

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**ESCUELA DE POST GRADO**



**PROGRAMA DE MAESTRÍA**

**SECCIÓN: CIENCIAS VETERINARIAS**

**MENCIÓN: PRODUCCIÓN Y REPRODUCCIÓN ANIMAL**

**TESIS**

**METALES PESADOS EN *Lolium multiflorum* y *Trifolium repens*  
CULTIVADOS EN AGUA RESIDUAL IN VITRO.**

Para optar el Grado Académico de  
**MAESTRO EN CIENCIAS**

Presentada por:

**WALTER JULIAN GUTIÉRREZ ARCE**

Asesor:

**Dr. TEÓFILO SEVERINO TORREL PAJARES**

Cajamarca – Perú

2 017

COPYRIGHT © 2 017 by  
**WALTER JULIAN GUTIÉRREZ ARCE**  
Todos los derechos reservados

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

## **ESCUELA DE POST GRADO**



### **PROGRAMA DE MAESTRÍA**

#### **SECCIÓN: CIENCIAS VETERINARIAS**

#### **MENCIÓN: PRODUCCIÓN Y REPRODUCCIÓN ANIMAL**

### **TESIS APROBADA**

**METALES PESADOS EN *Lolium multiflorum* y *Trifolium repens*  
CULTIVADOS EN AGUA RESIDUAL *IN VITRO*.**

Para optar el Grado Académico de  
**MAESTRO EN CIENCIAS**

Presentada por  
**WALTER JULIAN GUTIÉRREZ ARCE**

#### **Comité Científico:**

Dr. M.V. Severino Torrel Pajares  
Asesor

Dr. Ing. Zoo. Manuel Paredes Arana  
Miembro de Comité Científico

M. Cs. M.V. Raúl Barrantes Heredia  
Miembro de Comité Científico

M. Cs. M.V. Juan Villanueva de la Cruz  
Miembro de Comité Científico

**Cajamarca - Perú**

**2 017**



# Universidad Nacional de Cajamarca

## Escuela de Posgrado

### PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

#### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las *11 a.m.* de la mañana del día 11 de mayo de Dos Mil Diecisiete, reunidos en el Auditorio de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Comité Científico Evaluador presidido por el **Dr. MANUEL PAREDES ARANA**, en Representación del Director y como Miembro del Comité Científico, **Dr. SEVERINO TORREL PAJARES**, en calidad de Asesor, **M.Cs. RAÚL BARRANTES HEREDIA**, **M.Cs. JUAN VILLANUEVA DE LA CRUZ**, como integrantes del Comité Científico. Actuando de conformidad con el Reglamento Interno y el Reglamento de Tesis de Maestría de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, se dio inicio a la Sustentación de la Tesis titulada "**METALES PESADOS EN *Lolium multiflorum* y *Trifolium repens* CULTIVADOS EN AGUA RESIDUAL IN VITRO**", presentada por el **Med. Veterinario WALTER JULIAN GUTIÉRREZ ARCE**, con la finalidad de optar el Grado Académico de **MAESTRO EN CIENCIAS**, de la Unidad de Posgrado de la facultad de Ciencias Veterinarias, con Mención en **PRODUCCIÓN Y REPRODUCCIÓN ANIMAL**.

Realizada la exposición de la Tesis y absueltas las preguntas formuladas por el Comité Científico, y luego de la deliberación, se acordó... *APROBAR*... con la calificación de *Distinto 16... (Cum Laude - Con Honores)* la mencionada Tesis; en tal virtud, el **Med. Veterinario WALTER JULIAN GUTIÉRREZ ARCE**, está apto para recibir en ceremonia especial el Diploma que lo acredita como **MAESTRO EN CIENCIAS**, de la Unidad de Posgrado de la facultad de Ciencias Veterinarias, con Mención en **PRODUCCIÓN Y REPRODUCCIÓN ANIMAL**.

Siendo las *13,10*... horas del mismo día, se dio por concluido el acto.

.....  
**Dr. Manuel Paredes Arana**  
Miembro de Comité Científico

.....  
**Dr. Severino Torrel Pajares**  
Asesor

.....  
**M.Cs. Raúl Barrantes Heredia**  
Miembro de Comité Científico

.....  
**M.Cs. Juan Villanueva De La Cruz**  
Miembro de Comité Científico

A:

Dios, Anhelado Infinito,  
Verdad en el Padre,  
Vida en la Ciencia,  
Ley en la Naturaleza.

María, Mujer y Madre,  
Orden en la Armonía,  
Ternura en la Justicia,  
Libertad en la Belleza .

A:

Quien su vocación le signifique  
consagrar su vida en la búsqueda y  
defensa de la Verdad.

*Walter Julian*

## AGRADECIMIENTO

A Dios, a Santa María y a mi familia. Constituyeron un soporte esencial para la culminación de esta investigación.

A docentes, colegas y amigos de las Facultades de Ciencias Veterinarias, Ciencias Pecuarias y Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca. Asimismo, a los Coordinadores de la Dirección Regional de Salud de Cajamarca. Sus experiencias humanas y profesionales compartidas brindaron aportes valiosos para la perfección de este estudio.

A los amigos del sencillo y humilde servicio. Complementaron una ayuda en granitos de arena durante la ejecución de este experimento.

Ausento nombres para no impedir las bendiciones de Dios hacia todos ellos.

*“Hazlo en secreto. Y tu Padre que ve lo que haces en secreto te dará tu premio” (Mateo 6,4).*

## CONTENIDOS

ÍTEM	Página
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
RESUMEN .....	xii
ABSTRACT .....	xiii
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>5</b>
2.1. Antecedentes .....	5
2.2. Base teórica .....	15
2.3. Base conceptual .....	24
<b>CAPÍTULO III: DISEÑO DE CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS .....</b>	<b>44</b>
3.1. Hipótesis .....	44
3.2. Diseño metodológico .....	44
3.3. Localización .....	45
3.4. Unidad de análisis y tamaño de muestra .....	46
3.5. Descripción del diseño metodológico .....	46
<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>53</b>
<b>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES .....</b>	<b>84</b>
<b>LISTA DE REFERENCIAS .....</b>	<b>85</b>
<b>ANEXO .....</b>	<b>90</b>
<b>FIGURAS .....</b>	<b>103</b>

<b>Tablas</b>	<b>Página</b>
1. Niveles máximos recomendables de metales pesados en alimentos ...	17
2. Niveles máximos de metales pesados para animales .....	18
3. Niveles máximos de metales pesados en la alimentación de animales .	18
4. Límites máximos de los parámetros de control de calidad del agua ....	19
5. Estándares de Calidad para aguas de riego y bebida de animales .....	19
6. LMP de metales en cultivos agrícolas .....	21

<b>Cuadros</b>	<b>Página</b>
1. Presencia de Cd en cultivo hidropónico por Agua .....	53
2. Presencia de Cd por Cultivo Hidropónico .....	54
3. Presencia de Cd en cultivo hidropónico por Tiempo .....	55
4. Presencia de Cd en la interacción Agua * Cultivo Hidropónico .....	56
5. Presencia de Cr en cultivo hidropónico por Agua .....	58
6. Presencia de Cr por Cultivo Hidropónico .....	59
7. Presencia de Cr en cultivo hidropónico por Tiempo .....	60
8. Presencia de Cr en la interacción Agua * Tiempo .....	61
9. Presencia de Pb en cultivo hidropónico por Agua .....	62
10. Presencia de Pb por Cultivo Hidropónico .....	63
11. Presencia de Pb en cultivo hidropónico por Tiempo .....	65
12. Presencia de Cd, Cr y Pb en Agua Potable y en Agua Residual .....	66
13. Presencia de Cd, Cr y Pb en cultivo hidropónico por Agua .....	68
14. Presencia de Cd, Cr y Pb por Cultivo Hidropónico .....	72
15. Presencia de Cd, Cr y Pb en cultivo hidropónico por Tiempo .....	76



<b>Gráficos</b>	<b>Página</b>
1. Presencia de Cd en cultivo hidropónico por Agua .....	53
2. Presencia de Cd por Cultivo Hidropónico .....	54
3. Presencia de Cd en cultivo hidropónico por Tiempo .....	55
4. Presencia de Cd en la interacción Agua * Cultivo Hidropónico .....	56
5. Presencia de Cr en cultivo hidropónico por Agua .....	58
6. Presencia de Cr por Cultivo Hidropónico .....	59
7. Presencia de Cr en cultivo hidropónico por Tiempo .....	60
8. Presencia de Cr en la interacción Agua * Tiempo .....	61
9. Presencia de Pb en cultivo hidropónico por Agua .....	63
10. Presencia de Pb por Cultivo Hidropónico .....	64
11. Presencia de Pb en cultivo hidropónico por Tiempo .....	65
12. Presencia de Cd, Cr y Pb en Agua Potable y en Agua Residual .....	66
13. Presencia de Cd, Cr y Pb en cultivo hidropónico por Agua .....	68
14. Presencia de Cd, Cr y Pb por Cultivo Hidropónico .....	72
15. Presencia de Cd, Cr y Pb en cultivo hidropónico por Tiempo .....	77

<b>Anexo</b>	<b>Página</b>
1. Informe de análisis especial en agua (Residual) .....	91
2. Informe de análisis especial en agua (Potable) .....	92
3. Informe de análisis especial en foliar .....	93
4. Informe de análisis especial en foliar .....	94
5. Ficha con análisis en agua y comparativos OMS .....	95
6. Ficha con análisis en agua y comparativos ECA .....	95
7. Ficha con análisis en vegetales y comparativos AFFCO .....	96
8. Ficha con análisis en vegetales y comparativos UE .....	97
9. Ficha con análisis en vegetales y comparativos OMS .....	98
10. Ficha con porcentajes de absorción de metales en vegetales .....	99
11. Análisis de varianza de factorial de 2*2*2 de Cd .....	100
12. Análisis de varianza de factorial de 2*2*2 de Cr .....	101
13. Análisis de varianza de factorial de 2*2*2 de Pb .....	102

<b>Figuras</b>	<b>Página</b>
Figura 01. Semillas <i>Trifolium repens</i> .....	104
Figura 02. Semillas <i>Lolium multiflorum</i> .....	104
Figura 03. Muestra de agua potable .....	104
Figura 04. Muestra de agua residual .....	104
Figura 05. Selección de la semilla en <i>Trifolium repens</i> .....	105
Figura 06. Selección de la semilla en <i>Lolium multiflorum</i> .....	105
Figura 07. Proceso de siembra en <i>Trifolium repens</i> .....	105
Figura 08. Proceso de siembra en <i>Lolium multiflorum</i> .....	105
Figura 09. Proceso de germinación en <i>Trifolium repens</i> .....	106
Figura 10. Proceso de germinación en <i>Lolium multiflorum</i> .....	106
Figura 11. Riego con aspersor de mano .....	106
Figura 12. Con riego hasta los 30 días .....	106
Figura 13. Preparación de muestras para envío al laboratorio .....	107
Figura 14. Envío de muestras al laboratorio .....	107

## RESUMEN

Esta investigación se llama “Metales pesados en *Lolium multiflorum* (Rye grass) y *Trifolium repens* (Trébol blanco) cultivadas en agua residual *in vitro*”, y determinó la existencia y concentración de Cd, Cr y Pb, presentes en estas especies forrajeras. Este experimento se hizo *in vitro*. Se analizó químicamente una muestra de agua potable (**T<sub>0</sub>**) y una muestra de agua residual (destinado al riego de un sector de la campiña de Cajamarca). Paralelamente, se realizaron cultivos hidropónicos de *Lolium multiflorum* y *Trifolium repens*, los cuales fueron regados con agua potable y agua residual por 15 y 30 días; y ser analizados químicamente. Se encontró presencia acumulativa de estos analitos en las muestras vegetales hidropónicas con valores medios de concentración más altos en Cr, seguido de Pb y Cd. Se concluye que la acumulación de estos analitos en las muestras vegetales hidropónicas tienden a ser similares en ambos tratamientos de agua, siendo mayor en agua residual por el aporte de nutrientes orgánicos, proporcionándole un rápido y mayor crecimiento al cultivo hidropónico, a pesar que la muestra de agua potable concentra estos analitos en mayor valor numérico. De esta manera, el efecto acumulativo de los metales pesados coloca en tela de juicio a los Límites Máximos Permisibles y a los Estándares de Calidad Ambiental, por significar un riesgo a la salud animal y a la salud pública.

**Palabras clave:** metales pesados | analito | *Lolium multiflorum* | *Trifolium repens* | hidropónico | agua residual.

## ABSTRACT

This research was called "Heavy Metals in *Lolium multiflorum* (Rye grass) and *Trifolium repens* (White clover) grown in wastewater in vitro", and determined the existence and concentration of Cd, Cr and Pb present in these fodder species. This experiment was done in vitro. A potable water sample (**T<sub>0</sub>**) and a sample of residual water (for irrigation of a sector of the Cajamarca countryside) were chemically analyzed. In parallel, hydroponic cultures of *Lolium multiflorum* and *Trifolium repens* were carried out, which were irrigated with potable water and residual water for 15 and 30 days; and be chemically analyzed. Cumulative presence of these analytes was found in hydroponic plant samples with higher concentration values in Cr, followed by Pb and Cd. It was concluded that the accumulation of these analytes in the hydroponic plant samples tend to be similar in both treatments of water , being greater in residual water by the contribution of organic nutrients, providing a rapid and greater growth to the hydroponic culture, although the sample of drinking water concentrates these analytes in greater numeric value. In this way, the cumulative effect of heavy metals calls into question the Maximum Permissible Limits and Environmental Quality Standards, since they pose a risk to animal health and public health.

**Keywords:** heavy metals | analyte | *Lolium multiflorum* | *Trifolium repens* | hydroponic | residual water.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

La experiencia en el análisis de los procesos de gestión en las Políticas Públicas de Agua y Saneamiento, permite por deducción afirmar que, no se puede pensar en un desarrollo sostenible si todavía no se ha satisfecho a la población con sus necesidades básicas, en acceso y calidad. El agua de consumo humano, la disposición de aguas residuales, la disposición de residuos sólidos, la seguridad alimentaria y la prevención de la zoonosis, son servicios básicos e indispensables que, a la persona humana, le otorgan dignidad y calidad de vida.

Desde esta perspectiva, describimos que actualmente, la ciudad de Cajamarca, no cuenta con una planta operativa de tratamiento de aguas residuales, por lo que estas aguas provenientes del uso doméstico y laboral son directamente utilizadas para el riego de pastos y cultivos de vegetales de tallo corto.

Cajamarca, como zona ganadera y agrícola, siempre ha sido considerada como una importante cuenca lechera, cuyas producciones fueron de las más altas a nivel nacional entre los años 1 929 y 1 969 (Escrura, 2 001). Sin embargo, todavía existe un deficiente manejo en la producción de sus pastos ya que no se logra cubrir las necesidades alimenticias que requiere la ganadería en cantidad y calidad, sobre todo en la época de sequía (Florián, 2 006), siendo posible un deterioro mayor si incluimos el riego continuo de estos pastos con aguas residuales propias de la ciudad, sin tratamiento previo.

En tal sentido, tenemos una realidad en donde los pastos son consumidos por la ganadería bovina para la generación de energía en la producción de carne y leche, y los vegetales de tallo corto son consumidos, mayormente, por la población humana,

razones por las que este estudio buscó determinar la presencia y concentración de metales pesados como el cadmio (Cd), cromo (Cr) y plomo (Pb) en las especies vegetales *Lolium multiflorum* (Rye grass) y *Trifolium repens* (Trébol blanco) cultivadas en agua residual, y cuya presencia significaría riesgos para la producción agropecuaria y para la salud humana.

Los estudios que se han realizado hasta el momento, sobre pastos y cultivos regados con aguas residuales en la campiña de Cajamarca, han sido dirigidos hacia la Bacteriología y Parasitología, indicando cargas bacterianas y parasitarias diversas, pero nunca determinaron si componentes químicos como los analitos en estudio, son absorbidos por los vegetales, también en estudio. Demostrando su presencia en estas especies forrajeras; la agricultura, la ganadería y la salud pública, se verían afectadas por la transmisión de estos causales tóxicos no metabolizables, de permanencia acumulativa, y de efectos cancerígenos, lo cual sería una amenaza para no experimentar la satisfacción por mejorar la calidad de vida y alcanzar el desarrollo anhelado.

Por lo tanto, fue importante encontrar los conceptos que expliquen los efectos del Cd, Cr y Pb, en la relación agua - planta; sobre todo, si son o no absorbidos por estas especies vegetales, y si constituyen un riesgo a la salud animal y, sobre todo, a la salud humana.

Esta investigación proporciona criterios o conceptos para ser usados como puntos de referencia en seguridad sanitaria para la ganadería, y seguridad en la cadena alimentaria para la población humana, abarcando también dimensiones agrícolas y medioambientales.

Por esta razón, se espera que este estudio sea de interés de las autoridades, principalmente, de la Municipalidad Provincial de Cajamarca, como entidad responsable de los servicios básicos hacia la población; del Sector Salud, como



entidad responsable de la salud pública; del Sector Agricultura, como entidad responsable de la salud vegetal y animal; del sector de Medio Ambiente, por tratarse de un tema de contaminación; y del sector de Economía y Comercialización, por tratarse de un tema de la calidad en la producción agropecuaria.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo General

Determinar las concentraciones de metales pesados; como el Cd, Cr, y Pb; presentes en las especies vegetales ***Lolium multiflorum*** y ***Trifolium repens*** cultivadas, *in vitro*, en agua residual proveniente de la ciudad de Cajamarca en época de sequía.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Identificar la presencia de Cd, Cr y Pb en el agua potable (T<sub>0</sub>: Testigo), y en el agua residual proveniente de la ciudad de Cajamarca.
- Cuantificar las concentraciones de Cd, Cr y Pb presentes en el agua potable (T<sub>0</sub>: Testigo), y en el agua residual proveniente de la ciudad de Cajamarca.
- Identificar la presencia de Cd, Cr y Pb en las especies vegetales ***Lolium multiflorum*** y ***Trifolium repens*** cultivadas, *in vitro*, en agua potable y en agua residual proveniente de la ciudad de Cajamarca, durante la época de sequía.

- Cuantificar las concentraciones de Cd, Cr y Pb presentes en las especies vegetales ***Lolium multiflorum*** y ***Trifolium repens*** cultivadas, *in vitro*, en agua potable y en agua residual proveniente de la ciudad de Cajamarca, durante la época de sequía.
- Comparar cualitativa y cuantitativamente las concentraciones de Cd, Cr y Pb presentes en las especies vegetales ***Lolium multiflorum*** y ***Trifolium repens*** cultivadas, *in vitro*, en agua potable y en agua residual proveniente de la ciudad de Cajamarca, durante la época de sequía.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes

La contaminación de vegetales ha sido preocupación constante por parte de la población de Cajamarca, y de ese extenso universo, existen cuatro estudios que ofrecen amplitud y claridad sobre el tema de investigación, los cuales hacemos referencia:

- Se evaluaron los campos ubicados en el tramo comprendido entre los kilómetros tres y cinco de la carretera Cajamarca – Baños del Inca. Se encontró que el valor promedio encontrado de Pb y Cd en las pasturas fue de 4,53 y 0,96 ppm, respectivamente; lo cual indica que las pasturas estarían contaminadas sólo por Cd, pues, su concentración sería superior al valor límite permisible para forraje (0,5 ppm). La concentración de Pb y Cd en suelo y forraje disminuye a medida que se incrementa la distancia respecto de la carretera Cajamarca – Baños del Inca (Quevedo, 2 001).
- Se evaluaron los campos de cultivo adyacentes a la carretera Cajamarca – Bambamarca comprendido entre los kilómetros nueve y veinte. Se encontró que el valor promedio de Pb y Cd en los cultivos de arveja (*Pisum sativum*), chocho (*Lupinus mutabilis*), trigo (*Triticum aestivum*) y cebada (*Hordeum vulgare*) es de 3,23 y 1,02 ppm, respectivamente; lo cual indica que los cultivos estarían contaminados por sobrepasar los límites permisibles establecidos (0,5 y 1,0 ppm,

respectivamente). La concentración de Pb y Cd en suelos y cultivos disminuye a medida que se incrementa la distancia respecto de la carretera Cajamarca - Bambamarca (Ruíz, 2 002).

- Se realizó una investigación para determinar metales pesados y coliformes en el sistema agua – suelo – planta del cultivo de Rye grass (*Lolium multiflorum*) ocasionado por las aguas residuales de la ciudad de Cajamarca en los cuerpos de agua de los caseríos de La Victoria, Yanamarca y La Collpa. Se encontró que la presencia de cromo en las aguas residuales no supera los límites máximos permisibles que, según el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), 2 004; es de 0,1 ppm para aguas de riego, teniendo como valores mínimos y máximo de 0,002 ppm y 0,091 ppm respectivamente, en el punto de monitoreo PO-2 (Pozas de Oxidación – 2), ubicada agua abajo del canal Huacaríz, debajo de las pozas de oxidación, de propiedad de Francisco Sánchez Murga, no produciendo efectos negativos para aguas de riego y bebida de animales (Chávez, 2 014).
- Se evaluó la composición de la dieta de una población rural cerca de una mina de oro en el distrito de Cajamarca, Perú. Los principales productos consumidos por esta población fueron tubérculos y cereales. Se determinaron las concentraciones de As, Cd, Hg, Pb, Zn, Al, Cr y Cu en agua potable y muestras de alimentos de artículos que contribuyeron al 91% de esta dieta diaria. Las ingestas diarias de As, Cd y Pb superaron los valores límites establecidos por la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA), lo que entraña serias preocupaciones para la salud de la población. Los valores de consumo de As y Pb se

mostraron más altos, cuanto más cerca de la mina de oro se encontraba la población estudiada (Barenys *et al.*, 2 014).

Con el conocimiento de los efectos cancerígenos de los metales pesados también en personas humanas, la Oficina Regional de Epidemiología de la Dirección Regional de Salud de Cajamarca, basada en la Vigilancia Epidemiológica de Cáncer (registro continuo y sistemático de datos sobre esta enfermedad) y en el Análisis de Situación en Salud (ASIS) 2 016, expone que desde el año 2 001 hasta 2 016, los casos nuevos (incidencia) de cáncer que se presentaron con mayor demanda de atención hospitalaria fueron: Cáncer al Estómago (25,4%), y Cáncer al Útero (17,0%).

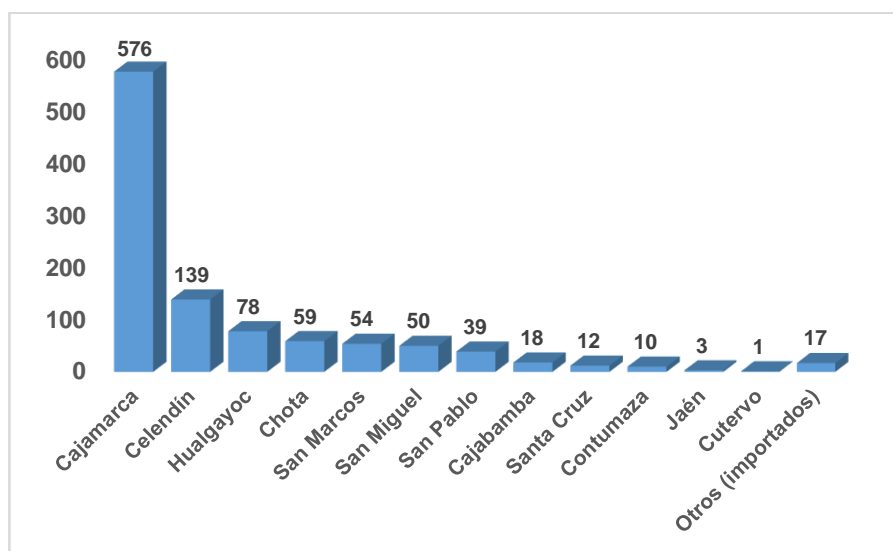
#### **Casos incidentes de Cáncer según Topografía (2 001 a 2 016)**

<b>Topografía</b>	<b>Varones</b>	<b>Mujeres</b>	<b>Total</b>	<b>%</b>
Estómago	144	124	268	25,4
Útero	0	180	180	17,0
Leucemia	30	51	81	7,7
Piel	36	38	74	7,0
Próstata	63	0	63	6,0
Hígado	24	29	53	5,0
Colon	12	25	37	3,5
Pulmón	13	22	35	3,3
Mama	0	25	25	2,4
Páncreas	6	10	16	1,5
Otros	86	138	224	21,2
<b>Total</b>	<b>414</b>	<b>642</b>	<b>1056</b>	<b>100,0</b>

Fuente: DIRESA Cajamarca - Oficina Regional de Epidemiología (ORE).

Según la procedencia, en el lapso de los años 2 001 a 2 016, en la provincia de Cajamarca se han registrado la mayor cantidad de casos incidentes de cáncer (576), seguido de Celendín (139), y Hualgayoc (78).

### Casos incidentes de Cáncer según Procedencia (2 001 a 2 016)



Fuente: DIRESA Cajamarca - Oficina Regional de Epidemiología (ORE).

