



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO
AMBIENTE



TESIS

BIOACUMULACIÓN DE METALES PESADOS: PLOMO, CADMIO y
CROMO EN PLANTAS MEDICINALES RECOLECTADAS EN ZONAS
CERCANAS A ALTO TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DEL CUSCO

PRESENTADO POR:

YOLANDA CALLO CHOQUEVILCA

PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE:

DOCTORIS SCIENTIAE EN CIENCIA TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

PUNO, PERÚ

2022

Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

BIOACUMULACIÓN DE METALES PESADOS: PLOMO, CADMIO y CROMO EN PLANTAS MEDICINALES RECOLECTADAS EN ZON

AUTOR

YOLANDA CALLO CHOQUEVILCA

RECuento DE PALABRAS

27004 Words

RECuento DE CARACTERES

138613 Characters

RECuento DE PÁGINAS

117 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

4.4MB

FECHA DE ENTREGA

Jul 3, 2023 11:48 AM CST

FECHA DEL INFORME

Jul 3, 2023 11:50 AM CST

● **11% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base

- 10% Base de datos de Internet
- 3% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de Crossref
- Base de datos de contenido publicado de Cross
- 7% Base de datos de trabajos entregados

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)



Firmado digitalmente por PALOMINO
CIRILA Gallego FAU.20145498170
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 03.07.2023 19:06:32 -05:00



Firmado digitalmente por SALAS
URVIELA Fernanda Mercedes FAU
20145498170 aut
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 03.07.2023 15:14:59 -05:00



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO
AMBIENTE



TESIS

**BIOACUMULACIÓN DE METALES PESADOS: PLOMO, CADMIO y CROMO
EN PLANTAS MEDICINALES RECOLECTADAS EN ZONAS CERCANAS A
ALTO TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DEL CUSCO**

PRESENTADA POR:

YOLANDA CALLO CHOQUEVILCA

PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE:

DOCTORIS SCIENTIAE EN CIENCIA TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

APROBADA POR EL JURADO SIGUIENTE:

PRESIDENTE


.....
Dr. JOSÉ DANTE GUTIÉRREZ ALBERONI

PRIMER MIEMBRO


.....
Dr. ÁNGEL CANALES GUTIÉRREZ

SEGUNDO MIEMBRO

.....
Dr. FRANZ ZIRENA VILCA

ASESOR DE TESIS


.....
Dr. GREGORIO PALOMINO CUELA

Puno, 21 de octubre de 2022

ÁREA: Ciencias de la ingeniería

TEMA: Bioacumulación de metales pesados: Plomo, Cadmio y Cromo en plantas medicinales recolectadas en zonas cercanas a alto tráfico vehicular en la ciudad del Cusco

LÍNEA: Recursos naturales y medio ambiente.



DEDICATORIA

A mis queridos hijos: María del Carmen, Rodrigo y Renato, ejes valiosos de mi vida.

A la memoria de mis padres: Rosa y Andrés, cuyo ejemplo de lucha y perseverancia, son líneas trazadas en mi vida para culminar con mis metas.

A Paulino, que en vida siempre me recordaba, que nunca desmayara en el logro de mis objetivos.

A todos mis queridos hermanos que día a día siempre han alentado mi superación.



AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme muchas veces la oportunidad de vida y llenarme de bendiciones que me dan fortaleza para seguir adelante.

A los docentes del Programa del Doctorado de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de la Universidad Nacional del Altiplano, que con sus conocimientos, dominio y experticia en diferentes líneas de investigación contribuyeron en mi superación académica, que se concreta con la presente tesis.

Mi agradecimiento especial a los docentes Ph. D. Bernardo Roque Huanca y Dr. Gregorio Palomino Cuela, quienes me brindaron su apoyo en el asesoramiento y culminación de mi trabajo de tesis doctoral.

Un agradecimiento especial a los miembros del Jurado, Dr. José Dante Gutiérrez Alberoni, Dr. Ángel Canales Gutiérrez y Dr. Franz Zirena Vilca, por sus valiosas y oportunas sugerencias que permitió mejorar el contenido y presentación de mi tesis.



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE ANEXOS	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

REVISION DE LITERATURA

1.1. Marco Teórico	3
1.1.1. Plantas medicinales	3
1.1.1.1. Toxicidad de las plantas medicinales	4
1.1.1.2. <i>Taraxacum officinale</i> F.H. Wigg (Diente de león)	4
1.1.1.3. <i>Plantago australis subsp hirtella</i> (Kunth) (puna llantén)	5
1.1.1.4. <i>Hypochoeris meyeniana</i> (Walp) Bent. & Hook.f. ex Griseb. (pilli pilli)	7
1.1.2. Metales pesados	8
1.1.2.1 Estado natural de los metales pesados en los suelos	8
1.1.2.2 Fuentes de metales pesados	9
1.1.2.3. Cadmio	10
1.1.2.4. Cromo	11
1.1.2.5. Plomo	12
1.1.3. Normas internacionales de límites máximos permisibles de concentración de metales pesados en plantas medicinales	14
1.1.3.1. Límites máximos permisibles para metales pesados en aguas de bebida	15
1.1.4. Bioacumulación y Translocación de metales pesados	15
1.1.5. Espectrometría de masas por plasma acoplado inductivamente (ICP-MS)	17



1.2. Antecedentes	18
-------------------	----

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Identificación del problema	22
2.2. Enunciado del problema	23
2.2.1. Problema general	23
2.2.2. Problemas específicos	24
2.3. Justificación	24
2.4. Objetivos	25
2.4.1. Objetivo general	25
2.4.2. Objetivos específicos	25
2.5. Hipótesis	26
2.5.1. Hipótesis general	26
2.5.2. Hipótesis específica	26

CAPÍTULO III

MATERIALES Y METODOS

3.1. Lugar de estudio	27
3.2. Población	28
3.3. Muestras	29
3.4. Método de investigación	29
3.5. Metodología	29
3.5.1. Materiales e insumos	30
3.5.2. Muestreo	30
3.5.2.1. Muestras vegetales	30
3.5.2.2. Muestras de suelos	30
3.5.2.3. Preparación de infusiones	31
3.5.2.4. Preparación de las cocciones	31
3.5.2.5. Codificación de las muestras	31
3.6. Metodología de análisis	32
3.6.1. Digestión de las muestras vegetales	32
3.6.2. Digestión de muestra de suelos	32
3.6.3. Digestión de infusiones y cocciones	32



3.6.4. Cuantificación de Cd, Cr y Pb	32
3.7. Bioacumulación de Cd, Cr y Pb	33
3.8. Translocación de Cd, Cr y Pb	34
3.9. Análisis estadístico de los resultados	34

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Concentración de los metales pesados en raíces y parte aérea de <i>Taraxacum officinale</i> F. H. Wigg (diente de león), <i>Hypochaeris meyeniana</i> (Walp) Bent (pilli pilli) y <i>Plantago australis</i> subsp. <i>hirtella</i> (Kunth) Rahn (puna llantén)	35
4.1.1. Variación de la concentración de cadmio en raíces y parte aérea de las plantas en estudio en función de la distancia	35
4.1.2. Variación de la concentración de cromo en raíces y parte aérea de las plantas en estudio en función de la distancia	37
4.1.3. Variación de la concentración de plomo en raíces y parte aérea de las plantas en estudio en función de la distancia	40
4.2. Concentración de Cd, Cr y Pb en los suelos de las plantas <i>T. officinale</i> , <i>H. meyeniana</i> y <i>P. australis</i>	43
4.3. Bioacumulación de metales pesados en <i>Taraxacum officinale</i> (diente de león) <i>Hypochaeris meyeniana</i> (pilli pilli), y <i>Plantago australis</i> (puna llantén)	43
4.3.1. Variación de la bioacumulación de cadmio, en las plantas medicinales en estudio	44
4.3.2. Variación de la bioacumulación de cromo, en las plantas medicinales en estudio	46
4.3.3. Variación de bioacumulación de plomo en las plantas medicinales en estudio	48
4.4. Translocación de metales pesados en <i>Taraxacum officinale</i> (diente de león), <i>Hypochaeris meyeniana</i> (pilli pilli) y <i>Plantago australis</i> (puna llantén).	50
4.4.1. Variación de la translocación de cadmio en las plantas medicinales en estudio	50
4.4.2. Variación de la translocación de cromo en las plantas medicinales en estudio	52
4.4.3. Variación de translocación de plomo en las plantas medicinales en estudio	54



4.5. Concentración de metales pesados en infusión y cocción de <i>T. Officinale</i> (diente de león), <i>H. meyeniana</i> (pilli pilli) y <i>P. australis</i> (puna llantén)	56
4.5.1. Concentración de cadmio en infusión y cocción de <i>T. officinale</i> , <i>H. meyeniana</i> y <i>P. australis</i>	56
4.5.2. Concentración de Cromo en infusión y cocción de <i>T. officinale</i> , <i>H. meyeniana</i> y <i>P. australis</i>	58
4.5.3. Concentración de Plomo en infusión y cocción en <i>T. officinale</i> , <i>H. meyeniana</i> y <i>P. australis</i>	60
CONCLUSIONES	63
RECOMENDACIONES	65
BIBLIOGRAFÍA	66
ANEXOS	74

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
1. Límites para metales pesados en productos de hierbas medicinales	14
2. Niveles de Pb y Hg detectados en muestras de productos naturales	21
3. Codificación de las muestras.	31
4. Concentración media de Cadmio (mg/Kg) en raíz y parte aérea de <i>T. Officinale</i> (diente de león), <i>H. meyeniana</i> (pilli pilli) y <i>P. australis</i> (puna llantén) de las distancias 0 y 1.	36
5. Concentración media de Cromo (mg/Kg) en raíz y parte aérea de <i>T. Officinale</i> (diente de león), <i>H. meyeniana</i> (pilli pilli) y <i>P. australis</i> (puna llantén) de las distancias 0 y 1.	37
6. Concentración media de Plomo (mg/Kg) en raíz y parte aérea de <i>T. Officinale</i> (diente de león), <i>H. meyeniana</i> (pilli pilli) y <i>P. australis</i> (puna llantén) de las distancias 0 y 1.	40
7. Concentración media de Cd, Cr y Pb (mg/Kg) en suelos de las plantas: <i>T. officinale</i> (Diente de león), <i>H. meyeniana</i> (pilli pilli), y <i>P. australis</i> (puna llantén) de las distancias 0 y 1.	43
8. Factor de Bioacumulación de Cadmio, para <i>T. officinale</i> (diente de león), <i>H. meyeniana</i> (pilli pilli) y <i>P. australis</i> (puna llantén) en la distancia 0 y 1.	44
9. Factor de Bioacumulación de Cromo para <i>T. officinale</i> (diente de león), <i>H. meyeniana</i> (pilli pilli) y <i>P. australis</i> (puna llantén) en la distancia 0 y 1.	46
10. Factor de Bioacumulación de Plomo, para <i>T. officinale</i> (diente de león), <i>H. meyeniana</i> (pilli pilli) y <i>P. australis</i> (puna llantén) en la distancia 0 y 1.	48
11. Factor de Translocación de Cadmio, para <i>T. officinale</i> (diente de león), <i>H. meyeniana</i> (pilli pilli) y <i>P. australis</i> (puna llantén) en la distancia 0 y 1.	50
12. Factor de Translocación de Cromo, para <i>T. officinale</i> (diente de león), <i>H. meyeniana</i> (pilli pilli) y <i>P. australis</i> (puna llantén) en la distancia 0 y 1.	52
13. Factor de Translocación de Plomo, para <i>T. officinale</i> (diente de león), <i>H. meyeniana</i> (pilli pilli) y <i>P. australis</i> (puna llantén) en la distancia 0 y 1.	54
14. Concentración de cadmio en infusión y cocción de <i>T. officinale</i> (diente de león), <i>H. meyeniana</i> (pilli pilli) y <i>P. australis</i> (puna llantén).	56
15. Concentración de cromo en infusión y cocción de <i>T. officinale</i> (diente de león), <i>H. meyeniana</i> (pilli pilli) y <i>P. australis</i> (puna llantén).	58



16. Concentración de Plomo en infusión y cocción de <i>T.officinale</i> (diente de león), <i>H. meyeniana</i> (pilli pilli) y <i>P. australis</i> (puna llantén).	60
17. Prueba de normalidad, homogeneidad e independencia.	74
18. ANOVA para concentración de Cadmio en parte aérea y raíces de <i>Taraxacum</i> <i>officinale</i> , <i>Hypochaeris meyeniana</i> y <i>Plantago australis</i> de las distancias 0 y 1.	75
19. Test de Tukey para Cadmio en hojas y raíces de <i>Taraxacum officinale</i> , <i>Hypochaeris meyeniana</i> y <i>Plantago australis</i> de las distancias 0 y 1.	75
20. ANOVA para concentración de Cromo en parte aérea y raíces de <i>Taraxacum</i> <i>officinale</i> , <i>Hypochaeris meyeniana</i> y <i>Plantago australis</i> de la distancia 0 y 1	76
21. Test de Tukey para Cromo en hojas y raíces de <i>Taraxacum officinale</i> , <i>Hypochaeris meyeniana</i> y <i>Plantago australis</i> de las distancias 0 y 1.	76
22. ANOVA para concentración de Plomo en parte aérea y raíces de <i>Taraxacum</i> <i>officinale</i> , <i>Hypochaeris meyeniana</i> y <i>Plantago australis</i> de las distancias 0 y 1.	77
23. Test de Tukey para Plomo en hojas y raíces de <i>Taraxacum officinale</i> , <i>Hypochaeris meyeniana</i> y <i>Plantago australis</i> de las distancias 0 y 1.	77
24. ANOVA para Bioacumulacion de Cadmio en <i>Taraxacum officinale</i> , <i>Hypochaeris meyeniana</i> y <i>Plantago australis</i> , a la distancia 0 y 1.	78
25. Test de Tukey para bioacumulación de Cadmio en raíces de <i>Taraxacum</i> <i>officinale</i> , <i>Hypochaeris meyeniana</i> y <i>Plantago australis</i> , de las distancias 0 y 1.	78
26. ANOVA para Bioacumulacion de Cromo en <i>Taraxacum officinale</i> , <i>Hypochaeris</i> <i>meyeniana</i> y <i>Plantago australis</i> , a la distancia 0 y 1.	79
27. Test de Tukey para bioacumulación de Cromo en raíces de <i>Taraxacum</i> <i>officinale</i> , <i>Hypochaeris meyeniana</i> y <i>Plantago australis</i> de las distancias 0 y 1.	79
28. ANOVA para bioacumulación de Plomo en <i>Taraxacum officinale</i> , <i>Hypochaeris</i> <i>meyeniana</i> y <i>Plantago australis</i> , a la distancia 0 y 1.	80
29. Test de Tukey para bioacumulación de Plomo en raíces de <i>Taraxacum</i> <i>officinale</i> , <i>Hypochaeris meyeniana</i> y <i>Plantago australis</i> de las distancias 0 y 1.	80
30. ANOVA para la Translocación de Cadmio en <i>Taraxacum officinale</i> , <i>Hypochaeris meyeniana</i> y <i>Plantago australis</i> a la distancia 0 y 1.	81
31. Test de Tukey para translocación de Cadmio, de raíz a parte aérea en <i>Taraxacum officinale</i> , <i>Hypochaeris meyeniana</i> y <i>Plantago australis</i> , de la distancia 0 y 1.	81
32. ANOVA para Translocación de Cromo en <i>Taraxacum officinale</i> , <i>Hypochaeris meyeniana</i> y <i>Plantago australis</i> , a la distancia 0 y 1.	82



33. Test de Tukey para translocación de Cromo, de raíz a parte aérea en *Taraxacum officinale*, *Hypochaeris meyeniana* y *Plantago australis*, de la distancia 0 y 1. 82
34. ANOVA para Translocación de Plomo en *Taraxacum officinale*, *Hypochaeris meyeniana* y *Plantago australis* a la distancia 0 y 1. 83
35. Test de Tukey para translocación de Plomo, de raíz a parte aérea en *Taraxacum officinale*, *Hypochaeris meyeniana* y *Plantago australis*, de la distancia 0 y 1. 83
36. ANOVA para concentración de cadmio en infusión y cocción de la parte aérea y raíz de diente de león, pilli pilli y puna llantén. 84
37. Test de Tukey para concentración de Cadmio, en infusión y cocción de raíz a parte aérea en *Taraxacum officinale*, *Hypochaeris meyeniana* y *Plantago australis*, de la distancia 0 y 1. 84
38. ANOVA para concentración de Cromo en infusión y cocción de la parte aérea y raíz de *Taraxacum officinale*, *Hypochaeris meyeniana* y *Plantago australis*. 85
39. Test de Tukey para concentración de Cromo, en infusión y cocción de raíz a parte aérea en *Taraxacum officinale*, *Hypochaeris meyeniana* y *Plantago australis*, de la distancia 0 y 1. 85
40. ANOVA para concentración de Plomo en infusión y cocción de la parte aérea y raíz de *Taraxacum officinale*, *Hypochaeris meyeniana* y *Plantago australis*. 86
41. Test de Tukey para concentración de Plomo, en infusión y cocción de raíz a parte aérea en *Taraxacum officinale*, *Hypochaeris meyeniana* y *Plantago australis*, de la distancia 0 y 1. 86
42. ANOVA para concentración de Cadmio en suelo de plantas de la distancia 0 y 1. 87
43. ANOVA para concentración de Cromo en suelo de plantas de la distancia 0 y 1. 87
44. ANOVA para concentración de Plomo en suelo de plantas de la distancia 0 y 1. 88

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1. <i>Taraxacum officinale</i> F.H. Wigg (Diente de león)	4
2. <i>Plantago australis</i> subsp <i>hirtella</i> (Kunth) (puna llantén)	6
3. <i>Hypochaeris meyeniana</i> (Walp) Bent. & Hook.f. ex Griseb (pilli pilli)	7
4. Principales fuentes de procedencia de metales pesados en suelos	9
5. Ubicación geográfica de la zona de muestreo	27
6. Ubicación geográfica del centro histórico del Cusco, cerca de la zona de muestreo	28
7. Flujograma de la metodología desarrollada	29
8. Variación de concentración de cadmio entre las partes de las plantas y la distancia	37
9. Variación de concentración de cromo entre las partes de las plantas y la distancia	39
10. Variación de concentración de plomo entre las partes de las plantas y la distancia	41
11. Bioacumulación de cadmio en <i>T. officinale</i> , <i>H. meyeniana</i> y <i>P. australis</i> a la distancia 0 y 1	45
12. Bioacumulación de Cromo en <i>T. officinale</i> , <i>H. meyeniana</i> y <i>P. australis</i> a la distancia 0 y 1	47
13. Bioacumulación de Plomo en <i>T. officinale</i> , <i>H. meyeniana</i> y <i>P. australis</i> a la distancia 0 y 1	49
14. Variación de translocación de cadmio en <i>T. officinale</i> , <i>H. meyeniana</i> y <i>P. australis</i> a la distancia 0 y 1	51
15. Variación de translocación de cromo en <i>T. officinale</i> , <i>H. meyeniana</i> y <i>P. australis</i> , a la distancia 0 y 1	53
16. Variación de translocación de Plomo en <i>T. officinale</i> , <i>H. meyeniana</i> y <i>P. australis</i> , a la distancia 0 y 1	55
17. Concentración de Cadmio en infusión y cocción de la parte aérea y raíz de <i>T. officinale</i> , <i>H. meyeniana</i> y <i>P. australis</i>	57
18. Concentración de Cromo en infusión y cocción de <i>T. officinale</i> , <i>H. meyeniana</i> y <i>P. australis</i> de la parte aérea y raíz	59
19. Concentración de Plomo en infusión y cocción de la parte aérea y raíz de <i>T. officinale</i> , <i>H. meyeniana</i> y <i>P. australis</i>	61



20. Zona de muestreo (cerca al tráfico)	96
21. Zona de muestreo (lejos del tráfico)	96
22. Afluencia vehicular cerca de la zona de muestreo	96
23. Ubicación de zona de <i>Plantago australis</i> (puna llantén)	96
24. Ubicación de zona de <i>Hypochaeris meyeniana</i> (pilli pilli)	96
25. Ubicación de zona de <i>Taraxacum officinale</i> (diente de león)	97
26. <i>Plantago australis</i> (puna llantén) recolectado	97
27. <i>Taraxacum officinale</i> (diente de león) recolectado	97
28. <i>Hypochaeris meyeniana</i> (pilli pilli) recolectado	97
29. Recolección de suelos de las plantas en estudio	98
30. Materia seca de parte aérea de <i>Plantago australis</i>	98
31. Materia seca de raíz de <i>Plantago australis</i>	98
32. Materia seca de parte aérea de <i>Hypochaeris meyeniana</i> (pilli pilli)	98
33. Materia seca de raíz de <i>Hypochaeris meyeniana</i> (pilli pilli)	98
34. Materia seca de parte aérea de <i>Taraxacum officinale</i> (diente de león)	99
35. Materia seca de raíz de <i>Taraxacum officinale</i> (diente de león)	99
36. Equipo ICP-MS	99
37. Digestión ácida de las muestras en el Hot block	99



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
1. Prueba estadística de normalidad, homogeneidad e independencia de los resultados	74
2. Tratamiento estadístico de las concentraciones de cadmio, cromo y plomo en partes de las plantas	75
3. Tratamiento estadístico de bioacumulación de cadmio, cromo y plomo en <i>Taraxacum officinale</i> , <i>Hypochaeris meyeniana</i> y <i>Plantago australis</i>	78
4. Tratamiento estadístico de translocación de cadmio, cromo y plomo en <i>Taraxacum officinale</i> , <i>Hypochaeris meyeniana</i> y <i>Plantago australis</i>	81
5. Tratamiento estadístico de concentración de cadmio, cromo, plomo en infusiones y cocciones de hojas y raíces de <i>Taraxacum officinale</i> , <i>Hypochaeris meyeniana</i> y <i>Plantago australis</i>	84
6. Informe de identificación botánica de <i>Taraxacum officinale</i> , <i>Hypochaeris meyeniana</i> y <i>Plantago australis</i>	89
7. Informe de resultados del análisis químico de las muestras	90
8. Galería Fotográfica	96

RESUMEN

Las plantas medicinales durante su desarrollo están expuestas a contaminantes ambientales, constituyendo un riesgo para la salud. El objetivo de esta investigación fue determinar la bioacumulación de los metales pesados cadmio, cromo y plomo en *Taraxacum officinale* F.H. Wigg (diente de león), *Hypochaeris meyeniana* (Walp) Bent (pilli pilli), y *Plantago australis* subsp *hirtella* (Kunth) Rahn (puna llantén), recolectadas en la comunidad de Huayllarccochoa, cercana al tráfico vehicular de la ciudad de Cusco. Estos metales fueron cuantificados por espectrometría ICP-MS, en raíces y parte aérea de las plantas investigadas. Según los resultados, el *Taraxacum officinale* presenta la mayor concentración de cromo con 4,793 mg/Kg en D-H-1 y *Plantago australis* con 3,2 mg/Kg de plomo en LL-R-0. Los factores de bioacumulación muestran valores menores a 1, con diferencias significativas para Cr y Pb, resaltando *Hypochaeris meyeniana* con un FB de 1,395 para Cd en P-R-1. La capacidad de translocación es mayor para Pb en *Taraxacum officinale*, disminuyendo con la distancia cercana al tráfico, con un FT de 21,393; pero, en la misma especie, el FT para Cr aumenta con la distancia cercana al tráfico vehicular, con un FT de 4,273. Las infusiones y cocciones de estas plantas contienen bajas concentraciones de cadmio, cromo y plomo; aumentando en los extractos por cocción, principalmente el Cr en infusiones y cocciones de *Taraxacum officinale* entre 1,153 µg /L a 2,1 µg /L. Estas concentraciones son menores a los máximos permisibles para agua de consumo según la OMS; pero, al acumularse a largo plazo afectaría la salud.

