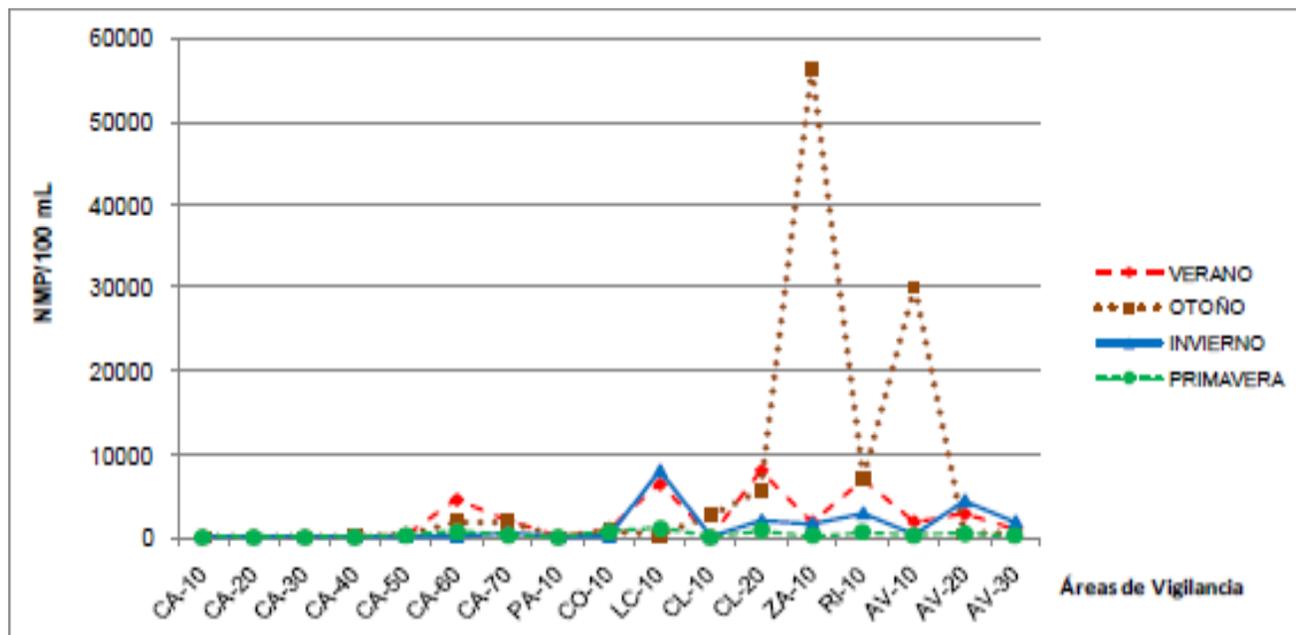
Comportamiento estacional de Aceites y Grasas



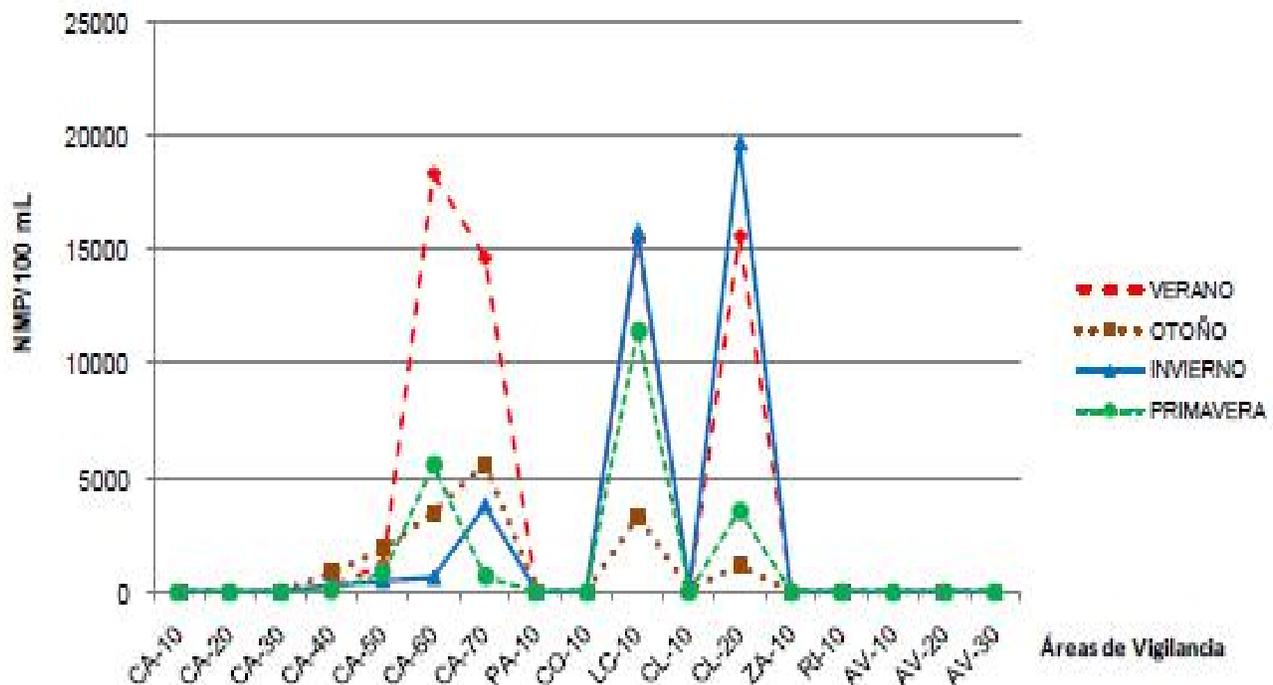
Comportamiento estacional de Solidos Suspendedos



Comportamiento estacional de Coliformes Fecales



Comportamiento estacional de Coliformes Totales



Calidad de las Aguas de Riego:

La NCh 1.333 establece treinta parámetros de calidad de aguas para su uso en riego. Para todos los cursos de agua superficial (divididos por tramos) de la Cuenca del Río Cachapoal, el porcentaje de parámetros no normados en la NSCA varía entre 33 y 77 %. Junto con lo anterior, en las áreas de vigilancia del estero Antivero un 3% de los parámetros se encuentran normados por la NSCA, pero no existe información en las base de datos para el pronunciamiento del cumplimiento de calidad para este uso

A pesar de la falta de información, al analizar la tabla siguiente (por curso de agua, no por tramo) se observa que:

- El estero La Cadena (LC-10) es el curso de agua que presenta el mayor porcentaje de cumplimiento de la NCh 1333 para uso en riego (57 %).
- El Río Coya (CO-10) es el curso de agua que presenta el mayor porcentaje de incumplimiento de la NCh 1333 para uso en riego (17 %).
- El río Pangal (PA-10) es el curso de agua que presenta el mayor porcentaje de parámetros no normados en la NSCA, pero que se exigen en la NCh 1333 para riego (64 %).

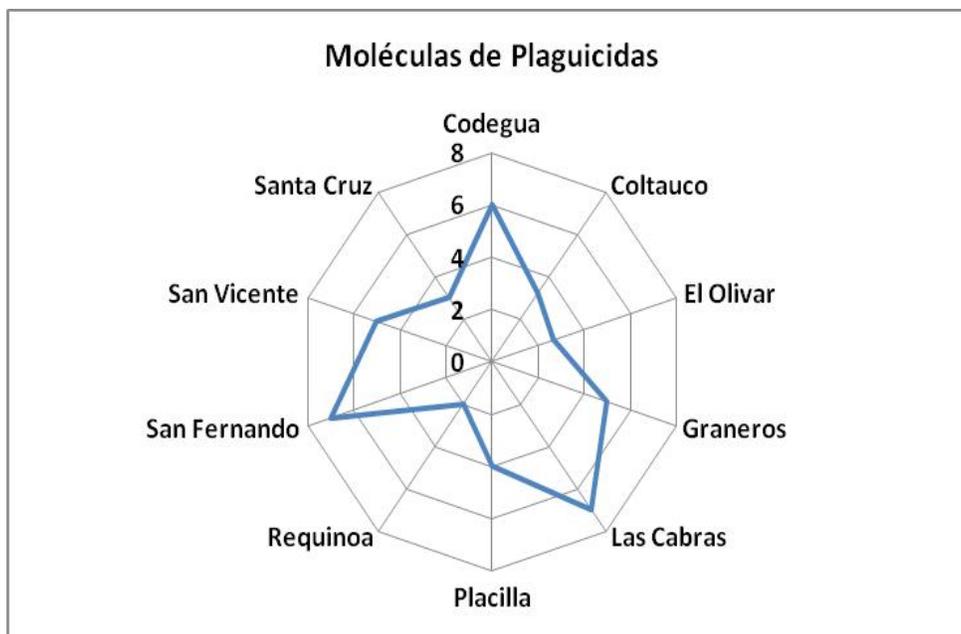
En la Tabla siguiente, se evidencia que el tramo con mejor calidad de agua para riego corresponde al río Cachapoal, entre confluencia con río Claro de Rengo y entrada a embalse Rapel (CA-70), con un 63 % de cumplimiento de la NCh 1333. En este análisis, nuevamente el río Coya presenta el mayor porcentaje de incumplimiento (17 %), mientras que los tramos con menos parámetros normados corresponden al río Cachapoal, desde confluencia con estero Los leones hasta confluencia con estero Zamorano (Ca-40 y CA-60).