El 58.9% de casos incidentes de cáncer que se han presentado en el lapso de los años 2 001 a 2 016 corresponden a personas mayores de 60 años de edad, apreciándose una tendencia mayor en mujeres que en varones.

### Casos incidentes de Cáncer según Edad y Sexo (2 001 a 2 016)

Edades	Varones	Mujeres	Total	%
< 15	14	21	35	3,3
De 15 a 30	20	30	50	4,7
De 31 a 45	25	95	120	11,4
De 46 a 60	62	167	229	21,7
> 60	293	329	622	58,9
<b>Total</b>	<b>414</b>	<b>642</b>	<b>1056</b>	<b>100,0</b>

Fuente: DIRESA Cajamarca - Oficina Regional de Epidemiología (ORE).

Los casos incidentes de cáncer, en el lapso de los años 2 010 a 2 016, tienden a incrementarse, tal como se observa en el año 2 016, con 98 casos nuevos, y con mayor número en mujeres.

### Casos incidentes de Cáncer según Sexo (2 010 a 2 016)

Años	Varones	Mujeres	Total
2010	13	31	44
2011	13	21	34
2012	25	25	50
2013	13	36	49
2014	70	103	173
2015	37	59	96
2016	33	65	98

Fuente: DIRESA Cajamarca - Oficina Regional de Epidemiología (ORE).

En el año 2 016, los casos incidentes de cáncer que se presentaron fueron a Cuello Uterino (27.6%) y Estómago (24.5%).

### Casos incidentes de Cáncer según Topografía (Sólo 2 016)

Topografía	Varones	Mujeres	Total	%
Útero	0	27	27	27,6
Estómago	14	12	26	26,5
Piel	6	8	14	14,3
Colon	2	4	6	6,1
Esófago	2	1	3	3,1
Hígado	1	2	3	3,1
Recto	3	0	3	3,1
Duodeno	0	2	2	2,0
Tiroides	0	2	2	2,0
Otros	5	7	12	12,2
<b>Total</b>	<b>33</b>	<b>65</b>	<b>98</b>	<b>100,0</b>

Fuente: DIRESA Cajamarca - Oficina Regional de Epidemiología (ORE).

La Oficina Regional de Epidemiología de la Dirección Regional de Salud de Cajamarca, al brindar la posibilidad de relacionar la salud humana con la salud animal, ayuda en la deducción de considerar que si hubieran causales por ingestión de metales pesados en los animales de significación económica, la categorización de los posibles problemas sanitarios que sufrirían sería similar, sobre todo en los sistemas digestivo y reproductor, con mayor incidencia en los

animales hembras que en los machos, y en relación directamente proporcional con la edad, es decir, a mayor edad entonces mayor sensibilidad al problema, probablemente por la capacidad bioacumulativa de estos analitos. Por supuesto, estas afirmaciones tendrían que comprobarse con diversos estudios, pero ofrece un panorama de cuánto estos analitos podrían estar afectando a la reproducción animal, a la producción agropecuaria y a la salud pública en Cajamarca.

En Trujillo, Perú; se llevó a cabo un estudio tomando como referencia a los cambios en la concentración de metales pesados presentes en aguas, suelos y cultivos de la Cuenca Alta, Media y Baja del río Moche, como la parte de la cuenca que soporta la mayor contaminación por metales pesados desde 1 980 al 2 010. Se realizaron muestreos de agua en ocho estaciones del río Moche, y en cuatro sectores de sus márgenes para suelos y cultivos. Los metales pesados más representativos en el agua se presentaron en la Cuenca Alta durante el año de 1 980: Fe (557,500 ppm), Pb (100,375 ppm), Cd (4,550 ppm), Cu (6,900 ppm), Zn (262,900 ppm) y As (9,000 ppm); mientras que en los suelos las mayores concentraciones se encontraron en la margen derecha de la Cuenca Baja para el año 1 980: Fe (83,400 ppm); Pb (0,820 ppm); Cd (0,012 ppm); Cu (1,240 ppm); Zn (0,380 ppm) y As (0,016 ppm). En relación con la acumulación de metales en los cultivos, el Fe (0,6525 ppm) fue el de mayor predominio, siendo la yuca (*Manihot esculentus*) el cultivo donde se presentó. Se concluye que la mayor contaminación a nivel del análisis de agua se presentó en la Cuenca Alta y durante el año de 1 980; mientras que la margen derecha de la Cuenca Media presentó los mayores niveles de contaminación en las muestras de suelos; así como a nivel de los cultivos, donde la yuca (*Manihot esculentus*) fue la especie más contaminada (Huaranga *et al.*, 2 012).



Refiriéndonos a algunas investigaciones internacionales, decimos que en Colombia, país donde confluyen actividades industriales y agropecuarias, de su horizonte investigativo, mencionamos dos de interés:

- El primero hace referencia a un estudio sobre presencia de metales pesados en hatos lecheros, en el cual, encontraron valores medios en:
  - a. Leche de tanque: As: 0,135 ppm, Pb: 0,019 ppm, Cu: 0,117 ppm, Cd: 0,031 ppm y Hg: 0,016 ppm.
  - b. En pasto: As: 0,301 ppm, Pb: 0,169 ppm, Cu: 0,550 ppm, Cd: 0,174 ppm y Hg: 0,038 ppm.
  - c. En suelo: As: 0,508 ppm, Pb: 0,206 ppm, Cu: 0,790 ppm, Cd: 0,375 ppm y Hg: 0,042 ppm.
  - d. En agua: As: 0,111 ppm, Pb: 0,012 ppm, Cu: 0,090 ppm, Cd: 0,010 ppm y Hg: 0,002 ppm.

Además, concluyen en que no se han podido constatar diferencias significativas en ninguno de los metales pesados estudiados entre las dos épocas muestreadas, siendo los valores prácticamente iguales en verano y en invierno (Londoño, 2 014).

- El segundo estudio demuestra la capacidad tolerante y bioacumulativa de la pastura *Brachiaria* en ambientes donde se arrojan metales tóxicos como Pb y Cd que contaminan los suelos y agroecosistemas de pastura tropical, presentando altos contenidos de estos metales en sus estructuras vegetales en el siguiente orden: raíz > tallo > hojas, y que a

su vez la acumulación en suelo mostró ser mayor en la profundidad de 5 cm (Peláez, 2 016).

De México, mencionaremos dos investigaciones:

- Una, donde se recolectaron muestras de agua en el efluente de una planta de tratamiento de agua residual, durante los meses de enero a julio de 2 012 para determinar la concentración de metales pesados, así como evaluar la calidad agrícola del agua residual tratada. Los resultados de los análisis de los elementos: cadmio (Cd), cobre (Cu), cromo (Cr), níquel (Ni), plomo (Pb) y zinc (Zn), mostraron que la concentración de estos metales eran bajas, por lo que, de acuerdo con la normativa mexicana, el agua residual tratada cumplía con la concentración permitida para su descarga en cuerpos receptores, sin embargo, incidían en que la aplicación de esta agua al riego agrícola ocasionaba la acumulación de metales pesados en el suelo a largo plazo, por lo que no era recomendable dicha práctica por su riesgo de salinidad (Pérez *et al.*, 2 016).
- Y otra, donde evaluaron a las aguas residuales provenientes de Ciudad de México, las cuales se usan para riego agrícola desde hace 80 años. En este trabajo se estudiaron las tendencias de acumulación de metales pesados en secuencias representativas que llevan diferente tiempo bajo riego. También se investigó la disponibilidad de esos metales pesados para los principales cultivos (alfalfa y maíz) comparando parcelas que han sido regadas durante 80 años con agua residual con aquellas en que ha sido empleada agua de pozo o que son de temporal (lluvia). Se encontró que los metales introducidos a través del riego tienden a

acumularse en la capa arable de los suelos mostrando después de 80 años concentraciones 3 a 6 veces mayores que en sitios con cultivo de temporal, aunque sin llegar aún a niveles críticos. La disponibilidad de Cd, Pb y Zn es moderada, no obstante su inclinación a incrementarse conforme aumentan los años de riego, siendo el Cd el más disponible (Siebe, 1 994).

De España podemos citar dos experiencias en investigación sobre el tema:

- La primera, donde se evaluaron parcelas agrupadas en cultivos de hoja (lechugas y acelgas) y cultivos de inflorescencia (alcachofas). Los contenidos medios de metales, expresados en mg/kg de peso seco, en los cultivos de hoja fueron de 1,47 para el Cd; 3,35 para el Cr; 1,99 para el Pb; mientras que para los cultivos de inflorescencia fueron de 0,24 para el Cd; 0,68 para el Cr; 0,28 para el Pb. Los resultados obtenidos de las concentraciones de metales en los cultivos muestreados indicaron que, en general, estos no tienen problemas para desarrollarse adecuadamente. Los resultados mostraron que los contenidos de Cd, Cr, y Pb fueron mayores en los cultivos de hoja. Las distintas concentraciones observadas entre los dos tipos de cultivos fueron consecuencia mayoritariamente de diferencias fisiológicas, que fundamentalmente producen que los cultivos de hoja sean acumuladores de metales, ya que no existieron diferencias significativas en los contenidos de metales en los suelos de ambos tipos de cultivos, o si la hubiera, se encontrarían mayores concentraciones en los cultivos de suelos con menor concentración, pues, metales como el Cd y Pb, pueden entrar en mayor cantidad por deposición atmosférica a través de las hojas (Peris, 2 006).

- La segunda, donde, con el propósito de determinar la potencialidad del uso de aguas residuales como alternativa para riego en zonas semiáridas, se evaluó su efecto sobre algunas propiedades químicas en suelos bajo riego permanente, otra con riego intermitente de hortalizas, y un área de suelo virgen sin uso de aguas residuales. En los resultados se encontraron niveles elevados de Cd (2,30 ppm) y Pb (23,30 ppm) en los suelos bajo riego permanente con aguas residuales a pesar que éstas presentaron niveles bajos de metales pesados. Estos niveles son superiores a los máximos permitidos por la mayoría de las normas mundiales, los cuales son 1,0 ppm para el Cd y 10 ppm para el Pb, lo que implica que el uso agrícola de esta agua residual debe ser monitoreado para evitar los riesgos de contaminación del suelo y daños a la salud por la presencia de estos elementos. La aplicación constante de aguas residuales en los suelos cultivados con pastos ha incrementado los niveles de materia orgánica, fósforo, potasio y magnesio con relación a los suelos bajo riego intermitente o en condición virgen. Esto implica que logra mejorar la fertilidad del mismo, producto del aporte de nutrientes provenientes de las aguas residuales (Zamora *et al.*, 2 008).

## 2.2 Base Teórica

Para la Organización Mundial de la Salud (OMS) los principales problemas sanitarios que pueden tener su origen en los productos de animales son los causados por microorganismos como salmonellas y campylobacterias, infecciones enterohemorrágicas causadas por E.Coli y Listeriosis, y cólera en países en desarrollo; micotoxinas, dioxinas, priones, residuos de pesticidas, medicamentos y metales pesados (plomo, cadmio y mercurio). De los problemas mencionados, varios de ellos pueden tener su origen, o parte de su origen, en la alimentación de los animales (FAO, 2 000, citado por Méndez, 2 007).

Como ya se mencionó anteriormente, Cajamarca, como zona ganadera y agrícola, siempre fue considerada como una importante cuenca lechera (Escrura, 2 001). Pero, esta asociación forrajera se encuentra deteriorada por el sobre pastoreo y su deficiente manejo (Florián, 2 006). Si a esto agregamos la práctica de un regadío con aguas residuales propias de la ciudad y sin tratamiento previo, estaríamos frente a una realidad con problemas no sólo productivos, sino también sanitarios.

Los elementos menores o metales pesados pueden participar en una serie de procesos al incorporarse al ciclo del agua, principalmente en la fase relacionada con el suelo, llegando a acumularse en éste como resultado de reacciones químicas, vía procesos de absorción, solubilización, precipitación y cambios en sus estados de oxidación, o pueden estar presentes en tejidos vegetales, debido a la asimilación por la planta. En consecuencia, el uso agrícola de estos suelos contaminados por metales pesados, aparentemente, produce cultivos normales, pero potencialmente peligrosos para el consumo humano y animal (Fergusson, 1 990; Vázquez *et al.*, 2 001; citado por Balderas-Plata *et al.*, 2 003).

La peligrosidad de los metales pesados es mayor al no ser química ni biológicamente degradables. Una vez emitidos, pueden permanecer en el ambiente durante varios años. Además, su concentración en los seres vivos aumenta a medida que son ingeridos por otros, por lo que la ingesta de plantas o animales contaminados puede provocar síntomas de intoxicación (CONSUMER, 2 001; citado por Balderas-Plata *et al.*, 2 003).

En suelos de uso agrícola, la distribución y concentración de los elementos traza son incrementadas significativamente a través de los años por la adición de distintas sustancias que los contienen en menor o mayor proporción, debido a actividades realizadas por el hombre: minería, refinería, uso de agroquímicos y depósitos de vehículos de desecho, lo que ha provocado que los metales se encuentren en cantidades y formas que la naturaleza no ha originado (Cala-Rivero *et al.*, 1 985; Abdelrahman y Al-Ajmi, 1 994; Kabata-Pendias, 1 995; Cajuste y Laird, 2 000; citados por Balderas-Plata *et al.*, 2 003).

Los metales pesados son elementos no metabolizables por su alto peso específico, de manera que, al ser absorbidos por la raíz de la planta, estos llegan a formar parte de la estructura vegetal. Por su carácter no biodegradable, la toxicidad que ejercen sobre los diferentes cultivos y su biodisponibilidad, puede resultar peligrosos. La absorción de metales pesados por las plantas es generalmente el primer paso para la entrada de éstos en la cadena alimentaria. La absorción y posterior acumulación dependen en primera instancia del movimiento (movilidad de las especies) de los metales desde la solución en el suelo a la raíz de la planta. (Prieto *et al.*, 2 009).

Por lo tanto, si los metales pesados no pueden ser metabolizados, y siendo su biodisponibilidad muy peligrosa, podemos deducir que al ser consumidos en los pastos por los animales, tomarían un proceso acumulativo en diversos órganos y

sistemas, en donde asumirían roles carcinógenos, ocasionando problemas en la salud y producción del animal. Es preciso mencionar que la sola presencia de metales pesados en sangre, sería causal suficiente para que estos elementos tóxicos se difundan a través de la leche y/o carne, constituyéndose en un riesgo mortal para la salud humana.

La Asociación Americana de Control Oficial de Alimentos (AAFCO), en 1 996 clasifica a los metales en altamente tóxicos, tóxicos, moderadamente tóxicos y ligeramente tóxicos y da unos valores máximos recomendables (Tabla 1), que son en general bastante elevados (Méndez, 2 007).

**Tabla 1: Niveles máximos recomendables de metales pesados en alimentos animales (AAFCO, 1 996)**

<b>Categoría</b>	<b>Nivel máximo (mg/kg)</b>	<b>Metal</b>
Altamente tóxico	10	Cadmio, Mercurio, Selenio.
Tóxico	40	Bario, Cobalto, Cobre, Plomo, Molibdeno, Tungsteno, Vanadio.
Moderadamente tóxico	400	Antimonio, Arsénico, Yodo, Níquel.
Ligeramente tóxico	1 000	Aluminio, Boro, Bromo, Bismuto, Cromo, Manganeso, Zinc.

En la Unión Europea existe una legislación que fija valores máximos para metales pesados en alimentación animal. En España está recogida en el Real Decreto 747/2001 de 29 de junio, cuyos valores resumidos para piensos completos se muestran en la Tabla 2. Para materias primas y piensos complementarios los valores varían ligeramente (Méndez, 2 007).

**Tabla 2: Niveles máximos de metales pesados en piensos completos (Orden 11 octubre 1 998).**

<b>Metal</b>	<b>Contenido máximo (mg/kg)</b>
Plomo	5
Cadmio	0,5 - 1,0

El nivel máximo tolerable de un mineral es definido como el nivel de la dieta que, cuando se alimenta durante un periodo definido de tiempo, no perjudicará la salud animal y el rendimiento. Los niveles tolerables de minerales se distinguen típicamente de los niveles tóxicos por experimentos en donde se agregan cantidades incrementales de un mineral a la dieta o al agua y se mide el impacto en el rendimiento y en los signos patológicos de toxicosis. La duración de exposición al mineral de prueba influye marcadamente en el nivel causando toxicosis. Un nivel tóxico se define como el nivel mínimo que, cuando se alimenta durante un periodo determinado, menoscaba la salud o el rendimiento de los animales en cuanto se refiere a la tasa de producción de leche, carne o huevos; tasa de crecimiento, y la resistencia a las enfermedades. La Tabla 3 resume las recomendaciones de la National Research Council (NRC) sobre niveles máximos tolerables de metales pesados para los animales domésticos después del consumo crónico (NRC, 2 005).

**Tabla 3: Niveles máximos tolerables de metales pesados en la alimentación de animales expresados en ppm (NRC 2 005).**

<b>Metal</b>	<b>Roedores</b>	<b>Aves</b>	<b>Porcinos</b>	<b>Equinos</b>	<b>Vacunos</b>	<b>Ovinos</b>	<b>Pescado</b>
Plomo	10,0	10,0	10,0	10,0	100,0	100,0	10,0
Cadmio	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Cromo	30,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0



La Organización Mundial de la Salud (OMS), el Ministerio de Salud de Perú (MINSA), la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS) de Perú y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), presentan los siguientes valores como los límites máximos permisibles (LMP) de los parámetros de control de calidad del agua en mg/litro (DIGESA, 2 008).

**Tabla 4: Límites máximo permisibles (LMP) de los parámetros de control de calidad del agua en mg/l.**

Metales	Agua Potable (OMS)	Agua Potable (MINSA)	Agua Potable (SUNASS)	Agua Residual (SUNASS)	Agua Residual (Ley Gral. de Aguas)	Agua Residual (FAO)
Plomo	0,01	0,01	0,1	0,5	0,1	5,0
Cadmio	0,03	0,003	0,003	0,2	0,05	0,05
Cromo	0,05	0,05	0,05	0,5	1,0	0,1

Los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA) de Perú, aprobados por Decreto Supremo N° 015 – 2 015 – MINAM (Ministerio del Ambiente), presenta a los límites máximos permisibles de los parámetros químicos de aguas destinadas al riego de vegetales de tallo alto y bajo, y a aguas para consumo de la población pecuaria, los cuales se expresan en ppm y se resume en la Tabla 5 (Diario Oficial El Peruano, 2 015).

**Tabla 5: Estándares de Calidad Ambiental para aguas de riego y bebida de animales en ppm (D.S. N° 015 - 2 015 - MINAM - Perú)**

Metales	Agua de riego para vegetales de tallo alto y bajo	Agua de bebida para animales
Cadmio	(0,005 en 2 008) 0,01	(0,01 en 2 008) 0,05
Cromo	0,10	1,00
Plomo	0,05	0,05

En 1993, la OMS elaboró un documento con la guía de límites máximos para sustancias químicas presentes en las aguas residuales a ser utilizadas en riego. Los metales pesados, por ejemplo, pueden bioacumularse a través de la cadena alimentaria. Además, los productos generados con el uso de aguas residuales pueden constituir un riesgo para la salud de los consumidores si en los efluentes existe una concentración elevada de estos compuestos. Este documento plantea que las aguas residuales contienen una cantidad significativa de contaminantes químicos, por lo que su aplicación en el terreno debe restringirse al igual que en la cadena alimentaria humana. Al aplicarse en el terreno se debe seguir las mejores prácticas agronómicas para la irrigación y la fertilización, y la concentración del contaminante en el suelo no debe exceder ciertos valores límite. Además, menciona que la exposición a la contaminación, las condiciones del suelo, los hábitos dietéticos y las rutas de exposición difieren considerablemente en todo el mundo. Por ello es difícil establecer límites numéricos que se apliquen adecuadamente de manera universal. En lugar de concentrarse en el desarrollo de límites numéricos, los lineamientos de la OMS para la aplicación de residuos en el terreno deben enfatizar el desarrollo de una metodología para evaluar el destino y transporte de los contaminantes a través de diferentes rutas, y los datos técnicos para realizar tal evaluación. De esta manera se podrá evaluar de manera independiente los riesgos humanos a la salud asociados con cada caso de aplicación de residuos en el terreno. A manera de ejemplo, se muestra en la Tabla 6 algunos valores límites existentes en la bibliografía para metales en cultivos agrícolas. La concentración máxima se basa en una tasa de aplicación al agua acorde con buenas prácticas de irrigación. Si la tasa de aplicación de agua excede considerablemente esta cantidad, las concentraciones máximas deben ajustarse en forma descendente. Los valores consideran el uso continuo del agua en un terreno (National Academy of Sciences, 1972 y Pratt, 1972, mencionado por León 1995).

**Tabla 6: LMP de metales en cultivos agrícolas (OMS)**

Cadmio	0,01 ppm
Cromo	0,10 ppm
Plomo	5,00 ppm

Existe un grupo de factores de riesgo asociados al ambiente, que están definidos por el uso y la contaminación del agua, del aire y del suelo donde habita el productor y su ganado, y que en la mayoría de los casos están fuera del control oficial (Londoño, 2 014).

Es conocido que el aumento intenso y constante de las actividades desarrolladas por el hombre, incluyendo las industriales, ha favorecido la producción y emisión de sustancias contaminantes hacia los ecosistemas, facilitando la entrada de dichas sustancias tóxicas en la cadena trófica. El contenido residual de algunos elementos en la leche y carne es un importante indicador directo del grado de contaminación. Igualmente es un indicador indirecto de las condiciones ambientales locales o periféricas, principalmente del suelo, agua, aire y vegetación de la zona donde se localiza el ganado (González-Montaña, 2 009, citado por Londoño, 2 014).

Teniendo en cuenta lo citado por Rodríguez Sánchez en el año 2 003 y las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud se ha comprobado que la leche de bovinos que pastorean e ingieren agua en las orillas de lagos y ríos contaminados con desechos industriales, lodos y aguas fecales contiene metales pesados, tales como plomo, cadmio, mercurio y zinc. En estos estudios se ha comprobado que la concentración de metales pesados ingeridos por el ganado vacuno tiene gran influencia sobre las concentraciones de dichos elementos en la leche, y además se ha demostrado que una parte de estos elementos son excretados en la leche unidos a compuestos orgánicos, tales como proteínas y, en menor proporción, a grasas (Londoño, 2 014).

El problema ambiental por contaminación con metales pesados presenta evidencia científica suficiente de que la contaminación del suelo puede repercutir fácilmente en toda la cadena trófica (suelo, agua, aire, plantas), desde ahí pasar a los animales, acumularse en sus tejidos, órganos, y posteriormente pasar a sus producciones (carne, huevos y leche), y que evidentemente llegarán al hombre como elementos finales de la cadena trófica; posibilitando graves problemas de salud (Cerutti *et al.*, 1 999; citado por Londoño, 2 014).

Los animales pueden ser utilizados como biomarcadores de contaminación ambiental, permitiendo establecer de forma real el impacto de los agentes tóxicos sobre el animal vivo y sus producciones (Samiullah, 1 990; citado por Londoño, 2 014).

Metales como el plomo, el cadmio, el arsénico o el mercurio, además de ejercer efectos tóxicos, pueden transferirse y ser un factor de riesgo de intoxicación en la salud pública. Algunos efectos negativos sobre los animales y el hombre, pueden ser tales como daños a nivel del sistema nervioso, en la función hepática y renal, en el sistema músculo-esquelético, en la función reproductiva, alteraciones mutagénicas, efectos carcinogénicos e inmunológicos, específicamente en los infantes y adultos seniles, que representan las poblaciones más sensibles a dichos efectos (Wentink *et al.*, 1 988 y Oskarsson *et al.*, 1 992; citados por Londoño, 2 014).

Se sabe que los metales pesados pueden ser absorbidos directamente por las raíces de los cultivos o bien ser lixiviados hasta los acuíferos, causando así la contaminación de las aguas subterráneas, y de esta forma ser tóxicos para las plantas, los animales y los humanos, a través de su incorporación a la cadena alimentaria (Nriagu, 1 989; Palacios *et al.*, 2 002; Singh *et al.*, 2 010; citados por Londoño, 2 014).