Palabras claves: *Taraxacum officinale*, *Hypochaeris meyeniana*, *Plantago australis*, metales pesados, bioacumulación y translocación.

ABSTRACT

During their development, medicinal plants are exposed to environmental contaminating factors, which constitutes a risk for consumers' health. The objective of this research was to determine the bioaccumulation of the heavy metals cadmium, chromium, and lead in the medicinal plants *Taraxacum officinale* F.H. Wigg (dandelion), *Hypochaeris meyeniana* (Walp) Bent (pilli pilli), and *Plantago australis* subsp *hirtella* (Kunth) Rahn (puna llantén), collected in the community of Huayllarccocha, near areas of high vehicular traffic in the city of Cusco. These metals were quantified by ICP-MS spectrometry in the roots and aerial parts of the investigated plants. According to the results, *Taraxacum officinale* has the highest concentration of chromium with 4,793 mg/kg in D-H-1 and *Plantago australis* with 3,2 mg/kg of lead in LL-R-0. The bioaccumulation factors show values less than 1, with significant differences for Cr and Pb, highlighting *Hypochaeris meyeniana* with a BF of 1,395 for Cd in P-R-1. The translocation capacity is higher for Pb in *Taraxacum officinale*, decreasing with distance close to traffic, with a TF of 21,393; but in the same species, the TF for Cr increases with distance close to vehicular traffic, with a TF of 4,273. The infusions and decoctions of these plants contain low concentrations of cadmium, chromium and lead, increasing in the extracts by decoction, mainly Cr in infusions and decoctions of *Taraxacum officinale* between 1,153 µg /L to 2,1 µg /L. These concentrations are lower than the maximum permissible for drinking water according to the WHO; but when accumulated in the long term, they would affect health.

Key words: *Taraxacum officinale*, *Hypochaeris meyeniana*, *Plantago australis*, heavy metals, bioaccumulation, translocation.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años al incrementarse la actividad industrial, minera, agrícola y el tráfico vehicular ha dado lugar a problemas medioambientales, principalmente contaminación de los suelos, aguas y aire, por acumulación de metales pesados y dispersión de material particulado en la atmosfera, afectando a plantas, animales y humanos, seres altamente vulnerables a la contaminación. Uno de los grupos más afectados resulta ser las especies vegetales; sin embargo, existen especies vegetales que tienen una considerable capacidad de bioacumular metales pesados y se adaptan en suelos contaminados, entre ellas muchas plantas medicinales, por esta propiedad pueden ser aprovechadas en la remediación de suelos contaminados por metales pesados. Sin embargo, existe un riesgo en el consumo de estas, asociado con su posible contaminación con metales pesados, que puede generar problemas en la salud.

En la ciudad del Cusco, la mayoría de la población acude a la medicina alternativa para aliviar algunas dolencias, haciendo uso de las propiedades curativas de muchas plantas medicinales propias de la región, que son adquiridas en los mercados de la ciudad, donde se expenden estas plantas medicinales. Buena parte de estas plantas son recolectadas de lugares expuestos a la contaminación ambiental, producto de muchas actividades antropogénicas, como es el excesivo tráfico vehicular, que en los últimos años representa una fuente importante de la contaminación ambiental.

Por la importancia que representa considerar el riesgo del uso de plantas medicinales proveniente de zonas posiblemente contaminadas, la presente investigación ha evaluado la capacidad bioacumulativa y de translocación de metales pesados Cd, Cr y Pb, de tres plantas medicinales: *Taraxacum officinale* F.H.Wigg, (diente de león), *Hypochoeris meyeniana* (Walp) Bent (pilli pilli), *Plantago australis* subsp *hirtella* (Kunth) Rahn (Puna llantén) recolectadas en la comunidad de Huayllarccocha cercana a zonas de alto tráfico vehicular de la ciudad del Cusco, donde a diario se movilizan cientos de turistas con el deseo de visitar muchos centros arqueológicos aledaños a la zona de recolección de las muestras.

Con este objetivo se ha elegido una zona cercana al tráfico vehicular y otra alejada del tráfico, para realizar la recolección de las plantas que luego fueron separadas en raíces y la biomasa aérea, así también se ha tomado muestras de suelos de las plantas en estudio. Todas las muestras fueron sometidas a la cuantificación de Cd, Cr y Pb, mediante la



técnica del análisis elemental inorgánico ICP-MS (Espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente). Las mismas determinaciones se realizaron en infusiones y decocciones de las tres plantas medicinales elegidas, para corroborar el riesgo o no del consumo de estas preparaciones, dada la toxicidad de estos metales a ciertas concentraciones.

Todos los resultados fueron analizados estadísticamente para evaluar la diferencia significativa entre los grupos investigados y plantear las conclusiones de acuerdo a los objetivos planteados.



CAPÍTULO I

REVISION DE LITERATURA

1.1. Marco Teórico

1.1.1. Plantas medicinales

Una planta medicinal se define como aquella planta que en uno o más de sus órganos contiene sustancias con propiedades terapéuticas o son precursores para la semisíntesis químico-farmacéutica. Su actividad primordial a veces específica, es servir como droga o medicamento que alivia o restablece la salud (Muñoz Lopez, 2002), muchas veces basada en el conocimiento profundo del entorno, transmitido de generación en generación y enriquecido por la integración cultural de la población nativa y migrante, que ha dado lugar a la medicina popular y la herboristería actual, que ayudan en parte a resolver los problemas de salud de la población menos favorecida (Mejía & Rengifo, 2000), con pocas posibilidades de curarse, debido al costo elevado de los fármacos modernos.

En el Perú la riqueza de las plantas medicinales es muy amplia, que comprende más de 4400 especies de usos conocidos por las poblaciones locales, de las cuales un gran porcentaje se presenta en la región andina (Brack,1999; Huamantupa et al., 2011), por ejemplo, *Stachys herrerae* "cáncer qora", *Hypochaeris taraxacoides* "pilli pilli" y *Matricaria recutita* L."manzanilla", que son ampliamente expandidas en los mercados de la ciudad del Cusco (Mantilla, 2014), donde además puede encontrarse varias especies originarias de Europa y Asia, como la "sábila", "manzanilla", "cedroncillo", "retama" y la "hierba buena", que además son cultivadas en chacras y huertas de las casas (Huamantupa et al., 2011).

1.1.1.1. Toxicidad de las plantas medicinales

Existe un riesgo en el consumo de las hierbas medicinales relacionado con la posible contaminación con metales pesados, que puede causar muchos problemas de salud, si bien estas hierbas contienen metales, como Ca, Mg y Zn que son esenciales para la salud humana, otros como Pb, Cd, Cr, y Al están identificados como tóxicos (Diaconu et al., 2013).

Es común que la población utilice la medicina herbaria muchas veces por un período continuo para lograr los efectos deseados, con el inconveniente de que el consumo prolongado de tales plantas, puede causar un peligro crónico para la salud, por contener metales pesados en concentraciones tóxicas (Petrova et al., 2013); más aún, si se encuentra por encima de los niveles permitidos por las normas de la OMS, por ejemplo, indica que la concentración de plomo en productos a base de hierbas, debe tener como máximos de 10 mg/kg. Sin embargo, países como Canadá establecen niveles máximos de 0,2 mg/kg (Alvarez et al., 2008).

Muy a pesar de conocer la existencia de algunos productos herbarios que pueden contener concentraciones inusualmente altas de contaminantes metálicos, que posiblemente generen casos fatales de toxicidad o de envenenamiento, a nivel mundial por muchos años, el uso de las plantas medicinales se ha popularizado como una alternativa de terapia por sus propiedades curativas (Chank, 2003).

1.1.1.2. *Taraxacum officinale* F.H. Wigg (Diente de león)



Figura 1. *Taraxacum officinale* F.H. Wigg (Diente de león)

Fuente: Tupayachi H. Alfredo- Herbario Vargas –UNSAAC (Anexos 2)

Clasificación botánica

Clase: Magnoliopsida

Orden: Asterales

Familia: Asteraceae

Género: *Taraxacum*

Especie: *Taraxacum officinale* F.H.Wigg

Sinonimias: *Leontodon taraxacum* L., *L. vulgare* Lam., *Taraxacum dens-lionis* Desf., *T. mexicanum* DC., *T. retroflexum* H. Lindb., *T. subspatulatum* A.J. Richards, *T. sylvaticum* R. Doll, *Taraxacum taraxacum* (L) H.Karst, *T. tenejapense* A.J. Richards, *T. vulgare* Schrank.

Nombres comunes: “Achicoria”, “Diente de león”, “Añargón”

Descripción : Considerada como una planta herbácea, perenne, acaule, sin tallo, llega a medir 20-30 cm de altura, tiene un látex lechoso, sus raíces son pivotantes, gruesas y profundas y pueden llegar a medir 30 cm de longitud, sus hojas son lobuladas, lanceoladas y dentadas sin peciolo, dispuestas en roseta a nivel del suelo, la inflorescencia es en capítulos solitarios en un pedúnculo hueco que nace del centro de la planta, los capítulos contienen numerosas flores amarillas (Fonnegra & Jimenez, 2007).

Usos: Comúnmente se recomienda su uso en forma de decocción, infusión, jugo, tinturas, extractos y purgantes. Las hojas tiernas y frescas se emplean como depurativo de la sangre, el látex se utiliza como remedio para eliminar las verrugas, la decocción de la raíz pulverizada se utiliza como laxante, diurético y colagogo; se conoce como un remedio eficaz contra las afecciones hepáticas, renales y de las vías urinarias; también la decocción de sus hojas se utiliza como estimulante sudorífico, diurético (Fonnegra & Jimenez, 2007); también, se usa para disminuir niveles de ácido úrico en la sangre en pacientes con gota y para tratar el paludismo (Orellana, 2008).

1.1.1.3. *Plantago australis* subsp *hirtella* (Kunth) (puna llantén)

Es original de América Central, crece en suelos húmedos, con pH ácido, neutro o alcalino con textura arenosa o arcillosa.



Figura 2. *Plantago australis* subsp *hirtella* (Kunth) (puna llantén)

Fuente: Tupayachi H. Alfredo- Herbario Vargas –UNSAAC (anexo)

Clasificación botánica

Clase: Magnoliopsida

Orden: Lamiales

Familia: Plantaginaceae

Género: *Plantago*

Especie: *Plantago australis* subsp *hirtella*
(Kunth) Rahn

Sinonimias: *Plantago bicallosa* Decne., *P. cantagallensis* Zahlb. Ex Wawra., *P. galeottiana* Decne., *P. hirtella* fo. *minor* (Pilg.) Pilg., *P. hirtella* Kunth, *P. hirtellavar. brachipus* Pilg., *P. hirtella* var. *denticulata* Pilg., *P. hirtella* var. *galeottiana*(Decne.) Pilg., *P. glabrescens* (Schitdl. EX J. A Schmidt) Pilg., *P. hirtella* var. *mollier* Pilg., *P. leptophylla* Decne., *P. veratrifolia* Decne., *P. virginica* var. *Hirtella* (Kunth) Kuntze.

Nombres comunes: “Puna llantén”, “Ocjo ojo llantén”, “Huacac ccallun”

Descripción: Se considera una hierba perenne, hasta 68 cm de altura, glabras a pilosas; tallo hasta de 3 cm de largo, las raíces fibrosas en los nudos de tallos maduros. Hojas de 3,5-37 cm de largo, lámina elíptica, de 2,5-20 cm de largo, 0,9-5,8 cm de ancho, glabra, pilosa, el margen dentado, generalmente ciliada, el ápice agudo, la base cuneada, ligeramente decurrente, la nerviación primaria con 2-4 pares de nervios en la base, el pecíolo ligeramente acanalado, de 1-23 cm de largo, glabro a piloso, entero a ciliada. Inflorescencias de 6,8-68 cm de largo, las espigas cilíndricas-lineares, de 2,3-33 cm de largo, hasta 380 flores dispuestas en espiral, el escapode 1,7-48,5 cm de largo, piloso. Es

ubicada a una altitud de 610-3200 ms.n.m, generalmente en bosques de abietos, pinares, selva mediana, pastizales (Lopez & Avendaño, 1999).

Usos: Es utilizada en medicina folklórica como laxante, diurética, antiinflamatoria, antibacterial, cicatrizante, úlceras gástricas y hemorroides.

1.1.1.4. *Hypochaeris meyeniana* (Walp) Bent. & Hook.f. ex Griseb. (pilli pilli)



Figura 3. *Hypochaeris meyeniana* (Walp) Bent. & Hook.f. ex Griseb (pilli pilli)

Fuente: Tupayachi H. Alfredo- Herbario Vargas –UNSAAC (anexo)

Clasificación botánica

Clase: Magnoliopsida

Orden: Asterales

Familia: Asteraceae

Género: *Hypochaeris*

Especie: *Hypochaeris meyeniana* (Walp)
Bent. & Hook.f. ex Griseb.

Sinonimias: *Achyrophorus meyenianus* (Walp.) Walp., *Hypochaeris meyenianus* var. *ciliatus* Led, *H. meyenianus* var. *brachilepis* Cabrera, *H. meyenianus* var. *Cilata* (Wedd.) Perkins, *H. meyenianus* var. *eriolanoides* Cabrera, *Oreophyla meyeniana* Walp.

Nombres comunes: “Pilli”, “Misq’i pilli”. “pilli pilli”

Descripción: Hierba perenne con rizomas gruesos del que nacen rosetas de hojas anuales oblanceoladas o espatuladas, profundamente runcinadas, glabras o laxamente hirsutas, capítulos solitarios sésiles, con flores marginales liguladas amarillas. Aquenio cilindroide papus blanco. En América del Sur la especie estudiada se presenta en altas montañas y punas del sur del Perú, Bolivia y Noroeste de Argentina entre los 2800 y 4300 ms.n.m, floración de febrero a marzo (Beck et al., 2010).

Usos: Se preparan infusiones utilizando las raíces secas, con efectos diuréticos y antitusivos. Las infusiones de sus hojas se toma para tonificar el hígado, limpia manchas en el rostro, trata vinagrera; también se usa, la infusión de toda la planta para limpiar los riñones e hígado, la planta también se usa para hacer baños refrescantes a fin de aliviar el calor interno, para lo cual se mezcla con sábila (Rado, 2011).

1.1.2. Metales pesados

El término “Metales pesados” es generalmente aplicado a metales y metaloides con una densidad atómica mayor que 6 g/cm^3 , ampliamente reconocido y usualmente aplicado a los elementos como cadmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), mercurio (Hg), níquel (Ni), plomo (Pb) y zinc (Zn), los cuales son comúnmente asociados con la polución y problemas de toxicidad (Awodele et al., 2013), considerados tóxicos o venenosos en concentraciones incluso muy bajas (Prieto et al., 2009).

Debido a que los metales pesados no son biodegradables, tienen una vida media biológica larga y un potencial de acumularse en diferentes órganos del cuerpo, dando lugar a efectos no deseados (Singh et al., 2010; Gebrekidan et al., 2013).

1.1.2.1 Estado natural de los metales pesados en los suelos

En el suelo, comúnmente los metales pesados pueden estar presentes como iones libres o disponibles, compuestos de sales metálicas solubles, compuestos insolubles o parcialmente solubles como óxidos, carbonatos e hidróxidos (Pineda, 2004); sin embargo, la solubilidad y movilidad de los metales depende de su estado de oxidación y de su forma iónica (Bolan et al., 2014).

Los metales pesados en forma de iones libres, en los suelos pueden tener

acción directa sobre los seres vivos, que pueden causar el bloqueo de las actividades biológicas, es decir, la inactivación enzimática, debido a la formación de enlaces entre el metal y los grupos –SH de las proteínas, causando daños irreversibles en los diferentes organismos.

1.1.2.2 Fuentes de metales pesados

Una de las principales fuentes de metales pesados está asociada a las actividades antropogénicas, como los procesos industriales, fábricas, eliminación de materiales de desecho doméstico e industriales y la aplicación de fertilizantes fosfatados, que favorecen el enriquecimiento de metales y metaloides en el suelo (Adriano, 2001; Bolan et al., 2014). A esto se añade también el desprendimiento de forma natural, producto de la meteorización de materiales originales del suelo incluidas las rocas ígneas, rocas sedimentarias y carbón (Bolan et al., 2014).

El uso de fertilizantes y pesticidas con contenido de Pb y Cd, representa otra de las fuentes contaminantes, como también el uso de combustibles fósiles, fundiciones y otras técnicas que liberan metales al medio ambiente, que luego serán depositados en los suelos y en la vegetación (Alvarez et al., 2008), por otro lado, el tráfico vehicular constituye s una fuente primaria de niveles elevados de metales pesados en el medio ambiente urbano como también en las carreteras (Galal & Shehata, 2015; Zereini et al., 2007).

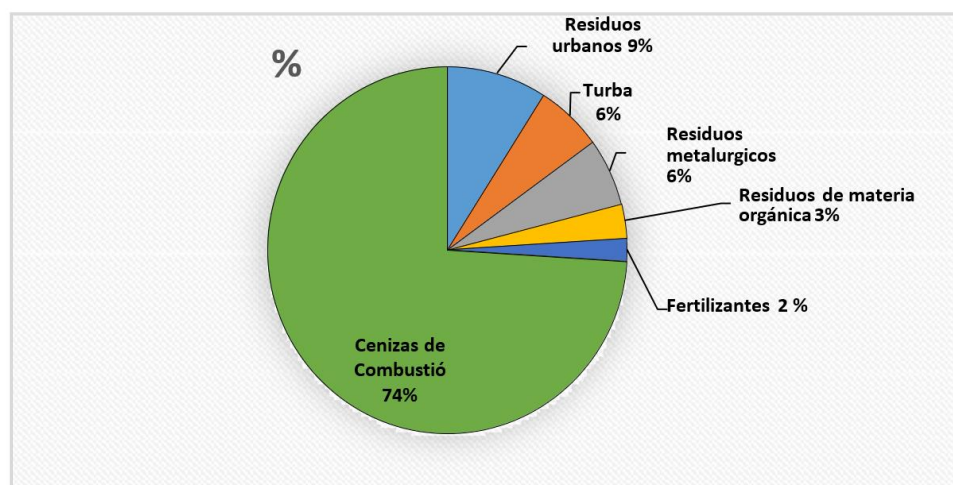


Figura 4. Principales fuentes de procedencia de metales pesados en suelos

Fuente: (F. J. Diez Lázaro, 2008; Mas & Azcue, 1993)

1.1.2.3. Cadmio

El cadmio es un elemento no esencial para los seres vivos y poco abundante en la corteza terrestre; pero a bajas concentraciones puede resultar ser muy tóxico para todos los organismos vivos (Pinto et al., 2004), además no se corroe fácilmente y tiene muchos usos, por ejemplo en baterías, pigmentos, revestimiento de metales y plásticos (Agency for Toxic Substance and Disease Registry, 2008).

La mayor parte de terrenos y rocas, incluidos minerales de carbón y abonos minerales, contienen Cd, tratándose por lo tanto, de un elemento enormemente ubicuo en el medio ambiente; sin embargo, este ha aumentado como consecuencia del incremento de la actividad industrial que tuvo lugar a finales del siglo XX y principios del siglo XXI, afectando de forma progresiva a los diferentes ecosistemas (Pinto et al., 2004).

Se puede difundir en el medio ambiente, tanto por procesos naturales como por actividades humanas, entre las que destacan la quema de combustibles fósiles, la incineración de residuos, los procedimientos de fundición y el uso de fertilizantes fosfatados (Agency for Toxic Substance and Disease Registry, 2008).

Su absorción por plantas y animales puede dar lugar a la exposición humana a través de la dieta (Martín, 2017), en general el consumo de hortalizas y frutas con niveles elevados de cadmio, es la principal fuente de este metal en la dieta.

Toxicidad del cadmio

Respirar niveles altos de cadmio puede dañar gravemente los pulmones, como también ingerir alimentos o tomar agua con niveles muy altos de este metal, produce irritación grave del estómago causando vómitos y diarrea (Agency for Toxic Substance and Disease Registry, 2012).

El cadmio es absorbido en humanos en un porcentaje muy bajo (3-5 %), pero es retenido en el riñón y el hígado; la toxicidad se manifiesta especialmente, cuando se acumula en las células tubulares proximales con posibles consecuencias de disfunción renal, y posterior desmineralización ósea

(Jimenez, 2015); por consiguiente la exposición crónica al cadmio puede causar nefrotoxicidad en humanos, principalmente anomalías de reabsorción tubular (Nordberg, 1999).

El Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS) y la Agencia para la Investigación del Cáncer (IARC) han determinado que el cadmio y los compuestos de cadmio son carcinogénicos (Agency for Toxic Substance and Disease Registry, 2012), debido a que la vida media es de hasta 26 años en el organismo humano, por lo que pueden tener efectos teratogénicos en humanos, como ya se ha demostrado ampliamente en animales (Calle et al., 2015).

Entre otras afecciones el cadmio puede producir anemia, enfermedades cardiovasculares, daño al hígado y provocar cambios metabólicos del calcio. En las áreas urbanas se han llegado a encontrar de 5 a 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de aire, provocando la neumonitis química (Martell, 2014).

1.1.2.4. Cromo

El cromo es un elemento metálico natural que se encuentra en rocas, animales, plantas y el suelo, el desgaste de rocas es probablemente la principal fuente de cromo para el enriquecimiento en las plantas (Hu et al., 2014a), concentrándose más en raíces que en hojas (Kabata-Pendias, 1992).

Otra fuente de cromo (VI) y el cromo (III) deriva de su uso en cromado, como colorantes y pigmentos, curtido de cuero y preservación de madera (Agency for Toxic Substance and Disease Registry, 2012).

En la mayoría de los suelos el cromo puede existir en dos estados de oxidación; cromo (VI) que tiene una mayor movilidad y el cromo (III) es más estable y siendo levemente móvil en suelos muy ácidos. Sin embargo, la presencia de la materia orgánica favorece la reducción de cromo (VI) a cromo (III) (Sobrero, 2010). El Cr (VI) se hace más riesgoso para la salud humana debido a su alta solubilidad, toxicidad y movilidad (Shanker et al., 2005).

Toxicidad del cromo

En forma de cromo (III) es un nutriente esencial y es relativamente no tóxico para el hombre. Los efectos adversos del cromo para la salud dependen,

especialmente, del grado de valencia de este elemento en el momento de la exposición y de la solubilidad del compuesto. Las únicas formas de importancia en toxicología son el cromo VI y el cromo III. Una exposición de corta duración al cromo III puede causar irritación mecánica en los ojos y en el tracto respiratorio, si se inhala se presenta tos (Piedad et al., 2010), así mismo, el Cr (VI) es conocido por causar varios efectos sobre la salud, debilitamiento del sistema inmune, daño en los riñones e hígado, alteración del material genético y cáncer de pulmón (Martín, 2017).

1.1.2.5. Plomo

Se encuentra de manera natural, comúnmente en combinación con otros elementos formando compuestos de plomo, este elemento se halla tanto en forma orgánica como inorgánica. El plomo inorgánico se encuentra en la pintura vieja, en el suelo y en los gases de combustión producidos por la gasolina con plomo, que también contribuyen a la contaminación ambiental con plomo inorgánico. Hoy en día, el plomo inorgánico se encuentra principalmente en los contextos ocupacionales y su toxicidad es mayor que la del plomo orgánico, debido a que su absorción en el cuerpo humano es más fácil (ATSDR, 2020).