ÁREAS DE VIGILANCIA	RIEGO			
	CUMPLE	NO CUMPLE	PÁRAMETRO NO NORMADO	PÁRAMETRO SIN INFORMACIÓN
CA-10	50	7	43	0
CA-20	20	3	77	0
CA-30	20	13	67	0
CA-40	17	7	76	0
CA-50	17	7	76	0
CA-60	20	3	77	0
CA-70	63	7	30	0
PA-10	33	3	64	0
CO-10	50	17	33	0
LC-10	57	10	33	0
CL-10	37	3	60	0
CL-20	57	10	33	0
ZA-10	47	3	50	0
RI-10	37	3	60	0
AV-10	37	0	60	3
AV-20	30	3	64	3
AV-30	27	3	67	3

Cumplimiento de la Norma Chilena de riego 1333 del río Cachapoal.

Situación de la Presencia de Plaguicidas en suelos de la región de O'Higgins

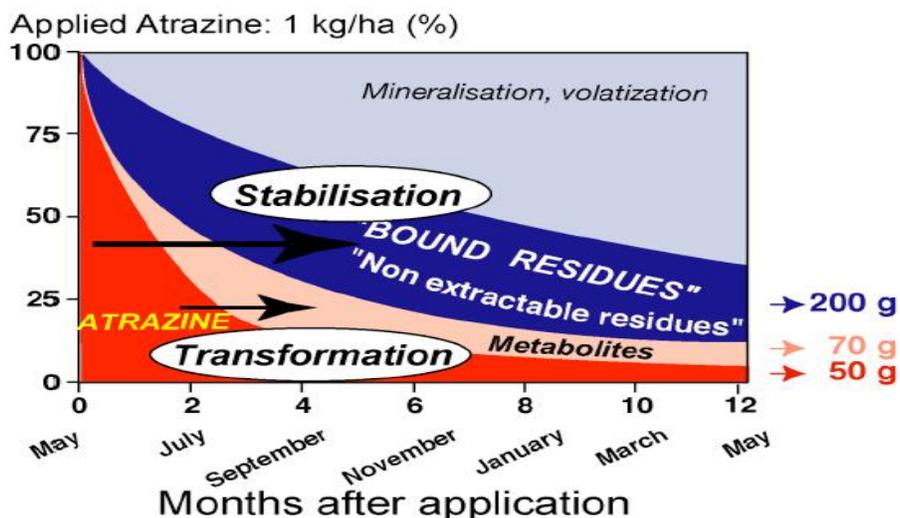
El CIAP ha efectuado un seguimiento de los residuos de plaguicidas en suelo que pueden aparecer en frutos, de lo cual se ha observado una persistencia y acumulación de moléculas en suelo más allá de los tiempos esperados para su degradación, según se puede apreciar en la gráfica.



Fuente: Elaboración Propia CIAP

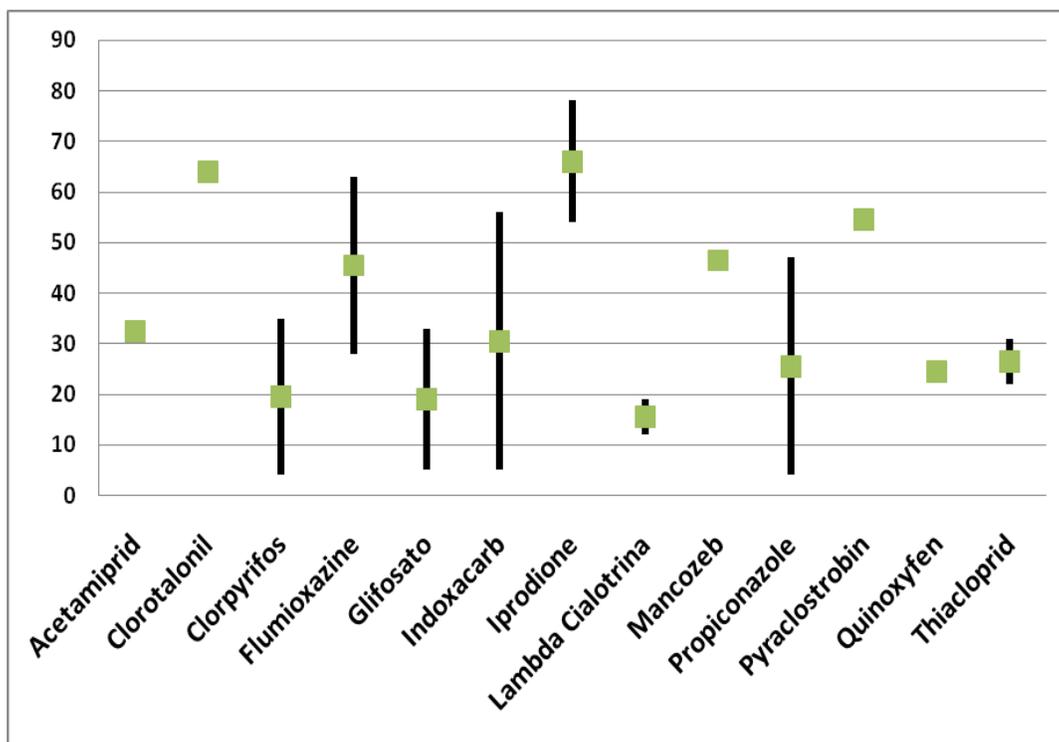
La gráfica sitúa en cada comuna el promedio de residuos diferentes encontrados, si bien la presencia de cada uno de los compuestos encontrados es diferente, por lo que existe la posibilidad de degradación de algunos o todos los detectados en la medición a lo largo de algunos años, al ser suelos de cultivo se irán incorporando nuevas moléculas, es decir, el gráfico permite además identificar el estrés a que son sometidos por acumulación de residuos de plaguicidas los suelos agrícolas de las comunas mencionadas.