Los metales pesados son los más comunes en este grupo de contaminantes ambientales, generalmente asociados a los procesos de industrialización y/o urbanización. Una de las particularidades de los contaminantes ambientales es que son muy resistentes a los procesos de degradación, lo que favorece su presencia en el medio ambiente y la acumulación en la cadena alimentaria. Si bien estos compuestos presentan movilidad ambiental a través de atmósfera, suelo y agua, aquellos sistemas de producción animal que se desarrollan cercanos a la fuente de contaminación (fábricas, incineraciones) poseen un mayor riesgo de contaminación. Dentro de los metales pesados más tóxicos, generalmente cadmio y plomo son los de mayor preocupación en relación a su presencia en carne. Arsénico y mercurio tienden a depositarse en peces y productos derivados del mar. Las características particulares de ciertos suelos, la contaminación con metales pesados procedentes de industrias y materias primas, son las principales vías de entrada en la cadena alimenticia de los metales pesados al ser consumidos y acumulados por los animales. Por ejemplo, una fuente importante de aporte de cadmio (Cd) en los suelos es el uso de fertilizantes fosfatados derivados de la roca fosfórica, como es el caso de la fosforita, muy utilizada en Uruguay fundamentalmente en los suelos ácidos y en los protocolos de carne orgánica. La acumulación de Cd en el suelo por el uso de fertilizantes fosfatados es una materia relevante desde el punto de vista ambiental y de la salud humana dado que aplicaciones sucesivas podrían incrementar los valores de Cd en el suelo afectando la salud humana en el largo plazo a través de su bioacumulación en la cadena (suelo -plantas – herbívoros - humanos). Un incremento de Cd en el ambiente implica un aumento en el consumo de este metal por parte de animales en pastoreo, los cuales pueden ver saturado su mecanismo de detoxificación, asociado a la presencia de una proteína en el hígado (metalotioneína), incrementando el riesgo de presencia de Cd en tejido muscular comestible. En el escenario actual de intensificación de la agropecuaria nacional, los mayores

riesgos de contaminación de la carne provienen de contaminantes ambientales, como metales pesados y agroquímicos, los cuales pueden llegar directa o indirectamente al animal. La alta persistencia de las moléculas que componen dichos productos químicos, hace que una vez presentes en el ambiente se mantengan por varios años pasando el problema de una generación a otra. Por lo cual debemos ser conscientes del impacto de las actuales prácticas de manejo y producción en el corto, mediano y largo plazo. El compromiso de obtener carne libre de residuos debe involucrar a todos los eslabones de la cadena cárnica. Sólo de esta manera se podrá mantener el prestigio y la competitividad de las carnes uruguayas a nivel internacional, en donde los requerimientos de los mercados son cada vez más exigentes en aspectos relacionados a inocuidad de carnes en general, y a residuos químicos en particular (Rovira, 2 008).

## **2.3 Base conceptual**

### **2.3.1 Marco legal**

**2.3.1.1 Ley de Recursos Hídricos** N° 29338, D.S. N° 001-2010-AG, Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, Título V; Capítulo VII: Reúso de aguas residuales tratadas, Artículo 147°.

Se entiende por reúso de agua residual a la utilización de aguas residuales tratadas resultantes de las actividades antropogénicas.

**2.3.1.2 Ley General de Salud** N° 26842, D.S. N° 007-98-SA, Reglamento sobre Vigilancia y Control Sanitario de Alimentos y Bebidas.

Artículo 9: La crianza de animales destinados al consumo humano deberá efectuarse cumpliendo con las normas sanitarias y las medidas de sanidad animal.

Artículo 10: Las condiciones sanitarias en la producción de carne para el consumo humano se sujetan a las normas que dicta el Ministerio de Agricultura previa coordinación con el Ministerio de Salud. Para efectos del presente reglamento, se entiende que la producción de carne incluye las actividades de cría, alimentación, transporte de animales en pie, beneficio, almacenamiento, transporte y comercialización de carnes y menudencias.

Artículo 11: Los animales destinados al consumo humano, deberán criarse de acuerdo con las buenas prácticas avícolas y ganaderas, no debiendo suministrárseles alimentos que puedan contener:

- a. Agentes patógenos de procedencia humana o animal.
- b. Medicamentos veterinarios, plaguicidas, sustancias químicas agrícolas u otras sustancias químicas en cantidades y tiempos de exposición capaces de

producir un nivel de residuos en la carne fresca, superior a los límites máximos establecidos por el Codex Alimentarius.

Artículo 17: La producción de leche en establos deberá efectuarse cumpliendo las normas de sanidad animal que dicta el Ministerio de Agricultura.

Artículo 18: Los parámetros de calidad sanitaria e inocuidad de la leche se establecen en la norma sanitaria que para cada tipo de producto lácteo expide el Ministerio de Salud.

Artículo 23: La producción de vegetales para el consumo humano debe ceñirse a las Buenas Prácticas Agrícolas que dicta el Ministerio de Agricultura.

Artículo 24: Queda prohibido el uso de aguas servidas, tratadas o sin tratar, para el riego de vegetales rastreros y de tallo corto de consumo crudo así como de frutales rastreros.

Artículo 25: Queda prohibido el refrescamiento de las hortalizas con aguas provenientes de acequias o de cualquier otra fuente que no garantice su potabilidad. Las



municipalidades son las encargadas de vigilar el cumplimiento de esta disposición.

### **2.3.1.3 Agua residual**

Son aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado (OEFA, 2 014).

### **2.3.1.4 Metales pesados**

El término de metal pesado refiere a cualquier elemento químico metálico que tenga una relativa alta densidad y sea tóxico o venenoso en concentraciones incluso muy bajas. Los ejemplos de metales pesados o algunos metaloides, incluyen el mercurio (Hg), cadmio (Cd), arsénico (As), cromo (Cr), talio (Tl), y plomo (Pb), entre otros (Lucho *et al.*, 2 005; citados por Prieto, *et al.*, 2 009).

Los metales pesados se encuentran generalmente como componentes naturales de la corteza terrestre, en forma de minerales, sales u otros compuestos. No pueden ser degradados o destruidos fácilmente de forma natural o biológica ya que no tienen funciones metabólicas específicas para los seres vivos (Abollino *et al.*, 2 002; citados por Prieto, *et al.*, 2 009).

Los metales pesados son peligrosos porque tienden a bioacumularse en diferentes cultivos. La bioacumulación

significa un aumento en la concentración de un producto químico en un organismo vivo en un cierto plazo de tiempo, comparada a la concentración de dicho producto químico en el ambiente (Angelova *et al.*, 2 004; citados por Prieto *et al.*, 2 009).

En un pequeño grado se pueden incorporar a organismos vivos (plantas y animales) por vía del alimento y lo pueden hacer a través del agua y el aire como medios de traslocación y dependiendo de su movilidad en dichos medios (Lucho *et al.*, 2 005; citados por Prieto *et al.*, 2 009).

Como elementos traza, algunos metales pesados [por ejemplo, cobre (Cu), selenio (Se), zinc (Zn)] son esenciales para mantener un correcto metabolismo en los seres vivos y en particular en el cuerpo humano. Sin embargo, en concentraciones más altas pueden conducir al envenenamiento. (Kabata- Pendias, 2 000, citado por Prieto *et al.*, 2 009).

#### **2.3.1.5 Cadmio (Cd)**

El cadmio (cadmia en latín, y en griego kadmeia, significa "calamina", nombre que recibía antiguamente el carbonato de cinc) fue descubierto en Alemania en 1 817 por Friedrich Stromeyer como una impureza en el carbonato de cinc. Desde esa fecha rara vez se utilizó; hasta hace apenas unos 50 años se le encontraron aplicaciones metalúrgicas. El cadmio no se encuentra en el ambiente como un metal puro; es más abundante en la naturaleza en forma de óxidos

complejos, sulfuros y carbonatos en el cinc, plomo y minas de cobre. Es relativamente barato, ya que se trata de un subproducto del procesamiento de metales más valiosos, como el cinc y el cobre. Sus variadas aplicaciones en la galvanoplastia, la galvanostegia y la galvanización, así como su uso en plásticos, pigmentos para crear tintes, pinturas, y cerámica, y baterías de níquel y cadmio, se deben a su gran resistencia a la corrosión y a sus propiedades electroquímicas. En la población general la comida y los cigarrillos son las principales fuentes de exposición al cadmio, la cual suele ser de carácter crónico. Los efectos tóxicos del cadmio se manifiestan especialmente en los huesos y riñones y las personas que tienen bajas reservas de hierro son particularmente vulnerables a estos efectos adversos. Es de interés informar y hacer notar los efectos provocados por este metal ubicado entre los más peligrosos, según la Agencia Estadounidense para el Registro de Sustancias Tóxicas y Enfermedades, así como continuar impulsando la educación para la salud con el fin de evitar la contaminación ambiental por cadmio (Pérez y Azcona, 2 012).

#### **2.3.1.6 Cromo (Cr)**

El cromo es un elemento de origen natural que se encuentra en la tierra, así como en rocas, animales y plantas. Puede existir en varias formas diferentes. Las tres formas principales del cromo son: cromo (0), cromo (III) y cromo (VI). Pequeñas cantidades de cromo (III) son necesarias para mantener buena salud. Dependiendo de la forma que tome, puede ser

un líquido, un sólido o un gas. No hay ningún sabor u olor asociado a los compuestos de cromo. El cromo metálico, que es la forma de cromo (0), se usa en la fabricación de acero. El cromo (VI) y el cromo (III) se usan en cromado, colorantes y pigmentos, curtido de cuero y preservación de madera. El cromo se puede encontrar en el aire, la tierra y el agua luego de ser liberado durante la fabricación, el uso, o la eliminación de productos hechos a base de cromo, y durante el proceso de manufactura. Por lo general, el cromo no permanece en la atmósfera, pero se deposita en la tierra y el agua. El cromo puede transformarse fácilmente de una forma a otra en el agua y la tierra, dependiendo de las condiciones presentes. Los peces no acumulan en el cuerpo mucho cromo proveniente del agua. El cromo (III), en cantidades necesarias, es un nutriente esencial que ayuda al cuerpo a usar azúcares, proteínas y grasas. Respirar altos niveles de cromo (VI) puede causar irritación en el revestimiento interno de la nariz, úlceras nasales, secreción nasal y problemas respiratorios tales como asma, tos, dificultad para respirar o sibilancias. Los principales problemas de salud observados en animales que ingirieron compuestos de cromo (VI) son irritación y úlceras en el estómago y el intestino delgado, y anemia. Los compuestos de cromo (III) son mucho menos tóxicos y no parecen causar estos problemas. En animales machos de laboratorio expuestos al cromo (VI) también se han observado daños en los espermatozoides y en el aparato reproductor masculino. El contacto de la piel con ciertos compuestos de cromo (VI) puede causar úlceras en la piel.

Algunas personas son muy sensibles al cromo (VI) y cromo (III), ocasionándoles reacciones alérgicas que se manifiestan como enrojecimiento e hinchazón grave de la piel. El Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS), y la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) han determinado que los compuestos de cromo (VI) son carcinogénicos en seres humanos. En trabajadores se ha demostrado que la inhalación de cromo (VI) causa cáncer de pulmón. El cromo (VI) también produce cáncer de pulmón en animales. En seres humanos y animales expuestos a cromo (VI) en el agua potable, se ha observado un aumento de tumores estomacales. No se sabe si la exposición al cromo produce defectos de nacimiento u otros efectos sobre el desarrollo en seres humanos. En animales expuestos al cromo (VI) se han observado algunos efectos sobre el desarrollo. El cromo es un componente del humo de tabaco. Aun cuando el cromo (III) es un elemento nutritivo esencial, se debe evitar el uso excesivo de suplementos dietéticos que contienen cromo (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2 008).

#### **2.3.1.7 Plomo (Pb)**

El Plomo (Pb) es un metal no esencial, altamente tóxico para el ser humano, que afecta a diversos órganos y tejidos. Su presencia en el organismo es atribuida a la contaminación ambiental, debido principalmente a sus usos como aditivo en combustibles y en pinturas (prohibido en EEUU en 1 973 y 1 978 respectivamente). También puede estar presente en

cañerías de agua, baterías, juguetes, artículos escolares, cerámicos, imprentas y diversas actividades industriales. Más recientemente, se ha informado sobre nuevas formas de contaminación de suelos, que se transforman así en potenciales focos de intoxicación. Diferentes investigaciones ambientales y clínico-epidemiológicas han demostrado que el Pb es un metal que no sufre degradación, por lo cual persiste en el ambiente. El Pb ingresa al organismo principalmente por vía respiratoria y gastrointestinal. Una vez en el torrente sanguíneo, se acumula dentro de los glóbulos rojos, donde interfiere en la síntesis del grupo *hemo*, ocasionando anemia. Luego de aproximadamente un mes, se redistribuye a diferentes órganos y tejidos, generando alteraciones en el sistema nervioso, hematopoyético, cardiovascular, reproductivo y renal. Finalmente, se deposita en tejidos duros como huesos, uñas y dientes, donde puede permanecer acumulado durante toda la vida. Cabe destacar que el Pb es teratógeno, porque atraviesa con facilidad la barrera placentaria, encontrándose concentraciones comparables del metal en la sangre de la madre y del recién nacido. Bajos niveles de exposición al Pb, se asocian con una disminución del coeficiente intelectual y un deficiente desarrollo neurológico, evidenciándose problemas de comportamiento, trastornos de atención e hiperactividad (Fontana *et al.*, 2013).

#### **2.3.1.8 *Lolium multiflorum* (Rye grass):**

Es una especie perteneciente a la familia de las gramíneas, que se caracteriza por presentar rápido establecimiento, alta

producción y excelente calidad de forraje. Generan un buen volumen y rendimiento, el cual es destinado a la elaboración de ensilaje de alta calidad (Demagnet, 2 013).

#### **2.3.1.9 *Trifolium repens* (Trébol blanco):**

Es una planta perenne de 10 - 50 cm. Tallos rastreros y enraizantes. Hojas trifoliadas, folíolos obovados, denticulados, a menudo con una mancha blanca en el haz. Estípulas bruscamente estrechadas en el ápice. Flores con corola blanca o rosada, membranosa en la fructificación; presentan una pequeña bráctea en su base. Cáliz con 10 nervios. Flores agrupadas en cabezuelas globosas, pedunculadas (Demagnet, 2 013).

#### **2.3.1.10 Absorción y transporte de nutrientes por la planta**

Las plantas absorben el agua y los nutrientes a través de la raíz y de la hoja. Estos nutrientes se encuentran en la solución del suelo en forma iónica y como tales son absorbidos por el sistema radicular. A su vez, los iones están dotados de movimiento en el entorno de la raíz. Este movimiento se debe a dos causas:

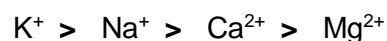
- a. La agitación térmica provocada por las micelas coloidales del suelo, denominado movimiento browniano del suelo.
- b. Las diferencias de potenciales electroquímicos originados por las distintas concentraciones de electrolitos, o iones, entre una y otra parte del sistema radicular.

El movimiento de los iones en el entorno de la raíz favorece su absorción. El mecanismo de esta absorción consiste en

una etapa de difusión a través del tejido de la célula de la raíz, el plasmalema, para cada ion. Esta difusión se realiza sobre la superficie de los pelos radiculares de las raíces jóvenes. Esto es debido a que estas raíces jóvenes poseen una gran área superficial de contacto con el exterior. Se caracterizan por tener unas membranas especialmente finas y unas vacuolas anormalmente grandes. Sobre estos pelos radiculares tiene lugar la absorción de agua y nutrientes minerales. La absorción es un proceso de intercambio de cargas electrostáticas sobre una superficie sólida. Los iones pueden ser intercambiados entre las posiciones del tejido de la raíz y la solución del suelo. Este mecanismo origina el movimiento y absorción de iones por la planta. A veces, puede existir intercambio directo entre coloides del suelo y el plasmalema, sin pasar a través de la solución del suelo. La capacidad de intercambio catiónico de la raíz varía según las especies. En monocotiledóneas oscila entre 10-30 me 100 g<sup>-1</sup> s.m.s. (sobre materia seca), y en dicotiledóneas entre 40-100 me 100g<sup>-1</sup>s.m.s. Los cationes son intercambiados según su valencia por uno o dos H<sup>+</sup> y los aniones por iones OH<sup>-</sup> y HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, de la misma forma. Es por ello que los desequilibrios en la absorción de cationes acidulan la solución del suelo y en caso contrario, aniones, la alcalinizan (Casas y Casas, 1 999). La difusión y la absorción sobre la raíz son mecanismos de tipo pasivo. Sólo un mecanismo activo puede llevar a la siguiente etapa de absorción. Esta etapa activa consume grandes cantidades de energía, que son aportadas por la respiración. Los procesos activos y pasivos son alternativos.



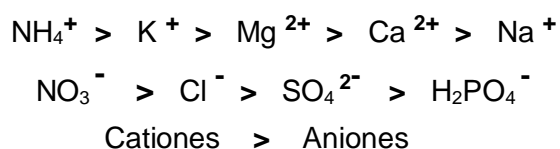
La difusión y el intercambio iónico de entrada son mecanismos pasivos que promueven el movimiento en el interior de la vacuola. La difusión de iones a través de la vacuola y el simplasma, para transferir a la vacuola de la célula adjunta y así sucesivamente, son procesos de tipo activo. Los procesos activos facilitan el movimiento de nutrientes a través de gradiente de concentración, sin el flujo inverso de iones. Es la denominada bomba metabólica. El movimiento a través de gradiente puede ser pasivo para algunos iones, en particular para el calcio,  $\text{Ca}^{2+}$ . En este caso si existe un flujo inverso de iones de igual carga electrostática. La absorción pasiva es selectiva. Las tasas de difusión están inversamente relacionadas con el tamaño del ion. En soluciones acuosas el radio del ion hidratado y no el ion sólo es el que controla la difusión. La clasificación para cationes, en la difusión, es la siguiente:



En los procesos de intercambio catiónico, la clasificación en función de la absorción sobre la membrana es la siguiente:



En los procesos activos del movimiento de iones a través de la membrana, la clasificación se establece, entre aniones y cationes, de la siguiente manera:



(Martin-Prével, 1 984, citado por Casas y Casas, 1 999).

Entonces, después de lo textualizado, podemos deducir que, metales pesados como el Pb, con estados de oxidación de 2<sup>+</sup> y 4<sup>+</sup>; el Cd, con estados de oxidación de 2<sup>+</sup>; y el Cr, con estados de oxidación de 3<sup>+</sup> y 6<sup>+</sup>; por sus capacidades donadoras de electrones, se convertirían en iones cationes, los cuales tendrían altas posibilidades de absorción sobre la membrana, y mucho más que los iones aniones.

El efecto de la absorción selectiva hace que la composición de las plantas varíe en función del medio donde crecen. La influencia de la selectividad de las diferentes fases de la absorción, particularmente de los mecanismos específicos de los iones, difiere mucho entre especies, variedades e individuos. Muchos factores a los que se suma el genotipo y la capacidad de respiración influyen en las tasas de absorción. Algunos son fisiológicos (tipo, edad y estado de las células) y algunos físico - químicos (aporte de agua, temperatura, pH y concentración de iones en el medio). La temperatura estimula la respiración e incrementa las tasas de difusión. La luz influye en la absorción indirectamente, por aumento de la fotosíntesis e incrementa el aporte de asimilados por la raíz para la respiración (Casas y Casas, 1 999).

### **2.3.1.11 Transporte de nutrientes**

Durante crecimiento y desarrollo de la planta existen dos movimientos opuestos que transportan agua y nutrientes de un órgano a otro para su desarrollo. El movimiento desde la raíz a las partes superiores de la planta se realiza a través del xilema. En este flujo la savia está compuesta de agua e iones de la solución del suelo. También contiene productos de los compuestos de reducción de los nitratos, ya que en algunas especies tiene lugar en la raíz. Esta savia pasa a los tallos y hojas y se almacena. En sentido opuesto, de las hojas hacia otros órganos de la planta, desciende a través del floema una savia enriquecida por procesos de fotosíntesis. Contiene agua con elevadas cantidades de azúcares y otros metabolitos y una pequeña cantidad de nutrientes minerales que serán redistribuidos en otras partes de la planta. La hoja contiene dos tipos de tejidos. El parénquima, donde tiene lugar la actividad fotosintética y los vasos, por donde sube y baja la savia. El peciolo une la hoja con el tallo, es un claro tejido conductor y conecta similares tejidos de la hoja y del tallo (Casas y Casas, 1 999).

La absorción de nutrientes y su posterior translocación están unidos a su utilización en procesos metabólicos. En este proceso los elementos nutritivos cambian su estado químico, combinándose en sustancias más o menos complejas (Martin-Prével, 1 984; citado por Casas y Casas, 1 999).

### **2.3.1.12 Transporte vía xilema**

El transporte a larga distancia, por la planta, ocurre a través del xilema. Es por lo tanto el tejido conductor del agua y nutrientes minerales desde la raíz al resto de la planta. Los mecanismos de transporte de esta savia explican bien para las plantas herbáceas, por la presión radicular, pero no es suficiente para sostener la circulación en plantas de mayor altura. Por lo tanto no es el mecanismo principal de funcionamiento en el xilema. Según la teoría de la tensión-cohesión, la fuerza impulsora proviene de arriba, de la energía de transpiración. Esto es debido a la existencia de un gradiente hídrico entre la planta y la atmósfera. La energía necesaria para el movimiento del agua por el xilema es la de la evaporización del agua por las hojas, transpiración (Casas y Casas, 1 999).

### **2.3.1.13 Transporte vía floema**

Si para el transporte vía xilema existe una teoría generalmente aceptada, no ocurre lo mismo con el transporte de solutos por el floema. La evidencia indica que el transporte desde las hojas a las demás partes de la planta tiene lugar fundamentalmente a través de los tubos cribosos del floema. Este transporte no es sólo descendente sino también ascendente. Aparte de agua e iones inorgánicos, el floema transporta, en una forma comparable al xilema, aunque no idéntica, lo siguiente:

- a. Carbohidratos con ausencia de azúcares reductores.
- b. Sustancias nitrogenadas, fundamentalmente aminoácidos, como el ácido aspártico y glutámico y sus aminas, glutamina asparraguina. En General, todas las sustancias nitrogenadas de bajo peso molecular pueden ser fácilmente transportadas. Se detecta, igualmente, la presencia de proteínas.
- c. Ácidos orgánicos y sustancias inorgánicas. Los primeros, en pequeñas cantidades. El catión predominante es el potasio (K), aunque también aparecen sodio (Na), calcio (Ca) y magnesio (Mg). Como aniones, fosfatos, sulfatos, cloruros, nitratos y bicarbonatos.
- d. Sustancias de crecimiento y otras sustancias como la tiamina, niacina, ácido ascórbico y ATP. Compuestos artificiales como herbicidas, fungicidas, insecticidas y reguladores de crecimiento sintéticos.

El transporte de solutos por el floema se considera un movimiento entre órganos productores y consumidores. Como órganos productores se encuentran aquellas partes de la planta en las que se producen o almacenan sustancias orgánicas, sobre todo carbohidratos, en los que la disponibilidad de éstos excede a su utilización. Por ejemplo: hojas viejas, cotiledones, etc. Como órganos consumidores aquellos que utilizan sustancias orgánicas para la formación de nuevos órganos o para la acumulación de sustancias de

reserva, por ejemplo, hojas jóvenes, meristemos, etcétera (Casas y Casas, 1 999).

El transporte de solutos entre los órganos productores y consumidores, se distribuye entre hojas inferiores y la raíz, hojas superiores y hojas apicales y de hojas medias a la raíz y zonas apicales (Barceló, 1 987, mencionado por Casas y Casas, 1 999).

#### **2.3.1.10 Contenido de metales pesados en los cultivos**

El comportamiento de las plantas superiores frente a los metales no es uniforme. Las especies vegetales, incluso, en sus variedades, difieren entre sí, en su capacidad para absorber metales, acumularlos y tolerarlos (Alloway y Jackson, 1 991; Turner, 1 994; Angelova *et al.*, 2 004, mencionados por Peris, 2 006).

Los mecanismos para tolerar mayores contenidos de metales son diversos. Así, algunas especies son capaces de ligar los metales a las paredes celulares o introducirlos en las vacuolas o complejarlos con ácidos orgánicos o sufren adaptaciones enzimáticas que les permiten realizar sus funciones en presencia de cantidades elevadas de metales pesados (Thurman, 1 981; citado por Peris, 2 006).

Las plantas se han clasificado en tres tipos, excluyentes, indicadoras y acumuladoras, en función de su comportamiento ante la presencia de metales en el ambiente (Ross y Kaye, 1 994; mencionado por Peris, 2 006).

Así, las **excluyentes** restringen la entrada o la translocación de metales tóxicos. Esto les permite vivir en ambientes con elevadas concentraciones de metales (Barceló y Poschenrieder, 1992; citado por Peris, 2006).

Las **indicadoras** reflejan el incremento de metal producido en el entorno. Las **acumuladoras** incrementan activamente metales en sus tejidos, y pueden ser utilizadas como fitorremediadoras (Anderson *et al.*, 2001; citado por Peris, 2006).