El plomo es removido del aire por la lluvia y por partículas que caen al suelo o a aguas de superficie. Entonces, el suelo se contamina por la adherencia de este material a sus partículas. La principal fuente de contaminación del suelo es la pintura que por desgaste se desprende de edificios y otras estructuras (Piedad et al., 2010).

En el suelo de terrenos no cultivados se han encontrado de 8 a 20 mg Pb/Kg mientras que en terrenos cultivados puede llegar a encontrarse por encima de 360 mg Pb/Kg y cerca de fuentes de contaminación industrial, el suelo alcanza contenidos de 10 g/Kg de Pb o más. En áreas rurales, los niveles de plomo en el aire son del orden de $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ o menos; sin embargo, dependiendo del grado de contaminación, en zonas urbanas las cantidades de plomo en el aire están comprendidas entre 1 y $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y ocasionalmente pueden ser mucho mayores. Es el uso de plomo como aditivo antidetonante en las gasolinas lo que más ha contribuido a la acumulación de este metal en el medio ambiente.

El plomo procedente de las gasolinas supone el 76% de las emisiones de este metal a la atmósfera (Rubio, 2004). Se sabe además que las tierras de cultivo presentan mayor concentración de plomo cuando se encuentran cerca de alguna vía donde de lugar a congestionamientos de vehículos (Huanri, 2014).

Toxicidad del plomo

El tema sobre la toxicidad del plomo es muy amplio considerando que tiene efectos tóxicos en muchos órganos, sistemas y procesos fisiológicos, incluyendo el desarrollo de la línea roja hemática, los riñones, el sistema cardiovascular, el aparato reproductor y probablemente, el de mayor gravedad está relacionado al desarrollo del sistema nervioso central. La naturaleza de las manifestaciones de toxicidad no sólo dependen de la magnitud de la exposición, sino también de las características de la persona expuesta; la neurotoxicidad del plomo es más crítica para el feto en desarrollo y el niño en crecimiento que para los adultos (González Valdez et al., 2008; Piedad et al., 2010).

En los Estados Unidos, el síndrome del sistema nervioso central (encefalopatía por plomo) se observa con mayor frecuencia en niños y el síndrome gastrointestinal es más frecuente en adultos. En los niños, la encefalopatía por plomo se caracteriza por letargo, embotamiento mental, vómitos, irritabilidad, anorexia y mareos que pueden progresar a ataxia, estupor y posiblemente la muerte (Gwaltney-Brant, 2013).

En general se sabe que existe riesgo de toxicidad al adicionar hierbas contaminadas con metales pesados a medicamentos (Awodele et al., 2013), que puede dar lugar a una acumulación crónica de estos metales en órganos humanos. La bioacumulación de metales pesados puede resultar a mediano y largo plazo un riesgo para la salud, que se manifiesta de diferentes maneras, tal como dolor abdominal, mal formaciones en el feto humano (causando aborto, parto prematuro) y retardo mental en niños. En los adultos pueden también experimentarse presión alta, fatiga, disturbios renales y cerebrales (Hifsa et al., 2009).

1.1.3. Normas internacionales de límites máximos permisibles de concentración de metales pesados en plantas medicinales

La consecuencia de riesgo de salud asociado con la contaminación con metales pesados ha dado lugar a desarrollar estándares de calidad y seguridad para hierbas medicinales que claramente estipulan los valores máximos admisibles para metales pesados en hierbas medicinales (Chen & Jia, 2005). Sin embargo, existen muchas discrepancias entre los países sobre los requisitos reglamentarios que debe exigirse para garantizar la seguridad y calidad de productos a base de plantas medicinales.

En la Tabla 1, se tiene algunos valores máximos para metales tóxicos establecidos por ciudades en diferentes regiones del mundo, que han sido publicadas por la WHO en el 2007, que propuso un límite de 10 $\mu\text{g/g}$ para Pb y 0,3 $\mu\text{g/g}$ para Cd en hierbas secas. Varios países, incluidos Canadá, China, Malasia, Singapur y Tailandia han desarrollado sus propias directrices nacionales para garantizar niveles satisfactorios de metales pesados en plantas medicinales y productos a base de plantas. Aunque ciertos elementos esenciales pueden ser tóxicos a altos niveles; los límites de la OMS para estos metales aún no han sido establecidos (Street, 2012).

Tabla 1

Límites para metales pesados en productos de hierbas medicinales

		Arsénico	Plomo	Cadmio	Cromo	Mercurio
Canadá	Materia prima de hierbas	5 ppm	10 ppm	0,3 ppm	2 ppm	0.2 ppm
	Productos terminados a base de hierbas	0,01 mg/día	0,02 mg/día	0,06 mg/día	0,02 mg/día	0,02 mg/día
China	Materia prima de hierbas	2 ppm	10 ppm	1 ppm		0,5 ppm
Malasia	Productos terminados a base de hierbas	5 mg/Kg	10 mg/kg			0,5 mg/Kg
República de Corea	Materia prima de hierbas		30 ppm			
Singapur	Producto terminado	5 ppm	20 ppm			0,5 ppm
Tailandia	Materia prima de hierbas y productos terminados	4 ppm	10 ppm	0,3 ppm		
	Recomendaciones de la OMS		10 mg/Kg	0,3 g/Kg		

Fuente: (Street, 2012; WHO, 2005)

1.1.3.1. Límites máximos permisibles para metales pesados en aguas de bebida

Cadmio

El nivel establecido por la OMS es de 0,003 mg/L el cual es adoptado por el 38,88% de los países, el 61,11% restante permite concentraciones mayores de este metal, aunque siguiendo una tendencia muy pareja que va en los 0,05 mg/L. Sin embargo, Costa Rica y Nicaragua presentan una desviación al permitir un nivel de cadmio en el agua de 0,05 mg/L (FAO/OMS, 2003).

Cromo

Las guías de la OMS establecen un nivel máximo recomendable de 0,05 mg/L, valor que ha sido prácticamente adoptado por todos los países (89,47%) a excepción de Estados Unidos, que permite 0,1 mg/L y Colombia que considera valores por debajo de lo recomendado al permitir un nivel máximo de 0,01 mg/L. Esta tendencia muestra un comportamiento muy homogéneo de las leyes de agua potable en los respectivos países en cuanto al manejo de la cantidad de cromo en el agua de consumo humano (FAO/OMS, 2003).

Plomo

La concentración de plomo recomendada por la OMS es de 0,01 mg/L, valor sobre el cual se mantiene la mayoría de los países americanos, en total el 63,15%. República Dominicana, Argentina, Brasil, Chile y Uruguay por su parte permiten un límite máximo de 0,05 mg/L excediendo la recomendación de la OMS. México y los Estados Unidos también admiten valores superiores a los recomendados por la OMS con un 0,025 mg/L y un 0,015 mg/L respectivamente. Estos países conforman el 36,84% del total. Ningún país establece su límite con niveles inferiores al recomendado (UE, 2015).

1.1.4. Bioacumulación y Translocación de metales pesados

La bioacumulación de metales y metaloides en las plantas ocurre por mecanismos de adsorción y absorción; los cuales son conocidos como “bioacumulación”. Estos procesos permiten que las plantas puedan capturar sustancias de diversos ambientes a través de intercambio iónico, complejación superficial y precipitación (Favas et al., 2012). Las plantas como componentes esenciales en los ecosistemas, pueden realizar

transferencia de elementos metálicos del medio abiótico a la biótica (Hu et al., 2014b; Martínez-López et al., 2014), dependiendo del tipo de suelo pueden o no ser fácilmente movilizados, los suelos forestales facilitan la movilización más que los suelos agrícolas hecho que está directamente relacionado con la mayor acidez del suelo y la presencia de sustancias orgánicas de bajo peso molecular (Kabata-Pendias, 2001).

La capacidad de las plantas para acumular metales pesados en sus órganos, puede ser usado para monitorear la contaminación del suelo, y en particular la cantidad de metales pesados (Malizia et al., 2012), que al ser captados por las raíces puede dar lugar a un proceso tanto pasivo (no metabólico) como activo (metabólico), estos mecanismos de captación difieren dependiendo del metal (Kabata-Pendias, 2001).

Las deposiciones húmedas y secas que transmiten las partículas del aire al suelo, contribuyen a la acumulación de los metales pesados en los suelos (Malizia et al., 2012). En este tipo de suelos altamente contaminados, las plantas hiperacumuladoras absorben metales pesados en diferentes rangos mediante estrategias de translocación a través de tonoplastos y acumulación en vacuolas, los cuales protegen el metabolismo celular del efecto nocivo por metales tóxicos (Maiti et al., 2004).

De todas las plantas, hay más de 400 especies hiperacumuladoras; consideradas así por ejemplo las que acumulan Cd, más de 100 mg/kg peso seco de planta, para Cr y Pb las que acumulan 1000 mg/kg. No todas las especies tienen las mismas preferencias de metal, incluso en una sola familia, por ejemplo, las Brassicaceae, de las 87 especies, 67 son hiperacumuladoras de níquel, 15 son de Zinc y 5 pueden hacer ambas cosas (Sun et al., 2019). Como consecuencia el consumo de estas plantas sea como alimentos o agentes terapéuticos usados en la medicina tradicional podrá llegar a ser muy nocivo (Barthwal et al., 2008).

Para evaluar la eficiencia de acumulación de un metal en la planta, es necesario calcular el factor de bioacumulación (Malik et al, 2010), considerado como el índice de la capacidad de la planta para acumular un metal en particular con respecto a su concentración en el sustrato de suelo, según Galal & Shehata. (2015), se calcula como sigue:

$$FB = \frac{C \text{ raíz de la planta}}{C \text{ del suelo}}$$

C= concentración de metal

La capacidad de una planta para movilizar metales desde la raíz hacia los brotes se mide utilizando el factor de translocación FT, que relaciona la concentración del metal entre la parte aérea y las raíces. Tanto FB como FT se puede utilizar para estimar el potencial de una planta para propósitos de la fitorremediación (Galal & Shehata, 2015).

El factor de translocación mayor a uno, indica una capacidad muy eficiente para transportar nutrientes de las raíces a los brotes, muy probablemente debido a los sistemas de transporte de metales eficientes mientras que las plantas que exhiben FT y particularmente los valores de FB menores que la unidad son no aptos para fitoextracción (Fitz & Wenzel, 2002).

Por otro lado, las plantas tolerantes tienden a restringir las transferencias suelo-raíz y raíz-brote, y por lo tanto tienen mucha menos acumulación en su biomasa, mientras que los hiperacumuladores absorben y translocan activamente los metales en su biomasa aérea (Galal & Shehata, 2015; Yoon et al., 2006), mientras que las plantas fitoestabilizadoras reducen la movilidad del metal y la lixiviación en aguas subterráneas, como también reduce la biodisponibilidad del metal para la entrada en la cadena alimenticia (Susarla et al., 2002). Este proceso utiliza la capacidad de las raíces de las plantas para cambiar las condiciones ambientales a través de exudados de raíz. Además, las plantas pueden inmovilizar metales a través de absorción y acumulación por raíces, adsorción en raíces, o precipitación dentro de la rizosfera, propiedad que puede usarse para minimizar migración de contaminantes en los suelos (Galal & Shehata, 2015; Susarla et al., 2002).

1.1.5. Espectrometría de masas por plasma acoplado inductivamente (ICP-MS)

La espectrometría de masas por plasma acoplado inductivamente ICP-MS es una técnica altamente sensible y capaz de determinar de forma cuantitativa casi todos los elementos que tengan un potencial de ionización menor que el potencial de ionización del argón a concentraciones muy bajas desde ng/L o parte por trillón, PPT a cantidades mayores de PPM, pudiendo analizar más elementos con una menor cantidad de muestra y en menor tiempo. Se fundamenta en el acoplamiento de un

método para generar iones (plasma acoplado inductivamente) y un método para separar y detectar los iones (Espectrómetro de masas) (Thomas, 2008).

En los últimos años es una de las técnicas más usadas en el campo analítico para la determinación de metales en diferentes matrices, siendo considerada una de las tecnologías de última generación, por su alta sensibilidad, velocidad de respuesta y amplio rango dinámico. Además, que puede realizar el análisis multielemental de una muestra, por ejemplo: As, Se, Cd, Pb, Hg, etc.

Para el análisis la muestra, en forma líquida, es transportada por medio de una bomba peristáltica hasta el sistema nebulizador donde es transformada en aerosol gracias a la acción de gas argón. Dicho aerosol es conducido a la zona de ionización que consiste en un plasma generado al someter un flujo de gas argón a la acción de un campo magnético oscilante inducido por una corriente de alta frecuencia. En el interior del plasma se pueden llegar a alcanzar temperaturas de hasta 8000 K. En estas condiciones, los átomos presentes en la muestra son ionizados (Lin et al., 2016).

Los iones pasan al interior del filtro cuadrupolar a través de una interfase de vacío creciente, allí son separados según su relación carga/masa por el espectrómetro de masas. Cada una de las masas ionizadas llega al detector donde se evalúa su abundancia en la muestra. Una vez que el detector mide los iones, el sistema de datos computarizado es usado para convertir la intensidad de señal medida en concentraciones para cada elemento y generar un reporte de los resultados. La mayoría de las muestras analizadas por el ICP-MS son líquidas, pero también pueden ser analizadas las muestras sólidas utilizando sistemas LASER o celdas calentadas para vaporizar la muestra. Las muestras gaseosas pueden ser analizadas introduciéndolas directamente en el instrumento (Thomas, 2008).

1.2. Antecedentes

El contenido de metales pesados en plantas medicinales se ha investigado en muchas partes del mundo, con diversos objetivos, principalmente determinar su inocuidad, como también la capacidad de bioacumulación para fines de fitoremediación.

Awodele et al (2013), reportan resultados del contenido de metales pesados en hojas y raíces de 5 plantas medicinales: *Ageratum conyzoides*, *Aspilia africana*, *Alchornea cordifolia*, *Amaranthus brasiliensis* and *Chromolaena odorata*, recolectadas de una zona

supuestamente contaminada y de otra no contaminada. Los resultados revelan que la concentración de metales pesados varía entre las diferentes plantas medicinales, donde la concentración de Pb, Cd, Cr, Ni y Zn fueron significativamente altas en hojas y raíces de plantas recolectadas en zonas contaminadas. Estos resultados pueden ser atribuidos a la diferencia de capacidad de absorción de la planta dependiendo de la especie vegetal como también del metal pesado y entre otros factores el tipo de suelo.

Petrova et al (2013), investigaron el contenido de varios metales, entre ellos Cd, Cr, Pb, en la fitomasa de suelo y subsuelo de plantas de diente de león, donde se evaluó el nivel de contaminación del área urbana estudiada. Los resultados confirman que la fitomasa del suelo y el subsuelo del diente de león fueron relativamente indicadores ambientales útiles para algunos metales pesados y elementos tóxicos analizados, con concentraciones que variaron en el siguiente orden: Zn> Cu> Pb> Ni> Cr> Cd> Hg> As en las partes aéreas de diente de león y Zn> Cu> Ni> Pb> Cr> Cd> As> Hg en las raíces, registrándose concentraciones marcadamente más altas de Pb, Zn, Cu y Cd en la fitomasa aérea.

Saper et al (2004), investigaron la presencia de metales pesados en hierbas utilizadas en la medicina, originarios del sur de Asia y comercializados en Boston (EE. UU.), los resultados indican que de 70 muestras que se analizaron, 14 contenían plomo en una concentración por encima de las normas regulatorias de consumo publicadas por la Farmacopea y la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos.

Bempah et al (2012), evaluaron la contaminación con metales pesados de 267 muestras de 18 plantas herbarias procedentes de varios mercados de Ghana, según los resultados se observó diferencias en las concentraciones por cada metal de acuerdo con las partes analizadas (hoja, fruto, raíz y tallo), pero además se encontró el predominio de Cadmio en casi todas las partes analizadas de las plantas.

Respecto a la presencia de Cd en las plantas medicinales, Annan et al.(2010), también reportan resultados de 27 plantas medicinales investigadas en Ghana, encontrándose que todas contienen Cd, especialmente *Ocimum canum* (Lamiaceae), *Clausena anisata* (Rutaceae), que además tienen niveles altos de Fe, que pueden causar una toxicidad.

Galal & Shehata (2015), investigaron la eficacia de la bioacumulación y los potenciales de translocación de los metales pesados en la hierba medicinal *Plantago major* de crecimiento natural en un suelo afectado por el tránsito pesado, los resultados indican que

el factor de bioacumulación (BF) de todos los metales pesados, excepto Cd y Sr, es menor que la unidad a la mayoría de las distancias; sin embargo, Cd mostró una disminución relativa de BF con la distancia en contraste con Sr, que aumenta con la distancia a la carretera. Por otro lado, los factores de translocación (TF) de Cd, Co, Cu, Pb y Zn fueron mayores a las distancias lejos de la carretera, mientras que los de Fe, Cr y Sr eran más altos cerca de la carretera. El mayor coeficiente de translocación ($TF > 1$) de Cd, Fe y Pb en los brotes de *P. major* lo hace adecuado para su fitoextracción del suelo, mientras que las relaciones de translocación más bajas ($TF < 1$) para Al, Mn, V, Co, Ni, Cr, Zn, Cu y Sr lo hacen adecuado para su fitoestabilización.

En el Perú se investigaron las raíces y brotes de 6 especies de hierbas (*Ageratina sp.*, *Achyrocline alata* (Kunth) DC., *Cortaderia hapalotricha* Pilg., *Epilobium denticulatum* Ruiz & Pav., *T. officinale* Weber and *Trifolium repens* Walter), recolectadas de 4 zonas cercanas a las minas Carolina de Gualgayoc en Cajamarca, los resultados señalan que estas especies tienen una buena capacidad para transportar elementos potencialmente peligrosos desde las raíces hasta los brotes, especialmente para Pb. Además, estas plantas crecieron en presencia de otros metales tóxicos en el suelo con concentraciones elevadas (Bech et al., 2016).

De Smet et al (1992), investigaron los niveles de plomo y cadmio en 120 muestras de 19 drogas vegetales, preparados en forma de té con agua hirviendo, observándose que el pasaje de metales al té fue del 50 % en solo el 12% de las muestras analizadas para plomo y en el 8 % de las muestras analizadas para cadmio. La mayoría de las muestras de té (67% y 71% de plomo y cadmio respectivamente) mostraron una extracción de 25 % o menos. Los valores de extracciones individuales mostraron un rango de 1% a 87% para plomo y un rango de pasaje de cadmio que variaba entre 1% y 68%.

El nivel de concentración de elementos en infusiones puede verse afectado por una serie de parámetros como matriz orgánica de la hierba correspondiente, contenido mineral original y pH natural del agua utilizada para preparar la infusión, factores que resultan ser muy importantes en la solubilidad de los metales en una infusión (Basgel & Erdemoglu, 2006).

Salahinejad & Aflaki (2010), evaluaron la eficiencia de extracción de metales desde las infusiones de té negro, adquiridos en los mercados locales de Teherán, Irán, basado en la solubilidad de cada elemento, observando que la solubilidad media de los metales en

extractos de infusión varió ampliamente y osciló entre 0 y 59,3%. Entre los elementos estudiados, Cr, Pb y Cd mostraron las tasas de solubilidad más bajas y Ni tuvo las tasas más altas de solubilidad.

Alvarez et al (2008), investigaron el contenido de plomo y mercurio en productos naturales con fines terapéuticos comercializados en Venezuela y observaron que los niveles detectados en muestras de los productos naturales estudiados (Tabla 2) en ningún caso sobrepasa los límites permitidos, a excepción de los niveles de mercurio en el quinchoncho (*Cajanus cajan*) que se ubican en un rango de 0,194 a 0,214 mg/Kg de peso seco, sin embargo están por debajo de los límites permitidos para el mercurio en países asiáticos como China y Singapur, cuyos límites máximos permisibles recomendado en hierbas es de 0,5 mg/Kg de peso .

Tabla 2

Niveles de Pb y Hg detectados en muestras de productos naturales

Nombre del producto	Nombre botánico	Mercurio ×±ds (mg/Kg) n=3	Plomo ×±ds (mg/Kg) n=3
Agar	<i>Gelidium filicinum</i>	0,131±0,05	0,136±0,007
Ajo	<i>Allium sativum</i>	0,043±0,002	1,376±0,060
Cola de caballo	<i>Equisetum giganteum</i>	0,065±0,004	0,534±0,027
Diente de león	<i>Taraxacum officinale</i>	0,107±0,005	0,679±0,035
Mapurite	<i>Petiveria alliacea</i>	0,121±0,005	2,056±0,112
Quinchoncho	<i>Cajanus Cajan</i>	0,204±0,010	1,112±0,050
Sábila	<i>Aloe barbadensis</i>	0,133±0,065	0,448±0,022
Valeriana	<i>Valeriana officinalis</i>	0,060±0,003	0,978±0,050

Fuente: (Alvarez et al., 2008) Venezuela



CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Identificación del problema

Por muchos años las hierbas medicinales, siempre han sido consideradas una alternativa en la terapia de ciertas enfermedades por la presencia de metabolitos secundarios que constituyen principios activos curativos. Sin embargo, su consumo podría ser un riesgo para la salud humana por la presencia de metales pesados altamente tóxicos, que son absorbidos por la planta como producto de su interacción con el suelo, agua y aire contaminados.

La presencia de metales Pb, Cu, Ni, Cr y Cd en material particulado suspendida en la atmosfera, son atribuidos principalmente al tráfico vehicular (Fernandez et al., 2000). Se debe considerar que los metales derivados de los vehículos son principalmente Cu, Zn, Cd, Sb, Ba y Pb (Sternbeck et al., 2002).

El riesgo de estos metales pesados en animales y humanos decrece aproximadamente en el siguiente orden: Hg > Cu > Zn > Ni > Pb > Cd > Cr > Sn > Fe > Mn > Al (Filipiak-Szok et al., 2015).

La contaminación proveniente del humo de los automóviles puede depositar plomo (Pb) a 10 metros de las carreteras o vías urbanas. La contaminación por transporte atmosférico de metales pesados es grande debido a su capacidad de asociación a masas de aire; que por efectos de la recirculación de los vientos, dichos metales tienden a depositarse en áreas alejadas a su fuente de origen (Imperato et al., 2003).

Considerando estas fuentes de contaminación se han realizado muchos estudios para remediar suelos contaminados con metales pesados, utilizando determinadas plantas, entre

ellas hierbas medicinales con capacidad de translocar y bioacumular ciertos metales tóxicos; pero al mismo tiempo puede constituir un riesgo para la salud de la población que lo consume, mucho más si sus concentraciones exceden los valores máximos permisibles establecidos por Organizaciones Internacionales, como la Organización Mundial de la Salud (OMS), el Reglamento de la Unión Europea, la Farmacopea Europea, el Codex Alimentarius y otros.

En los mercados de la ciudad del Cusco, se expenden diferentes especies de plantas medicinales, entre ellos *Hypochaeris meyeniana* (Walp) (pilli- pilli), *Taraxacum officinale* (diente de león) y *Plantago australis* (puna llantén), que generalmente son recolectadas en zonas aledañas a los centros arqueológicos, de Saqsayhuaman, Quenqo, Puka Pukara y Tambomachay, que está a una distancia de 4 a 6 Km, del centro histórico de la ciudad del Cusco, donde a diario se genera un alto tráfico vehicular que puede ser fuente de contaminación de los suelos de esta zona, donde crece una gran variedad de plantas medicinales que son recolectadas por pobladores de las comunidades campesinas de este lugar y llevadas a los mercados para su expendio. La alta actividad turística que se desarrolla en estos centros arqueológicos ha incrementado el número de unidades vehiculares en circulación y por acción de los vientos puede transportarse material particulado que al depositarse no solo contaminan suelos sino también la vegetación de esta zona.