El comportamiento de los residuos de plaguicidas se presenta en el cuadro siguiente



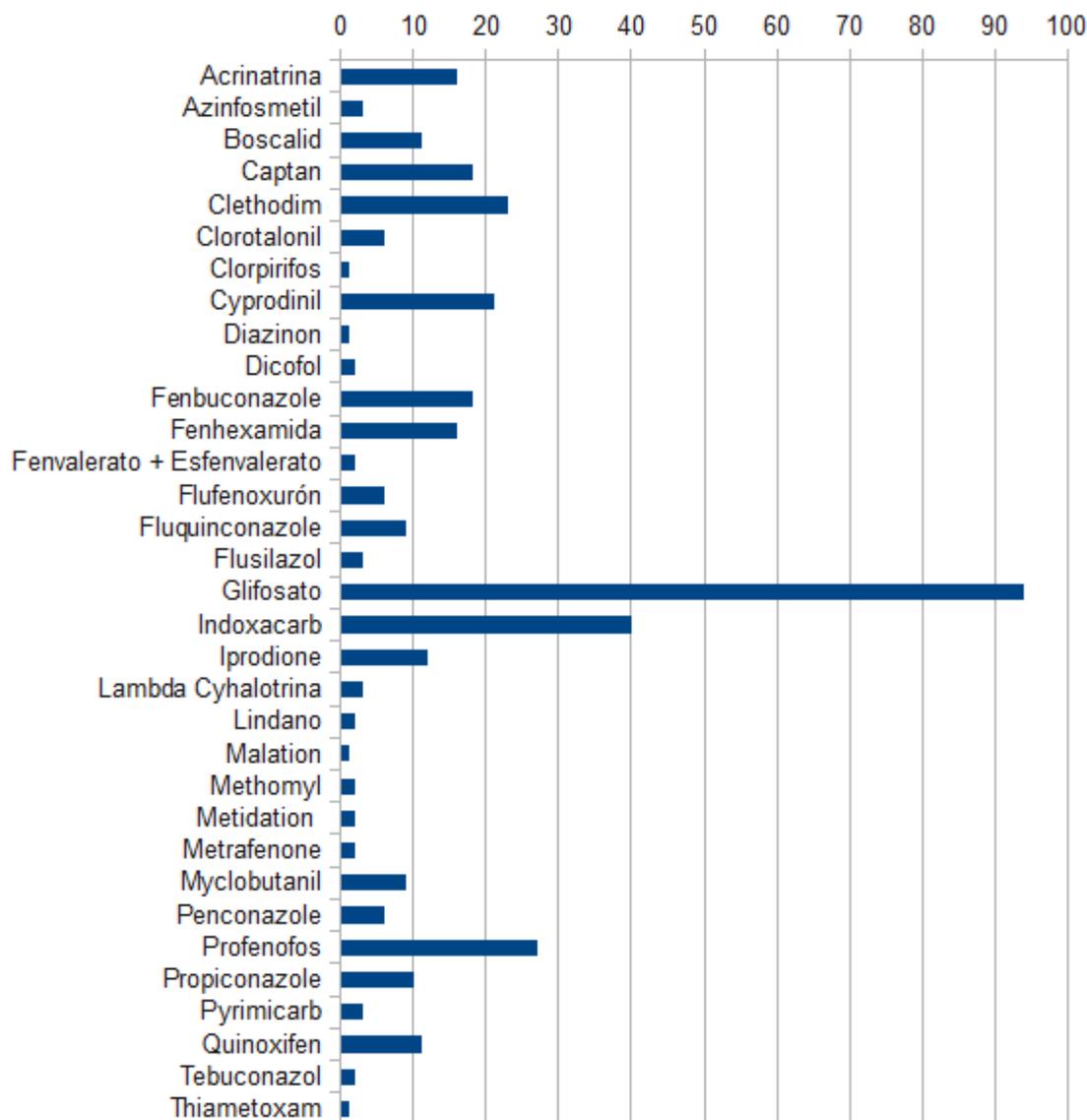
Se puede apreciar que para cada compuesto que termina en el suelo, un porcentaje de él se mantiene estable por mucho tiempo, lo que se denomina “Residuo no extraíble”

Cada molécula tiene un comportamiento propio, el que es afectado por las propiedades físico químicas del suelo. En el cuadro siguiente se puede apreciar la variación del porcentaje de residuo que puede permanecer en el suelo en relación a la concentración de aplicación para algunos compuestos:



Fuente: Elaboración propia a partir de estudios Internacionales de residualidad en suelos.

Producto de la acumulación de residuos en suelos y de la aplicación permanente de agroquímicos para el cultivo intensivo de frutales, cereales y hortalizas, los suelos cuentan con background de residuos, situación que se presenta en la grafica que sigue

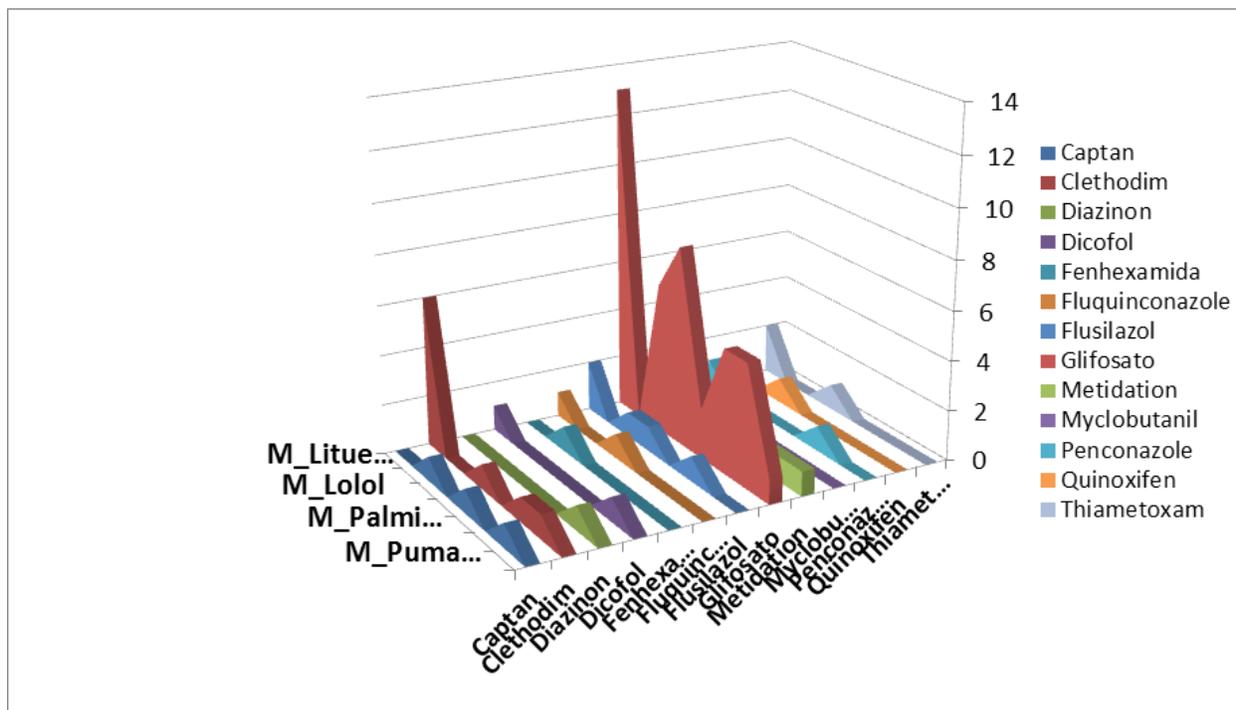


Se evaluaron 102 muestras de suelos de las comunas con mayor presencia agrícola de la región y se detectaron más de 33 residuos diferentes, siendo el residuo de mayor frecuencia Glifosato (un herbicida) presente en el 90% de ellas.

Al porcentaje de acumulación de residuos en suelos se debe sumar la pérdida por deriva movilizadas a través del agua de riego, la que traslada los residuos de plaguicidas aguas abajo hasta alcanzar zonas de bajo riego como son aquellas existentes en secano, compuestas por flora nativa y que se vio afectada por residuos de agroquímicos.

Para identificar la carga residual de los sectores de secano se utilizó la evaluación de residuos de agroquímicos en muestras de miel, reconocida como indicador de contaminación ambiental, para lo cual se consideró la localización de 52 apiarios distribuidos en las

comunas de Litueche, Lolol, Palmilla y Pumanque, el resultado se aprecia en la imagen siguiente:



Resumen, Línea Base y Caracterización de residuos en suelos.

En la revisión de las fuentes secundarias, se caracterizó la presencia de Metales traza en las cuencas del Cachapoal y Tinguiririca, siendo la que contiene mayor presencia de residuos la cuenca del Cachapoal al ser la receptora de los residuos generados por la empresa minera. Si bien se dispone de información actualizada y la Dirección General de Aguas efectúa frecuentemente la evaluación de los residuos en la cuenca a través de las estaciones de monitoreo instaladas con la implementación de la Norma Secundaria, no existe una caracterización de la cobertura que puede verse afectada por la contaminación que existe en el curso de agua, el valor entonces de esta información lo constituye la caracterización del curso de agua como fuente de contaminación y la distribución de su contenido mineral en suelos agrícolas.