#### **2.3.1.11 Transformaciones mediadas por microorganismos**

La utilización de microorganismos como biosorbentes de metales pesados, ofrece una alternativa potencial a los métodos ya existentes para la detoxificación y recuperación de metales tóxicos o valiosos presentes en aguas residuales industriales. Muchas levaduras, hongos, algas, bacterias y cierta flora acuática tienen la capacidad de concentrar metales a partir de soluciones acuosas diluidas y de acumularlas dentro de la estructura microbiana. Actualmente los procesos biotecnológicos más eficientes utilizan la biosorción y la bioprecipitación, pero otros procesos tales como la unión a macromoléculas específicas pueden tener un potencial en el futuro. Las tecnologías que usan estos procesos son comúnmente usadas para el control de la contaminación de diversas fuentes. Las interacciones metal-microbiota son estudiadas entonces en profundidad en el contexto de la biotecnología ambiental, con el objeto de

implementar métodos de remoción, recuperación o detoxificación de metales pesados. Dependiendo del estado de oxidación que se presente un metal y la especie que esté conformando, un microorganismo puede realizar dos transformaciones posibles. Una correspondería a la movilización del metal, es decir el pasaje de un estado insoluble inicial (metales asociados a suelos, sulfuros u óxidos metálicos, por ejemplo) correspondiente a una fase sólida, a un estado soluble final, en fase acuosa. Este proceso se conoce con el nombre de lixiviación microbiana. El otro corresponde a la inmovilización del metal, es decir el pasaje de un estado soluble inicial en fase acuosa a uno insoluble final en fase sólida (Cabrera *et al.*, 2 012).

## 2.4 Definición de términos

**2.4.1 Analito:** Es un término utilizado sobre todo en la química analítica, donde hace referencia a una sustancia, que puede ser un ion, un elemento, o incluso un compuesto determinado, de interés en nuestra muestra. Es la parte que deseamos analizar. Puede conocerse y ser cuantificada en un proceso químico determinado (Méndez, 2 011).

**2.4.2 Seguridad Alimentaria:** "Existe seguridad alimentaria cuando todas las personas tienen en todo momento acceso físico y económico a suficientes alimentos inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades alimenticias y sus preferencias en cuanto a los alimentos a fin de llevar una vida activa y sana" (FAO, 1 996).



**2.4.3 Zoonosis:** Son generalmente definidas como enfermedades que los animales transmiten a los seres humanos. No obstante hay varios listados de enfermedades que se producen principalmente en los seres humanos y que pueden ser transmitidas entre los humanos y animales, con algunos animales sirviendo como reservorios de infección (Manual Merck de Veterinaria, 2 007).

#### **2.4.2 Hidropónicos**

El cultivo de las plantas sin tierra. De todos los métodos, el cultivo en agua, por definición, es el auténtico cultivo hidropónico (Howard, 2 001).

## CAPÍTULO III

### DISEÑO DE CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

#### 3.1 Hipótesis

Existe presencia de metales pesados, como el Cd, Cr y Pb, en las especies vegetales *Lolium multiflorum* y *Trifolium repens* cultivadas *in vitro*, en agua residual proveniente de la ciudad de Cajamarca, durante la época de sequía.

#### 3.2 Diseño Metodológico

Metal Pesado	Agua Potable LMP (MINSA)	Agua Potable	Agua Residual LMP (SUNASS)	Agua Residual	Pienso LMP (OMS)	<i>Lolium multiflorum</i>				<i>Trifolium repens</i>			
						Agua Potable		Agua Residual		Agua Potable		Agua Residual	
						15 días	30 días	15 días	30 días	15 días	30 días	15 días	30 días
Cd (ppm)	0,003		0,200		0,01								
Cr (ppm)	0,050		0,500		0,10								
Pb (ppm)	0,010		0,500		5,0								

### 3.3 Localización

El material fue utilizado en el Laboratorio de Fisiología Veterinaria de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad Nacional de Cajamarca, en la ciudad del mismo nombre, ubicada al norte de Perú. Por su altitud se encuentra en la región Quechua (2 750 msnm), lo que determina que su clima sea templado, seco; soleado durante el día, pero frío durante la noche. Su temperatura media anual es de 15,6 °C.

Algunas características geográficas y climatológicas de la ciudad (\*):

• Altitud promedio	: 2 750 msnm
• Latitud sur	: 7° 11' 36"
• Longitud oeste	: 78° 11' 36"
• Clima	: Templado – seco
• Temperatura promedio anual	: 15,6°C
• Temperatura mínima promedio anual	: 7,6°C
• Temperatura máxima promedio anual	: 22°C
• Precipitación pluvial anual	: 750 mm
• Humedad relativa promedio anual	: 75%
• Presión atmosférica	: 742,4 milibares
• Horas de brillo solar promedio anual	: 5,9 sol/día

---

(\*) Fuente Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (SENHAMI) 2 016

### 3.4 Unidad de análisis y tamaño de muestra

#### 3.4.1 Unidad de análisis

Como unidad de análisis se consideró a cada **bandeja** conteniendo el cultivo hidropónico con las especies vegetales ***Lolium multiflorum*** y ***Trifolium repens***.

#### 3.4.2 Tamaño de muestra

Las muestras se tomaron al azar: Un litro de agua potable tomado en la posición con coordenadas 17 M 0776620 UTM 9206272 (jurisdicción urbana), un litro de agua residual tomado en la posición con coordenadas 17 M 0775413 UTM 9209399, 200 g de materia fresca de cada bandeja de cultivo hidropónico de la especie ***Lolium multiflorum*** (seis bandejas con el tratamiento de agua potable y seis bandejas con el tratamiento de agua residual), y 200 g de materia fresca de cada bandeja de cultivo hidropónico de la especie ***Trifolium repens*** (seis bandejas con el tratamiento de agua potable y seis bandejas con el tratamiento de agua residual).

### 3.5 Descripción del diseño metodológico

#### 3.5.1 Tipo de investigación

La investigación fue de tipo experimental, longitudinal, prospectivo, cuali – cuantitativo.

#### 3.5.2 Diseño procedimental

Para el diseño y estructura de la investigación, se consideró el encontrar la concentración de metales pesados presentes en las especies ***Lolium multiflorum*** (Ryegrass) y ***Trifolium repens*** (Trébol blanco), al ser cultivados, *in vitro*, en agua residual.

- a. Para ello, primero se realizó un análisis químico de agua potable, el cual fue utilizado en el cultivo hidropónico de cada una de las especies en estudio como *grupo testigo (T<sub>0</sub>)*. Luego, se analizó el agua residual a fin de utilizarlo como tratamiento en cada cultivo hidropónico de estas especies forrajeras (**T<sub>1</sub>** y **T<sub>2</sub>**).
  
- b. Los cultivos hidropónicos de *Lolium multiflorum* y *Trifolium repens* se realizaron por separado. Para ello se experimentaron pre-ensayos con el fin de estandarizar un crecimiento óptimo, posteriormente exponerlas en agua residual y/o agua potable durante 15 y 30 días; para luego proceder a la cosecha con los respectivos análisis químicos. Los pre ensayos de estos cultivos hidropónicos se trabajaron tomando como referencia a Rodríguez y Chang, 2 016.

#### **Selección de las semillas**

- ***Lolium multiflorum***: Se tomaron en cuenta, aquellas de comercialización conocida, y que por su densidad, se depositaran en el fondo del recipiente con agua.
  
- ***Trifolium repens***: Se tomaron en cuenta aquellas de comercialización conocida, de marca registrada en el mercado, la cual ofrecía una garantía de haber pasado por un tratamiento previo de selección.

#### **Lavado de las semillas:**

- Sólo en ***Lolium multiflorum***, con una solución de hipoclorito de sodio al 1%, por 30 minutos.

### **Remojo de las semillas**

- Sólo en *Lolium multiflorum*, con agua potable y por un lapso de tres horas.

### **Siembra y germinación de semillas**

- Se distribuyó una capa delgada de semilla sobre bandejas cuidadosamente desinfectadas.
- Luego, se procedió a un primer riego con agua potable o con agua residual (según el tratamiento) utilizando un aspersor de mano.
- Después se las cubrió con un plástico negro hasta comprobar el brote completo de las semillas.

### **Riego**

- Se realizó a con un aspersor de mano, con frecuencias de cinco veces por día hasta la germinación, y tres veces por día hasta la cosecha.

### **Cosecha**

- Se realizaron a los 15 y 30 días después de la siembra de cada especie vegetal, y comprendió el total de la biomasa que se encontró en las bandejas, y que incluyeron: colchón radicular, tallos y hojas.

También se tomaron en cuenta las recomendaciones otorgadas por Howard, 2 001, y que refiere a la aireación y oscuridad de las raíces.

- c. Luego, se prepararon las muestras de estos cultivos para su envío al laboratorio a fin de identificar y cuantificar la concentración de los metales pesados en estudio presentes en cada una de las especies forrajeras. Esta preparación incluyó la deshidratación de los vegetales bajo sombra durante cinco días.
- d. Las técnicas e instrumentos de recopilación de información fueron los que se indican para la determinación de tipo y concentración de metales pesados en agua potable, agua residual y especies vegetales en estudio, los cuales, previa preparación y digestión de los mismos, fueron sometidos a la acción del Espectrofotómetro de Absorción Atómica del Laboratorio de Suelos, Plantas, Agua y Fertilizantes de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria La Molina de la ciudad de Lima.

El procedimiento químico analítico que se llevó a cabo para la preparación y digestión del agua y determinar los analitos en estudio fue el siguiente:

- De la muestra de un litro de agua, se tomó 100 mL y se colocó en un vaso de 250 mL.
- Se agregó 2 mL de ácido nítrico ultra puro.
- Se cubrió el vaso con una luna de reloj.
- Luego, se llevó a una plancha térmica (85°C) dentro de una campana extractora de gases para su evaporación por espacio de cuatro horas hasta obtener una cantidad

constante de 20 mL aproximadamente.

- Se sacó el vaso con la muestra para colocarlo dentro de otra campana y dejarlo enfriar.
- Si la muestra se presentaba clara, entonces con una pizeta con agua ultra pura se lavó las paredes de los vasos y luego se la traspasó a una fiola para enazarla a 100 mL.
- Si la muestra se presentó turbia, entonces se agregó 1 mL de agua regia (1mL de ácido nítrico + 2 mL de ácido clorhídrico)
- Se siguió con la digestión.
- Se procedió a la lectura.

El procedimiento químico analítico que se llevó a cabo para la preparación y digestión del forraje hidropónico y determinar los analitos en estudio fue el siguiente:

- Lavar todo el material de vidrio y de plástico con ácido nítrico al 10% antes de su uso.
- De la muestra de 200 g de forraje verde, en un mortero se trituró hasta alcanzar 50 g de solución. Esta solución fue depositada en crisoles de porcelana de 100 mL.
- Se procedió al secado en la estufa a 100 °C hasta alcanzar un peso constante, para posteriormente colocarlos en una mufla a 450 °C por 16 horas.



- Una vez enfriados, se añadió 2 mL de ácido nítrico 2N para favorecer el blanqueado de las cenizas.
- Nuevamente, se procedió al secado de las muestras ácidas en una placa termostática, para que, al evaporarse el ácido, se vuelva a colocar en crisoles. Estos crisoles se expusieron en la mufla a 450 °C por una hora. Para la recuperación de las cenizas se añadieron 5 mL de ácido nítrico 0,1 N.
- Posteriormente, se realizó el filtrado con embudos de papel de filtro Whatman número 40, para luego almacenar las muestras en recipientes de polipropileno, llevarlas a refrigeración y someterlas al Espectrofotómetro de Absorción Atómica.

#### 1.1.1 Diseño estadístico:

Los datos recolectados de la investigación siguió el modelo estadístico del Diseño Factorial Completamente al Azar  $2 \times 2 \times 2$ , donde el Factor A (especies vegetales forrajeras) presentó dos factores (*Lolium multiflorum* y *Trifolium repens*); el Factor B (tipo de agua) presentó dos factores (agua potable y agua residual); y el Factor C (tiempo) presentó dos factores (15 y 30 días), con tres repeticiones cada una. Para realizar la comparación de medias se utilizó el test de Tukey, con un nivel de significancia de 5%.

$$Y_{ijkl} = \mu + A_i + B_j + C_k + (A+B)_{ij} + (A+C)_{ik} + (B+C)_{jk} + (A*B*C)_{ijk} + D_l + E_{ijkl}$$

donde:

**$Y_{ijkl}$** : es la concentración del analito en la i-ésima especie forrajera, j-ésimo nivel de agua, k-ésimo nivel de tiempo, y l-ésima repetición.

**$u$** : es el promedio de la muestra.

**$A_i$** : es el efecto en la i-ésima especie forrajera.

**$B_j$** : es el efecto en el j-ésimo tipo de agua.

**$C_k$** : es el efecto en el k-ésimo nivel de tiempo.

**$(A + B)$** : es la interacción del factor "A" con el factor "B".

**$(A + C)$** : es la interacción del factor "A" con el factor "C".

**$(B + C)$** : es la interacción del factor "B" con el factor "C".

**$(A * B * C)_{ijk}$** : es el efecto de la interacción en i-ésima especie forrajera, j-ésimo nivel de agua, k-ésimo nivel de tiempo.

**$D_l$** : es el efecto en la l-ésima repetición.

**$E_{ijkl}$** : es el efecto del error experimental en la i-ésima especie forrajera, j-ésimo nivel de agua, k-ésimo nivel de tiempo, y l-ésima repetición.

## CAPÍTULO IV

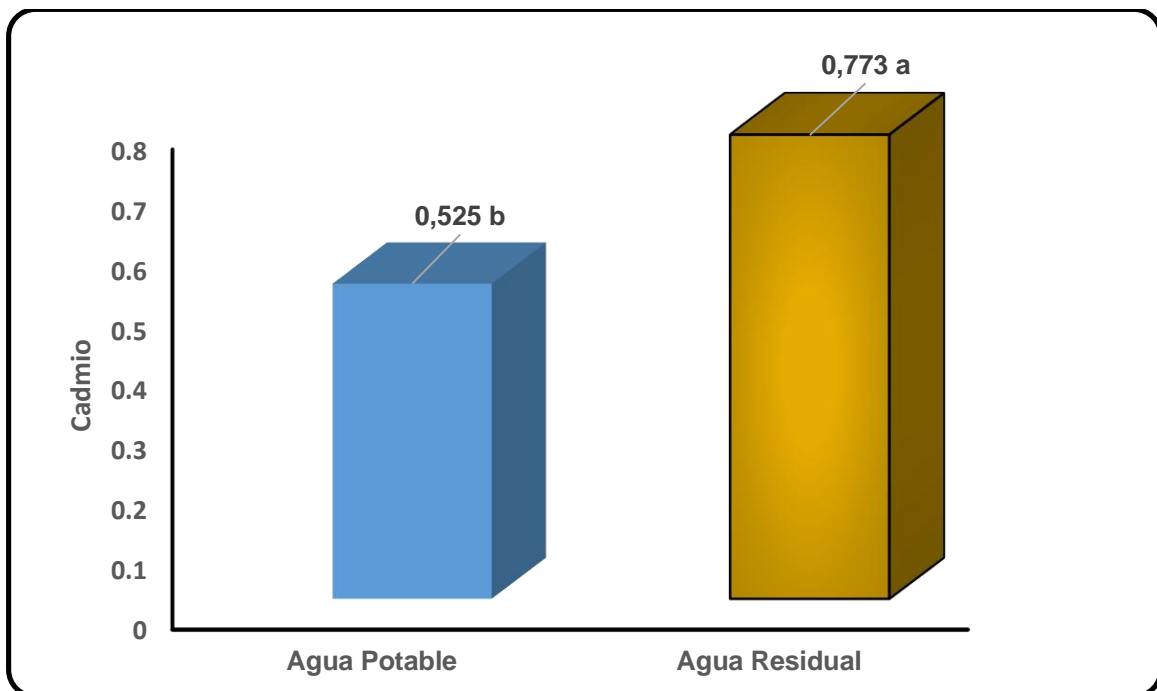
### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos recolectados de la parte experimental se encuentran detallados en el Anexo (pág. 90). Según los valores remitidos por el laboratorio con respecto a Cd, los resultados obtenidos en el ANVA (ver Anexo) detallan que existen diferencias significativas en las interacciones por Agua, por Cultivo Hidropónico, por Tiempo, y por Agua \* Forraje, pues el valor de  $p < 0,05$ .

**Cuadro 01: Presencia de Cd en cultivo hidropónico por Agua (ppm)**

Agua	N° de muestras	Media
Agua Potable	12	0,525 ± 0,24 b
Agua Residual	12	0,773 ± 0,18 a

Letras diferentes en una misma columna indican diferencia significativa ( $P < 0,05$ )



**Gráfico 01: Presencia de Cd en cultivo hidropónico por Agua (ppm).**

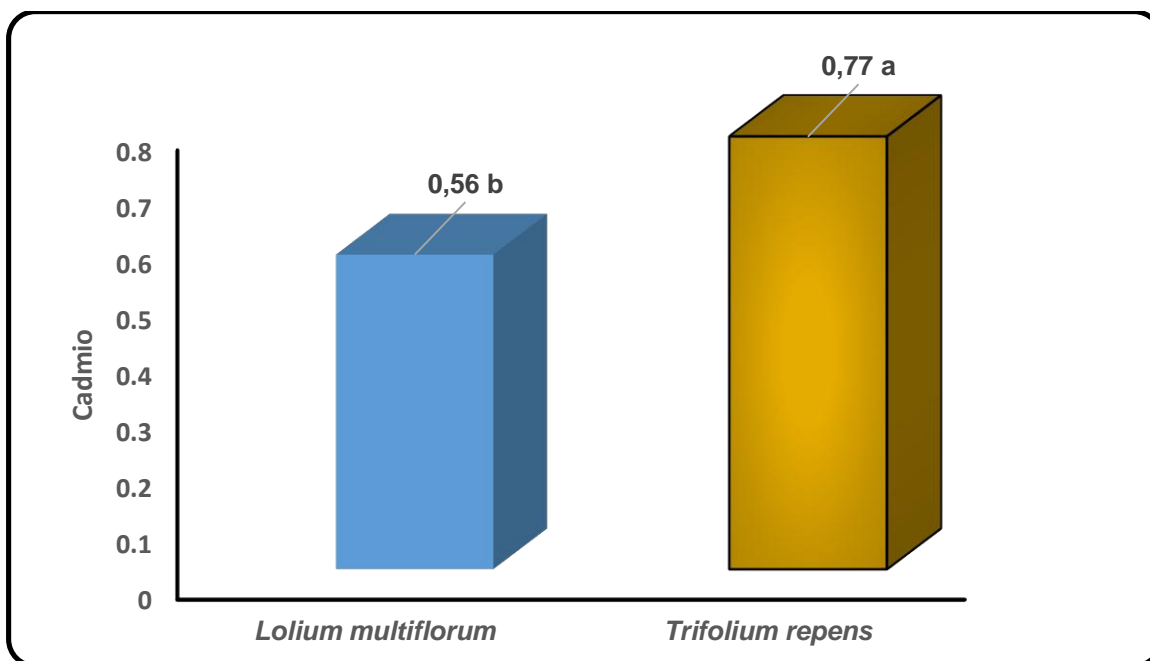
En el Cuadro 01 y Gráfico 01, observamos que, el valor medio de presencia de Cd en las 12 muestras vegetales por agua potable, hasta los 30 días de cultivo, es de 0,525

ppm (5 600,00 % de absorción con respecto a la muestra de agua potable); con una desviación estándar de 0,24 ppm; y el valor medio de presencia de Cd en las 12 muestras vegetales por agua residual, hasta los 30 días de cultivo, es de 0,773 ppm (18 458,33% de absorción con respecto a la muestra de agua residual); con una desviación estándar de 0,18 ppm. Ambos casos muestran una diferencia significativa. Estos valores medios no superan los Límites Máximos Permisibles (LMP) recomendados por la AFFCO (10 ppm) y por los Decretos fijados en la Unión Europea para piensos en animales (0,50 – 1,00 ppm), pero sobrepasan los LMP recomendados por la OMS (0,01 ppm). Hay que considerar que los metales pesados tienden a seguir acumulándose en el tiempo.

**Cuadro 02: Presencia de Cd por Cultivo Hidropónico (ppm)**

Cultivo Hidropónico	N° de muestras	Media
<i>Lolium multiflorum</i>	12	0,56 ± 0,27 b
<i>Trifolium repens</i>	12	0,773 ± 0,18 a

Letras diferentes en una misma columna indican diferencia significativa ( $P < 0,05$ )



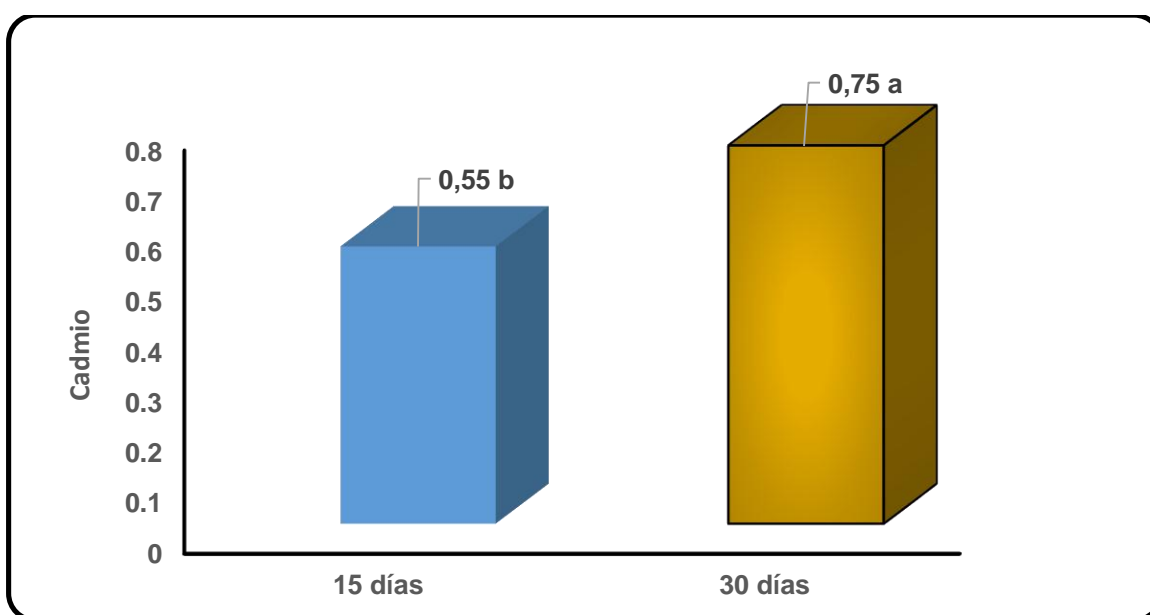
**Gráfico 02: Presencia de Cd por Cultivo Hidropónico (ppm).**

En el Cuadro 02 y Gráfico 02, observamos que el valor medio de presencia de Cd en las 12 muestras vegetales por *Lolium multiflorum*, hasta los 30 días de cultivo, es de 0,56 ppm (10 487,50 % de absorción con respecto a las muestras de agua potable y agua residual); con una desviación estándar de 0,27 ppm; y el valor medio de presencia de Cd en las 12 muestras vegetales por *Trifolium repens*, hasta los 30 días de cultivo, es de 0,773 ppm (13 570,83 % de absorción con respecto a las muestras de agua potable y agua residual); con una desviación estándar de 0,18 ppm. Ambos casos muestran una diferencia significativa. Estos valores medios no superan los LMP recomendados por la AFFCO (10 ppm) y por los Decretos fijados en la Unión Europea para piensos en animales (0,50 – 1,00 ppm), pero sobrepasan los LMP recomendados por la OMS (0,01 ppm). Hay que considerar que los metales pesados tienden a seguir acumulándose en el tiempo.

**Cuadro 03: Presencia de Cd en cultivo hidropónico por Tiempo (ppm)**

Tiempo	N° de muestras	Media
15 días	12	0,55 ± 0,21 b
30 días	12	0,75 ± 0,25 a

Letras diferentes en una misma columna indican diferencia significativa ( $P < 0,05$ )



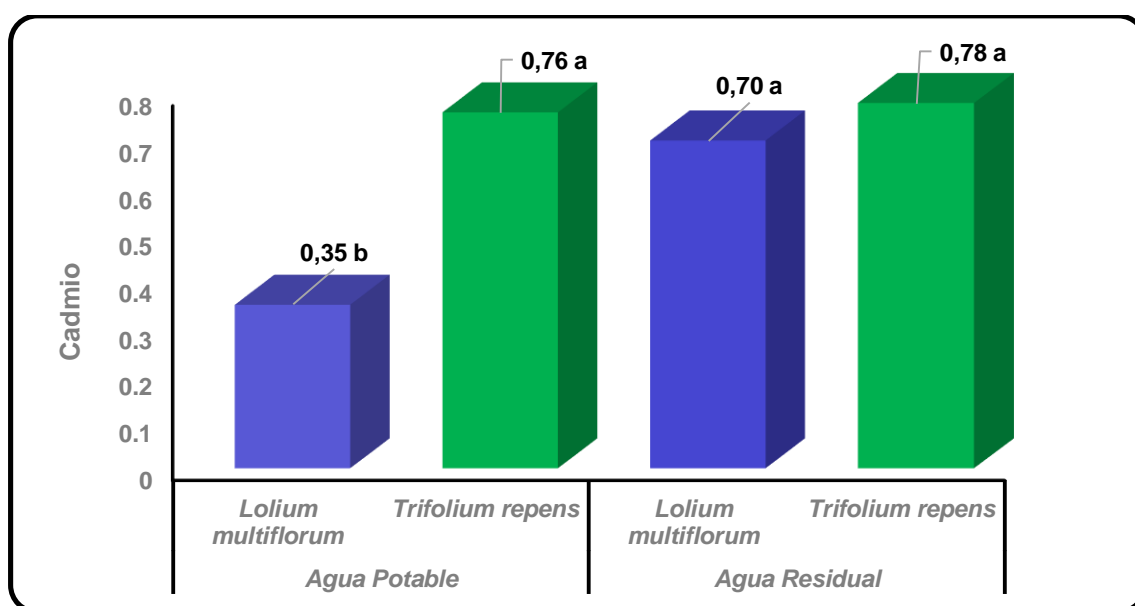
**Gráfico 03: Presencia de Cd en cultivo hidropónico por Tiempo (ppm).**

En el Cuadro 03 y Gráfico 03, el valor medio de presencia de Cd en las 12 muestras vegetales por 15 días es de 0,55 ppm (10 425,00 % de absorción con respecto a las muestras de agua potable y agua residual); con una desviación estándar de 0,21 ppm; y el valor medio de presencia de Cd en las 12 muestras vegetales por 30 días es de 0,75 ppm (13 633,33 % de absorción con respecto a las muestras de agua potable y agua residual); con una desviación estándar de 0,25 ppm. Ambos casos muestran una diferencia significativa. Estos valores medios no superan los LMP recomendados por la AFFCO (10 ppm) y por los Decretos fijados en la Unión Europea para piensos en animales (0,50 – 1,00 ppm), pero sobrepasan los LMP recomendados por la OMS (0,01 ppm). Hay que considerar que los metales pesados tienden a seguir acumulándose en el tiempo.