Las hierbas medicinales frescas consumidas por los pobladores de la ciudad del Cusco, generalmente son en forma de infusión o cocción y considerando que las sales de Cd, Cr y Pb, son fácilmente solubles en un medio acuoso, podría encontrarse cierta cantidad de metales pesados en estos preparados medicinales y es posible que los consumidores estén expuestos a la toxicidad de los mismos al consumir en especial los denominados emolientes. Existiendo entonces la necesidad de hacer un monitoreo del contenido de elementos tóxicos en hierbas medicinales y sus preparados para prevenir el riesgo de su consumo con posibles daños para la salud.

2.2. Enunciado del problema

2.2.1. Problema general

¿Cuál es la concentración de Pb, Cd y Cr que se bioacumula en las plantas medicinales recolectadas en zonas cercanas a alto tráfico vehicular de la ciudad del

Cusco?

2.2.2. Problemas específicos

¿Cómo varía la capacidad de bioacumulación de Pb, Cd y Cr en las plantas medicinales: *Hypochaeris meyeniana* (Walp)Bent “pilli- pilli”, *Taraxacum officinale* F. H. Wigg “diente de león” y *Plantago australis* subsp *Hirtella* (Kunth) Rahn “puna llantén”, recolectadas en zonas cercanas a alto tráfico vehicular de la ciudad del Cusco?

¿Cuál es el factor de translocación de Pb, Cd y Cr desde la raíz hacia la parte aérea de las plantas medicinales en estudio?

¿La concentración de Pb, Cd y Cr en infusiones y cocciones de *Hypochaeris meyeniana* (Walp) Bent “pilli- pilli”, *Taraxacum officinale* F. H. Wigg “diente de león” y *Plantago australis* subsp-*hirtella* (Kunth) Rahn “puna llantén”, sobrepasan los límites máximos permisibles determinados por la Organización Mundial de la Salud?

2.3. Justificación

El uso de las plantas medicinales constituye una alternativa en el alivio y la cura de muchas enfermedades, por esta razón se han realizado diversas investigaciones a nivel mundial, referida al aspecto fitoquímico, propiedades de sus principios activos, su toxicidad y pruebas biológicas para demostrar su poder curativo. Es así que en los mercados del Cusco se expenden muchas de estas plantas medicinales, Huamantupa et al (2011), reportan que las especies más expendidas son *Muehlenbeckia volcánica* “mullaca”, *Perezia virens* “valeriana”, *M. recutita* “manzanilla”, *H. taraxacoides* “pilli pilli”, *Taraxacum officinale* “diente de león” y *Persicaria hydropiperoides* “duraznillo”, provenientes mayormente de zonas aledañas a la ciudad de Cusco y en algunos casos se vienen cultivando en los bordes de chacras, huertos, jardines de los hogares, acequias y pequeñas quebradas.

En los últimos años el parque automotor de la ciudad del Cusco se ha incrementado, con tendencia a mayor contaminación del aire, aguas y suelos, afectando directamente la composición química de las plantas medicinales y desde luego a la salud de los pobladores que la consumen.

Gamboa & Soto (2014), mencionan que al 2010 estaban inscritos 42 175 vehículos, gran parte se encuentran en la ciudad del Cusco, entre transporte urbano, turístico, particular, de carga y taxis, a esto se suma la cantidad de taxis que circulan sin autorización y que se estiman en unos 8000 o más, esto ha ocasionado la congestión vehicular del Cusco, especialmente en el centro histórico del Cusco. La flota vehicular actual que entra y sale del centro histórico, corresponde a un 59% inscrita en la región Cusco y el resto en otras regiones, lo cual significa que la flota que puede estar circulando en la ciudad es de más de 70000 vehículos, esto conlleva a una mayor contaminación ambiental. El punto crítico con alto tráfico vehicular es el centro histórico de la ciudad del Cusco, motivo por el que se ha investigado la calidad del aire, en el que se detectó material particulado PM10 con contenido de metales pesados como plomo de $0,0064 \mu\text{g}/\text{m}^3$, aluminio $11,85 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y cadmio $0,0004 \mu\text{g}/\text{m}^3$, cuyo comportamiento de estos metales es de alta peligrosidad para los seres humanos (Vara, 2017). Dependiendo del clima y los vientos este material particulado contamina los suelos de zonas aledañas al alto tráfico en el centro histórico, por esta razón se justifica la necesidad de investigar el contenido de metales pesados en plantas medicinales recolectadas en estas zonas.

2.4. Objetivos

2.4.1. Objetivo general

Determinar la bioacumulación de metales pesados: Cd, Cr y Pb en plantas medicinales recolectadas en zonas cercanas a alto tráfico vehicular en la ciudad del Cusco.

2.4.2. Objetivos específicos

- Cuantificar la concentración de Pb, Cd y Cr en *Hypochaeris meyeniana* (Walp) Bent. “pilli pilli”, *Taraxacum officinale* F. H. Wigg. “diente de león”, *Plantago australis* subsp. *hirtella* (Kunth) Rahn “puna llantén” para determinar la bioacumulación de estos metales.
- Determinar el nivel de translocación de Pb, Cd y Cr de las raíces hacia la parte aérea de las plantas medicinales en estudio.
- Conocer la concentración de Pb, Cd y Cr en infusiones y cocciones acuosas de raíces y la parte aérea de *Hypochaeris meyeniana* (Walp) Bent. “pilli pilli”, *Taraxacum officinale* F. H. Wigg. “diente de león” y *Plantago australis* subsp.

hirtella (Kunth) Rahn “puna llantén”, a fin de alertar el riesgo para la salud de los consumidores.

2.5. Hipótesis

2.5.1. Hipótesis general

Las plantas medicinales: *Hypochoeris meyeniana* (Walp) Bent. “pilli pilli”, *Taraxacum officinale* F. H. Wigg. “diente de león” y *Plantago australis* subsp. *hirtella* (Kunth) Rahn “puna llantén”, recolectadas en zonas cercanas a alto tráfico vehicular en la ciudad del Cusco, bioacumulan Pb, Cd y Cr en altas concentraciones.

2.5.2. Hipótesis específica

- Existe diferencias significativas de bioacumulación de Cd, Cr y Pb en las plantas medicinales: *Hypochoeris meyeniana* (Walp) Bent. “pilli- pilli”, *Taraxacum officinale* F. H. Wigg. “diente de león”, *Plantago australis* subsp. *hirtella* (Kunth) Rahn “puna llantén”, recolectadas en zonas cercanas a alto tráfico vehicular en la ciudad del Cusco.
- Los niveles de translocación de Pb, Cd y Cr desde las raíces a la parte aérea en las plantas medicinales: *Hypochoeris meyeniana* (Walp) Bent. “pilli- pilli”, *Taraxacum officinale* F. H. Wigg. “diente de león”, *Plantago australis* subsp. *hirtella* (Kunth) Rahn “puna llantén”, recolectadas en zonas cercanas a alto tráfico vehicular en la ciudad del Cusco, tienen diferencia significativa.
- La concentración de Pb, Cd y Cr en infusión y cocción de la raíz y la parte aérea de las plantas medicinales: *Hypochoeris meyeniana* (Walp) Bent. “pilli- pilli”, *Taraxacum officinale* F. H. Wigg. “diente de león”, *Plantago australis* subsp. *hirtella* (Kunth) Rahn “puna llantén”, sobrepasan los límites máximos permisibles por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y METODOS

3.1. Lugar de estudio

La recolección de las especies vegetales en estudio y de sus respectivos suelos se realizó en la comunidad de Huayllarcocha, ubicada cerca de la zona del parque arqueológico de Saqsayhuamán y a la autopista Cusco-Valle Sagrado de los Incas. En esta zona se eligió dos puntos de recolección.

Distancia 0: A pie de carretera 20 m adentro de la autopista Cusco- Pisac a 8 Km de la ciudad del Cusco, con una altitud de 3695-3702 ms.n.m (comunidad Huayllarcocha), Figura 20 (anexos). Distancia 1: A 200 m de la autopista Cusco- Pisac con una altitud de 3740-3780ms.n.m, colindante con la comunidad de Yuncaypata, Figura 21(anexos).

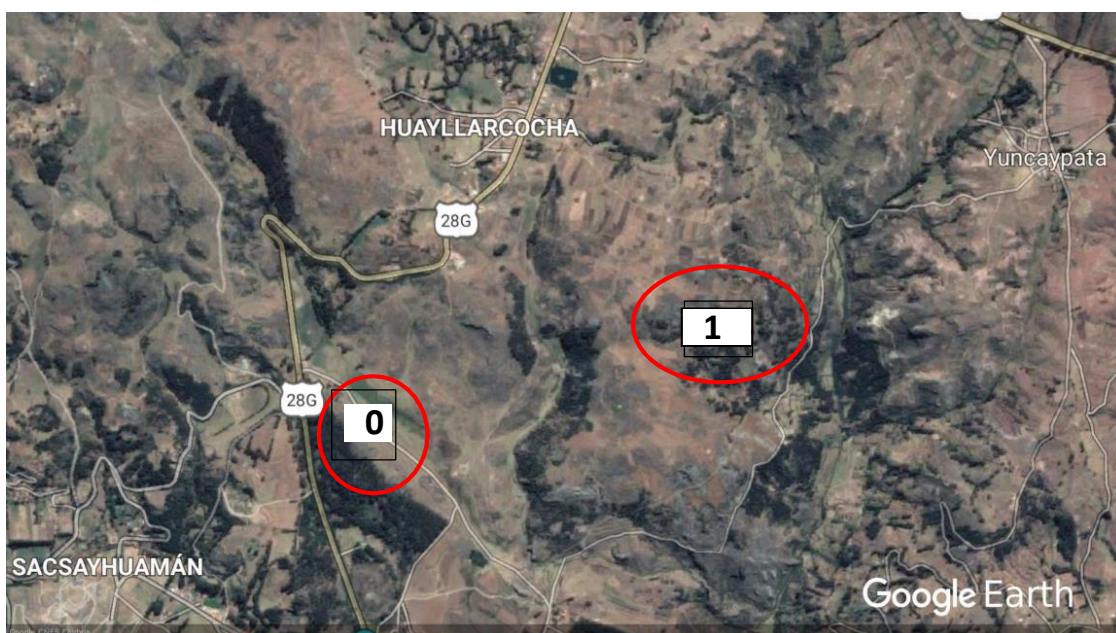


Figura 5. Ubicación geográfica de la zona de muestreo

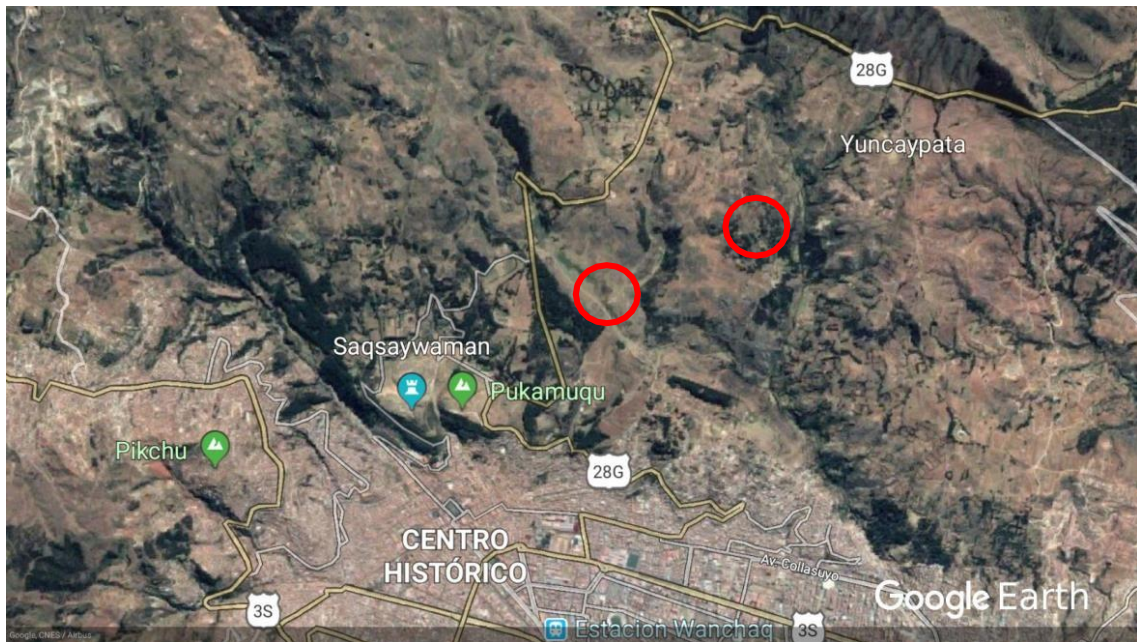


Figura 6. Ubicación geográfica del centro histórico del Cusco, cerca de la zona de muestreo

Lugar de muestreo

- Departamento /región: Cusco Provincia: Cusco
- Distrito: Cusco
- Localidad: C. C. Huayllarccocha Altitud: 3787 ms.n.m.

Ubicación Geográfica

- Latitud sur: 13°29'21.75"
- Longitud oeste: 71°57'57.81"

Límites de la Comunidad campesina de Huayllarccocha:

- Norte: C.C. Tambomachay
- Sur: C.C. Fortaleza Saqsayhuamán Este: C.C. Yuncaypata
- Oeste: C.C. Fortaleza Saqsayhuamán

3.2. Población

Todas las plantas medicinales que crecen en la comunidad de Huayllarccocha.

3.3. Muestras

Las plantas medicinales muestreadas corresponden a las especies vegetales:

- *Taraxacum officinale* F. H. Wigg. (diente de león)
- *Hypochaeris meyeniana* (Walp.) Bent. & Hook.f. ex Griseb. (pilli pilli)
- *Plantago australis* subsp. *hirtella* (Kunth) Rahn (puna llantén)

Las muestras se seleccionaron de modo no probabilístico e intencional, considerando su abundancia en la zona 0 y la zona 1, (Figuras 23, 24, 25), además de ser insumos muy utilizadas en la preparación de emolientes.

3.4. Método de investigación

No experimental, porque cuantifica la concentración de metales pesados tal como se da en su contexto natural, con un alcance descriptivo, correlacional y explicativo.

Al medir la concentración de metales pesados en las plantas medicinales y en sus respectivos suelos, teniendo en cuenta las características de la zona 0 y 1 se explicarán la variabilidad de la bioacumulación y la translocación de metales pesados.

3.5. Metodología

La investigación comprende los siguientes procedimientos:

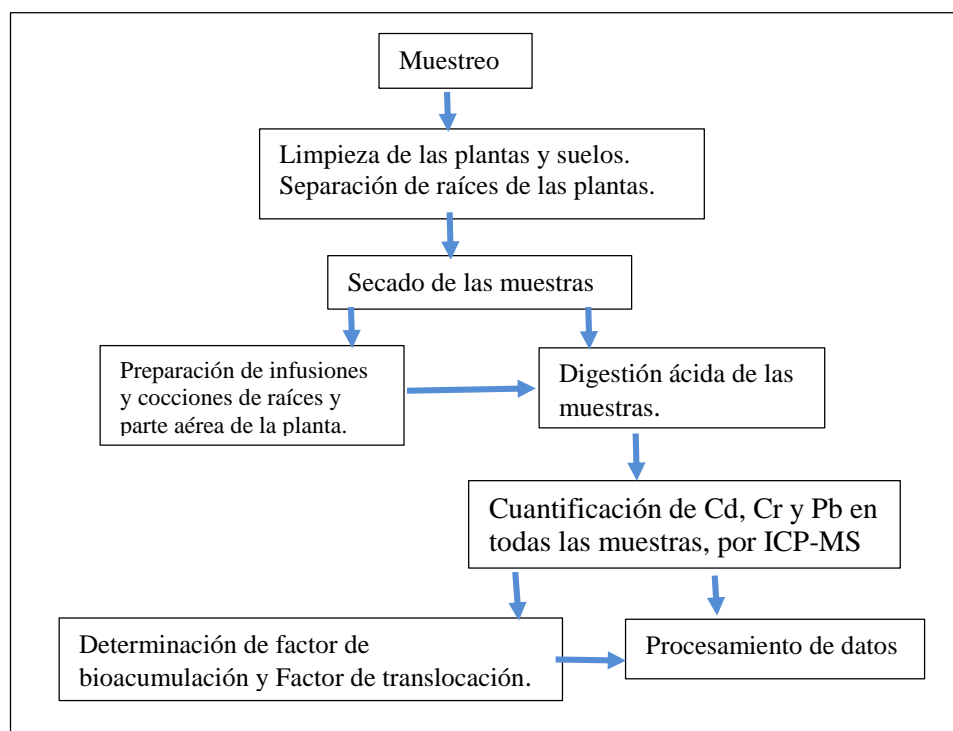


Figura 7. Flujograma de la metodología desarrollada

3.5.1. Materiales e insumos

- Materiales: Se ha requerido materiales de campo para la recolección de las muestras, material de vidrio y reactivos para la digestión ácida de las muestras, (ácido clorhídrico concentrado, ácido nítrico concentrado y peróxido de hidrógeno).
- Equipos: Los necesarios para la digestión ácida (hotblock) y para la cuantificación de los metales en un espectrómetro de masas con acoplamiento de plasma inductivo (ICP-MS), Figura 36, Figura 37 (anexos).

3.5.2. Muestreo

3.5.2.1. Muestras vegetales

Las hierbas medicinales elegidas se recolectaron como planta completa (raíz, tallos, hojas), Figuras 26, 27, 28, estas fueron colocadas en bolsas de papel y llevadas al laboratorio, para quitar la tierra, polvo y otras materias extrañas, se lavó con agua potable y luego se enjuagó con agua bidestilada, se separaron las raíces de las partes aéreas (hojas, tallos y flores), para luego secarlas en una estufa a 50 °C durante 48 horas.

Las muestras secas (Figuras 30 a 35), fueron guardadas en bolsas de papel, rotuladas con el código correspondiente para posteriormente ser analizadas.

Para cada caso se secó una planta entera a fin de ser identificada por los especialistas del Herbario Vargas, de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

3.5.2.2. Muestras de suelos

Al mismo tiempo de la recolección de las hierbas medicinales, se tomó muestras de suelos correspondiente a cada especie vegetal en estudio, tanto en la zona “0” como en la zona “1”. Extraídas desde la superficie hasta una profundidad de 20 – 30 cm, dentro de un área aproximado de 4 m² correspondientes a cada planta recolectada (Figura 29). Las muestras codificadas fueron guardadas en bolsas plásticas y llevadas al laboratorio para su limpieza (Eliminación de piedras y otros materiales extraños). Se dejaron secar a temperatura ambiente, para posteriormente ser trituradas en un mortero

y tamizadas, para el análisis respectivo.

3.5.2.3. Preparación de infusiones

Se pesó 3 gramos de la parte aérea (hojas, tallos y flores) y raíces secas de cada una de las especies vegetales de la zona (0). En cada caso se agregó 200 mL de agua bidestilada hervida, dejando reposar por 10 minutos, luego se filtró haciendo el vacío y utilizando papel filtro N° 40, el filtrado fue guardado en frascos de primer uso previamente rotulados, para el análisis correspondiente.

3.5.2.4. Preparación de las cocciones

- Se tomó la misma cantidad de muestra y agua indicada para las infusiones; luego se dejó hervir por 15 min.
- Transcurrido el tiempo de cocción, cada una de las soluciones de las muestras fueron filtradas, posteriormente se guardó el líquido filtrado en frascos de vidrio de primer uso.
- Las infusiones, como también las cocciones pasaron por un proceso de digestión ácida, antes de su cuantificación.

3.5.2.5. Codificación de las muestras

Tabla 3

Codificación de las muestras.

	Puna llantén (LL)		Diente de león (D)		Pilli pilli (P)	
Parte aérea (H)	LL-H-0	LL-H-1	D-H-0	D-H-1	P-H-0	P-H-1
Raíz (R)	LL-R-0	LL-R-1	D-R-0	D-R-1	P-R-0	P-R-1
Suelo	S-LL-0	S-LL-1	S-D-0	S-D-1	S-P-0	S-P-1
Infusión hojas	I-LL-H		I-D-H		I-P-H	
Infusión raíz	I-LL-R		I-D-R		I-P-R	
Cocción parte aérea	C-LL-H		C-D-H		C-P-H	
Cocción raíz	C-LL-R		C-D-R		C-P-R	

0: Cerca al tráfico vehicular a 20 m de la autopista Cusco-Pisac

1: Lejos del tráfico vehicular a 200 m de la autopista Cusco-Pisac

3.6. Metodología de análisis

Para el análisis de los metales Pb, Cd y Cr se mineralizaron todas las muestras mediante una digestión ácida.

3.6.1. Digestión de las muestras vegetales

Una cantidad de 0,5 g de muestra seca se colocó en un tubo de digestión de teflón, a este se añadió 2,0 mL de H₂O₂ al 30%, y 2,5 mL de HNO₃ (c).

Se calentó en el hotblock por una hora hasta alcanzar la temperatura de 95,1°C y luego se calentó una hora más a temperatura constante hasta completar la digestión ácida, finalmente se aforó a 50 mL con agua desionizada para su posterior análisis.

3.6.2. Digestión de muestra de suelos

Se pesó 0,5 g (con una precisión de 1 mg) de suelo seco y molido en un tubo de digestión de teflón, añadiéndose 10 mL de HNO₃ concentrado, se calentó lentamente y se añadió con sumo cuidado 8 mL de HCl concentrado, más 8 mL de agua regia (2 mL de HNO₃ + 6 mL de HCl) y se continuó calentando en el hotblock hasta ebullición para completar la digestión, para luego ser aforados a 50 ml con agua desionizada, para el análisis respectivo.

3.6.3. Digestión de infusiones y cocciones

Las infusiones y cocciones se sometieron a digestión de la misma manera que las muestras vegetales, posteriormente fueron filtradas y aforadas a un volumen de 50 mL con agua desionizada. De este se tomó un volumen alícuota para su cuantificación.

3.6.4. Cuantificación de Cd, Cr y Pb

Para la cuantificación de los metales Cd, Pb y Cr, en muestras vegetales, suelos y extractos acuosos (infusiones y cocciones), las muestras digeridas fueron analizadas en un espectrómetro de masas con plasma acoplado inductivamente, ICP-MS, de marca PERKIN ELMER, modelo NEXION 350X MASS de los laboratorios de la empresa privada AGQ PERU SAC, laboratorio acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA, las determinaciones se realizaron por triplicado.

Para la cuantificación, se introduce la muestra en el equipo mediante un flujo de

argón de 0,3 a 1,5 L/min, seguida de la nebulización y fragmentación de los compuestos con carga, en el plasma del gas argón se ionizan los elementos a una temperatura de 10000 K, se seleccionan las masas en el analizador de cuádruplo basado en la relación m/z.

En la calibración del equipo ICP-MS, se utilizó una mezcla de patrones multielementales, con concentraciones de 0,10 – 5 g/mL, utilizando ácido nítrico de alta pureza.

Las curvas de calibración obtenidas fueron de buena lineabilidad, con coeficientes de determinación de 0,999. Para la determinación de los límites de cuantificación y límites de detección se utilizó una muestra blanca, consistente en agua desionizada con HNO₃.

El equipo detecta desde cantidades de µg a ng, para lo cual se determinó previamente los mínimos y máximos de cuantificación, para Cd, Cr y Pb en las muestras de plantas, suelos e infusiones.