La implementación de la Norma secundaria también ha permitido evaluar la aplicación de la Norma Chilena de Riego NCh 1333, identificando el cumplimiento de la serie de parámetros que contiene en cada uno de los tramos, lo que vuelve a situar a los cursos de agua como vector de contaminación de suelos agrícolas de la región, así como acumulación de residuos en el embalse rapel, lugar de convergencia de los ríos Cachapoal y Tinguiririca y fuente de riego de las comunas de Secano.

Por último, está el aporte que generan los agricultores a la contaminación de los suelos, tanto a sus propios suelos como a los suelos aledaños producto del uso de agroquímicos, constituyendo una fuente de contaminación difusa que es aportada al agua y que puede ser recepcionada por un nuevo productor aguas abajo a través del canal de riego.

II. Situación de Contaminación de la región, Carga Residual y Movilidad de Contaminantes.

Zonas evaluadas de la región para caracterización de su carga residual.

Para determinar la carga de residuos Acumulada en zonas de cultivo se establecieron puntos de muestreo de suelos agrícolas, los cuales permiten identificar la situación de contaminación de suelos y el comportamiento de los residuos a lo largo de la región.

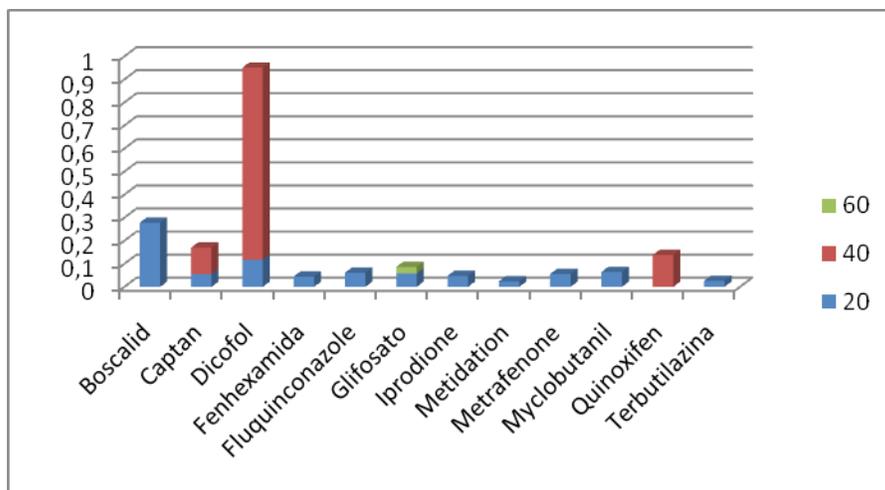
La localización de las estaciones de muestreo se presenta en la imagen siguiente:



La situación de cada punto de monitoreo se presenta descrita en cada zona

Zona 1

Identificación residuos de plaguicidas en suelo.

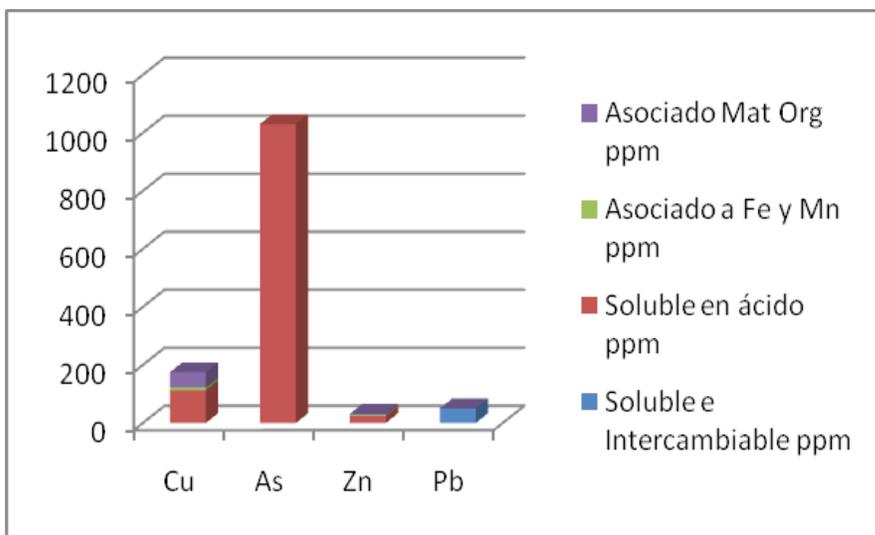


Centro de Investigaciones Aplicadas CIAP, Universidad Técnica Federico Santa María.
Madrid 344, Rancagua. Fono : 72- 248264.

E-mail: ct.rancagua@usm.cl www.ciap.usm.cl

Los residuos se exponen en concentración referida a mg/kg y se han cuantificado a partir de tres niveles de profundidad, esto para evaluar la capacidad de lixiviación de los agroquímicos.

Presencia de residuos de Metales Traza.

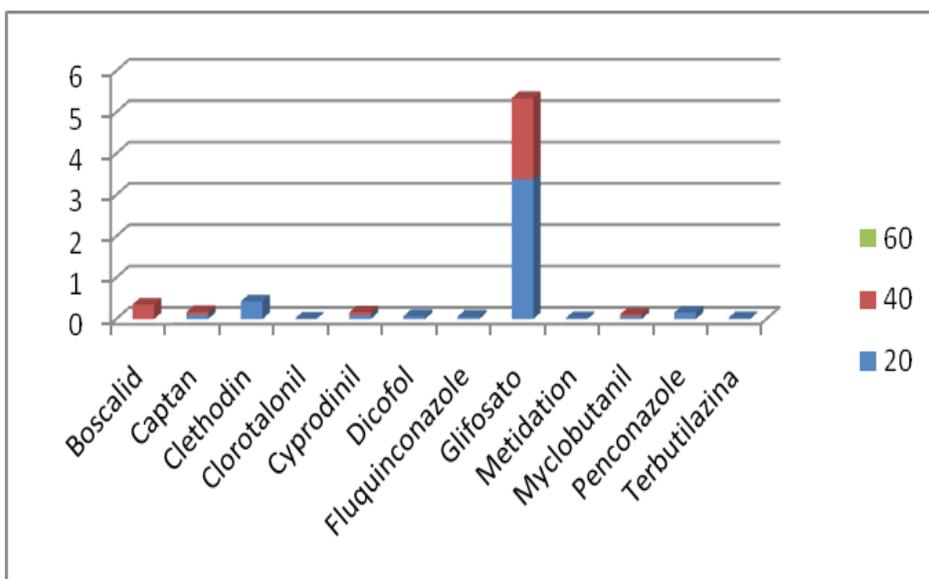


Si bien se analizaron 8 metales traça, los que se presentan en la gráfica fueron aquellos que pudieron ser cuantificados.

Resalta la presencia de Arsénico en la zona.

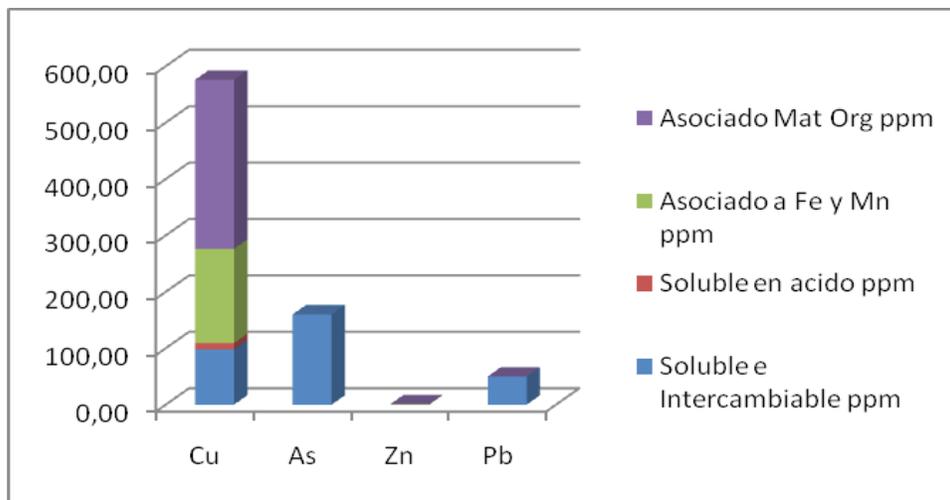
Zona 2

Identificación residuos de plaguicidas en suelo.