**Cuadro 04: Presencia de Cd en la interacción Agua \* Cultivo Hidropónico (ppm)**

Agua	Cultivo Hidropónico	N° de muestras	Promedio
Agua potable	<i>Lolium multiflorum</i>	6	0,35 ± 0,09 b
	<i>Trifolium repens</i>	6	0,76 ± 0,23 a
Agua Residual	<i>Lolium multiflorum</i>	6	0,70 ± 0,22 a
	<i>Trifolium repens</i>	6	0,78 ± 0,13 a

Letras diferentes en una misma columna indican diferencia significativa (P < 0,05)



**Gráfico 04: Presencia de Cd en la interacción Agua \* Cultivo Hidropónico (ppm)**

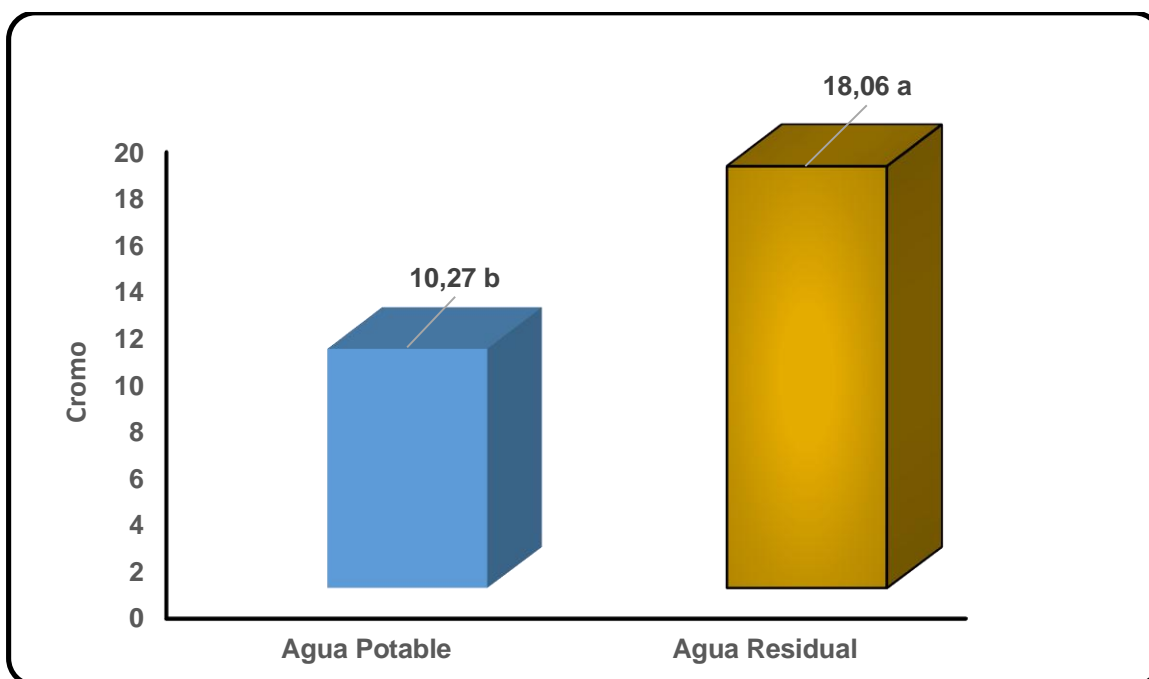
En el Cuadro 04 y Gráfico 04, observamos que, el valor medio de presencia de Cd en las seis muestras de ***Lolium multiflorum*** con agua potable es de 0,35 ppm (3 516,67 % de absorción con respecto a la muestra de agua potable); con una desviación estándar de 0,09 ppm; y el valor medio de presencia de Cd en las seis muestras de ***Trifolium repens*** con agua potable es de 0,76 ppm (7 683,33 % de absorción con respecto a la muestra de agua potable); con una desviación estándar de 0,23 ppm. También observamos que el valor medio de presencia de Cd en las seis muestras de ***Lolium multiflorum*** con agua residual es de 0,70 ppm (17 458,33 % de absorción con respecto a la muestra de agua residual); con una desviación estándar de 0,22 ppm; y el valor medio de presencia de Cd en las seis muestras de ***Trifolium repens*** con agua residual es de 0,78 ppm (19 458,33 % de absorción con respecto a la muestra de agua residual); con una desviación estándar de 0,13 ppm. En tal sentido, el valor medio más bajo se encuentra en la interacción Agua Potable \* ***Lolium multiflorum***, el cual difiere significativamente de los otros tres, debido al mayor y rápido crecimiento de los cultivos hidropónicos por los nutrientes del agua residual (Zamora et al., 2 008). Estos valores medios en la interacción Agua \* Cultivo Hidropónico no superan los LMP recomendados por la AFFCO (10 ppm) y por los Decretos fijados en la Unión Europea para piensos en animales (0,50 – 1,00 ppm), pero sobrepasan los LMP recomendados por la OMS (0,01 ppm). Hay que considerar que los metales pesados tienden a seguir acumulándose en el tiempo.

Según los valores remitidos por el laboratorio con respecto a Cr, los resultados obtenidos en el ANVA (Anexo) detallan que existen diferencias significativas en las interacciones por Agua, por Cultivo Hidropónico, por Tiempo, y por la interacción Agua \* Tiempo, pues los valores de  $p < 0,05$ .

**Cuadro 05: Presencia de Cr en cultivo hidropónico por Agua (ppm)**

Agua	N° de muestras	Media
Agua Potable	12	10,27 ± 5,097 b
Agua Residual	12	18,06 ± 7,01 a

Letras diferentes en una misma columna indican diferencia significativa ( $P < 0,05$ )



**Gráfico 05: Presencia de Cr en cultivo hidropónico por Agua (ppm).**

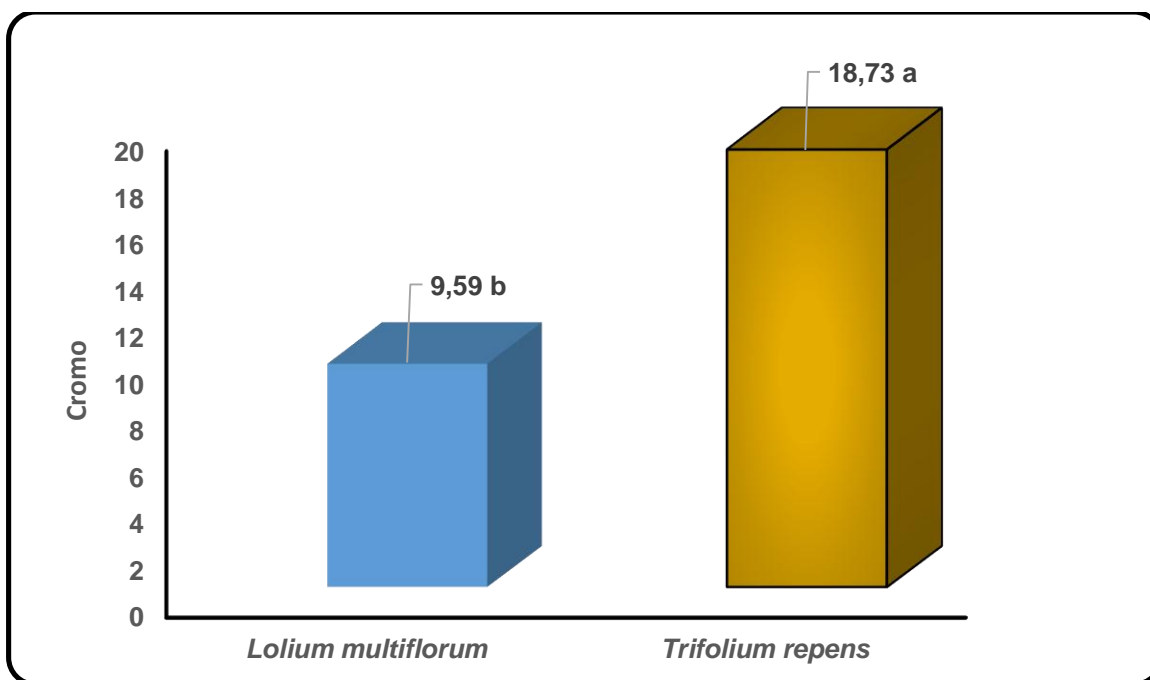
En el Cuadro 05 y Gráfico 05, observamos que el valor medio de presencia de Cr en las 12 muestras vegetales por agua potable, hasta los 30 días de cultivo, es de 10,27 ppm (17 109,72 % de absorción con respecto a la muestra de agua potable); con una desviación estándar de 5,097 ppm; y el valor medio de presencia de Cr en las 12 muestras vegetales por agua residual, hasta los 30 días de cultivo, es de 18,06 ppm (18 060,83 % de absorción con respecto a la muestra de agua residual); con una desviación estándar de 7,01 ppm. Ambos casos muestran una diferencia significativa. Estos valores medios no superan los LMP recomendados por la AFFCO (1 000 ppm), pero superan los LMP recomendados por la OMS (0,10 ppm). Hay que considerar que los metales pesados tienden a seguir acumulándose en el tiempo.



**Cuadro 06: Presencia de Cr por Cultivo Hidropónico (ppm)**

Cultivo Hidropónico	N° de muestras	Media
<i>Lolium multiflorum</i>	12	9,59 ± 5,60 b
<i>Trifolium repens</i>	12	18,73 ± 5,60 a

Letras diferentes en una misma columna indican diferencia significativa ( $P < 0,05$ )



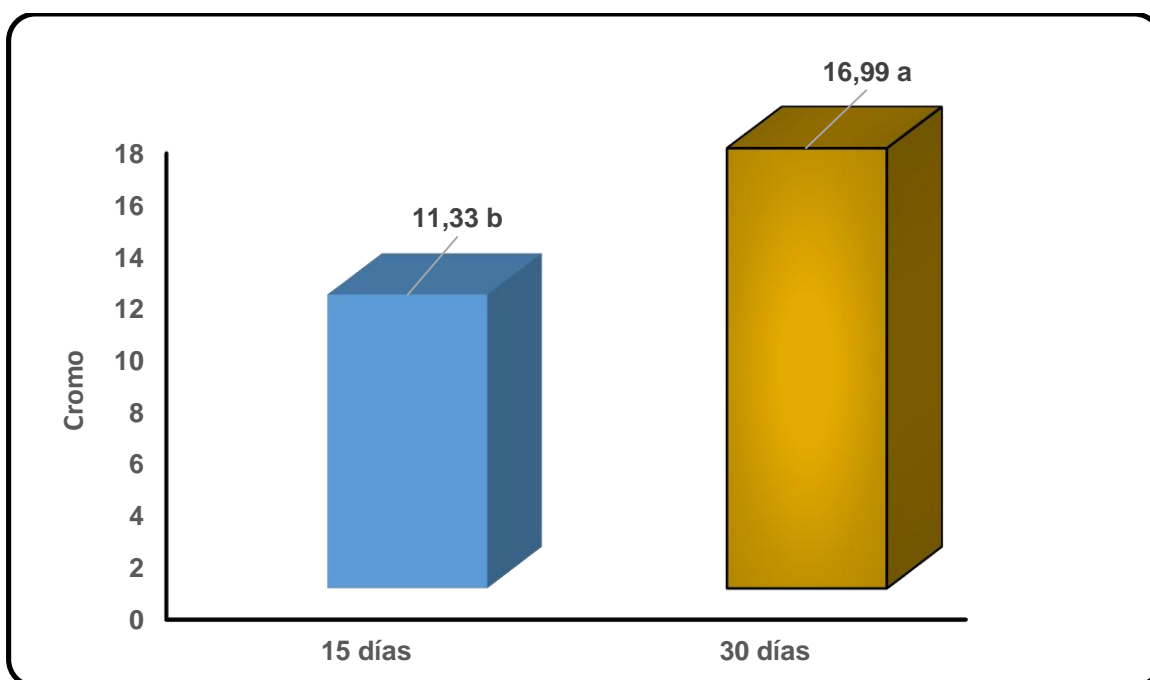
**Gráfico 06: Presencia de Cr por Cultivo Hidropónico (ppm).**

En el Cuadro 06 y Gráfico 06, observamos que el valor medio de presencia de Cr en las 12 muestras vegetales por *Lolium multiflorum*, hasta los 30 días de cultivo, es de 9,59 ppm (11 410,28 % de absorción con respecto a las muestras de agua potable y agua residual); con una desviación estándar de 5,60 ppm; y el valor medio de presencia de Cr en las 12 muestras vegetales por *Trifolium repens*, hasta los 30 días de cultivo, es de 18,73 ppm (23 760,28 % de absorción con respecto a las muestras de agua potable y agua residual) ; con una desviación estándar de 5,60 ppm. Ambos casos muestran una diferencia significativa. Estos valores medios no superan los LMP recomendados por la AFFCO (1 000 ppm), pero sobrepasan a los LMP recomendados por la OMS (0,10 ppm). Hay que considerar que los metales pesados tienden a seguir acumulándose en el tiempo.

**Cuadro 07: Presencia de Cr en cultivo hidropónico por Tiempo (ppm)**

Tiempo	N° de muestras	Media
15 días	12	11,33 ± ,88 b
30 días	12	16,996 ± 8,18 a

Letras diferentes en una misma columna indican diferencia significativa ( $P < 0,05$ )



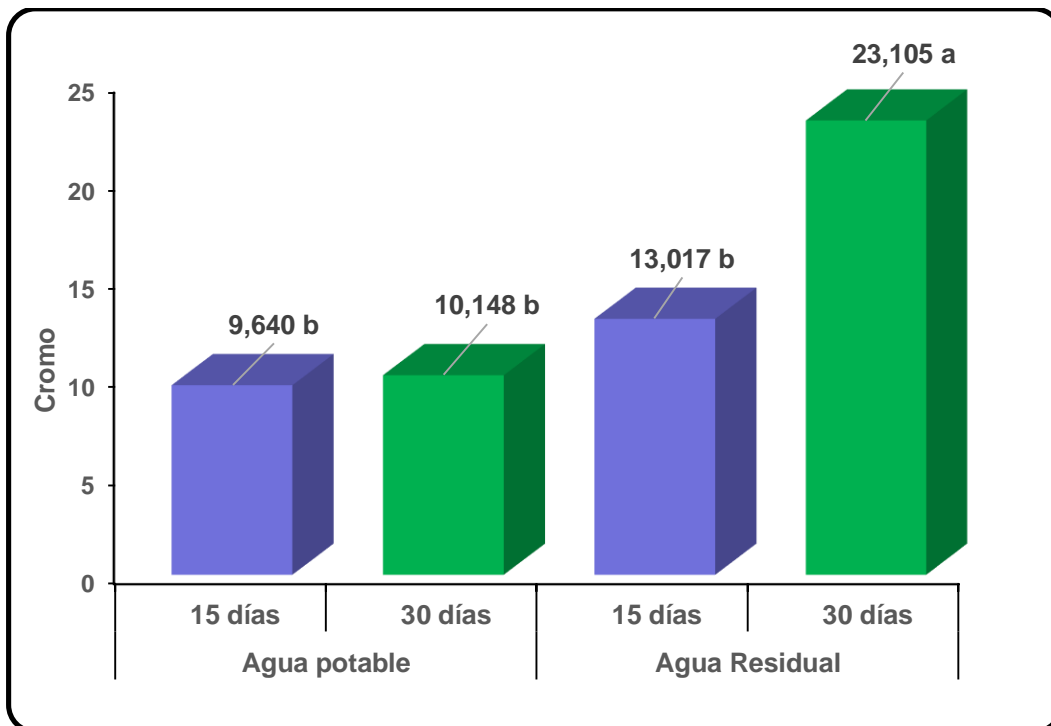
**Gráfico 07: Presencia de Cr en cultivo hidropónico por Tiempo (ppm).**

En el Cuadro 07 y Gráfico 07, el valor medio de presencia de Cr en las 12 muestras vegetales por 15 días es de 11,33 ppm (14 544,44 % de absorción con respecto a las muestras de agua potable y agua residual); con una desviación estándar de 4,88 ppm; y el valor medio de presencia de Cr en las 12 muestras vegetales por 30 días es de 16,996 ppm (20 626,11 % de absorción con respecto a las muestras de agua potable y agua residual); con una desviación estándar de 8,18 ppm. Ambos casos muestran una diferencia significativa. Estos valores medios no superan los LMP recomendados por la AFFCO (1 000 ppm), pero sobrepasan los LMP recomendados por la OMS (0,10 ppm). Hay que considerar que los metales pesados tienden a seguir acumulándose en el tiempo.

**Cuadro 08: Presencia de Cr en la interacción Agua \* Tiempo (ppm)**

Agua	Tiempo	N° de muestras	Promedio
Agua potable	15 días	6	9,640 ± 5,07 b
	30 días	6	10,148 ± 5,52 b
Agua Residual	15 días	6	13,017 ± 4,46 b
	30 días	6	23,105 ± 5,21 a

Letras diferentes en una misma columna indican diferencia significativa (P < 0,05)



**Gráfico 08: Presencia de Cr en la interacción Agua \* Tiempo (ppm)**

En el Cuadro 08 y Gráfico 08, observamos que, el valor medio de presencia de Cr en las seis muestras vegetales por agua potable con cultivo hidropónico de 15 días es de 9,640 ppm (16 072,22 % de absorción con respecto a la muestra de agua potable); con una desviación estándar de 5,07 ppm; y el valor medio de presencia de Cr en las seis muestras vegetales por agua potable con cultivo hidropónico de 30 días es de 10,148 ppm (18 147,22 % con respecto a la muestra de agua potable); con una desviación estándar de 5,52 ppm. También observamos que, el valor medio de presencia de Cr en las seis muestras vegetales por agua residual con cultivo

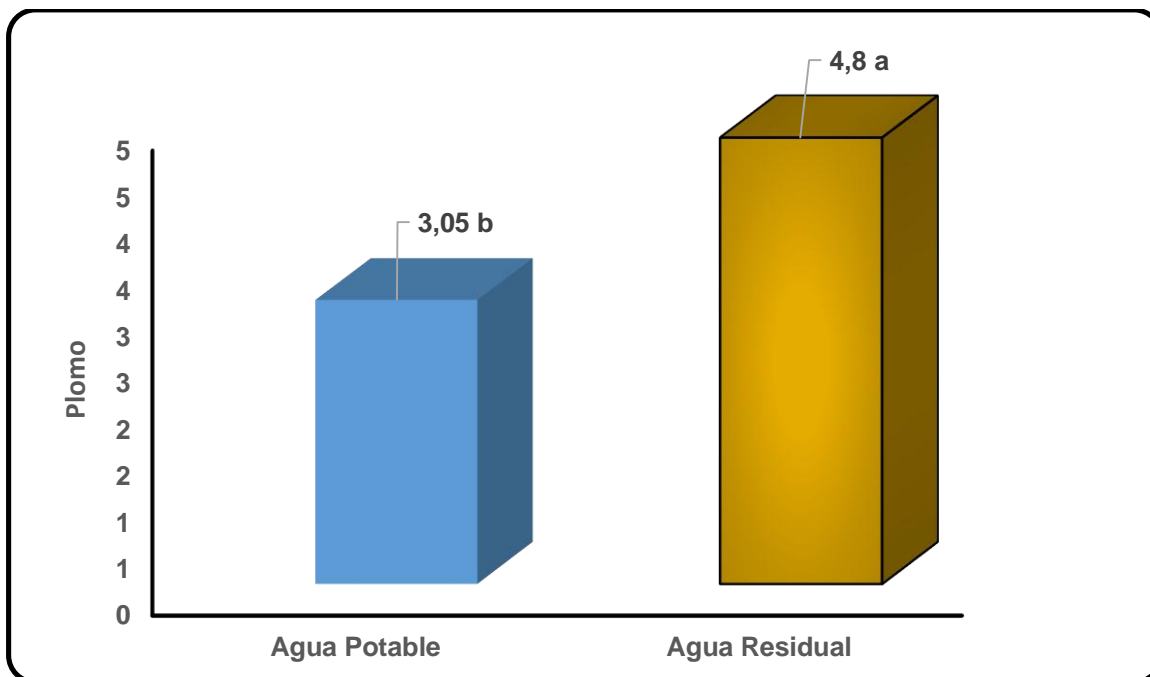
hidropónico de 15 días es de 13,017 ppm (13 016,67 % de absorción con respecto a la muestra de agua residual); con una desviación estándar de 4,46 ppm; y el valor medio de presencia de Cr en las seis muestras vegetales por agua residual con cultivo hidropónico de 30 días es de 23,105 ppm (23 105,00 % de absorción con respecto a la muestra de agua residual); con una desviación estándar de 5,21 ppm. En tal sentido, el valor medio más alto se encuentra en la interacción Agua Residual \* Cultivo Hidropónico de 30 días, el cual difiere significativamente de las otros tres, debido a los efectos acumulativos de los metales pesados, y al mayor y rápido crecimiento de los cultivos hidropónicos por los nutrientes del agua residual, los cuales se ven favorecidos por el tiempo. Estos valores no superan los LMP recomendados por la AFFCO (1 000 ppm), pero sobrepasan los LMP recomendados por la OMS (0,10 ppm). Definitivamente, siempre considerando que los metales pesados tienden a seguir acumulándose en el tiempo.

Según los valores remitidos por el laboratorio con respecto a Pb, los resultados obtenidos en el ANVA (ver Anexo) detallan que existen diferencias significativas en las interacciones por Agua, por Cultivo Hidropónico, y por Tiempo, pues el valor de  $p < 0,05$ .