Plantas

- Cadmio: 0,010 - 20,0 mg/Kg
- Cromo: 0,03 - 20,0 mg/ Kg ; 0,025 – 20,0 (para raíces)
- Plomo: 0,010- 20,0 mg/ Kg

Suelos

- Cadmio: 0,0007- 1000 mg/ Kg Cromo: 0,1 – 1000 mg/ Kg
Plomo: 0,006 – 5000 mg/ Kg

Infusiones

- Cadmio: 0,00001-50,000 mg/L Cromo: 0,001-50,0 mg/L
Plomo :0,00006-50,000 mg/L

3.7. Bioacumulación de Cd, Cr y Pb

Para determinar el factor de bioacumulación se relacionó las concentraciones de Cd, Cr y Pb en raíces con las concentraciones de estos metales en los suelos correspondiente a

cada especie de planta medicinal.

$$FB = \frac{\text{concentration de metal en raiz}}{\text{concentracion de metal en suelo}} \quad Ec. 1$$

FB = factor de bioacumulación

3.8. Translocación de Cd, Cr y Pb

En la determinación del factor de translocación se relacionó la concentración de los metales Cd, Cr y Pb en la parte aérea de la planta (Hojas y tallos) con la concentración de estos metales en la raíz.

$$FT = \frac{\text{concentacion de metal en parte aérea de la planta}}{\text{concentracion de metal en raíz}} \quad Ec. 2$$

FT= factor de translocación

3.9. Análisis estadístico de los resultados

Los resultados de las concentraciones de los metales pesados en las tres plantas medicinales en función de las distancias 0 y 1, fueron sometidos a pruebas de normalidad, homogeneidad e independencia, para lo cual se utilizó las pruebas de Shapiro-Wilk, Bartlett y Durbin- Watson respectivamente a fin de determinar la prueba estadística adecuada para el tratamiento de los resultados. Con este fin se aplicó el paquete estadístico R-Studio. Además, se realizó una prueba de contraste utilizando el test de Tukey.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Concentración de los metales pesados en raíces y parte aérea de *Taraxacum officinale* F. H. Wigg (diente de león), *Hypochaeris meyeniana* (Walp) Bent (pilli pilli) y *Plantago australis* subsp. *hirtella* (Kunth) Rahn (puna llantén)

De acuerdo a los resultados de la Tabla 17 (Anexos), se determinó que los resultados muestran una distribución normal (p -valor $>0,05$), varianzas homogéneas (p -valor $> 0,05$) e independencia. Por esta razón se utilizó la prueba estadística paramétrica ANOVA y como prueba de contraste el Test de Tukey.

4.1.1. Variación de la concentración de cadmio en raíces y parte aérea de las plantas en estudio en función de la distancia

Tabla 4

Concentración media de Cadmio (mg/Kg) en raíz y parte aérea de *T. officinale* (diente de león), *H. meyeniana* (pilli pilli) y *P. australis* (puna llantén) de las distancias 0 y 1

Planta	mg/Kg	Límite inferior	Límite superior
D-H-0	0,02 ^a	0,014	0,026
D-H-1	0,017 ^a	0,011	0,023
D-R-0	0,014 ^a	0,008	0,020
D-R-1	0,013 ^a	0,007	0,019
P-H-0	0,016 ^a	0,010	0,022
P-H-1	0,012 ^a	0,006	0,018
P-R-0	0,023^a	0,017	0,029
P-R-1	0,018 ^a	0,012	0,024
LL-H-0	0,015 ^a	0,009	0,021
LL-H-1	0,011 ^a	0,005	0,017
LL-R-0	0,021^a	0,015	0,027
LL-R-1	0,013 ^a	0,007	0,019
n =3			

Las letras relacionan la significancia, evaluado a través del test de Tukey, con un nivel del 95% de confianza.

De acuerdo a la Tabla 4, en todas las muestras la concentración de cadmio es baja con pequeños incrementos en P-R-0 (0,023 mg/Kg) y LL-R-0 (0,021 mg/Kg), con respecto al resto de las muestras, además se observa que los intervalos de límite inferior y superior no muestran mucha diferencia, por lo que las medias de concentración de Cd, no difieren entre una y otra muestra. Según el análisis de varianza, (Anexo: Tabla 18), la diferencia es significativa (p -valor $<0,05$) entre las concentraciones de cadmio en las partes de las plantas, teniendo en cuenta que estas dependen del tipo de planta. Así también, se observa diferencias entre las distancias 0 y 1 (p -valor $<0,05$), que según la gráfica de medias de la Figura 8, existe ligeros incrementos de cadmio influenciada por la cercanía del tráfico vehicular. Sin embargo, de acuerdo al test de Tukey en ninguno de los pares contrastados existe diferencia significativa, de acuerdo a la Tabla 19 (anexos) y los pares que se mencionan en la Tabla 4.

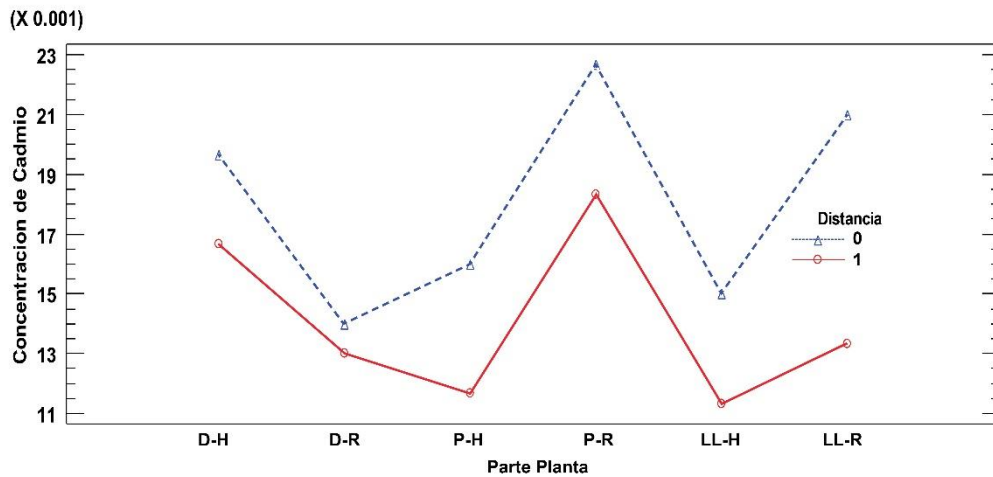


Figura 8. Variación de concentración de cadmio entre las partes de las plantas y la distancia

En ninguno de los casos, los resultados obtenidos sobrepasan los límites máximos estipulado por la OMS, 0,3 mg/Kg, hecho que podría tener alguna relación con el bajo contenido de Cd en los suelos.

Es importante mencionar que el ión Cd, generalmente forma compuestos hidratados insolubles con fosfatos, oxalatos y ferrocianuros, como también una variedad de aminas orgánicas complejas (Adriano, 2001, pg 264). Esto explicaría la baja biodisponibilidad del Cd hacia la planta, entre otros factores como la variación del pH del suelo.

Subramanian et al (2012), de acuerdo a sus investigaciones reportan bajas concentraciones de cadmio, de 0,68 mg/Kg a 2,75 mg/Kg, menores que los encontrados para plomo, cobre y zinc, al investigar 15 plantas medicinales colectadas en los mercados locales de Salem, India. Se debe considerar que la variación del contenido elemental de una planta se atribuye principalmente a su estructura botánica, como también a la composición mineral del suelo en el que se desarrollan las plantas (Masson et al., 2010), relacionado con el grado de contaminación.

4.1.2. Variación de la concentración de cromo en raíces y parte aérea de las plantas en estudio en función de la distancia

Tabla 5

Concentración media de Cromo (mg/Kg) en raíz y parte aérea de *T. officinale* (diente de león), *H. meyeniana* (pilli pilli) y *P. australis* (puna llantén) de las

distancias 0 y 1

Planta	mg/Kg	Límite inferior	Límite superior	Diferencia (0-1)
D-H-0	2,63 ^d	2,408	2,852	-2,1633*
D-H-1	4,793 ^f	4,572	5,015	
D-R-0	0,611 ^{bc}	0,390	0,833	-0,5413
D-R-1	1,153 ^c	0,931	1,374	
P-H-0	0,040 ^a	-0,182	0,261	0,0053
P-H-1	0,034 ^a	-0,187	0,256	
P-R-0	0,028 ^a	-0,194	0,250	-0,5293
P-R-1	0,557 ^{ab}	0,336	0,779	
LL-H-0	1,15 ^c	0,928	1,372	0,189
LL-H-1	0,961 ^{bc}	0,739	1,183	
LL-R-0	3,347 ^e	3,125	3,568	2,3493*
LL-R-1	0,998 ^{bc}	0,776	1,219	

n=3

Las letras relacionan la significancia, evaluado a través del test de Tukey, con un nivel del 95% de confianza. * Diferencia significativa

La concentración de Cr (Tabla 5), se incrementa cuando se aleja de la distancia 0, excepto en el caso de *P. australis*. Estas variaciones está influenciada por el tipo de planta y no por la distancia; así, en el caso de *T. officinale*, la concentración aumenta de 2,63 mg/Kg (D-H-0) a 4,793 mg/Kg (D-H-1); pero en el caso de la raíz de *P.australis* aumenta de 0,998 mg/Kg (LL-R-1) a 3,347 mg/Kg (LL-R-0), variación que se observa en la Figura 9, existiendo entonces, solo en el caso de LL-R, una relación directa entre el incremento de Cr y su cercanía a la zona cercana al tráfico vehicular.

De acuerdo a la Tabla 20 (Anexos), el ANOVA permite afirmar que existe diferencia significativa ($p < 0,05$) entre las concentraciones de cromo para las 3 especies medicinales estudiadas; pero no para el factor distancia; además se da una interacción planta-distancia ($p=0$), como se observa en la Figura 9, esto explica que no todas las plantas investigadas son influenciadas por la zona 0.

Haciendo el análisis de contraste con el test de Tukey, según la Tabla 21 (Anexo), y la Tabla 5, la diferencia es significativa entre los pares D-H-0 y D-H-1, con un valor negativo de 2,1633, no existiendo influencia del tráfico (zona 0), en cambio para el par LL-R-0 y LL-R-1, la diferencia es positiva 2,3493, mostrando influencia por el tráfico vehicular, como se observa en la Figura 9. El análisis de estos dos casos se corrobora también con las diferencias marcadas de sus límites inferior y superior.

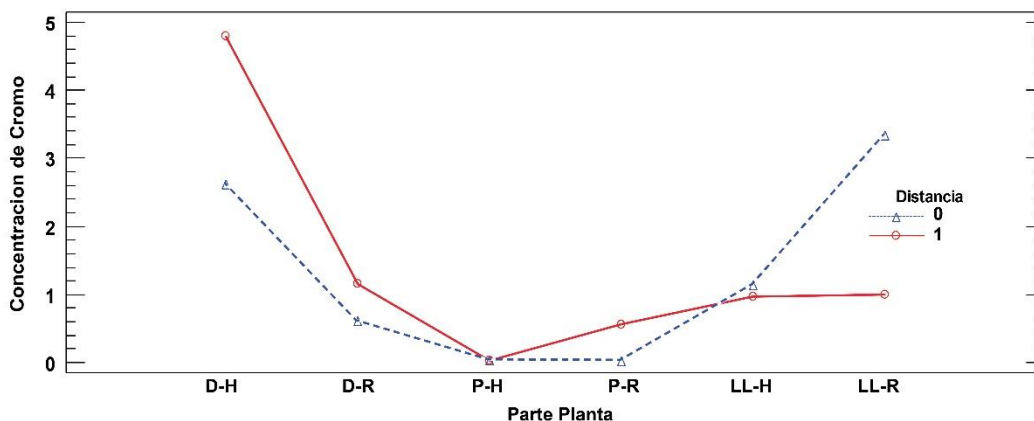


Figura 9. Variación de concentración de cromo entre las partes de las plantas y la distancia

Contrariamente a lo encontrado en la presente investigación, Galal & Shehata.(2015), determinaron que en la raíz y parte aérea de *Plantago major*, las concentraciones de Cr, decrecían al aumentar la distancia desde 10 m a 200 m de la zona del tráfico, concentración que variaban desde 62,1 a 49,0 mg/Kg de Cr para raíces y en la parte aérea desde 17,3 a 11,6 mg/kg para la misma variación de distancia. Existe muchos factores que influyen en la fitoextracción de metales pesados, así por ejemplo, la presencia de fosfatos en los suelos podrían incrementar la disolución de algunos metales y metaloides como el Cr, incrementándose la biodisponibilidad y la eficiencia de fitoextracción (Adriano, 2001); pero el otro factor determinante es el tipo de planta.

Por otro lado algunos valores de concentración de Cr, en esta investigación están por encima de los niveles máximos permisibles, 2 mg/Kg (WHO, 2005), es el caso de *T. officinale* (D-H-0) con 2,63 mg/Kg y 4,793 mg/Kg para D-H-1, como también para *P. australis* (LL-R-0) con 3,347 mg/Kg. Estos valores son menores a los encontrados por (Okem et al., 2014), al investigar once plantas medicinales más comunes expendidos en los mercados de dos ciudades de Sudáfrica, cuyas concentraciones de cromo variaron desde 4,76 a 237 mg/kg de Cr. El hecho de incrementar la concentración de Cr en *T. officinale*, en la zona alejada del tráfico, puede ser debido al proceso de meteorización de las rocas de la zona 1, dando como resultado el desprendimiento de cationes metálicos hacia el suelo, incrementando su concentración y la biodisponibilidad para la planta (Adeleke et al., 2017; Fenton & Helyar, 1999)

Dependiendo de la forma de consumo de estas plantas podría representar un riesgo para la salud, con sintomatologías variadas que afectan muchos órganos, hígado, riñón y pulmón, contrariamente la deficiencia de Cr (III) está caracterizada por disturbios en el metabolismo de glucosa, lípidos y proteínas (Awodele et al., 2013; McGrath & Zhao, 2003), siendo el Cr (VI) el más tóxico; considerando que el consumo de estas plantas generalmente es en infusión o cocción, estas concentraciones podrían variar.

4.1.3. Variación de la concentración de plomo en raíces y parte aérea de las plantas en estudio en función de la distancia

Tabla 6

Concentración media de Plomo (mg/Kg) en raíz y parte aérea de *T. officinale* (diente de león), *H. meyeniana* (pilli pilli) y *P. australis* (puna llantén) de las distancias 0 y 1.

Planta	mg/Kg	Límite inferior	Límite superior	Diferencia (0-1)
D-H-0	2,187 ^e	2,03	2,346	1,6263*
D-H-1	0,599 ^b	0,40	0,719	
D-R-0	1,543 ^d	1,38	1,703	1,517*
D-R-1	0,026 ^a	-0,13	0,186	
P-H-0	0,07 ^a	-0,09	0,229	0,0496
P-H-1	0,02 ^a	-0,14	0,18	
P-R-0	0,028 ^a	-0,13	0,188	-0,059
P-R-1	0,087 ^a	0,00	0,247	
LL-H-0	1,033 ^c	0,87	1,193	0,731*
LL-H-1	0,302 ^{ab}	0,14	0,462	
LL-R-0	3,2 ^f	3,04	3,359	3,1843*
LL-R-1	0,016 ^a	-0,14	0,175	

n= 3

Las letras relacionan la significancia, evaluado a través del test de Tukey, con un nivel del 95% de confianza. * Diferencia significativa.

Las concentraciones de Pb, según el reporte de la Tabla 6, son mayores para la raíz de *P. australis* y la parte aérea de *T. officinale* de la zona de alto tráfico, con valores de 3,2 mg/Kg y 2,187 mg/ Kg, para (LL-R-0) y (D-H-0), respectivamente.

En el caso de *H. meyeniana*, no se observa buena capacidad de bioabsorción para la parte aérea como para sus raíces, es posible debido a la poca biomasa aérea y su raíz leñosa.

Así mismo, de acuerdo al análisis de varianza (ANOVA), Tabla 22 (anexos) se acepta a un 95% de confianza que existe diferencia significativa (p -valor $< 0,05$) entre las concentraciones de Pb, tanto entre las partes de las plantas investigadas, como también entre las concentraciones correspondiente a la distancia 0 y 1; con una interacción significativa planta- distancia (p -valor $< 0,05$), que se manifiesta en P-H y P-R como se aprecia en la Figura 10. Se puede deducir en general, que existe una relación directa entre el incremento de la concentración de este metal y la cercanía a la zona del tráfico vehicular para todos los casos, excepto para P-H y P-R.

Las concentraciones de plomo más significativas, según el test de Tukey corresponden a los pares contrastados, que forman: D-H-0 y D-H-1; D-R-0 y D-R-1; LL-H-0 y LL-H-1; LL-R-0 y LL-R-1, todos influenciados por la distancia 0, como se observa en la Tabla 6 y Figura 10.

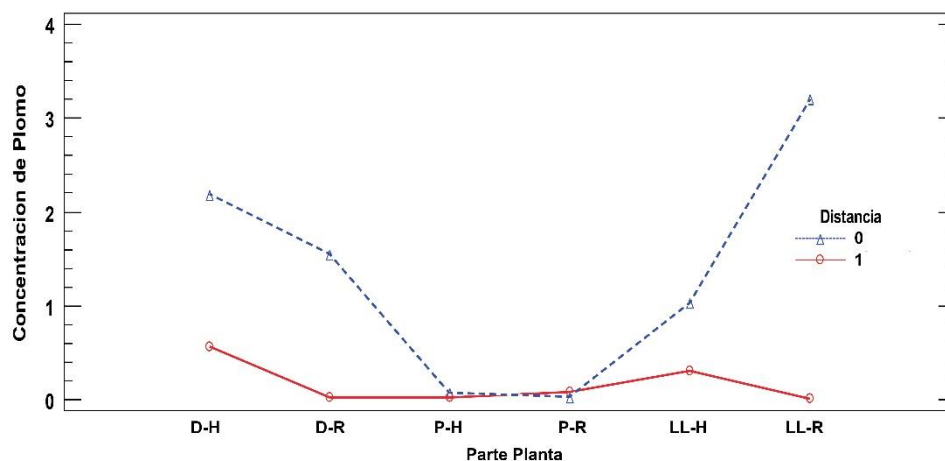


Figura 10. Variación de concentración de plomo entre las partes de las plantas y la distancia

Los valores de la concentración de plomo encontradas tanto en raíz como en la parte aérea de las plantas medicinales en estudio, son inferiores a 10 mg/Kg, valor límite propuesto por la OMS (WHO, 2005), para plantas medicinales, de modo que no representaría riesgo alguno, por estar dentro de los límites permisibles.

Muchos autores han comentado sobre la absorción foliar de Pb atmosférico, los principales mecanismos que gobiernan este proceso pueden ser la internalización a través de la cutícula o la penetración a través de los estomas de las hojas (Schreck et



al., 2012), de otro lado, Petrova et al (2013), menciona que las altas concentraciones de Pb en la parte aérea de diente de león es producto de la emisión del escape de los vehículos, como también la presencia de este metal en los rizomas mediante suelos contaminados con desechos de diferentes operaciones y deposiciones húmedas. En el caso de *T. officinale* en la presente investigación, muestra mayor concentración de Pb en hojas que en raíces, que puede estar influenciada por la contaminación del suelo y la contaminación atmosférica, favorecida por el tamaño de su masa foliar.

En algunas plantas el Pb es capaz de acumularse principalmente en las raíces siendo mínima su presencia en otras partes u órganos de los cultivos (Kabata-Pendias, 2001), además esta disponibilidad para las plantas está en función del pH del suelo (Prieto et al., 2009). La disminución del pH del suelo debido a la liberación de ciertos ácidos orgánicos de bajo peso molecular por parte de la planta, puede o no favorecer la biodisponibilidad de los metales, al formar complejos con metales pesados, estos ácidos son exudados por las raíces de las plantas (Meier et al., 2012) frente a un estrés debido a la contaminación de los suelos con metales pesados (Jones et al., 2003; Qiao et al., 2022) .

4.2. Concentración de Cd, Cr y Pb en los suelos de las plantas *T. officinale*, *H. meyeniana* y *P. australis*

Tabla 7

Concentración media de Cd, Cr y Pb (mg/Kg) en suelos de las plantas: *T. officinale* (diente de león), *H. meyeniana* (pilli pilli), y *P. australis* (puna llantén) de las distancias 0 y 1.

SUELO	Cd	Cr	Pb
S-D-0	0,313	30,267	30,6
S-D-1	0,179	30,1	16,467
S-P-0	0,588	46	64,267
S-P-1	0,135	26,333	19,533
S-LL-0	0,735	31	53,833
S-LL-1	0,204	28,067	16,4
n=3	p < 0.05	p < 0.05	p < 0.05

Fuente: Anexo 2

Las medias de concentración de los metales pesados en los suelos de las plantas medicinales de la distancia 0 y 1, constituye una data importante en la determinación de la bioacumulación, según los resultados obtenidos la concentración de cadmio en estos suelos, es muy baja comparada con la concentración de cromo y plomo, por la cantidad encontrada en los suelos, es posible que exista mayor biodisponibilidad de cromo y plomo para las plantas especialmente en la zona correspondiente a la distancia 0, cercana al tráfico vehicular.

Según el análisis de varianza (ANOVA), las concentraciones de Cd, Cr y Pb, en las muestras de suelos tienen alta significancia, ($p < 0,05$), del mismo modo su relación con las distancias 0 y 1 muestran una diferencia significativa, de acuerdo a lo que se observa en las Tablas 42, 43, 44.

4.3. Bioacumulación de metales pesados en *Taraxacum officinale* (diente de león) *Hypochaeris meyeniana* (pilli pilli), y *Plantago australis* (puna llantén)

La capacidad de bioacumulación de Cd, Cr y Pb en las plantas medicinales investigadas se determinó considerando los resultados de su concentración en raíces relacionando con la concentración en los suelos de las 3 plantas medicinales. En cada caso se realizó el

ANOVA a un nivel de confianza del 95 % a fin de analizar la variabilidad de la bioacumulación de estos metales pesados en las tres especies medicinales tomando en cuenta la cercanía del tráfico vehicular al lugar de muestreo. También se realizó la prueba de comparación múltiple de medias con el test de Tukey, a fin de observar las diferencias significativas entre los tratamientos, para Cd, Cr y Pb.

4.3.1. Variación de la bioacumulación de cadmio, en las plantas medicinales en estudio

En la Tabla 8, se puede observar que el factor de bioacumulación FB, para todas las muestras tienen valores muy bajos, que varían desde 0,0286 hasta 0,1395, que no llegan a valores mayor que 1, para las distancias 0 y 1. Por tanto, no podría considerarse ninguna de las plantas en estudio como hiperacumuladora de Cd, denominadas así cuando el FB es mayor que 1, en cambio sí pueden actuar como fitoestabilizadores. Por otro lado, todos los valores del FB aumentan a la distancia 1, no existiendo una relación directa con la distancia cercana al tráfico y el incremento de Cd, como se observa en la Figura 11, donde la raíz de *H. meyeniana* de la distancia 1, es decir P-R-1, presenta el mayor valor equivalente a 0,1395.

Tabla 8

Factor de Bioacumulación de Cadmio, para *T. officinale* (diente de león), *H. meyeniana* (pilli pilli) y *P. australis* (puna llantén) en la distancia 0 y 1.

Planta	FB	Límite inferior	Límite superior	Diferencia 0-1
D-R-0	0,0447 ^a	0,004	0,086	
D-R-1	0,0747 ^a	0,034	0,116	
P-R-0	0,0398 ^a	-0,001	0,081	-0,0996*
P-R-1	0,1395 ^b	0,099	0,18	
LL-R-0	0,0286 ^a	-0,012	0,069	
LL-R-1	0,0651 ^a	0,024	0,106	

n=3

Las letras en las medias del FB, relaciona la significancia, evaluado a través del test de Tukey, con un nivel del 95% de confianza. * Diferencia significativa.