Los residuos se exponen en concentración referida a mg/kg y se han cuantificado a partir de la profundidad, esto para evaluar la capacidad de lixiviación de los agroquímicos. Importante la presencia de Boscalid solo en el tramo 20 a 40 cm.

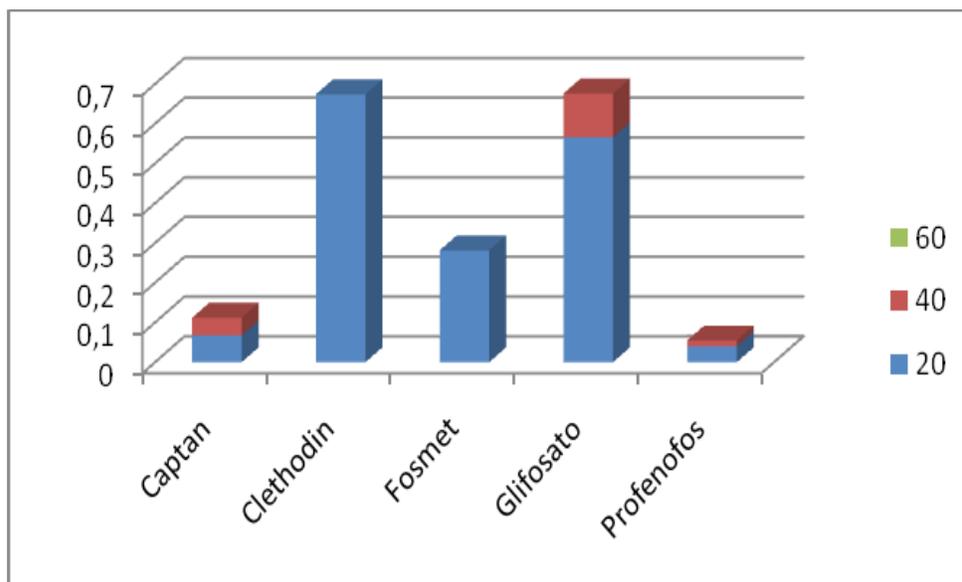
Presencia de residuos de Metales Traza.



Se detectó una concentración alta de Cobre y Arsénico disponible. Si bien el contenido de materia orgánica es bajo, más del 50% del Cobre existente se encuentra asociado a ella, esto es frecuente cuando se utiliza guano para enriquecer el suelo, es probable que el alto contenido de fosforo también este asociado a este abono.

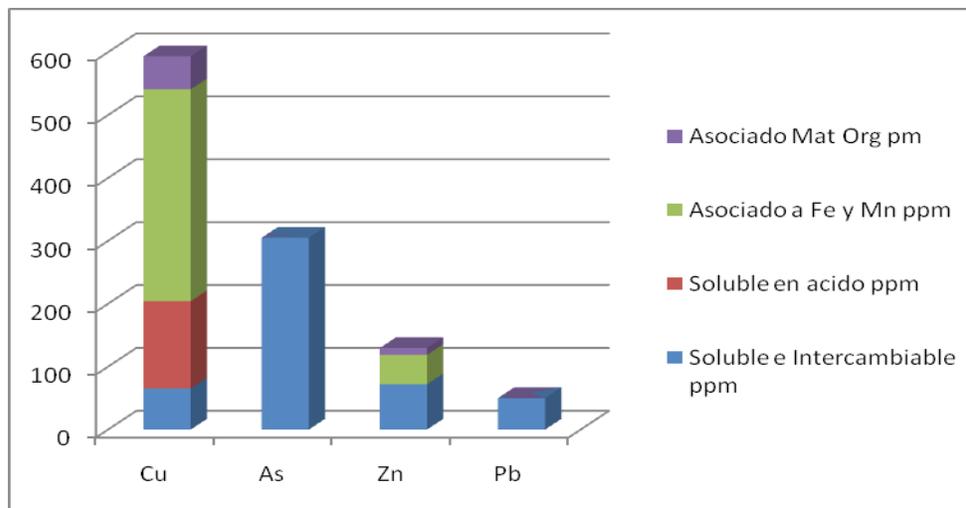
Zona 3

Identificación residuos de plaguicidas en suelo.



Los residuos se exponen en concentración referida a mg/kg y se han cuantificado a partir de la profundidad, esto para evaluar la capacidad de lixiviación de los agroquímicos. La profundidad máxima alcanzada fue de 40 cm.

Presencia de residuos de Metales Traza.

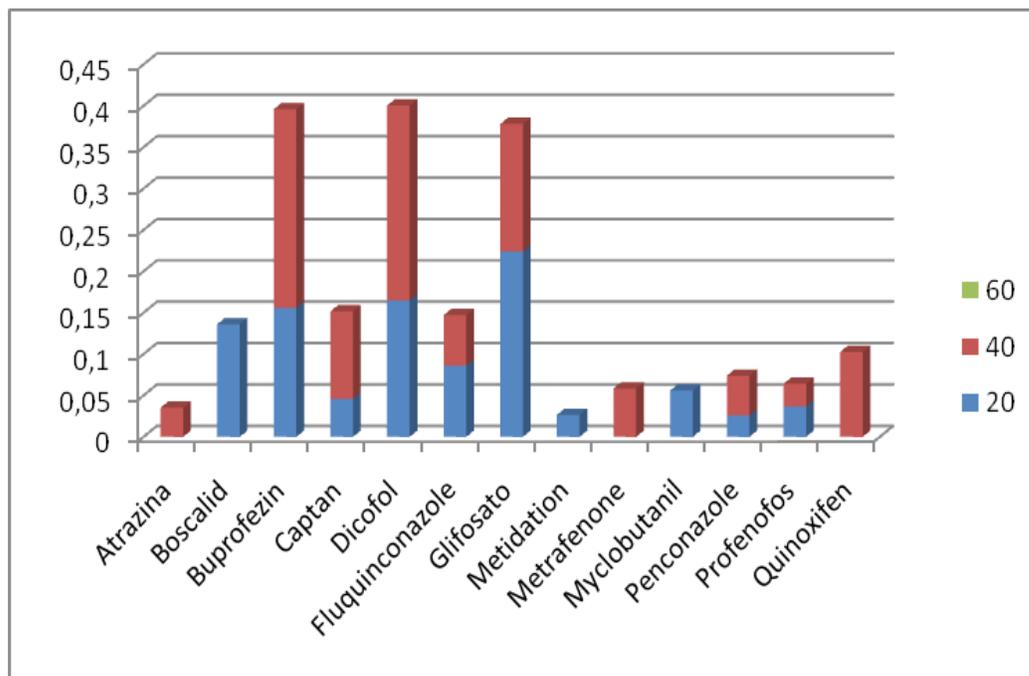


Lo más importante es la presencia de altos niveles de Cobre (límite permitido el suelo 200 ppm) y Arsénico potencialmente disponible (límite permitido en suelo 50 ppm).

La medición de disponibilidad de Cobre por Quelación llegó a 246 ppm.

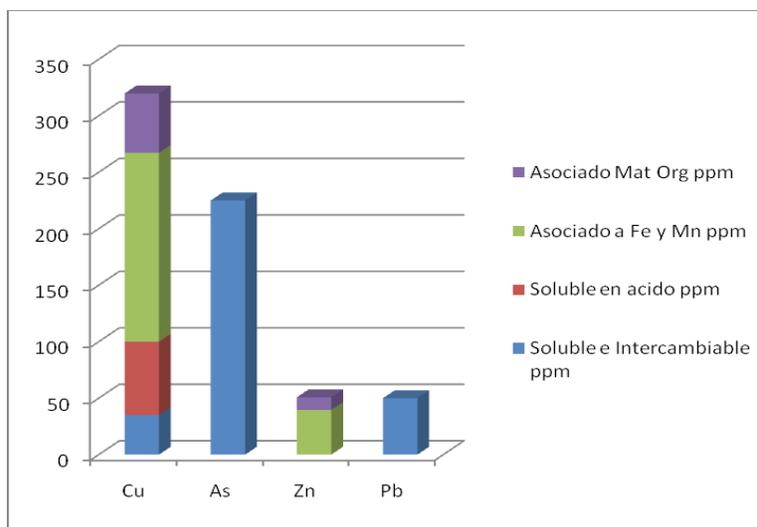
Zona 4

Identificación residuos de plaguicidas en suelo.