**Cuadro 09: Presencia de Pb en cultivo hidropónico por Agua (ppm)**

<b>Agua</b>	<b>N° de muestras</b>	<b>Media</b>
<b>Agua Potable</b>	12	3,05 ± 2,3 b
<b>Agua Residual</b>	12	4,8 ± 2,44 a

Letras diferentes en una misma columna indican diferencia significativa ( $P < 0,05$ )



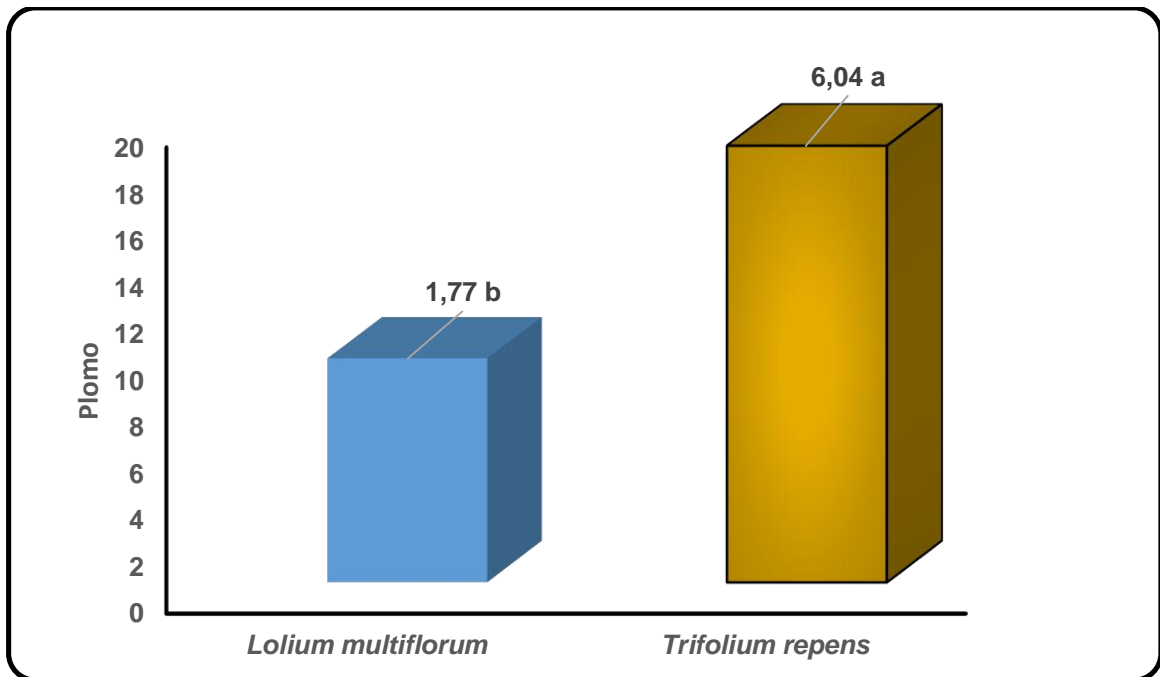
**Gráfico 09: Presencia de Pb en cultivo hidropónico por Agua (ppm).**

En el Cuadro 09 y Gráfico 09, observamos que el valor medio de presencia de Pb en las 12 muestras vegetales por agua potable, hasta los 30 días de cultivo, es de 3,05 ppm (4 765,63 % de absorción con respecto a la muestra de agua potable); con una desviación estándar de 2,3 ppm; y el valor medio de presencia de Pb en las 12 muestras vegetales por agua residual, hasta los 30 días de cultivo, es de 4,8 ppm (238 541,67 % de absorción con respecto a la muestra de agua residual); con una desviación estándar de 2,44 ppm. Ambos casos muestran una diferencia significativa. Estos valores medios no superan los LMP recomendados por la AFFCO (40 ppm), por los Decretos fijados en la Unión Europea para piensos en animales (5,00 ppm) y por la OMS (5,00 ppm). Hay que considerar que los metales pesados tienden a seguir acumulándose en el tiempo.

**Cuadro 10: Presencia de Pb por Cultivo Hidropónico (ppm)**

Hidropónico	Nº de muestras	Media
<i>Lolium Multiflorum</i>	12	1,77 ± 0,94 b
<i>Trifolium Repens</i>	12	6,04 ± 1,44 a

Letras diferentes en una misma columna indican diferencia significativa (P < 0,05)



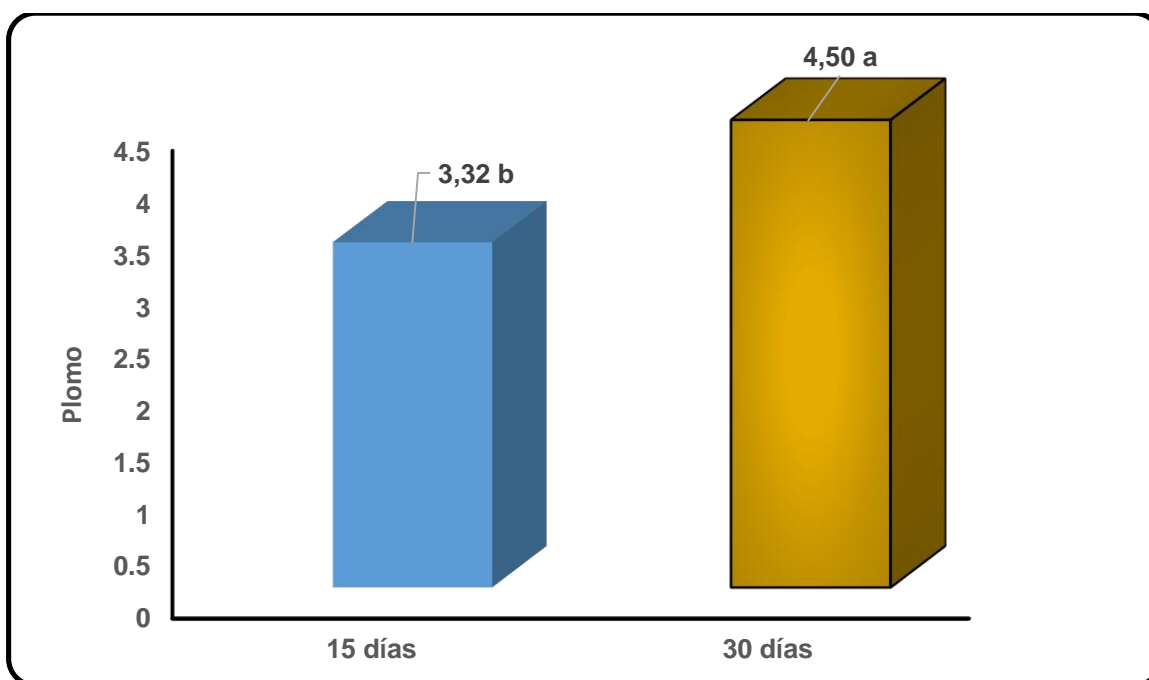
**Gráfico 10: Presencia de Pb por Cultivo Hidropónico (ppm).**

En el Cuadro 10 y Gráfico 10, observamos que el valor medio de presencia de Pb en las 12 muestras vegetales por *Lolium multiflorum*, hasta los 30 días, es de 1,77 ppm (63 601,56 % de absorción con respecto a las muestras de agua potable y agua residual); con una desviación estándar de 0,94 ppm. El valor medio de presencia de Pb en las 12 muestras vegetales por *Trifolium repens*, hasta los 30 días, es de 6,04 ppm (179 705,73 % de absorción con respecto a las muestras de agua potable y agua residual); con una desviación estándar de 1,44 ppm. Ambos casos muestran una diferencia significativa. El valor medio de presencia de Pb en las 12 muestras vegetales por *Lolium multiflorum* no supera los LMP recomendados por la AFFCO (40 ppm), por los Decretos fijados en la Unión Europea para piensos en animales (5,00 ppm), y por la OMS (5,00 ppm). El valor medio de presencia de Pb en las 12 muestras vegetales por *Trifolium repens* no supera los LMP recomendados por la AFFCO (40 ppm), pero sobrepasa los LMP recomendados por los Decretos fijados en la Unión Europea para piensos en animales (5,00 ppm) y por la OMS (5,00 ppm). , Hay que considerar que los metales pesados tienden a seguir acumulándose en el tiempo.

**Cuadro 11: Presencia de Pb en cultivo hidropónico por Tiempo (ppm)**

Tiempo	N° de muestras	Media
15 días	12	3,32 ± 2,32 b
30 días	12	4,50 ± 2,61 a

Letras diferentes en una misma columna indican diferencia significativa ( $P < 0,05$ )



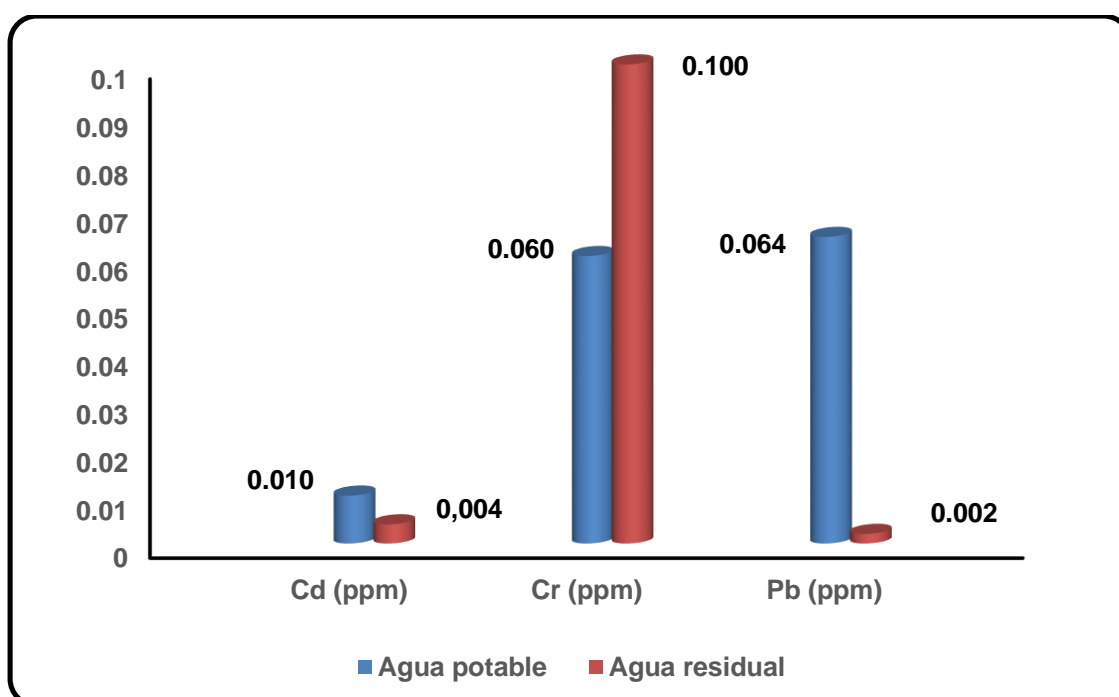
**Gráfico 11: Presencia de Pb en cultivo hidropónico por Tiempo (ppm).**

En el Cuadro 11 y Gráfico 11, observamos que el valor medio de presencia de Pb en las 12 muestras vegetales por 15 días es de 3,32 ppm (108 036,46 % de absorción con respecto a las muestras de agua potable y agua residual); con una desviación estándar de 2,32 ppm; y el valor medio de presencia de Pb en las 12 muestras vegetales por 30 días es de 4,50 ppm (135 270,83 % de absorción con respecto a las muestras de agua potable y agua residual); con una desviación estándar de 2,61 ppm. Ambos casos muestran una diferencia significativa. Estos valores medios no superan los LMP recomendados por la AFFCO (40 ppm), por los Decretos fijados en la Unión Europea para piensos en animales (5,00 ppm), y por la OMS (5,00 ppm). Hay que considerar que los metales pesados tienden a seguir acumulándose en el tiempo.

Realizando un análisis comparativo de los analitos estudiados y verificar el cumplimiento de los objetivos trazados en el trabajo de investigación, tenemos:

**Cuadro 12: Presencia de Cd, Cr y Pb en Agua Potable y en Agua Residual (2 016)**

Metales Pesados	Agua Potable (LMP)				Agua Residual (LMP)					
	Muestra	OMS	MINSA	SUNASS	Muestra	SUNASS	Ley General de Aguas	FAO	ECA Riego Vegetales	ECA Bebida Animales
Cd (ppm)	0,010	0,030	0,003	0,003	0,004	0,200	0,050	0,050	0,010	0,050
Cr (ppm)	0,060	0,050	0,050	0,050	0,100	0,500	1,000	0,100	0,100	1,000
Pb (ppm)	0,064	0,010	0,010	0,100	0,002	0,500	0,100	5,000	0,050	0,050



**Gráfico 12: Cd, Cr y Pb presentes en Agua Potable y en Agua Residual (2 016)**

En el Cuadro 12 y Gráfico 12, se observa que las muestras de agua potable y agua residual presentan los metales pesados en estudio. La muestra de agua potable presenta valores de mayor concentración en Cd y Pb. El agua residual presenta un solo valor de mayor concentración en Cr. En el agua potable, las concentraciones de Cr y Pb superan los Límites Máximos Permisibles (LMP) recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS), por el Ministerio de Salud (MINSA) y la



Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS); en cambio, la concentración de Cd supera los LMP recomendados por el MINSA y por la SUNASS, pero es menor al LMP recomendado por la OMS. Con estos resultados, la muestra de agua potable evidencia que no es apta para consumo humano, pero, por los Estándares de Calidad Ambiental, se podría utilizar como agua de riego para vegetales, o como agua de bebida para los animales. Con respecto al agua residual, las concentraciones de Cd, Cr y Pb no superan los LMP recomendados por la SUNASS, la Ley General de Aguas y la FAO; ocurriendo el caso que teniendo concentraciones con valores inferiores a los LMP de los Estándares de Calidad Ambiental, también podría utilizarse como agua de riego para vegetales o como agua de bebida para los animales, por supuesto, previo tratamiento.

Chávez (2 014), en la determinación de Cr en agua residual obtiene un valor mínimo de 0,002 ppm, y un valor máximo de 0,091 ppm, y menciona que estas concentraciones no producen efectos negativos para aguas de riego y bebida de animales. Estos valores son menores al que se obtuvo en la muestra de agua residual para este estudio y, definitivamente, también son menores a los LMP recomendados por la SUNASS, por la Ley General de Aguas, por la FAO, y por los Estándares de Calidad Ambiental. Respetuosamente se menciona que Chávez (2 014) no está considerando la capacidad bioacumulativa de los metales pesados en las plantas y en los animales, aun teniendo como referencia valores menores a los LMP.

Huaranga *et al.* (2 012), obtiene concentraciones de Cd y Pb de 4,550 y 100,375 ppm, respectivamente; del agua de la Cuenca Alta del río Moche destinada para riego de cultivos. Estos valores son mayores a los LMP recomendados por la SUNASS, por la Ley General de Aguas, por la FAO y por los Estándares de Calidad Ambiental para riego de vegetales y bebida de los animales.

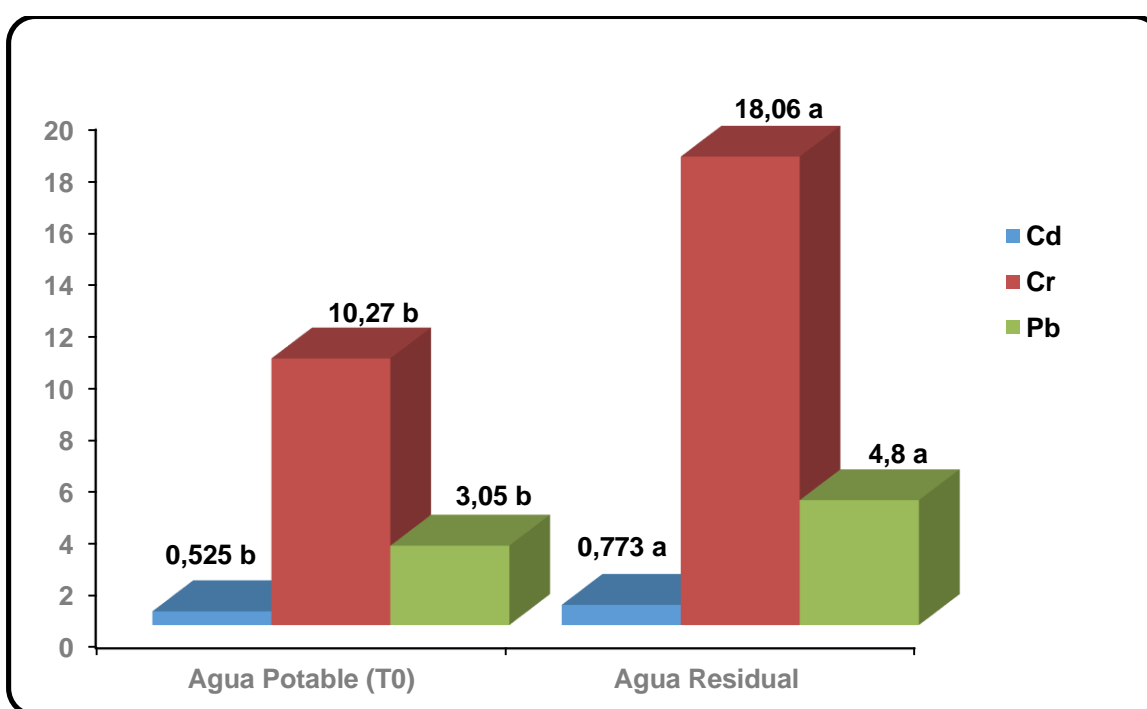
Londoño (2 014), obtiene concentraciones de Cd y Pb en agua de riego para pastura de 0,010 y 0,012 ppm, respectivamente. Estos valores son menores a los LMP recomendados por la SUNASS, por la Ley General de Aguas, por la FAO y por los Estándares de Calidad Ambiental para riego de vegetales y bebida de los animales.

Comparando los valores de las medias obtenidas por interacciones de Agua, Cultivo Hidropónico, y Tiempo de Cd, Cr y Pb en las muestras vegetales, tenemos:

**Cuadro 13: Comparativo de medias de Cd, Cr y Pb en cultivo hidropónico por Agua (ppm)**

	Nº de muestras	Agua Potable (T <sub>0</sub> )	Agua Residual	p
<b>Cd</b>	12	0,525 ± 0,24 b	0,773 ± 0,18 a	0,011
<b>Cr</b>	12	10,27 ± 5,097 b	18,06 ± 7,01 a	< ,0001
<b>Pb</b>	12	3,05 ± 2,3 b	4,8 ± 2,44 a	< ,0001

Letras diferentes en una misma fila indican diferencia significativa (P < 0,05)



**Gráfico 13: Comparativo de medias de Cd, Cr y Pb en cultivo hidropónico por Agua (ppm)**

En el Cuadro 13 y Gráfico 13, se observa que los valores medios más altos de presencia de Cd, Cr y Pb por agua se encuentran en el agua residual con 0,773; 18,06; y 4,8 ppm, respectivamente; siendo el Cr el que presenta el valor medio más alto, seguido de Pb y Cd. Los valores medios más bajos de presencia de Cd, Cr y Pb por agua se encuentran en el agua potable con 0,525; 10,27; y 3,05 ppm, respectivamente; siendo el Cd el que presenta el valor medio más bajo, seguido de Pb y Cr. La acumulación de estos tres analitos en las muestras vegetales por agua tienden a ser similares tanto por agua potable como por agua residual, siendo mayor por agua residual debido a los nutrientes de materia orgánica que le proporciona un rápido y mayor crecimiento al cultivo hidropónico, a pesar que la muestra de agua potable tiene mayor concentración de estos analitos. Los valores medios de concentración de Cd, Cr y Pb por agua, hasta los 30 días de cultivo, en agua potable y en agua residual, son menores a los LMP recomendados por la AFFCO. Los valores medios de concentración de Cd y Pb por agua, hasta los 30 días de cultivo, en agua potable y en agua residual, son menores a los LMP recomendados por los Decretos fijados en la Unión Europea. Los valores medios de concentración de Cd, y Cr por agua, hasta los 30 días de cultivo, en agua potable y en agua residual son mayores a los LMP recomendados por la OMS, mientras que el valor medio de concentración de Pb por agua, hasta los 30 días de cultivo, en agua potable y agua residual es menor al LMP recomendado por la OMS.

Quevedo (2 001) obtiene valores de concentración de Cd y Pb en las pasturas de 0,96 y 4,53 ppm, respectivamente; e indica que las pasturas estarían contaminadas sólo por Cd, pues, su concentración es superior al valor límite permisible para forraje (0,5 ppm). El valor de concentración de Cd en la pastura es mayor al valor medio obtenido en esta investigación, en la interacción por agua, en los cultivos con agua potable y en los cultivos con agua residual. Además, este valor (concentración de Cd en la pastura) no supera los LMP recomendados por la AFFCO y por los Decretos fijados

en la Unión Europea, pero sobrepasa los recomendados por la OMS, de manera que su indicación es válida desde esta perspectiva. El valor de concentración de Pb en la pastura es mayor al valor medio obtenido en esta investigación, en la interacción por agua en los cultivos con agua potable, pero es menor en la interacción por agua en los cultivos con agua residual. Además, este valor de concentración de Pb en la pastura no supera los LMP recomendados por la AFFCO, por los Decretos fijados en la Unión Europea, y por la OMS.

Ruíz (2 002) obtiene valores medios de concentración de Cd y Pb de 1,02 y 3,23 ppm, respectivamente; en cultivos adyacentes a la carretera Cajamarca – Bambamarca e indica que los cultivos estarían contaminados por sobrepasar los límites permisibles establecidos (0,5 y 1,0 ppm, respectivamente). El valor de concentración de Cd en los cultivos adyacentes a la carretera es mayor al valor medio obtenido en esta investigación, en la interacción por agua, tanto en los cultivos con agua potable como en los cultivos con agua residual. Además, este valor de concentración de Cd en los cultivos adyacentes a la carretera no supera los LMP recomendados por la AFFCO, pero es mayor a los LMP recomendados por los Decretos fijados en la Unión Europea, y por la OMS, de manera que su indicación es válida desde estas perspectivas. El valor de concentración de Pb en los cultivos adyacentes a la carretera es mayor al valor medio obtenido en esta investigación, en la interacción por agua, en los cultivos con agua potable, pero es menor en en la interacción por agua, en los cultivos con agua residual. Además, este valor de concentración de Pb en los cultivos adyacentes a la carretera no supera los LMP recomendados por la AFFCO, por los Decretos fijados en la Unión Europea, y por la OMS.

Londoño (2 014), obtiene valores de concentración de Cd y Pb en pastos de 0,174 y 0,169 ppm, respectivamente. El valor de concentración de Cd en estos pastos es menor al valor medio obtenido en esta investigación, en la interacción por agua, tanto

en los cultivos con agua potable como en los cultivos con agua residual. Además, este valor de concentración de Cd no supera los LMP recomendados por la AFFCO y por los Decretos fijados en la Unión Europea, pero es mayor a los LMP recomendados por la OMS. El valor de concentración de Pb es menor al valor medio obtenido en esta investigación, en la interacción por agua, en los cultivos con agua potable y con agua residual. Además, este valor de concentración de Pb en estos pastos no supera los LMP recomendados por la AFFCO, por los Decretos fijados en la Unión Europea, y por la OMS.

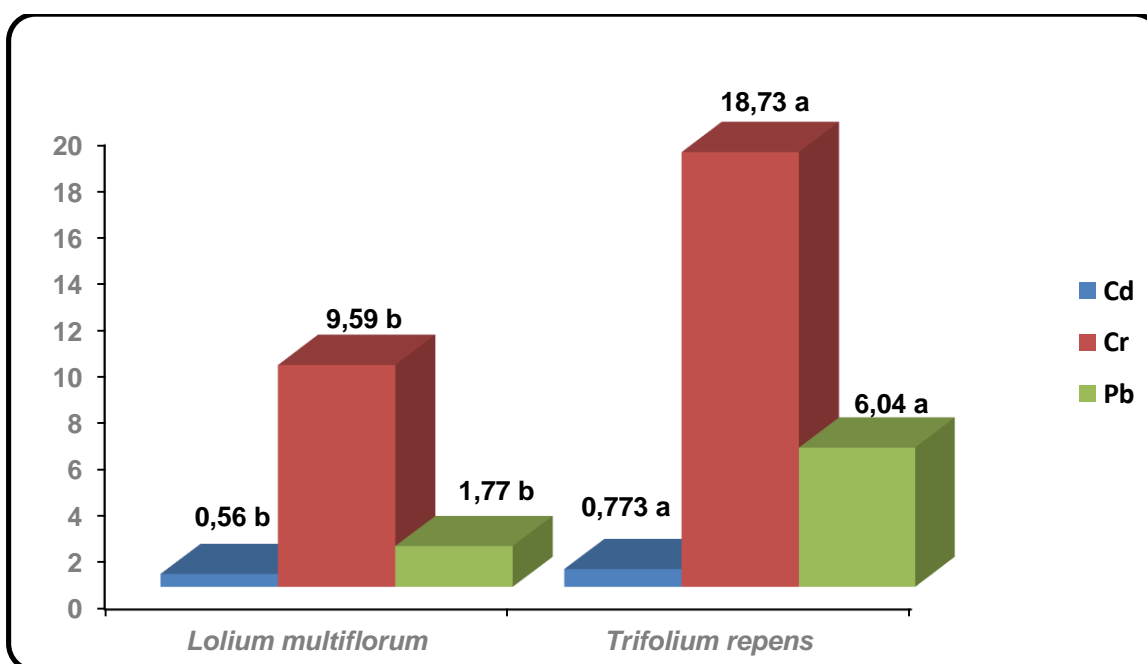
Peris (2 006), en cultivos de hoja obtiene concentraciones de Cd, Cr y Pb de 1,47; 3,35 y 1,99 ppm, respectivamente, mientras que en cultivos de inflorescencia obtiene concentraciones de Cd, Cr y Pb de 0,24; 0,68 y 0,28 ppm, respectivamente. El valor medio de Cd en los cultivos de hoja es mayor al valor medio obtenido en esta investigación, en la interacción por agua, en los cultivos en agua potable y en agua residual. Además, este valor de concentración de Cd en los cultivos de hoja no supera los LMP recomendados por la AFFCO, pero sobrepasa los LMP recomendados por los Decretos fijados en la Unión Europea, y por la OMS. El valor medio de Cd en los cultivos de inflorescencia es menor al valor medio obtenido en esta investigación, en la interacción por agua, en los cultivos en agua potable y en agua residual. Además, este valor de concentración de Cd en los cultivos de inflorescencia no supera los LMP recomendados por la AFFCO y por los Decretos fijados en la Unión Europea, pero sobrepasa los LMP recomendados por la OMS. El valor medio de Cr en los cultivos de hoja es menor al valor medio obtenido en esta investigación, en la interacción por agua, en los cultivos en agua potable y en agua residual. Además, este valor de concentración de Cr en los cultivos de hoja no supera los LMP recomendados por la AFFCO, pero sobrepasa los LMP recomendados por la OMS. El valor medio de Cr en los cultivos de inflorescencia es menor al valor medio obtenido en esta investigación, en la interacción por agua, en los cultivos con agua potable y con agua residual.