De acuerdo al ANOVA, Tabla 24 (anexos), no existe diferencia significativa entre los elementos del factor planta ($p > 0,05$); pero sí, entre las distancias, como se puede observar en la Figura 11. El test de Tukey, Tabla 25 (anexos) y la Tabla 8, muestran que solo P-R-0 y P-R-1, tienen una diferencia significativa que no está relacionada con la distancia cercana al tráfico, contrariamente entre los valores del FB de la distancia 0, no existe diferencias significativas, como se puede ver en el gráfico de medias, Figura 11.

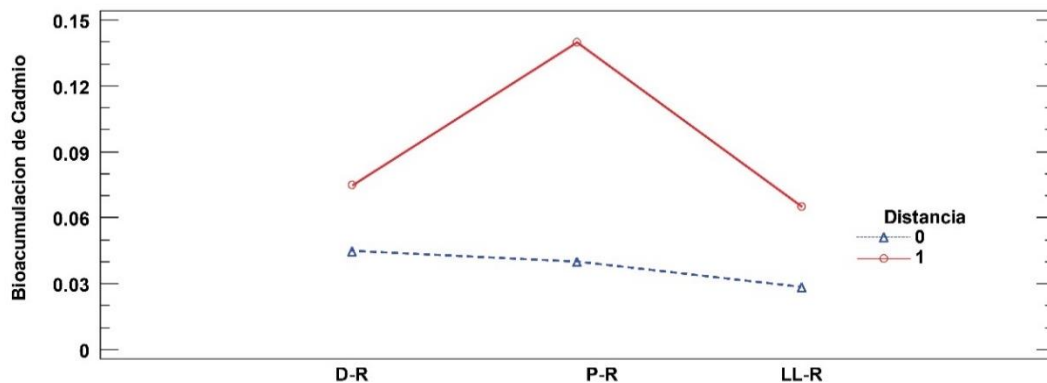


Figura 11. Bioacumulación de cadmio en *T. officinale*, *H. meyeniana* y *P. australis* a la distancia 0 y 1

Considerando que en ninguno de los casos el valor del FB es mayor que 1, las plantas *T. officinale*, *H. meyeniana* y *P. australis*, no tienen la capacidad de bioacumular Cd, en sus raíces. Sin embargo estos valores de FB puede deberse a la baja concentración de Cd en los suelos de estas plantas medicinales (Tabla 7); pero también intervienen otros factores, Gebrekidan et al (2013), mencionan que la absorción y acumulación de metales por diferentes especies de plantas depende de varios factores, pH del suelo, capacidad de intercambio catiónico, contenido de materia orgánica en el suelo, interacción suelo-planta raíz- microbiota, que juega un rol importante en la regulación del movimiento del metal del suelo a la planta. Existen investigaciones que mencionan que la secreción de ácido fumárico por las raíces reduce significativamente la absorción de Cd, de la planta, considerando que el ácido fumárico tiene alta afinidad por el Cd^{2+} (Ubeynarayana, N Jeyakumar et al., 2021).

El bajo factor de bioacumulación para cadmio en esta investigación, es además un indicativo del bajo nivel de contaminación del suelo con este metal, como lo menciona Bini et al. (2012), quienes investigaron el *Taraxacum officinale*, encontrando valores de 12,36 para una zona contaminada y 0,78 para una zona no

contaminada. Sin embargo, Wikiniyadhanee et al. (2015) afirmó que probablemente la presencia de coloides de caolinita retrase el transporte de Cd^{2+} en condiciones de mayor fuerza iónica.

4.3.2. Variación de la bioacumulación de cromo, en las plantas medicinales en estudio

Tabla 9

Factor de Bioacumulación de Cromo para *T. officinale* (diente de león), *H. meyeniana* (pilli pilli) y *P. australis* (puna llantén) en la distancia 0 y 1.

Planta	FB	Límite inferior	Límite superior	Diferencia (0-1)
D-R-0	0,0202 ^b	0,016	0,024	-0,0182 *
D-R-1	0,0384 ^c	0,034	0,043	
P-R-0	0,0006 ^a	-0,004	0,005	-0,0206*
P-R-1	0,0212 ^b	0,017	0,025	
LL-R-0	0,1081 ^d	0,104	0,112	0,0728*
LL-R-1	0,0353 ^c	0,031	0,039	

n=3

Las letras en las medias del FB, relaciona la significancia, evaluado a través del test de Tukey, con un nivel del 95% de confianza. * Diferencia significativa

Observando los resultados de la Tabla 9, los FB son menores a la distancia 0, en especial P-R-0 con el valor más bajo, excepto LL-R-0 que aumenta a la distancia 0, cercana al tráfico, como se puede apreciar también en la Figura 12. Por otro lado, se conoce que la composición de los suelos de estas plantas es alta en Cr, esto significaría que existe poca absorción de Cr, del suelo a la raíz o existe mayor movimiento del Cr hacia la parte aérea.

El análisis de varianza, Tabla 26 (anexos), indica que los valores de FB son altamente significativos ($p = 0,00$), entre las plantas y entre las distancias, como también en la interacción planta-distancia ($p=0,00$), aceptándose que al menos en una muestra existe diferencia del FB y diferencias entre las distancias. Al realizar la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey, según la Tabla 27 (anexos) y Tabla 9, se observa que la diferencia es significativa entre D-R-0 y D-R-1; como también entre P-R-0 y P-R-1 no influenciadas por la distancia cerca al tráfico; lo contrario ocurre con LL-R-0 y LL-R-1 donde la diferencia es positiva de 0,0728 existiendo entonces

influencia del tráfico vehicular, como se aprecia en la Figura 12.

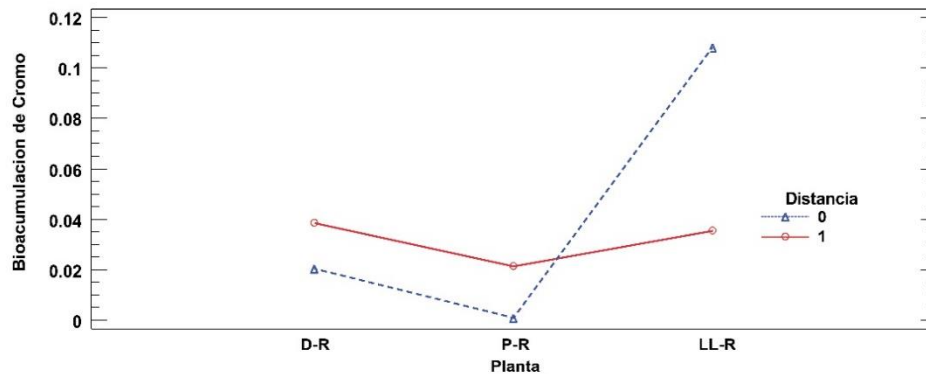


Figura 12. Bioacumulación de Cromo en *T. officinale*, *H. meyeniana* y *P. australis* a la distancia 0 y 1

Los resultados encontrados por Galal & Shehata. (2015), al investigar la bioacumulación y translocación de metales pesados en *Plantago major*, mencionan que existe una gran diferencia del FB, entre las distancias con respecto a la autopista con alto tráfico vehicular, esto se asemeja a los resultados hallados en esta investigación, específicamente para *P. australis*, ambas especies del mismo género.

Según Kabata-Pendias (2000), el Cr normalmente para plantas verdes tiene una bioacumulación media de 10^{-1} , en esta investigación la bioacumulación de Cr en *P. australis* estaría en este rango, en cambio en los otros casos corresponde a 10^{-2} considerada como ligera. La baja absorción del Cr a las raíces, que se observa en esta investigación, puede deberse al estado de oxidación del Cr en el suelo. El Cr(III) es más estable, con una ligera movilidad, dependiendo del pH del suelo (Kabata-Pendias & Szteke, 2015), puede oxidarse hasta Cr(VI), especialmente en suelos ricos en materia orgánica, variando su solubilidad (Shanker et al., 2005).

4.3.3. Variación de bioacumulación de plomo en las plantas medicinales en estudio

Tabla 10

Factor de Bioacumulación de Plomo, para *T. officinale* (diente de león), *H. meyeniana* (pilli pilli) y *P. australis* (puna llantén) en la distancia 0 y 1.

Planta	FB	Límite inferior	Límite superior	Diferencia 0-1
D-R-0	0,0512 ^b	0,043	0,059	0,0496 *
D-R-1	0,0016 ^a	-0,006	0,01	
P-R-0	0,0004 ^a	-0,008	0,008	
P-R-1	0,0045 ^a	-0,004	0,012	
LL-R-0	0,0596 ^b	0,052	0,068	0,0587 *
LL-R-1	0,0009 ^a	-0,007	0,009	

n=3

Las letras en las medias del FB relacionan la significancia, evaluado a través del test de Tukey, con un nivel del 95% de confianza. * Diferencia significativa

Los resultados de la Tabla 10, muestran que los valores del FB para Pb, están en un rango que abarca desde 0,0004 hasta 0,0596, que comparados a los de Cr y Cd, (Tabla 9 y 8 respectivamente) son los más bajos, entonces es de esperar que sus valores de factor de translocación FT, para Pb, sean mayores a los de FB, para estas especies. Se observa además que D-R-0 y LL-R-0 tienen los valores más altos del FB, con 0,0512 y 0,0596 respectivamente, con incidencia de la distancia cerca al tráfico para las especies *T. officinale* y *P. australis*, no así para *H. meyeniana*, que se puede apreciar en la Figura 13.

Considerando que las medias del FB no alcanzan el valor de 1, ninguna de las tres especies tiene capacidad de hiper acumular Pb; pero pueden ser considerados fitoestabilizadores en suelos contaminados con este metal.

De acuerdo al análisis de varianza, Tabla 28 (anexos), a un 95 % de confianza, las diferencias son significativas entre los factores de bioacumulación de plomo de las tres especies medicinales, con un p-valor < 0,05, como también existe significancia entre los FB de las distancias 0 y 1, estas diferencias son mayores a la distancia 0. (Figura 13).

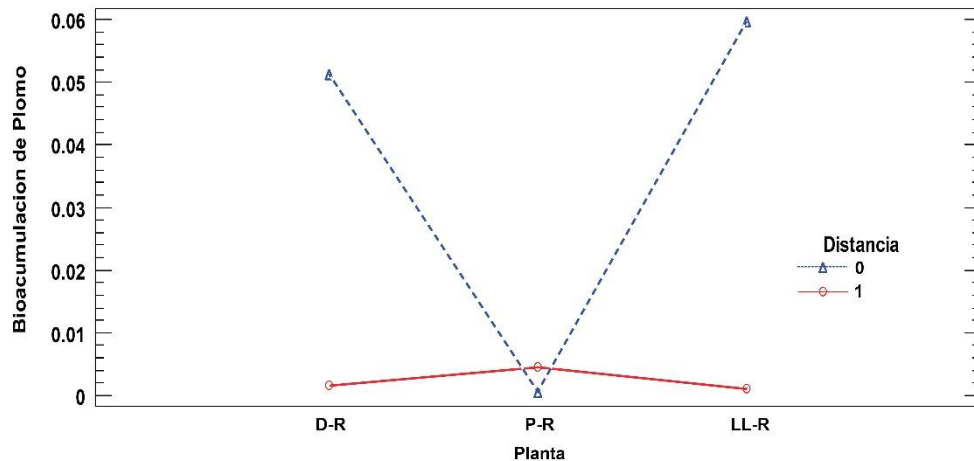


Figura 13. Bioacumulación de Plomo en *T. officinale*, *H. meyeniana* y *P. australis* a la distancia 0 y 1

Según los resultados de la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey, Tabla 29 (anexos) la diferencia es significativa entre D-R-0 y D-R-1, como también entre LL-R-0 y LL-R-1, con diferencias positivas (Tabla 10) que implica influencia del tráfico vehicular a la distancia 0.

Las especies *P. australis* y *T. officinale* muestran mayor bioacumulación posiblemente favorecida por el pH del suelo, como también por la mayor concentración de este metal en el suelo a la distancia 0, respecto a la distancia 1 (Tabla 7). Sin embargo, la capacidad de bioacumulación de las plantas para un determinado metal es diferente, dependiendo de su fisiología, pudiendo un metal ser mejor absorbido respecto a otro (Street, 2012), como se observa en esta investigación la variabilidad de los FB en las tres especies en la distancia 0. Es importante señalar que los fosfatos pueden estar asociados al Pb, generando su precipitación y disminuir su absorción desde el suelo (Diez Lázaro et al., 2002), esto explicaría la baja bioacumulación de Pb que muestra *H. meyeniana*. Las raíces leñosas tienen buena cantidad de material celulósico en la pared celular de sus células, además de presentar sitios pécticos, que jugaría un papel importante en la inmovilización de iones tóxicos de metales pesados (Manara, 2012).

4.4. Translocación de metales pesados en *Taraxacum officinale* (diente de león), *Hypochaeris meyeniana* (pilli pilli) y *Plantago australis* (puna llantén).

La translocación de los metales desde la raíz hacia la parte aérea de la planta se ha determinado calculando el factor de translocación (FT), que relaciona la concentración del metal en la parte aérea de la planta y la concentración del metal de la raíz de la respectiva especie (H/R). Para evaluar las diferencias significativas de translocación de metales entre las diferentes especies y la influencia de la distancia se realizó el ANOVA a un nivel de confianza del 95 %, de manera independiente para cada metal y como contraste se realizó la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey.

4.4.1. Variación de la translocación de cadmio en las plantas medicinales en estudio

Tabla 11

Factor de Translocación de Cadmio, para *T. officinale* (diente de león), *H. meyeniana* (pilli pilli) y *P. australis* (puna llantén) en la distancia 0 y 1.

Planta	FT	Límite inferior	Límite superior	Diferencia 0-1
D-H-0	1,47 ^b	0,968	1,972	0,1267
D-H-1	1,3433 ^{ab}	0,842	1,845	
P-H-0	0,7267 ^a	0,225	1,228	-0,0467
P-H-1	0,7733 ^{ab}	0,272	1,275	
LL-H-0	0,7233 ^a	0,222	1,225	-0,19
LL-H-1	0,9133 ^{ab}	0,412	1,415	

n=3

Las letras en las medias del FT, relaciona la significancia, evaluado a través del test de Tukey, con un nivel del 95% de confianza. * Diferencia significativa

Según los resultados reportados en la tabla 11, los FT para las tres plantas medicinales varían desde 0,7233 a 1,47, valores mucho mayores que los FB para el mismo metal, es decir con mayor capacidad de transporte y menor bioabsorción para este metal.

Los más representativos corresponden a D-H-0, D-H-1, con valores de 1,47 y 1,343, correspondientes al *T. officinale*, que resulta ser el más activo en translocar Cd hacia la biomasa aérea e influenciado por la distancia cercana al tráfico; contrariamente en el caso de *H. meyeniana* y *P. australis*, el FT resulta ser mayor a la distancia 1,

marcada diferencia por el tipo de especie, que se puede apreciar en el gráfico de medias de la Figura 14.

Considerando que el diente de león tiene valores de FT mayores a 1, esta especie tiene mayor capacidad de fitoextracción de este metal desde suelos contaminados.

De acuerdo al ANOVA, Tabla 30 (anexos), la diferencia es significativa entre el factor de translocación de las tres plantas medicinales (p -valor $< 0,05$); pero no entre las distancias ($p = 0,849$), es decir la variabilidad del FT es independiente de la influencia de la distancia. Según la prueba del test de Tukey, Tabla 31 (anexo), no se observa diferencia significativa entre los pares de la distancia 0 y 1, para todas muestras que considera la Tabla 11, corroborando que efectivamente no existe influencia de la distancia 0.

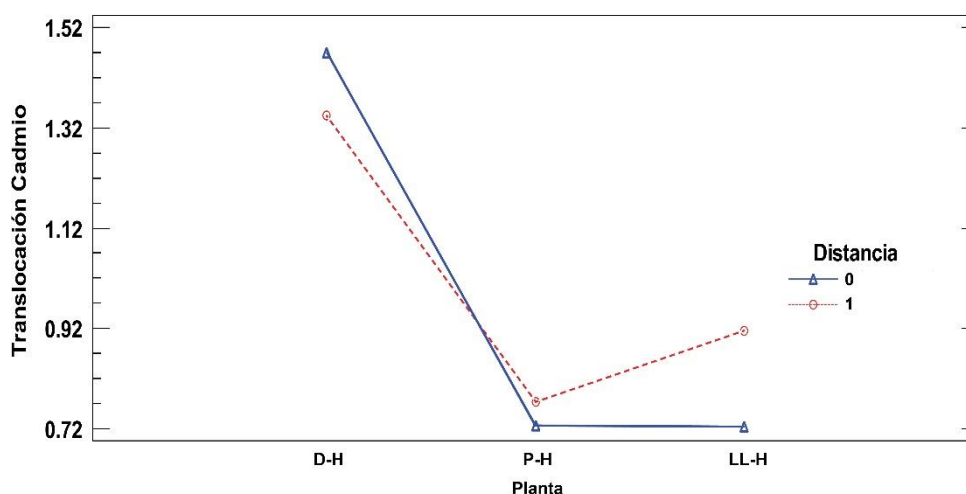


Figura 14. Variación de translocación de cadmio en *T. officinale*, *H. meyeniana* y *P. australis* a la distancia 0 y 1

Dependiendo de los niveles de absorción de los metales, la translocación mostrará una variabilidad, en el caso de Cd la bioacumulación fue baja, entonces era de esperar los bajos valores del FT, sin embargo, la poca cantidad de Cd bioacumulado, puede translocarse a la parte aérea.

En la translocación de los metales influye la presencia de grupos ligando de compuestos orgánicos de la propia planta favorecen una complejación con el ión

metálico y desde luego su movilización desde la raíz a la parte aérea de la planta, mejorando su translocación, depositándose en las vacuolas del área foliar (Navarro-Aviñó et al., 2007), por tanto la fisiología y la diferente composición química de la planta son determinantes en la capacidad o no de translocar metales.

4.4.2. Variación de la translocación de cromo en las plantas medicinales en estudio

Tabla 12

Factor de Translocación de Cromo, para *T. officinale* (diente de león), *H. meyeniana* (pilli pilli) y *P. australis* (puna llantén) en la distancia 0 y 1.

Planta	FT	Límite inferior	Límite superior	Diferencia 0-1
D-H-0	4,2733 ^c	3,53	4,594	
D-H-1	4,1767 ^c	3,856	4,497	
P-H-0	1,4067 ^b	1,086	1,727	1,3467*
P-H-1	0,06 ^a	-0,26	0,38	
LL-H-0	0,3433 ^a	0,023	0,664	-0,6467*
LL-H-1	0,99 ^b	0,67	1,31	

n=3

Las letras en las medias de FT, relaciona la significancia, evaluado a través del test de Tukey, con un nivel del 95% de confianza. * Diferencia significativa

Considerando los resultados de la Tabla 12, los factores de translocación para cromo se incrementan con respecto a los FT de Cd (Tabla 11), en especial en D-H-0 con un FT de 4,2733, seguido de D-H-1 y P-H-0, con valores mayor que 1, mostrando una mayor capacidad de translocación de Cr, hacia la biomasa aérea, principalmente el *T. officinale* y *H. meyeniana* a la distancia 0, demostrando una mayor movilidad de cromo en estas plantas frente al cadmio.

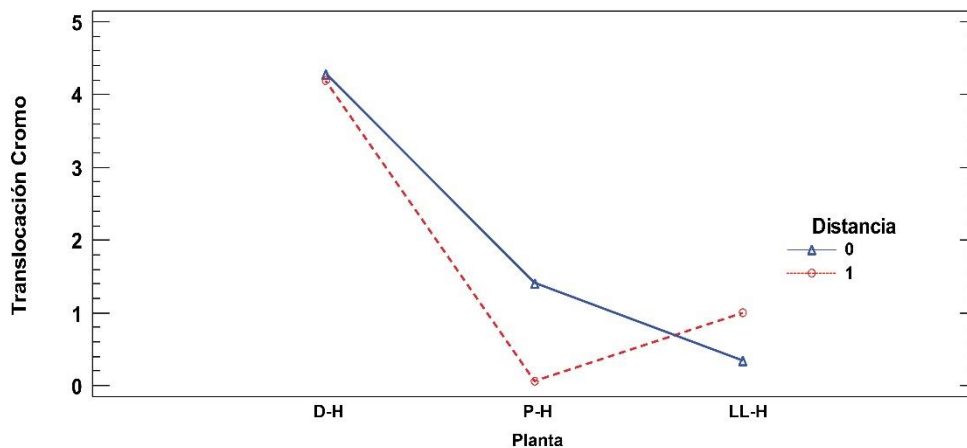


Figura 15. Variación de translocación de cromo en *T. officinale*, *H. meyeniana* y *P. australis*, a la distancia 0 y 1

El ANOVA para la translocación de Cr, indica diferencia significativa (p -valor $< 0,05$) entre los valores del FT de las tres plantas medicinales, la significancia también se da entre las distancias y la interacción planta-distancia, existiendo entonces la influencia de la distancia 0, en el factor de translocación, como es el caso de *H. meyeniana* (Figura 15).

De acuerdo a la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey, Tabla 33 (anexos) y la Tabla 12, existe diferencia significativa entre P-H-0 y P-H-1 influenciada por la distancia 0, contrariamente entre LL-H-0 y LL-H-1 la significancia es independiente de la distancia 0, en cambio para D-H-0 y D-H-1 no existe diferencia, como puede observarse en la Figura 15.

La capacidad del *T. officinale* para translocar Cr con un FT superior a 1, a ambas distancias (0 y 1), puede estar relacionada a varios factores, entre ellos la fisiología de la especie que determina su capacidad de tolerancia a un determinado metal, favoreciendo el mecanismo de transporte del Cr, en esta especie, Shanker et al. (2005), postula que el Cr (VI) sería absorbido por un mecanismo activo mediante transportadores de aniones esenciales como el sulfato, aunque también se ha reportado que el Fe y P compiten con el Cr por unión al transportador. Un pH ácido de la matriz vegetal aumenta la movilidad del Cr (VI) frente al Cr (III), siendo el primero el más tóxico (Xu et al., 2020), existiendo mayor posibilidad de depósito de Cr en el área foliar del *T. officinale*, su consumo constituiría un riesgo para la salud.

4.4.3. Variación de translocación de plomo en las plantas medicinales en estudio

Tabla 13

Factor de Translocación de Plomo, para *T. officinale* (diente de león), *H. meyeniana* (pilli pilli) y *P. australis* (puna llantén) en la distancia 0 y 1.

Planta	FT	Límite inferior	Límite superior	Diferencia 0-1
D-H-0	1,4533 ^a	-2,216	5,122	-19,94*
D-H-1	21,3933 ^b	17,724	25,062	
P-H-0	2,5167 ^a	-1,152	6,186	
P-H-1	0,2333 ^a	-3,436	3,902	
LL-H-0	0,3267 ^a	-3,342	3,996	-19,98*
LL-H-1	20,31 ^b	16,641	23,979	

n=3

Las letras en las medias del FT, relaciona la significancia, evaluado a través del test de Tukey, con un nivel del 95% de confianza. * Diferencia significativa

Los resultados del factor de translocación de la Tabla 13, muestra valores mucho mayores que los observados para los FT de Cd y Cr, entre estos resalta los correspondientes al *T. officinale* y *P. australis*, ambos para la distancia 1, con valores de 21,3933 y 20,31 respectivamente, muy diferente a los correspondientes a la distancia 0, para las mismas especies, con 1,453 y 0,327. La capacidad de translocar Pb en estas 2 especies explica que existe mayor acumulación de Pb en la biomasa aérea.

Considerando el ANOVA, Tabla 34 (anexos), existe diferencias significativas entre los factores de translocación para Pb ($p < 0,05$), en las tres plantas investigadas, observándose más a la distancia 1, como también existe significancia entre las distancias y la interacción distancia-planta, que se puede apreciar en el gráfico de medias de la Figura 16.