Los residuos se exponen en concentración referida a mg/kg y se han cuantificado a partir de la profundidad, esto para evaluar la capacidad de lixiviación de los agroquímicos. Para esta muestra solo se pudo alcanzar una profundidad de 40 cm.

Presencia de residuos de Metales Traza.



Si bien se analizaron 8 metales traza, los que se presentan en la gráfica fueron aquellos que pudieron ser cuantificados.

Lo más importante es la presencia de altos niveles de Arsénico potencialmente disponible.

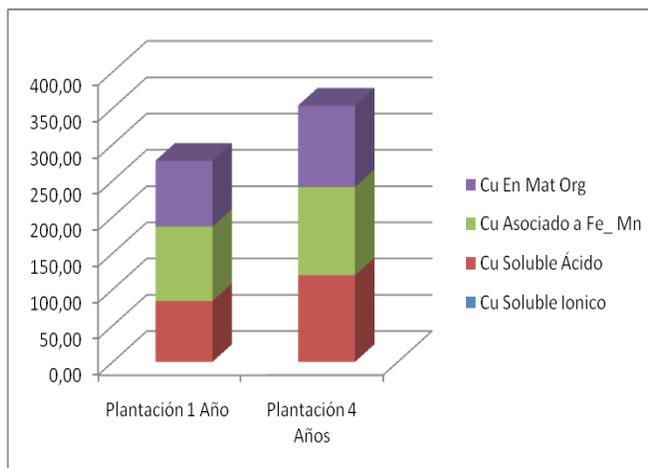
Zona 5

Identificación residuos de plaguicidas en suelo.

Agroquímicos ppm	Plantación 1 año	Plantación 4 Años
Boscalid		0,037
Captan	0,048	0,043
Chlorothalonil		0,091
Cyprodinil	0,011	0,13
Fenvalerate-1	0,312	0,336
Glifosato	0,05	0,061
Myclobutanil	0,028	
Penconazole	0,011	0,011

Presencia de residuos de metales traza.

Metales Trazas	Plan 1 año	P 4 años
	mg/kg	mg/kg
Cu Soluble Intercambiable	0,00	0,00
Cu Soluble Ácido	84,00	119,50
Cu Asociado a Fe_ Mn	102,60	121,80
Cu En Mat Org	91,00	112,35
Fe	1548,00	1982,60
Zn	9,60	9,40



Zona 6

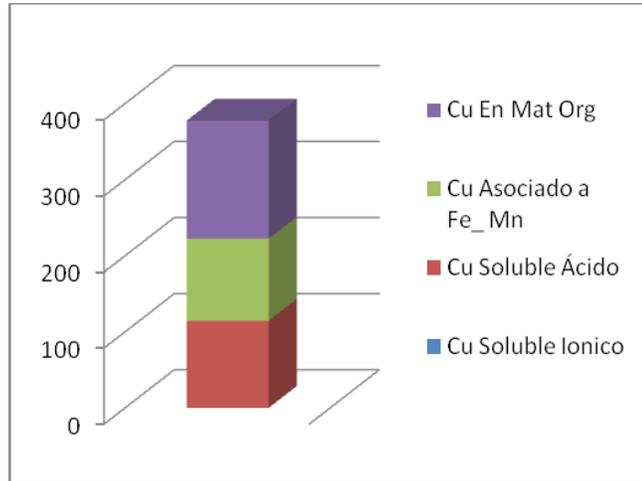
Identificación residuos de plaguicidas en suelo.

Agroquímicos	ppm
Captan	0,057
Fluquinconazole	0,05
Glifosato	0,032

Presencia de residuos de metales traza.

Metales Traza mg/kg

Cu Soluble Intercambiable	0
Cu Soluble Ácido	114,50
Cu Asociado a Fe_ Mn	108
Cu En Mat Org	155,05
Fe	1892,30
Zn	9,60



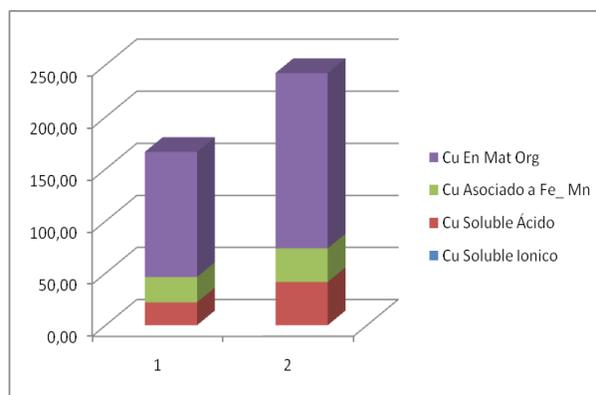
Zona 7

Identificación de Presencia de Residuos de Agroquímicos en Suelo

Agroquímicos ppm	Punto 1	Punto 2
Acrinatrina		0,255
Atrazina	0,028	0,027
Fenamifos	0,762	
Fluquinconazole		0,017
Fosmet	0,370	
Iprodione		0,116
Myclobutanil		0,056
Quinoxifen	0,161	0,075
Tebuconazole	0,625	1,335

Presencia de Metales Traza

Metales Traza mg/kg		
Cu Soluble Ionico	0,00	0,00
Cu Soluble Ácido	22,00	41,50
Cu Asociado a Fe_ Mn	24,40	32,40
Cu En Mat Org	120,05	168,35
Fe	2423,1	2420,5
	5	0
Zn	67,85	67,85



Consideraciones para la caracterización de suelos como suelos contaminados, se basará bajo la propuesta de directivas de Kelley.

Directivas de Kelley para clasificación de suelos contaminados

Parámetro	mg/kg de suelo seco				
	Valores típicos para suelos no contaminados	Contaminación ligera	Contaminación	Contaminación alta	Contaminación inusualmente alta
pH (ácido)	6 – 7	5 – 6	4 – 5	2 – 4	<2
pH (alcalino)	7 – 8	8 – 9	9 – 10	10 – 12	>12
Arsénico	0 – 30	30 – 50	50 – 100	100 – 500	>500
Cadmio	0 – 1	1 – 3	3 – 10	10 – 50	>50
Cromo	0 – 100	100 - 200	200 – 500	500 – 25.000	>2.500
Cobre (disponible)	0 – 100	100 – 200	200 – 500	500 – 25.000	>2.500
Plomo	0 – 500	500 – 1.000	1.000 – 2.000	2.000 – 1.0%	>1%
Plomo (disponible)	0 – 200	200 – 500	500 – 1.000	1.000 – 5.000	>5.000
Manganeso	0 – 500	500 – 1.000	1.000 – 2.000	2.000 – 1.0%	1.0%
Níquel (disponible)	0 – 20	20 – 50	50 – 200	200 – 1.000	>1.000
Cinc (disponible)	0 - 250	250 - 500	500 – 1.000	1.000 – 5.000	>5.000

Las directivas de Kelley son utilizadas en la comunidad europea para determinar el nivel de contaminación de los suelos agrícolas, aplicadas a los suelos observados como puntos de referencia de acumulación de residuos se puede inferir la condición de todos los suelos muestreados en calidad de contaminación ligera y contaminación para Cobre y Arsénico, esto es consistente con la información identificada en las aguas en los tres estudios efectuados a las cuencas de los ríos Cachapoal y el Tinguiririca.

III. Caracterización de los parámetros que Influyen en la Acumulación y Disponibilidad de los Contaminantes

Biodisponibilidad.