Además, este valor de concentración de Cr en los cultivos de inflorescencia no supera los LMP recomendados por la AFFCO, pero sobrepasa los LMP recomendados por la OMS. El valor medio de Pb en los cultivos de hoja es menor al valor medio obtenido en esta investigación, en la interacción por agua, en los cultivos con agua potable y con agua residual. Además, este valor de concentración de Pb en los cultivos de hoja no supera los LMP recomendados por la AFFCO, por los Decretos fijados en la Unión Europea, y por la OMS. El valor medio de Pb en los cultivos de inflorescencia es menor al valor medio obtenido en esta investigación, en la interacción por agua, en los cultivos con agua potable y con agua residual. Además, este valor de concentración de Pb en los cultivos de inflorescencia no supera los LMP recomendados por la AFFCO, por los Decretos fijados en la Unión Europea, y por la OMS.

**Cuadro 14: Comparativo de medias de Cd, Cr y Pb por Cultivo Hidropónico (ppm)**

	Nº de muestras	<i>Lolium multiflorum</i>	<i>Trifolium repens</i>	p
<b>Cd</b>	12	0,56 ± 0,27 b	0,773 ± 0,18 a	0.001
<b>Cr</b>	12	9,59 ± 5,60 b	18,73 ± 5,60 a	<.0001
<b>Pb</b>	12	1,77 ± 0,94 b	6,04 ± 1,44 a	<.0001

Letras diferentes en una misma fila indican diferencia significativa (P < 0,05)



**Gráfico 14: Comparativo de medias de Cd, Cr y Pb por Cultivo Hidropónico (ppm)**

En el Cuadro 14 y Gráfico 14, se observa que los valores medios más altos de presencia de Cd, Cr y Pb por cultivo hidropónico se encuentran en ***Trifolium repens*** con 0,773; 18,73; y 6,04 ppm respectivamente, siendo el Cr el que presenta el valor medio más alto, seguido de Pb y Cd. Los valores medios más bajos de presencia de Cd, Cr y Pb se encuentran en ***Lolium multiflorum*** con 0,56; 9,59; y 1,77 ppm respectivamente, siendo el Cd el que presenta el valor medio más bajo, seguido de Pb y Cr. La acumulación de estos tres analitos por cultivo hidropónico tienden a ser similares en ***Lolium multiflorum*** y en ***Trifolium repens***, siendo mayor en ***Trifolium repens*** debido a que las leguminosas actúan como plantas acumuladoras o fitorremediadoras, es decir, con mayor actividad para recepcionar metales pesados en sus tejidos (Anderson *et al*, 2001, citado por Peris, 2 006).

Los valores medios de concentración de Cd, Cr y Pb por cultivo hidropónico hasta los 30 días de cultivo, son menores a los LMP recomendados por la AFFCO en ***Lolium multiflorum*** y en ***Trifolium repens***. El valor medio de concentración de Cd por cultivo hidropónico hasta los 30 días de cultivo, es menor a los LMP recomendados por los Decretos fijados en la Unión Europea, en ***Lolium multiflorum*** y en ***Trifolium repens***. El valor medio de concentración de Pb por cultivo hidropónico hasta los 30 días de cultivo, es menor a los LMP recomendados por los Decretos fijados en la Unión Europea, en ***Lolium multiflorum***, mientras que es mayor a los LMP recomendados por los Decretos fijados en la Unión Europea, en ***Trifolium repens***. Los valores medios de concentración de Cd y Cr por cultivo hidropónico hasta los 30 días de cultivo, son mayores a los LMP recomendados por la OMS en ***Lolium multiflorum*** y en ***Trifolium repens***. El valor de concentración de Pb hasta los 30 días de cultivo, es menor a los LMP recomendados por la OMS en ***Lolium multiflorum***, pero sobrepasa los LMP recomendados por la OMS en ***Trifolium repens***. Definitivamente, siempre hay que considerar que los metales pesados tienden a seguir acumulándose en el tiempo.

Quevedo (2 001) obtiene valores de concentración de Cd y Pb en las pasturas de 0,96 y 4,53 ppm, respectivamente; e indica que las pasturas estarían contaminadas sólo por Cd, pues, su concentración sería superior al valor límite permisible para forraje (0,5 ppm). El valor de concentración de Cd en la pastura es mayor al valor medio obtenido en esta investigación, en la interacción por cultivo hidropónico, en ***Lolium multiflorum*** y en ***Trifolium repens***. Además, este valor de concentración de Cd en la pastura no supera los LMP recomendados por la AFFCO y los Decretos de la Unión Europea, pero sobrepasa los recomendados por la OMS, de manera que su indicación es válida desde esta perspectiva. El valor de concentración de Pb en la pastura es mayor al valor medio obtenido en esta investigación, en la interacción por cultivo hidropónico, en ***Lolium multiflorum***, pero es menor en la interacción por cultivo hidropónico, en ***Trifolium repens***. Además, este valor de concentración de Pb en la pastura no supera los LMP recomendados por la AFFCO, por los Decretos fijados en la Unión Europea, y por la OMS.

Ruiz (2 002) obtiene valores medios de concentración de Cd y Pb de 1,02 y 3,23 ppm, respectivamente; en cultivos adyacentes a la carretera Cajamarca – Bambamarca e indica que los cultivos estarían contaminados por sobrepasar los límites permisibles establecidos (0,5 y 1,0 ppm, respectivamente). El valor de concentración de Cd en los cultivos adyacentes a la carretera es mayor al valor medio obtenido en esta investigación, en la interacción por cultivo hidropónico, en ***Lolium multiflorum*** y en ***Trifolium repens***. Además, este valor de concentración de Cd en los cultivos adyacentes a la carretera no supera los LMP recomendados por la AFFCO y por los Decretos fijados en la Unión Europea, pero sobrepasa los LMP recomendados por la OMS, de manera que su indicación es válida desde esta perspectiva. El valor de concentración de Pb en los cultivos adyacentes a la carretera es mayor al valor medio obtenido en esta investigación, en la interacción por cultivo hidropónico, en ***Lolium multiflorum***, pero es menor en la interacción por cultivo hidropónico, en ***Trifolium***



**repens**. Además, este valor de concentración de Pb en los cultivos adyacentes a la carretera no supera los LMP recomendados por la AFFCO, por los Decretos fijados en la Unión Europea, y por la OMS.

Londoño (2 014), obtiene valores de concentración de Cd y Pb en pastos de 0,174 y 0,169 ppm, respectivamente. El valor de concentración de Cd en estos pastos es menor al valor medio obtenido en esta investigación, en la interacción por cultivo hidropónico, en **Lolium multiflorum** y en **Trifolium repens**. Además, este valor de concentración de Cd no supera los LMP recomendados por la AFFCO y por los Decretos fijados en la Unión Europea, pero es mayor a los LMP recomendados por la OMS. El valor de concentración de Pb es menor al valor medio obtenido en este trabajo en la interacción por cultivo hidropónico, tanto en **Lolium multiflorum** como en **Trifolium repens**. Además, este valor de concentración de Pb en estos pastos no supera los LMP recomendados por la AFFCO, por los Decretos fijados en la Unión Europea, y por la OMS.

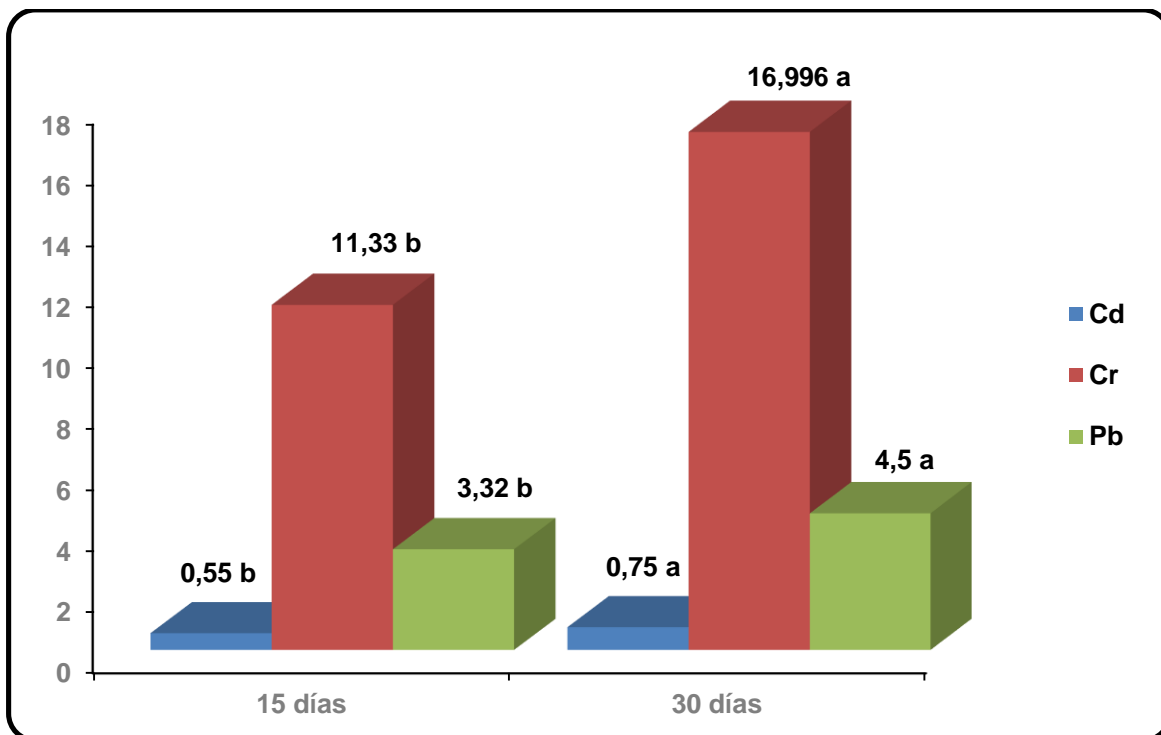
Peris (2 006), obtiene concentraciones de Cd, Cr y Pb de 1,47; 3,35 y 1,99 ppm, respectivamente; en cultivos de hoja, mientras que para los cultivos de inflorescencia obtuvo 0,24; 0,68 y 0,28 ppm, respectivamente. El valor medio de Cd en los cultivos de hoja es mayor al valor medio obtenido en esta investigación, en la interacción por cultivo hidropónico, en **Lolium multiflorum** y en **Trifolium repens**. Además, este valor de concentración de Cd en los cultivos de hoja no supera los LMP recomendados por la AFFCO, pero sobrepasa los LMP recomendados por los Decretos fijados en la Unión Europea, y por la OMS. El valor medio de Cd en los cultivos de inflorescencia es menor al valor medio obtenido en esta investigación, en la interacción por cultivo hidropónico, en **Lolium multiflorum** y en **Trifolium repens**. Además, este valor de concentración de Cd en los cultivos de inflorescencia no supera los LMP recomendados por la AFFCO y por los Decretos fijados en la Unión Europea,

pero sobrepasa los LMP recomendados por la OMS. El valor medio de Cr en los cultivos de hoja es menor al valor medio obtenido en esta investigación, en la interacción por cultivo hidropónico, en *Lolium multiflorum* y en *Trifolium repens*. Además, este valor de concentración de Cr en los cultivos de hoja no supera los LMP recomendados por la AFFCO, pero sobrepasa los LMP recomendados por la OMS. El valor medio de Cr en los cultivos de inflorescencia es menor al valor medio obtenido en esta investigación, en la interacción por cultivo hidropónico, en *Lolium multiflorum* y en *Trifolium repens*. Además, este valor de concentración de Cr en los cultivos de inflorescencia no supera los LMP recomendados por la AFFCO, pero sobrepasa los LMP recomendados por la OMS. El valor medio de Pb en los cultivos de hoja es mayor al valor medio obtenido en esta investigación, en la interacción por cultivo hidropónico, en *Lolium multiflorum*, pero es menor al valor medio obtenido en esta investigación, en la interacción por cultivo hidropónico, en *Trifolium repens*. Además, este valor de concentración de Pb en los cultivos de hoja no supera los LMP recomendados por la AFFCO, por los Decretos fijados en la Unión Europea, y por la OMS. El valor medio de Pb en los cultivos de inflorescencia es menor al valor medio obtenido en esta investigación, en la interacción por cultivo hidropónico, en *Lolium multiflorum* y en *Trifolium repens*. Además, este valor de concentración de Pb en los cultivos de inflorescencia no supera los LMP recomendados por la AFFCO, por los Decretos fijados en la Unión Europea, y por la OMS.

**Cuadro 15: Comparativo de medias de Cd, Cr y Pb en cultivo hidropónico por Tiempo (ppm)**

	Nº de muestras	15 días	30 días	p
<b>Cd</b>	12	0,55 ± 0,21 b	0,75 ± 0,25 a	0.0066
<b>Cr</b>	12	11,33 ± 4,88 b	16,996 ± 8,18 a	<.0001
<b>Pb</b>	12	3,32 ± 2,32 b	4,50 ± 2,61 a	<.0001

Letras diferentes en una misma fila indican diferencia significativa (P < 0,05)



**Gráfico 15: Comparativo de medias de Cd, Cr y Pb en cultivo hidropónico por Tiempo (ppm).**

En el Cuadro 15 y Gráfico 15, se observa que los valores medios más altos de presencia de Cd, Cr y Pb por tiempo se encuentran a los 30 días con 0,75; 16,996; y 4,5 ppm respectivamente, siendo el Cr el que presenta el valor medio más alto, seguido de Pb y Cd. Los valores medios más bajos de presencia de Cd, Cr y Pb se encuentran a los 15 días con 0,55; 11,33; y 3,32 ppm respectivamente, siendo el Cd el que presenta el valor medio más bajo, seguido de Pb y Cr. La acumulación de estos tres analitos por el tiempo tienden a ser similares a los 15 y 30 días, siendo mayor a los 30 días debido a que los metales pesados tienden a acumularse en el tiempo.

Los valores medios de concentración de Cd, Cr y Pb en la interacción por tiempo, hasta los 30 días de cultivo, son menores a los LMP recomendados por la AFFCO. Los valores medios de concentración de Cd y Pb en la interacción por tiempo, hasta los 30 días de cultivo, no sobrepasan los LMP recomendados por los Decretos fijados en la Unión Europea. Los valores medios de concentración de Cd y Cr en la interacción por tiempo, hasta los 15 días de cultivo, son mayores a los LMP

recomendados por la OMS, concentraciones que van incrementándose hasta los 30 días de cultivo. El valor medio de Pb en la interacción por tiempo, hasta los 30 días de cultivo, es menor al LMP recomendado por la OMS. Definitivamente, siempre considerando que los metales pesados tienden a seguir acumulándose en el tiempo.

Quevedo (2 001) obtiene valores de concentración de Cd y Pb en las pasturas de 0,96 y 4,53 ppm, respectivamente; lo cual indica que las pasturas estarían contaminadas sólo por Cd, pues, su concentración sería superior al valor límite permisible para forraje (0,5 ppm). El valor de concentración de Cd en la pastura es mayor al valor medio obtenido en esta investigación, en la interacción por tiempo, a los 15 y 30 días de cultivo. Además, este valor de concentración de Cd en la pastura no supera los LMP recomendados por la AFFCO y por los Decretos fijados en la Unión Europea, pero sobrepasa los recomendados por la OMS, de manera que su indicación es válida desde esta perspectiva. El valor de concentración de Pb en la pastura es mayor al valor medio obtenido en esta investigación, en la interacción por tiempo, a los 15 y 30 días de cultivo. Además, este valor de concentración de Pb en la pastura no supera los LMP recomendados por la AFFCO, por los Decretos fijados en la Unión Europea, y la OMS.

Ruiz (2 002) obtiene valores medios de concentración de Cd y Pb de 1,02 y 3,23 ppm, respectivamente; en cultivos adyacentes a la carretera Cajamarca – Bambamarca e indica que los cultivos estarían contaminados por sobrepasar los límites permisibles establecidos (0,5 y 1,0 ppm, respectivamente). El valor de concentración de Cd en los cultivos adyacentes a la carretera es mayor al valor medio obtenido en esta investigación, en la interacción por tiempo, a los 15 y 30 días de cultivo. Además, este valor de concentración de Cd en los cultivos adyacentes a la carretera no supera los LMP recomendados por la AFFCO, pero es mayor a los LMP recomendados por los Decretos fijados en la Unión Europea, y por la OMS, de manera que su indicación es

válida desde estas perspectivas. El valor de concentración de Pb en los cultivos adyacentes a la carretera es menor al valor medio obtenido en esta investigación, en la interacción por tiempo, a los 15 y 30 días de cultivo. Además, este valor de concentración de Pb en los cultivos adyacentes a la carretera no supera los LMP recomendados por la AFFCO, por los Decretos fijados en la Unión Europea, y por la OMS.

Londoño (2 014), obtiene valores de concentración de Cd y Pb en pastos de 0,174 y 0,169 ppm, respectivamente. El valor de concentración de Cd en estos pastos es menor al valor medio obtenido en este trabajo en la interacción por tiempo, a los 15 y 30 días de cultivo. Además, este valor de concentración de Cd no supera los LMP recomendados por la AFFCO y por los Decretos fijados en la Unión Europea, pero es mayor a los LMP recomendados por la OMS. El valor de concentración de Pb es menor al valor medio obtenido en este trabajo en la interacción por tiempo, a los 15 y 30 días de cultivo. Además, este valor de concentración de Pb en estos pastos no supera los LMP recomendados por la AFFCO, por los Decretos fijados en la Unión Europea, y por la OMS.

Peris (2 006), en cultivos de hoja obtiene concentraciones de Cd, Cr y Pb de 1,47; 3,35 y 1,99 ppm, respectivamente, mientras que en cultivos de inflorescencia obtiene concentraciones de Cd, Cr y Pb de 0,24; 0,68 y 0,28 ppm, respectivamente. El valor medio de Cd en los cultivos de hoja es mayor al valor medio obtenido en esta investigación, en la interacción por tiempo, a los 15 y 30 días de cultivo. Además, este valor de concentración de Cd en los cultivos de hoja no supera los LMP recomendados por la AFFCO, pero sobrepasa los LMP recomendados por los Decretos fijados en la Unión Europea, y por la OMS. El valor medio de Cd en los cultivos de inflorescencia es menor al valor medio obtenido en este trabajo, en la interacción por tiempo, a los 15 y 30 días de cultivo. Además, este valor de

concentración de Cd en los cultivos de inflorescencia no supera los LMP recomendados por la AFFCO y por los Decretos fijados en la Unión Europea, pero sobrepasa los LMP recomendados por la OMS. El valor medio de Cr en los cultivos de hoja es menor al valor medio obtenido en esta investigación, en la interacción por tiempo, a los 15 y 30 días de cultivo. Además, este valor de concentración de Cr en los cultivos de hoja no supera los LMP recomendados por la AFFCO, pero sobrepasa los LMP recomendados por la OMS. El valor medio de Cr en los cultivos de inflorescencia es menor al valor medio obtenido en esta investigación, en la interacción por tiempo, a los 15 y 30 días de cultivo. Además, este valor de concentración de Cr en los cultivos de inflorescencia no supera los LMP recomendados por la AFFCO, pero sobrepasa los LMP recomendados por la OMS. El valor medio de Pb en los cultivos de hoja es menor al valor medio obtenido en esta investigación, en la interacción por tiempo, a los 15 y 30 días de cultivo. Además, este valor de concentración de Pb en los cultivos de hoja no supera los LMP recomendados por la AFFCO, por los Decretos fijados en la Unión Europea, y por la OMS. El valor medio de Pb en los cultivos de inflorescencia es menor al valor medio obtenido en esta investigación, en la interacción por tiempo, a los 15 y 30 días de cultivo. Además, este valor de concentración de Pb en los cultivos de inflorescencia no supera los LMP recomendados por la AFFCO, por los Decretos fijados en la Unión Europea, y por la OMS.

La presencia acumulativa de metales pesados por interacción de dos factores sólo se presentaron en Cd (Agua \* Cultivo Hidropónico) y Cr (Agua \* Tiempo), los cuales podemos observar en el Cuadro 04, Gráfico 04; y Cuadro 08, Gráfico 08; respectivamente. A continuación, se realiza el análisis sobre la interacción de estos factores.

Los valores medios de concentración de Cd en la interacción agua \* cultivo hidropónico, hasta los 30 días de cultivo, son menores a los LMP recomendados por la

AFFCO. Los valores medios de concentración de Cd en la interacción agua \* cultivo hidropónico, hasta los 30 días de cultivo, no sobrepasan a los LMP recomendados por los Decretos fijados en la Unión Europea. Los valores medios de concentración de Cd en la interacción agua \* cultivo hidropónico, hasta los 30 días de cultivo, son mayores a los LMP recomendados por la OMS. Definitivamente, siempre considerando que los metales pesados tienden a seguir acumulándose en el tiempo.

Quevedo (2 001) obtiene valores de concentración de Cd en las pasturas de 0,96 ppm; lo cual indica que las pasturas estarían contaminadas por Cd, pues su concentración sería superior al valor límite permisible para forraje (0,5 ppm). El valor de concentración de Cd en la pastura es mayor a los valores medios obtenidos en esta investigación, en la interacción agua \* cultivo hidropónico, es decir, cada especie forrajera en ambos tratamientos de agua, hasta los 30 días de cultivo. Además, este valor de concentración de Cd en la pastura no supera los LMP recomendados por la AFFCO y los Decretos fijados en la Unión Europea, pero sobrepasa los recomendados por la OMS, de manera que su indicación es válida desde esta perspectiva.

Ruíz (2 002) obtiene valores medios de concentración de Cd de 1,02 ppm, en cultivos adyacentes a la carretera Cajamarca – Bambamarca e indica que los cultivos estarían contaminados por sobrepasar los límites permisibles establecidos (0,5 ppm). El valor de concentración de Cd en los cultivos adyacentes a la carretera es mayor a los valores medios obtenidos en esta investigación, en la interacción agua \* cultivo hidropónico, es decir, cada especie forrajera en ambos tratamientos de agua, hasta los 30 días de cultivo. Además, este valor de concentración de Cd en los cultivos adyacentes a la carretera no supera los LMP recomendados por la AFFCO, pero es mayor a los LMP recomendados por los Decretos fijados en la Unión Europea, y por la OMS, de manera que su indicación es válida desde estas perspectivas.

Londoño (2 014), obtiene valores de concentración de Cd en pastos de 0,174 ppm. El valor de concentración de Cd en estos pastos es menor a los valores medios obtenidos en esta investigación, en la interacción agua \* cultivo hidropónico, es decir, cada especie forrajera en ambos tratamientos de agua, hasta los 30 días de cultivo. Además, este valor de concentración de Cd no supera los LMP recomendados por la AFFCO y por los Decretos fijados en la Unión Europea, pero es mayor a los LMP recomendados por la OMS.

Peris (2 006), en cultivos de hoja obtiene concentraciones de Cd de 1,47 ppm, mientras que en cultivos de inflorescencia obtiene concentraciones de Cd de 0,24 ppm. El valor medio de Cd en los cultivos de hoja es mayor al valor medio obtenido en este trabajo en la interacción agua \* cultivo hidropónico, es decir, cada especie forrajera en ambos tratamientos de agua, hasta los 30 días de cultivo. Además, este valor de concentración de Cd en los cultivos de hoja no supera los LMP recomendados por la AFFCO, pero sobrepasa los LMP recomendados por los Decretos fijados en la Unión Europea, y por la OMS. El valor medio de Cd en los cultivos de inflorescencia es menor al valor medio obtenido en esta investigación, en la interacción agua \* cultivo hidropónico, es decir, cada especie forrajera en ambos tratamientos de agua, hasta los 30 días de cultivo. Además, este valor de concentración de Cd en los cultivos de inflorescencia no supera los LMP recomendados por la AFFCO y por los Decretos fijados en la Unión Europea, pero sobrepasa los LMP recomendados por la OMS.

Los valores medios de concentración de Cr en la interacción agua \* tiempo, hasta los 30 días de cultivo, son menores a los LMP recomendados por la AFFCO. Los valores medios de concentración de Cr en la interacción agua \* tiempo, hasta los 15 días de cultivo, son mayores a los LMP recomendados por la OMS, concentraciones que van



incrementándose hasta los 30 días de cultivo. Definitivamente, siempre considerando que los metales pesados tienden a seguir acumulándose en el tiempo.