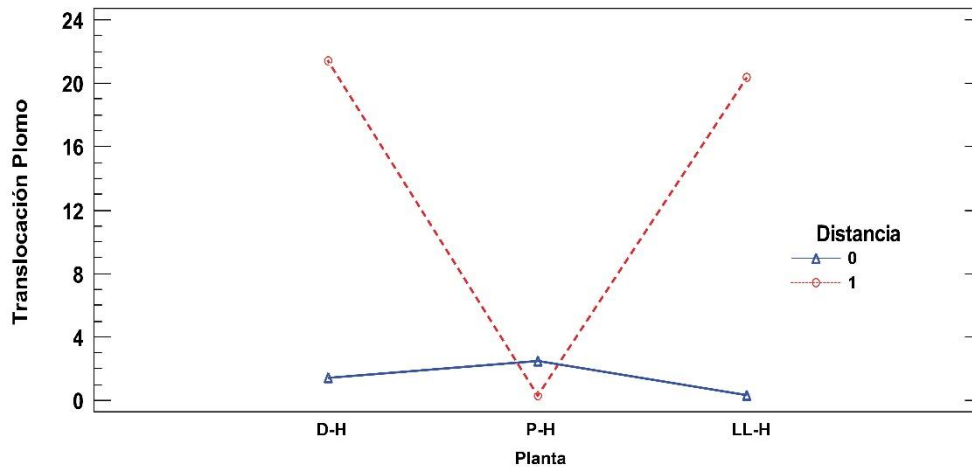


Figura 16. Variación de translocación de Plomo en *T. officinale*, *H. meyeniana* y *P. australis*, a la distancia 0 y 1

La prueba de comparación múltiple de medias de Tukey, Tabla 35(anexos) y Tabla 13, muestra que existe diferencia significativa entre D-H-0 y D-H-1, como también entre LLH-0 y LL-H-1, siendo para estos casos la diferencia negativa, los FT son independientes de la influencia de la distancia 0 (Figura 16).

Según Bini et al. (2012), los metales pesados en las raíces de *Taraxacum officinale* presentan bajas concentraciones con respecto a las hojas, esto sugiere la capacidad de esta planta de translocar más metales de la raíz a la parte aérea, en especial Pb.

Estos resultados indican que *T. officinale* y *P. australis* que se caracterizan por tener mayor biomasa aérea, pueden considerarse plantas hipertranslocadoras del metal plomo, en comparación a *H. meyeniana* cuya área foliar es muy pequeña.

Según Galal & Shehata.(2015), considera que las plantas con factores de translocación altos, son aptos para la fitoextracción del suelo, sin embargo desde el punto de vista de la salud, esto conlleva a cierto riesgo en el consumo de la parte aérea de *T. officinale* y *P. australis*; pero podrían ser utilizadas como fitomejoradores ambientales.

Algunos autores como Olowoyo et al.(2012), señalan que la fuente de metales en las hojas pueden no ser siempre el resultado de la absorción desde el suelo, sino también se debe a su capacidad de absorción de metales pesados por deposición atmosférica en las hojas, que pueden ser influenciados por factores ambientales tales como

temperatura, humedad y velocidad del viento y la naturaleza de los vegetales, en esta investigación se atribuiría para el caso de *T. officinale* y *P. australis*.

4.5. Concentración de metales pesados en infusión y cocción de *T. officinale* (diente de león), *H. meyeniana* (pilli pilli) y *P. australis* (puna llantén)

El riesgo que puede representar para la salud el consumo de estas tres plantas medicinales, en forma de infusiones o decocciones se pudo determinar conociendo la concentración de Cd, Cr y Pb en estos preparados en base a la raíz y la parte aérea (hojas, tallos y flores) de *T. officinale*, *H. meyeniana* y *P. australis*

4.5.1. Concentración de cadmio en infusión y cocción de *T. officinale*, *H. meyeniana* y *P. australis*

Tabla 14

Concentración de cadmio en infusión y cocción de *T. officinale* (diente de león), *H. meyeniana* (pilli pilli) y *P. australis* (puna llantén).

Planta	µg/L	Límite inferior	Límite superior	Diferencia 0-1
I-D-H	0,0867 ^{d,e}	0,06	0,113	-0,2033*
C-D-H	0,29 ^g	0,263	0,317	
I-D-R	0,03 ^{a,b}	0,003	0,057	
C-D-R	0,06 ^{b,c,d}	0,033	0,087	
I-P-H	0,08 ^{c,d,e}	0,053	0,107	
C-P-H	0,09 ^{d,e}	0,063	0,117	
I-P-R	0,11 ^e	0,083	0,137	0,0867*
C-P-R	0,023 ^{a,b}	0	0,05	
I-LL-H	0,043 ^{a,b,c}	0,017	0,07	-0,2367*
C-LL-H	0,28 ^g	0,253	0,307	
I-LL-R	0,02 ^a	0	0,047	-0,14*
C-LL-R	0,16 ^f	0,133	0,187	
n=3				

Las letras en la concentración media relacionan la significancia, evaluado a través del test de Tukey, con un nivel del 95% de confianza. * Diferencia significativa

Los resultados de la Tabla 14, muestran que las concentraciones de Cd, en las infusiones de las tres especies medicinales son bajas con respecto a los extractos por cocción, que varían desde 0,02 µg/L hasta 0,0867 µg/L. Las mayores concentraciones de los extractos por cocción corresponden a las hojas de *T. officinale* y *P. australis*, 0,29 y 0,28 µg/L respectivamente. En todos los casos, la concentración de Cd no

sobrepasa los 3 $\mu\text{g/L}$, considerado como el máximo permisible normado por la OMS (FAO/OMS, 2003).

De acuerdo al ANOVA, Tabla 36 (anexos), se observa diferencia significativa (p -valor $< 0,05$) entre las concentraciones de acuerdo a la forma de extracción, infusión y cocción; como también entre los extractos de las tres plantas medicinales. Existiendo relación entre la variable tipo de extracción y tipo de planta para la concentración de Cd, con una interacción extracto-planta, de p valor $< 0,05$, como se observa en la Figura 17, para el caso del extracto por infusión de raíz de *H. meyeniana*.

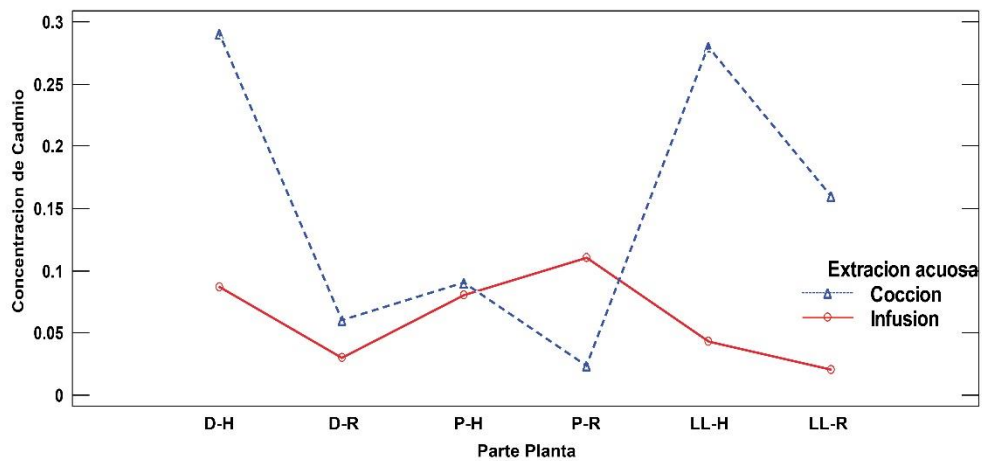


Figura 17. Concentración de Cadmio en infusión y cocción de la parte aérea y raíz de *T. officinale*, *H. meyeniana* y *P. australis*.

El análisis del test de Tukey, Tabla 37 (anexos) y Tabla 14, muestra que las diferencias son significativas (letras iguales) entre los pares I-D-H y C-D-H; I-LL-H y C-LL-H; I-LL-R y C-LL-R, en los tres casos influye la extracción por cocción y entre I-P-R y C-P-R predomina la extracción por infusión, que se observa en la Figura 17.

Basgel & Erdemoglu. (2006), investigaron presencia de 7 metales en infusiones de 10 plantas medicinales, entre ellas la manzanilla, encontrando una cantidad mínima de Cd 1,11ppb, de la misma manera Diaconu et al. (2013), no detectaron Cd en infusiones de *Taraxacum officinale* y *Plantago major*, comparando con lo encontrado en la presente investigación también existen bajas cantidades de Cd, estos resultados explicarían la baja solubilidad del Cd por estar formando complejos con otras

sustancias, disminuyendo su solubilidad (Shanker et al., 2005), por tanto no existiría riesgo de la ingesta de Cd por el consumo de estas infusiones.

La OMS, propone máximos permisibles del metal cadmio, en infusiones equivalente a 7 µg /Kg de peso corporal/ día (FAO/OMS, 2003). Según los resultados encontrados en esta investigación, la mayor concentración de Cd es 0,29 µg/L, con este valor no se alcanzaría el máximo permitido al consumir 1L de extracto por cocción para un individuo de 60 Kg.

4.5.2. Concentración de Cromo en infusión y cocción de *T. officinale*, *H. meyeniana* y *P. australis*

Tabla 15

Concentración de cromo en infusión y cocción de *T. officinale* (diente de león), *H. meyeniana* (pilli pilli) y *P. australis* (puna llantén).

Planta	µg/L	Límite inferior	Límite superior	Diferencia
I-D-H	1,1533 ^{a,b}	0,747	1,56	-0,9467 *
C-D-H	2,1 ^c	1,694	2,506	
I-D-R	1,3833 ^{a,b}	0,977	1,79	-0,7167 *
C-D-R	2,1 ^c	1,694	2,506	
I-P-H	1,0533 ^a	0,647	1,46	
C-P-H	1,1866 ^{a,b}	0,78	1,593	
I-P-R	1,0533 ^a	0,647	1,46	-0,6667*
C-P-R	1,72 ^{b,c}	1,314	2,126	
I-LL-H	1,5333 ^{a,b,c}	1,127	1,94	
C-LL-H	1,6333 ^{b,c}	1,227	2,04	
I-LL-R	1,15 ^{a,b}	0,744	1,556	-0,8333*
C-LL-R	2,0333 ^c	1,627	2,44	
n=3				

Las letras en la concentración media, relaciona la significancia, evaluado a través del test de Tukey, con un nivel del 95% de confianza. * Diferencia significativa

En la Tabla 15, se observa que las concentraciones de Cr, son mayores en los extractos por cocción, en un rango de 1,15 a 2,1 µg/L, correspondiendo a *T. officinale*, tanto en hoja como en raíz, las concentraciones mayores de 2.1 µg/L para C-D-H y C-D-R respectivamente.

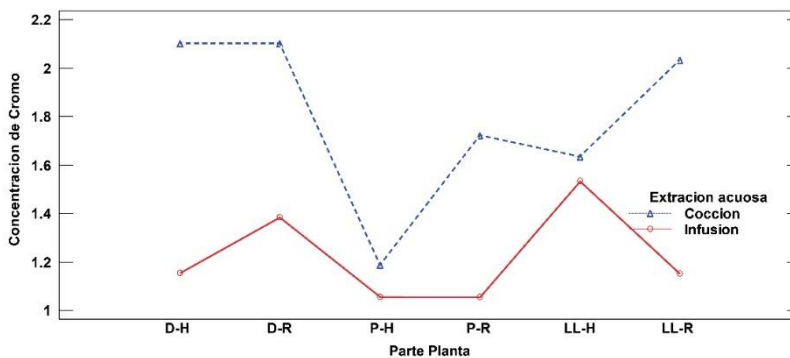


Figura 18. Concentración de Cromo en infusión y cocción de *T. officinale*, *H. meyeniana* y *P. australis* de la parte aérea y raíz

En el caso de *H. meyeniana* no se observa una buena extracción de cromo en infusión como en cocción, posiblemente por la naturaleza leñosa de esta raíz donde el metal puede estar fuertemente acompañado con otras sustancias quelantes propias de la raíz.

Por el análisis de varianza, Tabla 38 (anexo), existe diferencia significativa ($p=0,00$) entre las concentraciones de Cr de acuerdo al tipo de extractos, infusión y cocción; pero, no se observa significancia de concentración de Cr entre los extractos de las partes de las plantas ($p > 0,05$), así mismo la interacción tipo de extracto-planta, no muestra significancia ($p > 0,05$) no existiendo entonces influencia de la forma de extracción en la concentración de Cr.

Según el análisis de comparación múltiple de Tukey, Tabla 39 (anexos), existe diferencias significativas (letras iguales) entre todos los pares que considera la Tabla 15, que permite diferenciar el efecto del tipo de extracto, excepto entre I-P-H y C-P-H, como se observa en la Figura 18.

Diaconu et al. (2013), Al investigar las infusiones de *Taraxacum officinale* y *Plantago major* en Rumania, encontraron concentraciones mayores de Cr, con 5,21 mg/Kg y 8,58 mg/Kg respectivamente, en la presente investigación las concentraciones de Cr en *T. officinale* y *P. australis*, tienen valores apreciables. La mayor solubilidad del Cr (VI), probablemente sea la causa de estos valores, frente a la del Cd y Pb.

Las concentraciones de Cr, que figuran en la Tabla 15, están dentro de los límites máximos permisibles de 0,05 mg/L, recomendados por la OMS (FAO/OMS, 2003) y usados actualmente por la SUNASS (SUNASS, 2004), para determinar la calidad de agua de bebida.

Según EFESA. (2014), el límite de Cr en el consumo de infusiones, debería ser 0,3 mg/Kg de peso corporal/día, aun así no existiría riesgo alguno en el consumo de estas infusiones.

4.5.3. Concentración de Plomo en infusión y cocción en *T. officinale*, *H. meyeniana* y *P. australis*

Tabla 16

Concentración de Plomo en infusión y cocción de *T. officinale* (diente de león), *H. meyeniana* (pilli pilli) y *P. australis* (puna llantén).

Planta	µg/L	Límite inferior	Límite superior	Diferencia
I-D-H	0,9767 ^f	0,915	1,038	-0,8933
C-D-H	1,87 ^h	1,808	1,932	
I-D-R	0,29 ^a	0,228	0,352	-0,25
C-D-R	0,54 ^{c,d}	0,478	0,602	
I-P-H	0,5233 ^c	0,462	0,585	-0,0967
C-P-H	0,62 ^d	0,558	0,682	
I-P-R	0,28 ^a	0,218	0,342	-0,13
C-P-R	0,41 ^b	0,348	0,472	
I-LL-H	0,7467 ^e	0,685	0,808	-0,3033
C-LL-H	1,05 ^{f,g}	0,988	1,112	
I-LL-R	0,2233 ^a	0,162	0,285	-0,8467
C-LL-R	1,07 ^g	1,008	1,132	
n=3				

Las letras en la concentración media, relaciona la significancia, evaluado a través del test de Tukey, con un nivel del 95% de confianza. * Diferencia significativa

La concentración de plomo en los extractos de las plantas en investigación aumenta con el proceso de extracción por cocción (Tabla 16), en los cuales los extractos de las hojas de *T. officinale*, presentan los valores más altos, I-D-H con 0,977 µg/L y C-D-H con 1, 87 µg/L, seguido de los extractos de *P. australis*. Por otro lado, los extractos de las partes aéreas de las tres especies tienen mayores concentraciones de plomo respecto a los extractos de raíces, tanto en infusión y cocción. Comparando

estos valores con los máximos permisibles normados por la OMS (0,01mg/L) (WHO, 1996) y la SUNASS (0,01 mg/L) (SUNASS, 2004), los téis de estas plantas no representan riesgo alguno para la salud en cuanto a su contenido de Pb.

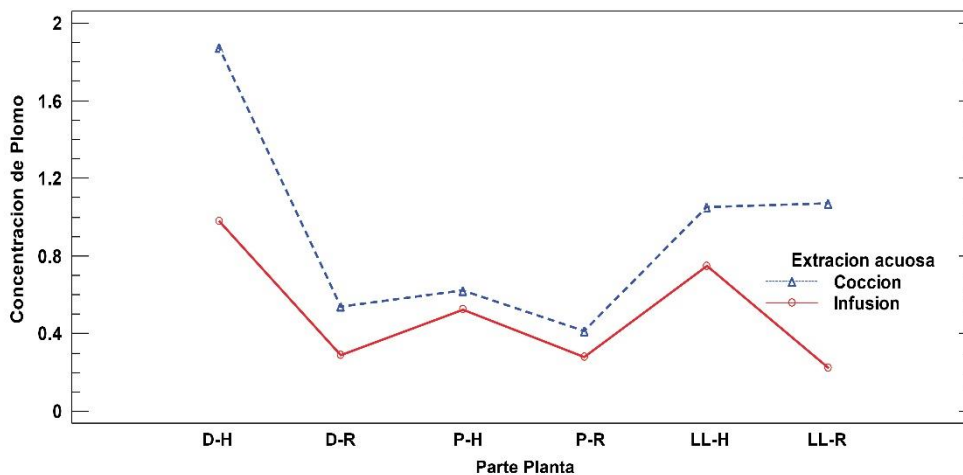


Figura 19. Concentración de Plomo en infusión y cocción de la parte aérea y raíz de *T. officinale*, *H. meyeniana* y *P. australis*

De acuerdo al ANOVA, Tabla 40 (anexos), la diferencia es significativa (p -valor < 0,05) entre las concentraciones de Pb en los extractos de infusión y cocción, estas diferencias, se corroboran con la prueba de comparación múltiple de test de Tukey, Tabla 41 (anexos), y Tabla 16 resaltando una diferencia significativa entre concentraciones de Pb, de infusiones y cocciones para todos los casos, por las diferencias negativas que se observa predomina las concentraciones por cocción, como se aprecia en la Figura 19.

Los resultados de la concentración de Pb, se consideran no riesgosos, pues están lejos de los máximos permisibles considerados por semana o por día, como establece la OMS, 25 $\mu\text{g}/\text{Kg}$ de peso corporal /día (FAO/OMS, 2003), es decir si se consumiera al día 0,9767 $\mu\text{g}/\text{L}$ de infusión de hojas de diente de león (I-D-H), para un individuo de 60 Kg, estaría lejos de alcanzar el máximo permisible.

Cuando las plantas medicinales se encuentran contaminadas en la superficie con sales inorgánicas de Pb, es posible que grandes proporciones puedan disolverse en el agua caliente. Sin embargo, a nivel de trazas se encuentran orgánicamente unidas a las células, entonces el paso del plomo a la infusión es relativamente bajo, dependiendo



también de la eficiencia de extracción (Salahinejad & Aflaki, 2010). En esta investigación, el pasaje de los metales a las infusiones y cocciones no ha sido significativamente alto, debido al menor grado de solubilidad del metal y posiblemente a la naturaleza de la planta.

CONCLUSIONES

En las tres especies medicinales estudiadas, la concentración de los metales pesados varía en el siguiente orden: $Cr > Pb > Cd$, con una concentración mayor de Cr y Pb, en *Taraxacum officinale* (diente de león) y *Plantago australis* (puna llantén), para Cr 4,793 mg/Kg en **D-H-1** y Pb 3,2 mg/Kg en **LL-R-0**, respectivamente, en este último caso influenciada por la distancia 0 cercana al tráfico vehicular. En hojas de *Taraxacum officinale* y raíces de *Plantago australis*, las concentraciones de Cr, exceden los máximos permisibles (2 mg/Kg).

La bioacumulación de los tres metales en las raíces de las plantas medicinales estudiadas varían en el siguiente orden $Cd > Cr > Pb$, con valores de factor de bioacumulación de 0,1395 para Cd en P-R-1 (*Hypochaeris meyeniana*); 0,1081 para Cr en LL-R-0 (*Plantago australis*) y 0,0596 para Pb en LL-R-0 (*Taraxacum officinale*), con diferencias significativas para los factores de bioacumulación de estas dos últimas especies, influenciados por el tráfico vehicular.

Los factores de translocación de los metales en las tres especies medicinales, varían en el siguiente orden: $Pb > Cr > Cd$, para Pb en D-H-1 (*Taraxacum officinale*) y en LL-H-1 (*Plantago australis*) con un factor de translocación de 21,393 y 20,31 respectivamente y para Cr en D-H-0 y D-H-1 (*Taraxacum officinale*) con factores de translocación de 4,273 y 4,177 respectivamente, esta última influenciada por la distancia cercana al tráfico. Por los valores de FT mayores a 1, el *Taraxacum officinale* tiene mayor capacidad de translocar los tres metales hacia la biomasa aérea; por tanto, dependiendo de la forma de consumo, representaría un riesgo para la salud.

La bioacumulación y translocación de Cd, Cr y Pb, en las tres plantas medicinales, no representa su contenido en los suelos, tampoco existe una incidencia absoluta de contaminación por el tráfico vehicular.

Las concentraciones de metales pesados en los extractos por infusión y cocción de las tres plantas medicinales, varían en el siguiente orden: $Cr > Pb > Cd$, con diferencias significativas para los tres metales, en ambos extractos. Las concentraciones mayores corresponden a los extractos por cocción de *Taraxacum officinale*, con 2,1 $\mu\text{g/L}$ en C-D-H para Cr y *Plantago australis* con 2,033 $\mu\text{g/L}$ en C-LL-R para el mismo metal. En todos los casos la solubilidad de estos metales en los extractos es muy baja respecto a su



concentración en las raíces y la parte aérea de las plantas investigadas. Las concentraciones de estos metales en los extractos por infusión y cocción, no sobrepasan los límites máximos permisibles normados por las organizaciones de regulación, sin embargo, se recomienda un consumo esporádico para evitar efectos adversos para la salud.



RECOMENDACIONES

- Es necesario hacer un monitoreo de la presencia de estos metales y su concentración en las plantas medicinales que se expenden en los mercados de la ciudad del Cusco, más aún si se desconoce el lugar de procedencia.
- La presencia de metales pesados en las plantas medicinales puede disminuir el efecto de los principios activos de estas plantas medicinales, por tanto, se sugiere investigar la relación entre un metabolito secundario con acción terapéutica y el efecto de la concentración de estos metales.

BIBLIOGRAFÍA

- Adeleke, R., Nwangburuka, C., & Oboirien, B. (2017). Origins, roles and fate of organic acids in soils: A review. *South African Journal of Botany*, *108*, 393–406.
- Adriano, D. C. (2001). *Trace Elements in Terrestrial Environments-Biogeochemistry, Bioavailability, and Risks of Metals*. Springer New York, NY. <https://doi.org/https://link.springer.com/book/10.1007/978-0-387-2>
- Agency for Toxic Substance and Disease Registry. (2008). Toxicological profile for cadmium. U.S.A: Department of Health and Human Services.
- Agency for Toxic Substance and Disease Registry. (2012). Toxicological profile for cadmium. Department of Health and Human Services. Public Health Service.
- Alvarez, A., Arias, Y., Luna, J. R., Di Bernardo, M. L., García, M. Y., Yañez, C., & Rondón, C. (2008). Cuantificación de plomo y mercurio en productos naturales con fines terapeuticos comercializados en Venezuela. *Revista de Toxicología- RETEL*, *15*.
- Annan, K., Kojo, A., Cindy, A., Samuel, A. N., & Tunkumgnen, B. (2010). Profile of heavy metals in some medicinal plants from Ghana commonly used as components of herbal formulations. *Pharmacognosy Research*, *2*(1), 41–44. <https://doi.org/10.4103/0974-8490.60579>
- ATSDR. (2020). Toxfaqs, Plomo. *Health and Human Services*.
- Awodele, O., Popoola, T. D., Amadi, K. C., Coker, H. A. B., & Akintonwa, A. (2013). Traditional medicinal plants in Nigeria - Remedies or risks. *Journal of Ethnopharmacology*, *150*(2), 614–618. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2013.09.015>
- Basgel, S., & Erdemoglu, S. . (2006). Determination of mineral and trace elements in some medicinal herbs and their infusions consumed in Turkey. *Science of The Total Environment* ., *359*, 82–89. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.04.016>
- Bech, J., Roca, N., Tume, P., Ramos-Miras, J., Gil, C., & Boluda, R. (2016). Screening for new accumulator plants in potential hazards elements polluted soil surrounding Peruvian mine tailings. *Catena*, *136*, 66–73. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.07.009>
- Beck, S., Domic, A., García, C., Meneses, R. I., Yaguer, K., & Halloy, S. (2010). El Parque Nacional de Sajama y sus Plantas. Herbario Nacional de Bolivia- Fundacion PUMA.