López y Grau (2005), definen el término biodisponibilidad como la capacidad de un elemento para pasar de un compartimento cualquiera del suelo a un ser vivo. Esta movilidad, que se define como la aptitud de transferencia de metales pesados entre compartimentos, está determinada por la forma, el número de cargas y la energía de retención de los metales pesados (Reid, 2001) y se ve influenciada por factores externos (pH, temperatura, humedad, ambiente químico, etc.) aunque también se puede asociar con el uso del suelo, por ejemplo, los metales en suelos forestales son más fácilmente movilizados que en suelos agrícolas, lo que está directamente relacionado con mayor acidez del suelo y a la mayor presencia de sustancias orgánicas de bajo peso molecular (Kabata- Pendias y Pendias, 2000).

La toxicidad de un suelo debido a los metales pesados y elementos asociados es una consecuencia directa de sus concentraciones en las fases bioasimilables, es decir, la solución del suelo y las formas adsorbidas. Esta fracción asimilable se equipara a la extraída por DTPA o por EDTA y a ella se deberían referir los diferentes niveles de toxicidad. Pero por la dificultad de extracción, es por lo que las normativas prefieren evaluar la cantidad total de elemento tóxico presente. Se supone que existe un equilibrio entre la fase soluble y la cantidad total presente. Lindsay (1979) calcula que el 10% del total se encuentra en fase soluble. Pero en esta correspondencia intervienen numerosos factores tanto del elemento tóxico en sí, como de las características del propio suelo. Por tanto, las formas geoquímicas de los metales pesados en suelos contaminados afecta la solubilidad, lo cual influencia directamente la disponibilidad hacia las plantas (Davis et al., 1993, Zhang et al., 1997).

La especiación y la localización de contaminantes en el suelo están relacionados con su forma química en el momento de la importación, debido a que va a regular no sólo su disponibilidad (según se encuentre disuelto, adsorbido, ligado o precipitado) sino que también el grado de toxicidad (Kabata-Pendias y Pendias, 2000) e influirá decisivamente en el efecto contaminante producido. Por tanto, la biodisponibilidad de contaminantes depende de sus propiedades químicas, las propiedades del suelo, la condiciones ambientales y la actividad biológica (Pilon-Smits, 2005).

Factores del suelo que afectan la acumulación y disponibilidad de metales

Los principales factores del suelo que afectan la acumulación y disponibilidad de los metales pesados son:

• pH

El pH es uno de los parámetros más importante para definir la movilidad del catión (Wong, 2003). Esencialmente las fracciones más móviles de iones ocurren en los rangos menores de pH. Aunque la mayoría de los metales tienden a estar más disponibles a pH ácido, algunas especies químicas de *Mo* y *Se* están más disponibles a pH básicos (Kabata- Pendias y Pendias, 2000; Garcia y Dorronsor, 2005).

En medios alcalinos pueden pasar nuevamente a la solución como hidroxicomplejos (Lopez y Grau, 2005). Pero en general, con un aumento del pH del suelo, la solubilidad de muchos metales pesados disminuye y la concentración de elementos traza es menor en la solución de suelos neutros y básicos que aquellos ligeramente ácidos (Kabata-Pendias y Pendias, 2000).

• **Condiciones redox**

El potencial de oxidación-reducción es responsable de que el metal se encuentre en estado oxidado o reducido y del cambio directo en la valencia de ciertos metales; por ejemplo, en condiciones reductoras el Fe^{3+} se transforma en Fe^{2+} . Generalmente, las condiciones redox afectan indirectamente la movilidad de los metales, siendo más solubles en medios reducidos. Por ejemplo, los hidróxidos de Fe y Mn no son estables a Eh bajos, convirtiéndose en FeS o $FeCO_3$ (García y Dorrnsoro, 2005). Cuando esto ocurre, todos los metales asociados o adsorbidos a estos hidróxidos se movilizan (Tabla 1). La movilidad de metales pesados, especialmente Cd , Cu , Cr y Zn , aumenta en suelos pobremente aireados con un bajo estado de oxidación ($Eh < 100$ mV). Sin embargo también se ha observado un aumento de la solubilidad del Cd con $Eh > 200$ mV (Kabata-Pendias y Pendias, 2000).

• **Textura y estructura**

Tanto la estructura como la textura juegan un papel importante en la entrada, infiltración, adsorción y/o pérdida de los metales pesados en el suelo (Alloway, 1995). Las arcillas pueden retener los metales pesados en las posiciones de cambio, impidiendo su paso a los niveles freáticos (Lopez y Grau, 2005). Cada especie mineral tiene unos determinados valores de superficie específica y descompensación eléctrica. Ambas características son las responsables del poder de adsorción de estos minerales y la reducción de su pérdida por lixiviación. Ese hecho es de vital importancia puesto que gracias a este proceso de adsorción, los cationes están disponibles para la vegetación (Pilon-Smits, 2005).

La capacidad de cambio de cationes es mínima para los minerales del grupo de la caolinita, baja para las micas, alta para las esmectitas y máxima para las vermiculitas (Brady y Weil, 2008). Por tanto, los suelos arcillosos, con un claro predominio de los minerales de arcilla, presentan una mayor capacidad de retención de agua y contaminantes, una mayor microporosidad y, por tanto, una reducción del drenaje interno del suelo. Por el contrario, en los suelos arenosos, con menor capacidad de fijación y una macroporosidad dominante, los metales pesados se infiltran rápidamente al subsuelo y pueden contaminar los niveles freáticos (Domènech, 1995).

• **Materia Orgánica**

La materia orgánica tiene una gran importancia en todos los procesos de adsorción del suelo. Actúa como ligandos en los complejos de intercambio, mediante la cesión de electrones de ciertas moléculas a cationes metálicos, que aceptan estos electrones, formando los quelatos que pueden migrar con facilidad a lo largo del perfil (Pilon-Smits, 2005). Por tanto, la complejación por la materia orgánica del suelo es uno de los procesos que gobiernan la solubilidad y la bioasimilación de metales pesados. La toxicidad de los metales pesados se potencia, en gran medida, por su fuerte tendencia a formar complejos organometálicos, lo que facilita su solubilidad, disponibilidad y dispersión (Adriano, 1986).

El papel de los organismos del suelo es también muy importante en la estabilidad o degradación de los complejos organometálicos. Las reacciones de quelación producen muchos beneficios en suelos ácidos, en donde existen iones de transición libres como Al^{3+} , Mn^{2+} y Fe^{3+} , nocivos para el crecimiento de las plantas. Así la presencia de agentes quelatantes da lugar a la formación de complejos estables, que liberan de forma dosificada los iones de modo compatible con el entorno. De esta manera, la toxicidad del ión Al^{3+} en suelos ácidos puede ser controlada por la presencia de ácidos orgánicos. Por otra parte, algunos de los

complejos formados son insolubles, lo cual impide el acceso del elemento metálico a las aguas subterráneas. La fuerte adsorción de algunos metales, como el *Cu*, por la materia orgánica puede incluso provocar carencias en la nutrición vegetal (Domènech, 1995).

• **Capacidad de intercambio catiónico (CIC)**

La CIC se define como la cantidad de cationes reversiblemente adsorbidos (expresados como moles de carga positiva) por unidad de peso del mineral (McBride, 1994) y está muy condicionada por la cantidad y tipo de arcilla y la materia orgánica. Principalmente para iones alcalinos y alcalinotérreos, como Na^+ , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} , los cuales debido a su tamaño y baja carga, precipitan con mucha dificultad, lo contrario pasa con los iones metálicos de transición como Al^{3+} y $Fe^{2+/3+}$, los cuales forman fases sólidas, como óxidos o aluminosilicatos (Prabhakaran y Cottenie, 1971).

En general, cuanto mayor sea la capacidad de intercambio catiónico, mayor será la capacidad del suelo de fijar metales. El poder de adsorción de los distintos metales pesados depende de su valencia y del radio iónico hidratado; a mayor tamaño y menor valencia, menos fuertemente quedan retenidos (Brady y Weil, 2008).

• **Óxidos e hidróxidos de Fe y Mn**

Juegan un importante papel en la retención de los metales pesados. Tienen una alta capacidad de fijar los metales pesados e inmovilizarlos. Además, estos compuestos se presentan finamente diseminados en la masa del suelo por lo que son muy activos. Los suelos con altos contenidos de *Fe* y *Mn* tienen una gran capacidad de adsorber metales divalentes, especialmente *Cu*, *Pb* y en menor grado *Zn*, *Co*, *Cr*, *Mo* y *Ni* (Domènech, 1995).