Peris (2 006), en cultivos de hoja obtiene concentraciones de Cr de 3,35 ppm, mientras que en cultivos de inflorescencia obtiene concentraciones de Cr de 0,68 ppm. El valor medio de Cr en los cultivos de hoja es menor a los valores medios obtenidos en esta investigación, en la interacción agua \* tiempo, es decir, ambos tratamientos de agua en cada lapso de tiempo. Además, este valor de concentración de Cd en los cultivos de hoja no supera los LMP recomendados por la AFFCO, pero sobrepasa los LMP recomendados por los Decretos fijados en la Unión Europea, y por la OMS. El valor medio de Cr en los cultivos de inflorescencia es menor a los valores medios obtenidos en esta investigación, en la interacción agua \* tiempo, es decir, ambos tratamientos de agua en cada lapso de tiempo. Además, este valor de concentración de Cr en los cultivos de inflorescencia no supera los LMP recomendados por la AFFCO y por los Decretos fijados en la Unión Europea, pero sobrepasa los LMP recomendados por la OMS.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES

- Existe presencia de Cd, Cr y Pb en la muestra de agua potable y en la muestra de agua residual. Las concentraciones en la muestra de agua potable, superan los Límites Máximos Permisibles (LMP) recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS), por el Ministerio de Salud (MINSA) de Perú, y por la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS) de Perú. En la muestra de agua residual, las concentraciones son menores a los LMP recomendados por la SUNASS, por la Ley General de Aguas, y por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).
- Existe presencia acumulativa de Cd, Cr y Pb en las muestras vegetales hidropónicas de *Lolium multiflorum* y *Trifolium repens* cultivadas *in vitro* en agua potable (**T<sub>0</sub>**) y en agua residual (**T<sub>1</sub>**) con valores medios de concentración más altos en Cr, seguido de Pb y Cd.
- La acumulación de Cd, Cr y Pb en las muestras vegetales hidropónicas de *Lolium multiflorum* y *Trifolium repens* cultivadas *in vitro* tienden a ser similares en ambos tratamientos de agua, siendo mayor en agua residual. De esta manera, el efecto acumulativo de los metales pesados pone en tela de juicio a los Límites Máximos Permisibles y a los Estándares de Calidad Ambiental por significar un riesgo a la salud animal y a la salud pública.

## LISTA DE REFERENCIAS

- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). 2008. Toxicological Profile for Chromium. (Draft for Public Comment). Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. USA.
- Análisis de Situación de Salud ASIS – 2016. Sistema de Vigilancia Epidemiológica de Cáncer - Ministerio de Salud - Perú. Dirección Regional de Salud - DIRESA Cajamarca. Gobierno Regional de Cajamarca. 2017.
- Balderas - Plata. M, Cajuste L. J, Lugo-de la F. J, Vázquez A. A. 2003. Suelos agrícolas contaminados por metales pesados provenientes de depósitos de vehículos de desecho. Terra Latinoamericana, vol. 21, núm. 4, pp. 449-459. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. México.
- Barenys M., Boix N., Farran-C A., Palma L. I., Montserrat R., Curto A., Gomez C. J., Ortiz P., Deza N., Llobet J. 2014. Heavy metal and metalloids intake risk assessment in the diet of a rural population living near a gold mine in the Peruvian Andes (Cajamarca). Food and Chemical Toxicology. Published by Elsevier Ltd.
- Cabrera R. H, Montero F., Uyaque C., Tobar J., Acosta M., Torres S. 2012. Microorganismos recuperadores de metales. Facultad de Ingeniería Civil. Universidad de Nariño. Pasto. Colombia.
- Casas C. A, Casas B. E. 1999. El análisis de Suelo - Agua - Planta y su aplicación en la nutrición de cultivos hortícolas en la zona del sureste peninsular. Ed. Caja Rural de Almería. Instituto La Rural. España.

- Chávez S. G. 2 014. Probables efectos de las aguas residuales de la ciudad de Cajamarca en el Sistema Agua - Suelo - Planta de los caseríos de la Victoria, Yanamarca y la Collpa. Escuela de Post Grado Universidad Nacional de Cajamarca. Perú.
- Demanet F. R. 2 013. Pastizales del Sur de Chile. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales. Universidad de La Frontera. Chile.
- Diario Oficial El Peruano. Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM. Modifican los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua aprobados por Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM y establecen disposiciones complementarias para su aplicación Normas Legales. Ambiente. 19 diciembre 2 015.
- Dirección General de Salud Ambiental - DIGESA. 2 008. Estándares de Calidad Ambiental de Agua Grupo N° 3: Riego de vegetales y bebida de animales. Ministerio de Salud - MINSA. Perú.
- Ecurra E. 2 001. Situación de la ganadería lechera en Cajamarca. Revista Inversiones Veterinarias; 12(2): 21-26. Perú.
- Florián L. R. Establecimiento de la asociación Rey Grass (*Lolium multiflorum*) - Trébol blanco (*Trifolium repens*). 2 009. Sirius. Revisión bibliográfica. Universidad Nacional de Cajamarca. Perú.
- Fontana D., Lascano V., Solá N., Martínez S., Virgolini M., Mazzieri M. 2 013. Intoxicación por plomo y su tratamiento farmacológico. Revista de Salud Pública, (XVII), 1:49-59. Universidad Nacional de Córdoba. Departamento de Farmacia, Facultad de Ciencias Químicas. Argentina.

- Howard M. R. 2 001. Cultivos Hidropónicos. 5ª. Edición. Ed. Mundi - Prensa. University of British Columbia, Vancouver. Canadá.
- Huaranga M. F., Méndez G. E., Quilcat L. V., Huaranga A. F. 2 012. Pollution by heavy metals in the Moche River Basin, 1 980 – 2 010, La Libertad – Peru. Universidad Nacional de Trujillo, Perú. Agrosolutions EIRL, Trujillo, Perú.
- Ley de Recursos Hídricos N° 29338, D.S. N° 001-2010-AG, Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, Título V; Capítulo VII: Reúso de aguas residuales tratadas, Artículo 147°. Perú.
- Londoño F. L. 2 014. Heavy metals in dairy herds in the municipalities of San Pedro and Entreríos, Antioquia, Colombia. Universidad de León. Facultad de Veterinaria. Departamento de Medicina, Cirugía y Anatomía Veterinaria. Colombia.
- Manual Merck de Veterinaria. 2 007. Sexta Edición. Editorial Océano. Barcelona. España.
- Méndez, A. 2 011. La Guía de Química.
- Méndez B. J. 2 007. Metales pesados en alimentación Animal - COREN S.C.L. España.
- National Research Council. 2 005. Mineral tolerance of animals. Committee on Minerals and Toxic Substances in Diets and Water for Animals. The National Academies of Sciences. Second Revised Edition. The National Academies Press. 500 Fifht Street N.W. Washington, D.C. USA.

- Organización Mundial de la Salud. 2 006. Guías para la calidad de agua potable. Recomendaciones. Tercera Edición OMS. Volumen 1 Avenue Appia, 1211 Genève 27, Suiza.
- Peláez P. M, Bustamante C. J, Gómez L. E. 2 015. Presencia de cadmio y plomo en suelos y su bioacumulación en tejidos vegetales en especies de Brachiaria en el Magdalena Medio Colombiano. Colombia.
- Pérez D. J, Peña C. E, López C. R, Hernández T. I. 2 016. Heavy metals and agricultural quality of treated wastewater. Artículos de investigación / Research papers. Volumen 34, Nº 1. Páginas 19 - 25 IDESIA. Chile.
- Pérez G. E, Azcona C. M. 2 012. Los efectos del cadmio en la salud. Revista de Especialidades Médico Quirúrgicas. Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado México. México.
- Peris M. Mónica. 2 006. Estudio de metales pesados en suelos bajo cultivos hortícolas de la Provincia de Castellón. Universitat de Valencia. Servei de publicacions. España.
- Prieto M. J., González R. C., Román G. A., y Prieto G. F. 2 009. Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. Tropical and Sub Tropical Agroecosystems, vol. 10, núm. 1, pp. 29 - 44. Universidad Autónoma de Yucatán. México.
- Quevedo S. T. 2 001. Estudio de la contaminación por plomo y cadmio en las pasturas cultivadas y suelo del valle de Cajamarca. Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales. Universidad Nacional de Cajamarca. Perú.

- Rodríguez D. A., Chang L. M. 2 016. Manual Práctico de Hidroponía. 5ta. Pre Edición. Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima. Perú.
- Rovira S. P. 2 008. Residuos en carne. Una visión desde el sector productivo. Revista del Plan Agropecuario, v: 127, p: 38 - 42. Montevideo. Uruguay.
- Ruíz C. K. 2 002. Estudio de la contaminación por Plomo y Cadmio en algunos cultivos alimenticios y suelos adyacentes a la carretera Cajamarca – Bambamarca. Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales. Universidad Nacional de Cajamarca. Perú.
- Siebe, C. 1 994. Acumulación y disponibilidad de metales pesados en suelos regados con aguas residuales en el Distrito de Riego 03, Tula, Hidalgo, México. Rev. Int. Contam. Ambient. 10 (I), 15 - 21. Instituto de Geología. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Zamora F., Rodríguez N., Torres D., Yendis H. 2 008. Efecto del riego con aguas residuales sobre propiedades químicas de suelos de la planicie de Coro, Estado Falcón. Rev. Bioagro, 20: 193-199. Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda, e INIA, Estación Experimental de Falcón. Venezuela.

## **APÉNDICE/ANEXO**





**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



### INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN AGUA

SOLICITANTE : WALTER JULIÁN GUTIÉRREZ ARCE  
PROCEDENCIA : CAJAMARCA  
REFERENCIA : H.R. 56849  
FECHA : 02/12/16

Nº LAB	CLAVES	Pb ppm	Cd ppm	Cr ppm
4229		0.002	0.004	0.100



*Sady García Bendezú*  
Jefe de Laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



### INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN AGUA

SOLICITANTE : WALTER JULIAN GUTIÉRREZ ARCE  
PROCEDENCIA : CAJAMARCA  
REFERENCIA : H.R. 57101  
FECHA : 23/12/16

Nº LAB	CLAVES	Pb ppm	Cd ppm	Cr ppm
4317		0.064	0.010	0.060

  
Sady García Bendezú  
Jefe de Laboratorio



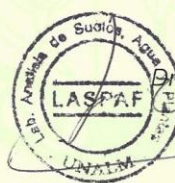
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



## INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN FOLIAR

SOLICITANTE : WALTER JULIAN GUTIERREZ ARCE  
PROCEDENCIA : CAJAMARCA  
MUESTRA : TEJIDOS VEGETALES  
REFERENCIA : H.R. 57100  
BOLETA : 13875  
FECHA : 02/01/2017

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	Pb ppm	Cd ppm	Cr ppm
6425	M-4	1.75	0.50	17.25
6426	M-5	2.25	0.50	19.00
6427	M-6	3.30	0.75	19.00
6428	M-10	7.75	0.88	26.63
6429	M-11	6.25	0.75	28.25
6430	M-12	7.00	0.75	28.50



*Sady García Bendejé*  
Jefe de Laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



## INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN FOLIAR

SOLICITANTE : WALTER GUTIERREZ ARCE  
PROCEDENCIA : CAJAMARCA  
MUESTRA : TEJIDOS VEGETALES  
REFERENCIA : H.R. 57226  
FECHA : 16/01/2017

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	Pb ppm	Cd ppm	Cr ppm
010	M-21	2.74	0.61	10.39
011	M-23	2.73	1.10	9.15
012	M-25	2.30	0.73	7.60
013	M-31	6.40	0.83	15.80
014	M-33	5.05	0.90	15.66
015	M-35	6.50	1.05	16.28
016	M-101	5.93	0.98	17.03
017	M-103	7.35	0.25	16.25
018	M-107	7.90	0.66	17.68
019	M-111	5.15	0.83	15.00
020	M-113	3.98	0.60	14.40
021	M-117	3.30	0.40	13.33
022	M-201	1.96	0.33	6.61
023	M-203	1.45	0.35	5.40
024	M-207	0.88	0.50	5.58
025	M-301	0.50	0.28	4.78
026	M-303	1.18	0.40	5.35
027	M-307	0.25	0.25	5.00

  
Sady García Bendejú  
Jefe de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM  
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622  
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

**FICHA DE CAMPO CON RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO Y COMPARATIVOS EN AGUA**

Metales Pesados	Agua Potable			Agua Residual				
	Muestra	OMS	MINSA	SUNASS	Muestra	SUNASS	Ley General de Aguas	FAO
Cd (ppm)	0,010	< 0,030	> 0,003	> 0,003	0,004	< 0,200	< 0,050	< 0,050
Cr (ppm)	0,060	> 0,050	> 0,050	> 0,050	0,100	< 0,500	< 1,000	< 0,100
Pb (ppm)	0,064	> 0,010	> 0,010	> 0,100	0,002	< 0,500	< 0,100	< 5,000

**FICHA DE CAMPO CON RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO Y COMPARATIVOS EN AGUA**

Metales Pesados	Agua Potable			Agua Residual		
	Muestra	ECA Riego Vegetales	ECA Bebida Animales	Muestra	ECA Riego Vegetales	ECA Bebida Animales
Cd (ppm)	0,010	= 0,010	< 0,050	0,004	< 0,01	< 0,050
Cr (ppm)	0,060	< 0,100	< 1,000	0,100	= 0,100	= 1,000
Pb (ppm)	0,064	> 0,050	> 0,050	0,002	< 0,050	< 0,050

FICHA DE CAMPO CON RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO EN VEGETALES Y COMPARATIVOS (AFFCO)

Metales Pesados	Muestra Agua Potable	Muestra Agua Residual	AFFCO Pienso completo	<i>Lolium multiflorum</i>				<i>Trifolium repens</i>			
				Agua potable		Agua Residual		Agua potable		Agua Residual	
				15 días	30 días	15 días	30 días	15 días	30 días	15 días	30 días
Cd (ppm)	0,010	0,004	10	> 0,28	> 0,33	> 0,50	> 0,61	> 0,40	> 0,83	> 0,88	> 0,98
				> 0,35	> 0,40	> 0,73	> 1,10	> 0,60	> 0,90	> 0,65	> 0,75
				> 0,25	> 0,50	> 0,50	> 0,75	> 0,83	> 1,05	> 0,66	> 0,75
Cr (ppm)	0,060	0,100	1 000	> 5,35	> 6,61	> 10,39	> 17,25	> 14,40	> 15,80	> 16,25	> 26,63
				> 4,78	> 5,40	> 9,15	> 19,00	> 13,33	> 15,66	> 17,03	> 28,25
				> 5,00	> 5,58	> 7,60	> 19,00	> 15,00	> 16,28	> 17,68	> 28,50
Pb (ppm)	0,064	0,002	40	> 1,18	> 1,96	> 2,25	> 2,74	> 5,15	> 6,40	> 6,25	> 7,75
				> 0,50	> 1,45	> 1,75	> 2,73	> 3,30	> 5,05	> 5,93	> 7,35
				> 0,25	> 0,88	> 2,30	> 3,30	> 3,98	> 6,50	> 7,00	> 7,90

FICHA DE CAMPO CON RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO EN VEGETALES Y COMPARATIVOS (UE)

Metales Pesados	Muestra Agua Potable	Muestra Agua Residual	Unión Europea Pienso	<i>Lolium multiflorum</i>				<i>Trifolium repens</i>			
				Agua potable		Agua Residual		Agua potable		Agua Residual	
				15 días	30 días	15 días	30 días	15 días	30 días	15 días	30 días
Cd (ppm)	0,010	0,004	0,50 - 1,00	> 0,28	> 0,33	0,50	0,61	> 0,40	0,83	0,88	0,98
				> 0,35	> 0,40	0,73	< 1,10	0,60	0,90	0,65	0,75
				> 0,25	0,50	0,50	0,75	0,83	< 1,05	0,66	0,75
Cr (ppm)	0,060	0,100	-----	5,35	6,61	10,39	17,25	14,40	15,80	16,25	26,63
				4,78	5,40	9,15	19,00	13,33	15,66	17,03	28,25
				5,00	5,58	7,60	19,00	15,00	16,28	17,68	28,50
Pb (ppm)	0,064	0,002	5,00	> 1,18	> 1,96	> 2,25	> 2,74	< 5,15	< 6,40	< 6,25	< 7,75
				> 0,50	> 1,45	> 1,75	> 2,73	> 3,30	< 5,05	< 5,93	< 7,35
				> 0,25	> 0,88	> 2,30	> 3,30	> 3,98	< 6,50	< 7,00	< 7,90

FICHA DE CAMPO CON RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO EN VEGETALES Y COMPARATIVOS (OMS)

Metales Pesados	Muestra Agua Potable	Muestra Agua Residual	OMS Cultivos	<i>Lolium multiflorum</i>				<i>Trifolium repens</i>			
				Agua potable		Agua Residual		Agua potable		Agua Residual	
				15 días	30 días	15 días	30 días	15 días	30 días	15 días	30 días
Cd (ppm)	0,010	0,004	0,01	< 0,28	< 0,33	< 0,50	< 0,61	< 0,40	< 0,83	< 0,88	< 0,98
				< 0,35	< 0,40	< 0,73	< 1,10	< 0,60	< 0,90	< 0,65	< 0,75
				< 0,25	< 0,50	< 0,50	< 0,75	< 0,83	< 1,05	< 0,66	< 0,75
Cr (ppm)	0,060	0,100	0,10	< 5,35	< 6,61	< 10,39	< 17,25	< 14,40	< 15,80	< 16,25	< 26,63
				< 4,78	< 5,40	< 9,15	< 19,00	< 13,33	< 15,66	< 17,03	< 28,25
				< 5,00	< 5,58	< 7,60	< 19,00	< 15,00	< 16,28	< 17,68	< 28,50
Pb (ppm)	0,064	0,002	5,00	> 1,18	> 1,96	> 2,25	> 2,74	< 5,15	< 6,40	< 6,25	< 7,75
				> 0,50	> 1,45	> 1,75	> 2,73	> 3,30	< 5,05	< 5,93	< 7,35
				> 0,25	> 0,88	> 2,30	> 3,30	> 3,98	< 6,50	< 7,00	< 7,90



**FICHA DE CAMPO CON PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DE METALES PESADOS EN MUESTRAS VEGETALES**

Metal Pesado	Muestra Agua Potable	Muestra Agua Residual	Lolium multiflorum								Trifolium repens							
			Agua potable				Agua Residual				Agua potable				Agua Residual			
			15 días		30 días		15 días		30 días		15 días		30 días		15 días		30 días	
			Enc.	%	Enc.	%	Enc.	%	Enc.	%	Enc.	%	Enc.	%	Enc.	%	Enc.	%
Cd (ppm)	0,010	0,004	0,28	2800,00	0,33	3300,00	0,50	12500,00	0,61	15250,00	0,40	4000,00	0,83	8300,00	0,88	22000,00	0,98	24500,00
			0,35	3500,00	0,40	4000,00	0,73	18250,00	1,10	27500,00	0,60	6000,00	0,90	9000,00	0,65	16250,00	0,75	18750,00
			0,25	2500,00	0,50	5000,00	0,50	12500,00	0,75	18750,00	0,83	8300,00	1,05	10500,00	0,66	16500,00	0,75	18750,00
Cr (ppm)	0,060	0,100	5,35	8916,67	6,61	11016,67	10,39	10390,00	17,25	17250,00	14,40	24000,00	15,80	26333,33	16,25	16250,00	26,63	26630,00
			4,78	7966,67	5,40	9000,00	9,15	9150,00	19,00	19000,00	13,33	22216,67	15,66	26100,00	17,03	17030,00	28,25	28250,00
			5,00	8333,33	5,58	9300,00	7,60	7600,00	19,00	19000,00	15,00	25000,00	16,28	27133,33	17,68	17680,00	28,50	28500,00
Pb (ppm)	0,064	0,002	1,18	1843,75	1,96	3062,50	2,25	112500,00	2,74	137000,00	5,15	8046,88	6,40	10000,00	6,25	312500,00	7,75	387500,00
			0,50	781,25	1,45	2265,63	1,75	87500,00	2,73	136500,00	3,30	5156,25	5,05	7890,63	5,93	296500,00	7,35	367500,00
			0,25	390,63	0,88	1375,00	2,30	115000,00	3,30	165000,00	3,98	6218,75	6,50	10156,25	7,00	350000,00	7,90	395000,00

### Análisis de varianza de factorial de 2\*2\*2 de Cd

Source	df	Sum of Squares	Mean Squares	Value F	P
<b>Modelo</b>	7	1,00451667	0,14350238	6,21	0,0012
<b>Agua</b>	1	0,19081667	0,19081667	8,26	0,011
<b>Cultivo hidropónico</b>	1	0,37001667	0,37001667	16,02	0,001
<b>Tiempo</b>	1	0,22426667	0,22426667	9,71	0,0066
<b>Agua*cultivo hidropónico</b>	1	0,17001667	0,17001667	7,36	0,0153
<b>Agua*tiempo</b>	1	0,00326667	0,00326667	0,14	0,7118
<b>Cultivo hidropónico*tiempo</b>	1	0,00106667	0,00106667	0,05	0,8325
<b>Agua*cultivo hidropónico*tiempo</b>	1	0,04506667	0,04506667	1,95	0,1815
<b>Error</b>	16	0,36946667	0,02309167		
<b>Total</b>	<b>23</b>	<b>1,37398333</b>			

### Análisis de varianza de factorial de 2\*2\*2 de Cr

Source	df	Sum of Squares	Mean Squares	Value F	P
<b>Modelo</b>	7	1179,457600	168,493943	230,48	<,0001
<b>Agua</b>	1	364,5721500	364,5721500	498,70	<,0001
<b>Cultivo hidropónico</b>	1	501,4204167	501,4204167	685,89	<,0001
<b>Tiempo</b>	1	192,6666667	192,6666667	263,55	<,0001
<b>Agua*cultivo hidropónico</b>	1	1,4016667	1,4016667	1,92	0,1852
<b>Agua*tiempo</b>	1	117,3068167	117,3068167	160,46	<,0001
<b>Cultivo hidropónico*tiempo</b>	1	1,9608167	1,9608167	2,68	0,1210
<b>Agua*cultivo hidropónico*tiempo</b>	1	0,1290667	0,1290667	0,18	0,6799
<b>Error</b>	16	11,696733	0,731046		
<b>Total</b>	<b>23</b>	<b>1191,154333</b>			

**Análisis de varianza de factorial de 2\*2\*2 de Pb**

<b>Source</b>	<b>df</b>	<b>Sum of Squares</b>	<b>Mean Squares</b>	<b>Value F</b>	<b>P</b>
<b>Modelo</b>	7	137,1112958	19,5873280	59,44	<,0001
<b>Agua</b>	1	17,7676042	17,7676042	53,91	<,0001
<b>Cultivo hidropónico</b>	1	109,5255375	109,5255375	332,35	<,0001
<b>Tiempo</b>	1	8,3662042	8,3662042	25,39	0,0001
<b>Agua*cultivo hidropónico</b>	1	0,3626042	0,3626042	1,10	0,3098
<b>Agua*tiempo</b>	1	0,1053375	0,1053375	0,32	0,5797
<b>Cultivo hidropónico*tiempo</b>	1	0,8475042	0,8475042	2,57	0,1283
<b>Agua*cultivo hidropónico*tiempo</b>	1	0,1365042	0,1365042	0,41	0,5290
<b>Error</b>	16	5,2728000	0,3295500		
<b>Total</b>	<b>23</b>	<b>142,3840958</b>			

## **FIGURAS**



**Figura 01.** Semillas *Trifolium repens*



**Figura 02.** Semillas *Lolium multiflorum*



**Figura 03.** Agua Potable



**Figura 04.** Agua Residual



**Figura 05.** *Trifolium repens*



**Figura 06.** *Lolium multiflorum*

**Selección de semillas**



**Figura 07.** *Trifolium repens*

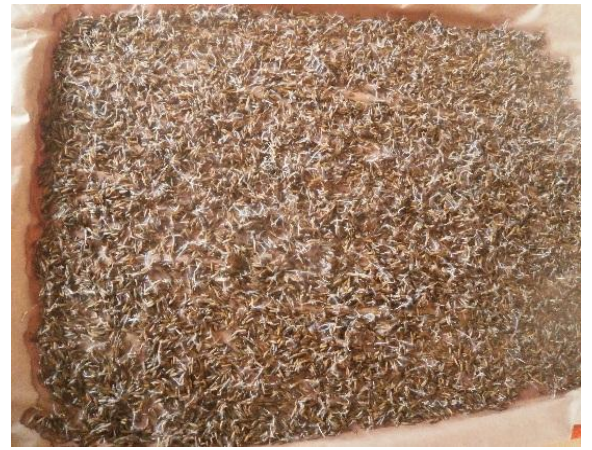


**Figura 08.** *Lolium multiflorum*

**Siembra**



**Figura 09.** *Trifolium repens*



**Figura 10.** *Lolium multiflorum*

**Germinación**



**Figura 11.** Riego con aspersor de mano



**Figura 12.** Con riego hasta los 30 días

**Riego**





**Figura 13.** Preparación de muestras para envío al laboratorio.



**Figura 14.** Envío de muestras al Laboratorio