• **Carbonatos**

La presencia de carbonatos garantiza el mantenimiento de altos valores de pH, los cuales tienden a precipitar los metales pesados. El *Cd*, y otros metales, presentan una marcada tendencia a quedar adsorbido por los carbonatos (Lopez y Grau, 2005).

• **Salinidad**

Aunque la presencia de salinidad, en general, incrementa el pH del suelo, su aumento puede favorecer la movilización de metales pesados por dos mecanismos. Primeramente los cationes asociados con las sales (Na^+ , K^+) pueden reemplazar a metales pesados en lugares de adsorción. En segundo lugar los aniones cloruro pueden formar complejos solubles estables con metales pesados tales como *Cd*, *Zn* y *Hg* (Norrström y Jacks, 1998).

En resumen, la forma en la cual se encuentre el metal retenido en el suelo, condicionará la disponibilidad relativa por las plantas. Al ir transcurriendo el tiempo disminuye la disponibilidad de los metales, ya que se van fijando en las posiciones de adsorción más fuertes; así como, los geles van envejeciendo, volviéndose más cristalinos.

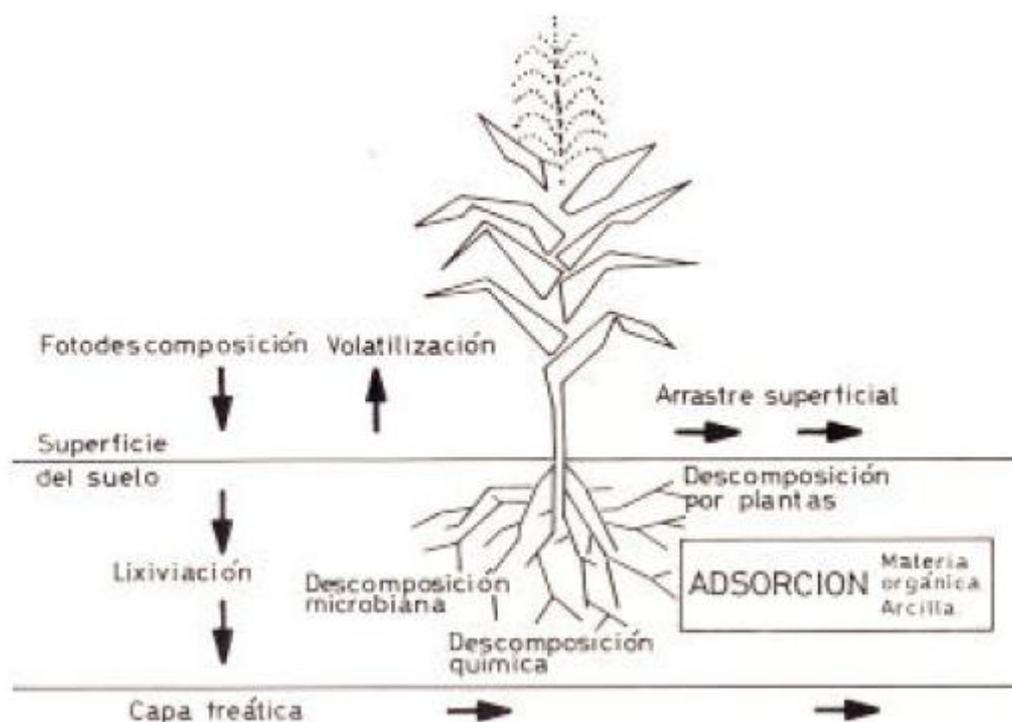
Forma de retención del suelo	Disponibilidad relativa
Iones en solución del suelo	Fácilmente disponible
Ión en complejo de cambio	Relativamente disponibles pues estos metales, por su pequeño tamaño y altas cargas, quedan fuertemente adsorbidos
Metales quelados por compuestos orgánicos	Menos disponibles
Metal precipitado o coprecipitado	Disponible sólo si ocurre alguna alteración química
Incorporado a la matriz biológica	Disponible después de la descomposición
Metal en la estructura mineral	Disponible después de la meteorización

Comportamiento de Los Agroquímicos en Suelos

Cuando un plaguicida se aplica al campo, bien en forma de pulverización o líquido se distribuye en las distintas fases del ambiente suelo, agua, aire, animales y plantas. La distribución tendrá lugar de forma que la concentración en cada una de las fases sea función tanto de las propiedades químicas del compuesto como de la fase.

El estudio de la interacción de los plaguicidas con la fase suelo, sustrato primario y más importante, tiene especial interés, ya que la mayor parte de los mismos llega a ponerse en contacto con la superficie de éste ya sea directa o indirectamente por lo que se hace necesario conocer su evolución en este sistema.

Los mecanismos que influyen en la persistencia y evolución de plaguicidas en el suelo están esquematizados en la figura siguiente.



Estos mecanismos pueden actuar solos o en combinación sobre la estructura de los diferentes productos específicos y dependen de otras variables, como humedad, temperatura, materia orgánica, tipo de arcilla, pH, intercambio iónico del suelo, así como de las características físicoquímicas del compuesto de que se trate. sucesivamente considerados son:

Descomposición química que tiene lugar por procesos de oxidación, reducción, hidroxilación, dealquilación, rotura de anillos, hidrólisis e hidratación.

Descomposición fotoquímica que se produce por efecto del espectro de luz ultravioleta de la luz solar. Las fuentes de luz y su intensidad regulan el grado de descomposición de un compuesto.

Descomposición microbiana, la acción de los microorganismos del suelo sobre los plaguicidas es probablemente el mecanismo de descomposición más importante. Los microorganismos del suelo, bacterias, algas y hongos, obtienen alimento y energía para su crecimiento por descomposición de estos compuestos orgánicos sobre todo cuando carecen de otras fuentes.

Volatilización o pérdida del compuesto en forma de vapor. Todas las sustancias orgánicas son volátiles en algún grado dependiendo de su presión de vapor, del estado físico en que se encuentren y de la temperatura ambiente.

Movimiento, el transporte de un plaguicida en el suelo, por disolución o arrastre mecánico, se hace bajo la influencia del agua, bien de las precipitaciones atmosféricas que favorecen el movimiento de convección, bien de la imbibición que permite un desplazamiento por difusión molecular. El grado de lixiviación está influido por las características físicoquímicas del suelo, solubilidad del producto, frecuencia e intensidad de la lluvia, etc.

Descomposición por las plantas y organismos como consecuencia de los procesos metabólicos que tienen lugar en las plantas.

Adsorción, fenómeno de atracción entre una superficie sólida y un líquido o un vapor. Por este mecanismo, las moléculas de Plaguicida pueden ser adsorbidas o retenidas por los coloides presentes en el suelo, arcilla y materia orgánica, durante el proceso de lixiviación.

Cuando un plaguicida es adsorbido su concentración en la solución del suelo disminuye, estableciéndose un equilibrio entre las concentraciones de materia activa disuelta y adsorbida. El mecanismo de desorción del compuesto dependerá principalmente de la energía de adsorción.

Cuanto mayor sea esta energía, más difícil será la desorción del plaguicida de nuevo a la solución del suelo.

Para considerar la acumulación de residuos en suelos, producto de la convergencia de los vectores de contaminación se deben considerar tanto los factores que afectan la disponibilidad de los Metales Pesados como la disponibilidad y acumulación de residuos de Agroquímicos, los que disputan los mismos sitios en el suelo y forman enlaces potenciando la toxicidad de algunos o estabilizando otros, así LA FUNCIÓN DE CONTAMINACIÓN SE CONSTRUYE A PARTIR DE LA INFLUENCIA DE LOS METALES TRAZA EN SUELOS, LA INFLUENCIA DE LOS AGRIQUÍMICOS EN SUELO Y LAS INTERACCIONES QUE AMBOS AGENTES CONTAMINANTES GENERAN.

ANEXOS

- 1. Imágenes del Trabajo de Campo:**
- 2. Proceso de Análisis de Laboratorio CIAP.**
- 3. Análisis Físicos de Suelos.**