- Bempah, C., Boateng, J., Asomaning, J., & Asabere, S. B. (2012). Heavy metals contamination in herbal plants from some Ghanaian markets. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 2(3), 886–896.
- Bini, C., Wahsha, M., Fontana, S., & Maleci, L. (2012). Effects of heavy metals on morphological characteristics of *Taraxacum officinale* Web growing on mine soils in NE Italy. *Journal of Geochemical Exploration*, 123, 101–108. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2012.07.009>
- Bolan, N., Kunhikrishnan, A., Thangarajan, R., & Kumpiene, J. (2014). Remediation of heavy metal (loid) s contaminated soils – To mobilize or to immobilize? *Journal of Hazardous Materials*, 266, 141–166.
- Brack Egg, A. (1999). Diccionario enciclopédico de plantas útiles del Perú (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (ed.)). Centro de Estudios Regionales Andinos Bartolome de las Casas.
- Chank, K. (2003). Some aspects of toxic contaminants in herbal medicines. *Chemosphere*, 52(9), 1361–1371.
- Chen, J. ., & Jia, M. . (2005). Regulation and analysis on limit contents for heavy metals and pesticide residues in medicinal plants from the pharmacopoeias of china, the United States, Britain, Japan and Europe, West China. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 20(6), 525–527.
- De Smet, P. A., Keller, K., Hänsel, R., & Chandler, R. F. (1992). Adverse effects of herbal. *Springer-Verlag*, 1, 34–72.
- Diaconu, D., Diaconu, R., & Navrotescu, T. (2013). Estimation of heavy metals in medicinal plants and their infusions. *Ovidius University Annals of Chemistry*, 23(1), 115–120. <https://doi.org/10.2478/v10310-012-0019-0>
- Diez Lázaro, F. J. (2008). Fitocorrección de suelos contaminados con metales pesados : Evaluación de plantas tolerantes y optimización del proceso mediante prácticas agronómicas. In USC-Universidad de Santiago de Compostela.
- Diez Lázaro, J., Kidd, P., & Monterroso, C. (2002). Biodisponibilidad de metales en suelos y acumulación en plantas en el área de trás-os-montes (NE Portugal): Influencia del material original. *Edafología*, 9(3), 313–328.
- EFESA. (2014). Scientific opinion on the risksto public health related to the presence of chromium in food and drinking water. *EFSA Journal*, 12(3), 3595.
- FAO/OMS. (2003). Joint Fao/Who Expert Committee On Food Additives Sixty-First meeting-Sumary and Conclusions.



- Favas, P. J. C., Pratas, J., & Prasad, M. N. V. (2012). Accumulation of arsenic by aquatic plants in large-scale field conditions: opportunities for phytoremediation and bioindication. *Science of the Total Environment*, 433, 390–397.
- Fenton, G., & Helyar, K. . (1999). The causes and management acid soils. Invited paper for the Soils Workshop. “*Describing,Analising and Managing Our Soil,*” 22–26.
- Fernandez, A., Ternero, M., Barragan, F., & Jimenez, J. (2000). An approach to characterization of sources of urban airborne particles through heavy metal speciation. *Chemosphere-Global-Change-Science*, 2(2), 123–136.
- Filipiak-Szok, A., Kurzawa, M., & Szłyk, E. (2015). Determination of toxic metals by ICP-MS in Asiatic and European medicinal plants and dietary supplements. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 30, 54–58.
<https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2014.10.008>
- Fitz, W., & Wenzel, W. (2002). Arsenic transformations in the soil–rhizosphere–plant system: fundamentals and potential application of phytoremediation. *Journal Biotechnology*, 99(3), 259–278.
- Fonnegra, R., & Jimenez, S. (2007). *Plantas Medicinales aprobadas en Colombia* (U. de Antioquia (ed.)).
- Galal, T. M., & Shehata, H. S. (2015). Bioaccumulation and translocation of heavy metals by *Plantago major* L. grown in contaminated soils under the effect of traffic pollution. *Ecological Indicators*, 48, 244–251.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.08.013>
- Gamboa, J., & Soto, M. J. (2014). Factores que influyen en la peatonalización de centros urbanos. Casos prácticos en Cusco y Piura (Tesis). PUCP.
- Gebrekidan, A., Weldegebriel, Y., Hadera, A., & Van der Bruggen, B. (2013). Toxicological assessment of heavy metals accumulated in vegetables and fruits grown in Ginfel river near Sheba Tannery, Tigray, Northern Ethiopia. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 95, 171–178.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2013.05.035>
- González Valdez, E., González Reyes, E., Bedolla Cedeño, C., Arrollo Ordaz, E. L., & Manzanares Acuña, E. (2008). Niveles de plomo en sangre y factores de riesgo por envenenamiento de plomo en niños mexicanos. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 43, 114–119.
- Gwaltney-Brant, S. M. (2013). Heavy Metals. In *Haschek and Rousseaux’s Handbook of Toxicologic Pathology*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-415759-0.00041-8>



- Hifsa, M., Naeem, I., Taskeen, A., & Zeb, S. (2009). Investigation of heavy metal in commercial spices brands. *New York Science Journal*, 2(5), 1554–2200.
- Hu, Y., Wang, D., Wei, L., Zhang, X., & Song, B. (2014a). Bioaccumulation of heavy metals in plant leaves from Yan[U+05F3]an city of the Loess Plateau, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 110, 82–88. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.08.021>
- Hu, Y., Wang, D., Wei, L., Zhang, X., & Song, B. (2014b). Bioaccumulation of heavy metals in plant leaves from Yan' an city of the Loess Plateau, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 110, 82–88.
- Huamantupa, I., Cuba, M., Urrunaga, R., Paz, E., Ananya, N., Callalli, M., Pallqui, N., & Coasaca, H. (2011). Riqueza, uso y origen de plantas medicinales expendidas en los mercados de la ciudad del Cusco. *Revista Peruana de Biología*, 18(3), 283–291. <https://doi.org/10.15381/rpb.v18i3.439>
- Huanri Pacotaype, J. E. (2014). Determinación de plomo y arsénico en jugo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) por espectroscopia de absorción atómica en Lima Metropolitana.
- Imperato, M., Adamo, P., Naimo, D., Arienzo, M., Stanzione, D., & Violante, P. (2003). Spatial distribution of heavy metals in urban soils of Naples. *Environ Pollut*, 124, 247–256.
- Jimenez Tobon, C. (2015). Estado legal del cadmio en cacao (*Theobroma cacao*): fantasía o realidad. *Producción Más Limpia*, 10(1), 89–104.
- Jones, D. ., Dennis, P. ., Owen, A. ., & Hees, P. A. W. . (2003). Organic acid behavior in soils-misconceptions and knowledge gaps. *Plant Soil*, 248, 31–41.
- Kabata-Pendias, A. (2001). Trace elements in soils and plants (I. B. R. CRC.Press (ed.)).
- Kabata-Pendias, A., & Szteke, B. (2015). Trace Elements in Abiotic and Biotic Environments (CRC Press).
- Lin, J., Liu, Y., Yang, Y., & Hu, Z. (2016). Calibration and correction of LA-ICP-MS and LA-MC-ICP-MS analyses for element contents and isotopic ratios. *Solid Earth Sciences*, 1(1), 5–27. <https://doi.org/10.1016/j.sesci.2016.04.002>
- Lopez T, A., & Avendaño R, S. (1999). Plantaginaceae. In Flora de Vera Cruz-Instituto de Ecología (pp. 4–9).
- Maiti, R. K., Piñero, J. L. H., & Oreja, J. A. G. (2004). Plant Based Bioremediation and Mechanisms of Heavy Metal. *Proc. Indian Natn Sci Acad. B70 No, 1*, 1–12.
- Manara, A. (2012). *Plant responses to heavy metal toxicity* (D. Springer (ed.)).



- Mantilla Holguin, J. (2014). Pachamama Hampi Qhoranchiskuna (Las plantas medicinales de nuestra madre tierra). Experiencias sobre cultivo ecológico de plantas medicinales y aromáticas andinas en el valle sagrado de los incas, Cusco-Perú. *Revista de Ciencias Agroveterinarias*, 5(4).
- Martell, N. (2014). Acumulación de metales pesados en *Beta vulgaris* L. y *Lolium perenne* L. de suelos de Cuemanco. Universidad Nacional Autónoma de México, 53.
- Martín Domingo, M. D. L. C. (2017). Análisis de contaminantes metálicos y minerales en plantas medicinales: Evaluación del riesgo para la salud humana. (Tesis doctoral). Universidad de Granada: Facultad de Medicina.
- Martínez-López, S., Martínez-Sánchez, M. J., Pérez-Sirvent, C., Bech, J., del Carmen Gómez Martínez, M., & García-Fernandez, A. J. (2014). Screening of wild plants for use in the phytoremediation of mining-influenced soils containing arsenic in semiarid environments. *Journal of Soils and Sediments*, 14(4), 794–809.
- Mas, A., & Azcue, J. M. (1993). *Metales en sistemas biológicos*.
- Masson, P., Dalix, T., & Bussièrre, S. (2010). Determination of major and trace elements in plant samples by inductively coupled plasma-mass spectrometry. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 41(3), 231–243. <https://doi.org/10.1080/00103620903460757>
- McGrath, S. P., & Zhao, F. J. (2003). Phytoextraction of metals and metalloids from contaminated soils. *Current Opinion in Biotechnology*, 14(3), 277–282. [https://doi.org/10.1016/S0958-1669\(03\)00060-0](https://doi.org/10.1016/S0958-1669(03)00060-0)
- Meier, S., Alvear, M., Borie, F., Aguilera, P., Ginocchio, R., & Cornejo, P. (2012). Influence of copper on root exudate patterns in some metallophytes and agricultural plants. *Ecotoxicología y Seguridad Ambiental*, 75, 8–15.
- Mejía Carhuanca, K., & Rengifo Salgado, E. L. (2000). *Plantas medicinales de uso popular en la Amazonía peruana*. (2da. edici). AECL.
- Muñoz Lopez, F. (2002). *Plantas medicinales y aromáticas: Estudio, cultivo y procesado* (E. Mundi-Prensa (ed.); 2nd ed.).
- Navarro-Aviñó, J. P., Aguilar Alonso, I., & López-Moya, J. R. (2007). Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. *Ecosistemas*, 16(2), 10–25.
- Nordberg, G. (1999). Excursions of intake above ADI: case Study on cadmium Regulatory. *Toxicology and Pharmacology*, 30, 557–562.
- Okem, A., Southway, C., Stirk, W. A., Street, R. A., Finnie, J. F., & Van Staden, J. (2014).



- Heavy metal contamination in South African medicinal plants: A cause for concern. *South African Journal of Botany*, 93, 125–130. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2014.04.001>
- Olowoyo, J. O., Okedeyi, O. O., Mkolo, N. M., Lion, G. N., & Mdakane, S. T. R. (2012). Uptake and translocation of heavy metals by medicinal plants growing around a waste dump site in Pretoria, South Africa. *South African Journal of Botany*, 78, 116–121. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2011.05.010>
- Orellana, O. (2008). *Vademecum colombiano de plantas medicinales*. Ministerio de la Protección Social.
- Petrova, S., Yurukova, L., & Velcheva, I. (2013). *Taraxacum officinale* as a biomonitor of metals and toxic elements (Plovdiv, Bulgaria). *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 19(2), 241–247.
- Piedad, N., Montoya, M., Casas, P. A., Wandurraga, C. C., & Casas, A. (2010). Plomo, cromo III y cromo VI y sus efectos sobre la salud humana. *Cienc Tecnol Salud Vis Ocul*, 8(1), 77–88.
- Pineda, H. R. (2004). Presencia de hongos micorrízicos arbusculares y contribución de *Glomus intraradices* en la absorción y translocación de cinc y cobre en girasol (*Helianthus annuus* L.) crecido en un suelo contaminado con residuos de mina. In *Tecomán (COL): Colima Univ.*
- Pinto, A. P., Mota, A. M., De Varennes, A., & Pinto, F. C. (2004). Influence of organic matter on the uptake of cadmium, zinc, copper and iron by sorghum plants. *Science of the Total Environment*, 326, 239–274.
- Prieto Méndez, J., González Ramírez, C. A., Román Gutiérrez, A. D., & Prieto García, F. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10(1), 29–44.
- Qiao, D., Han, Y., & Zhao, Y. (2022). Organic acids in conjunction with various oldseed sunflower cultivars promote Cd phytoextraction through regulating micro-environment in root zone. In *Dustrial Crops & Products*, 183, 114932.
- Rado, B. E. (2011). *Etnobotánica del distrito de Ocongata-Quispicanchis-Cusco*. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.
- Rubio, C. et al. (2004). Revista de toxicología organo oficial de la Asociacion Española de Toxicología. *Revista de Toxicología*, 21(2–3).
- Salahinejad, M., & Aflaki, F. (2010). Toxic and essential mineral elements content of black tea leaves and their tea infusions consumed in Iran. *Biological Trace Element*

- Research*, 134(1), 109–117. <https://doi.org/10.1007/s12011-009-8449-z>
- Saper, R. B., Kales, S. N., Paquin, J., Burns, M. J., Eisenberg, D. M., Davis, R. B., & Phillips, R. S. (2004). Heavy metal content of ayurvedic herbal medicine products. *Jama*, 292(23), 2868–2873.
- Schreck, E., Foucault, Y., Sarret, G., Sobanska, S., Castrec-rouelle, M., Uzu, G., Dumat, C., Schreck, E., Foucault, Y., Sarret, G., Sobanska, S., & Cécillon, L. (2012). Metal and metalloid foliar uptake by various plant species exposed to atmospheric industrial fallout : Mechanisms involved for lead. *Science of the Total Environment*, 427–428, 253–262. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.03.051>
- Sebastián Calle, J. T., Pachajoa, H., Charry, J. D., & Pachecho, R. (2015). Teratogenic Effect of Cadmium: From The Developing Embryo To The Fetus. *Revista Colombiana de Salud Ocupacional*, 5(2), 21–26.
- Shanker, A. K., Cervantes, C., Loza-Tavera, H., & Avudainayagam, S. (2005). Chromium toxicity in plants. *Environment International*, 31(5), 739–753.
- Singh, A., Sharma, R. K., Agrawal, M., & Marshall, F. M. (2010). Risk assessment of heavy metal toxicity through contaminated vegetables from waste water irrigated area of Varanasi, India. *Tropical Ecology*, 51(2), 375–387.
- Sobrero, M. C. (2010). *Estudio de la fitotoxicidad de metales pesados y del herbicida glifosato en ambientes acuáticos*. Universidad Nacional de La Plata.
- Sternbeck, J., Sjödin, Å., & Andréasson, K. (2002). Metal emissions from road traffic and the influence of resuspension—results from two tunnel studies. *Atmospheric Environment*, 36(30), 4735–4744.
- Street, R. A. (2012). Heavy metals in medicinal plant products - An African perspective. *South African Journal of Botany*, 82, 67–74. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2012.07.013>
- Subramanian, R., Gayathri, S., Rathnavel, C., & Raj, V. (2012). Analysis of mineral and heavy metals in some medicinal plants collected from local market. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 2(1 SUPPL.), S74–S78. [https://doi.org/10.1016/S2221-1691\(12\)60133-6](https://doi.org/10.1016/S2221-1691(12)60133-6)
- SUNASS. (2004). *Calidad de agua potable en el Perú*. SUNASS.
- Susarla, S., Medina, V. F., & McCutcheon, S. C. (2002). Phytoremediation: an ecological solution to organic chemical contamination. *Ecological Engineering*, 18(5), 647–658.
- Thomas, R. (2008). *Practical guide to ICP-MS: a tutorial for beginners*. CRC press.



- Ubeynarayana, N Jeyakumar, P., Bishop, P., Calvelo, P. R., & Anderson, C. (2021). Effect of soil cadmium on root organic acid secretion by forage crops. *Journal of Environmental Pollution*, 268, 115839.
- Vara Licona, M. E. (2017). Contaminación atmosférica con material particulado en la Ciudad del Cusco-y su comportamiento–2016.
- WHO. (1996). Trace elements in human nutrition on health.
- WHO. (2005). National policy on traditional medicine and regulation of herbal medicines Report of a WHO global survey.
- Wikiniyadhane, R., Chotpanarat, S., & Decir, K. (2015). Efectos de los coloides de caolinita en el transporte de Cd a través de arena saturada en condiciones de fuerza iónica variables: experimentos de columna y enfoques de modelado. *Revista de Hidrología Contaminante*, 182, 146–156.
- Xu, T., Nan, F., Jiang, X., Tang, Y., Zeng, Y., Zhang, W., & Shi, B. (2020). Effect of soil pH on the transport, fractionation, and oxidation of chromium(III). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 195 (March), 110459. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110459>
- Yoon, J., Cao, X., Zhou, Q., & Ma, L. Q. (2006). Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. *Science of the Total Environment*, 368(2–3), 456–464.
- Zereini, F., Wiseman, C., & Püttmann, W. (2007). Changes in palladium, platinum, and rhodium concentrations, and their spatial distribution in soils along a major highway in Germany from 1994 to 2004. *Environmental Science & Technology*, 41(2), 451–456.

ANEXOS

Anexo 1. Prueba estadística de normalidad, homogeneidad e independencia de los resultados

Tabla 17

Prueba de normalidad, homogeneidad e independencia

	Prueba de Shapiro-Wilk		Prueba de Bartlett		Prueba de Durbin-Watson	
	Estadísticos	p-valor	Estadísticos	p-valor	Estadísticos	p-valor
Concentración de <u>Cadmio</u>	0,9765	0,6266	1,4774	0,2242	2,478	0,3024
Concentración de <u>Cromo</u>	0,77376	0,3254	0,70558	0,2782	2,3739	0,9182
Concentración de <u>Plomo</u>	0,76161	0,4742	3,4761	0,3215	2,0186	0,9447
Bioacumulación de <u>Cadmio</u>	0,85324	0,5191	1,1273	0,3816	1,9159	0,8715
Bioacumulación de <u>Cromo</u>	0,84702	0,4982	0,80947	0,3683	2,5749	0,8342
bioacumulación de <u>plomo</u>	0,71988	0,3152	0,90991	0,3717	2,4216	0,8783
Translocación <u>Cadmio</u>	0,92818	0,1804	1,0592	0,5889	1,6321	0,3213
Translocación <u>Cromo</u>	0,8195	0,2903	3,1117	0,211	1,422	0,1697
Translocación <u>plomo</u>	0,73294	0,1981	1,471	0,6391	1,7056	0,8136
Infusiones y cocciones de <u>Cadmio</u>	0,98921	0,9744	1,5492	0,828	2,557	0,639
Infusiones y cocciones de <u>Cromo</u>	0,89844	0,3095	1,2327	0,2669	2,1113	0,2693
Infusiones y cocciones de <u>Plomo</u>	0,98251	0,8265	2,6123	0,106	1,922	0,4044

Se determinó que los resultados presentan una distribución normal ($p\text{-valor} > 0,05$), varianzas homogéneas ($p\text{-valor} > 0,05$) e independencia. Por esa razón, se utilizará una prueba estadística paramétrica

Anexo 2. Tratamiento estadístico de las concentraciones de cadmio, cromo y plomo en partes de las plantas

Tabla 18

ANOVA para concentración de Cadmio en parte aérea y raíces de *Taraxacum officinale*, *Hypochaeris meyeniana* y *Plantago australis* de las distancias 0 y 1

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Parte planta	0,000272	5	0,000054	2,03	0,0107
B:Distancia	0,000144	1	0,000144	5,38	0,0292
INTERACCIÓN					
AB	0,000036	5	0,000007	0,27	0,9270
RESIDUOS	0,000643	24	0,000027		
TOTAL (CORREGIDO)	0,001094	35			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Tabla 19

Test de Tukey para Cadmio en hojas y raíces de *Taraxacum officinale*, *Hypochaeris meyeniana* y *Plantago australis* de las distancias 0 y 1.

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
7 LL-H-1	3	0,0113333	a
11 P-H-1	3	0,0116667	a
10 D-R-1	3	0,013	a
8 LL-R-1	3	0,0133333	a
4 D-R-0	3	0,014	a
1 LL-H-0	3	0,015	a
5 P-H-0	3	0,016	a
9 D-H-1	3	0,0166667	a
12 P-R-1	3	0,0183333	a
3 D-H-0	3	0,0196667	a
2 LL-R-0	3	0,021	a
6 P-R-0	3	0,0226667	a

Tabla 20

ANOVA para concentración de Cromo en parte aérea y raíces de *Taraxacum officinale*, *Hypochaeris meyeniana* y *Plantago australis* de la distancia 0 y 1

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Parte planta	56,4024	5	11,2805	326,42	0,0000
B: distancia	0,1191	1	0,1191	3,45	0,0757
INTERACCIÓN					
AB	16,0934	5	3,2186	93,14	0,0000
RESIDUOS	0,8294	24	0,0346		
TOTAL	73,4443	35			
(CORREGIDO)					

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Tabla 21

Test de Tukey para Cromo en hojas y raíces de *Taraxacum officinale*, *Hypochaeris meyeniana* y *Plantago australis* de las distancias 0 y 1.

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
P-R-0	3	0,028	a
P-H-1	3	0,0343333	a
P-H-0	3	0,0396667	a
P-R-1	3	0,557333	ab
D-R-0	3	0,611333	c
LL-H-1	3	0,961	bc
LL-R-1	3	0,997333	bc
LL-H-0	3	1,15	c
D-R-1	3	1,15267	c
D-H-0	3	2,63	d
LL-R-0	3	3,34667	e
D-H-1	3	4,79333	f

Tabla 22

ANOVA para concentración de Plomo en parte aérea y raíces de *Taraxacum officinale*, *Hypochaeris meyeniana* y *Plantago australis* de las distancias 0 y 1

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Parte planta	12,6458	5	2,5292	141,59	0,0000
B:Distancia	12,4268	1	12,4268	695,70	0,0000
INTERACCIÓN					
AB	11,0179	5	2,2036	123,37	0,0000
RESIDUOS	0,4287	24	0,0179		
TOTAL (CORREGIDO)	36,5192	35			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Tabla 23

Test de Tukey para Plomo en hojas y raíces de *Taraxacum officinale*, *Hypochaeris meyeniana* y *Plantago australis* de las distancias 0 y 1.

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
8 LL-R-1	3	0,0156667	a
11 P-H-1	3	0,0203333	a
10 D-R-1	3	0,0263333	a
6 P-R-0	3	0,0283333	a
5 P-H-0	3	0,07	a
12 P-R-1	3	0,0873333	a
7 LL-H-1	3	0,302333	ab
9 D-H-1	3	0,559333	b
1 LL-H-0	3	1,03333	c
4 D-R-0	3	1,54333	d
3 D-H-0	3	2,18667	e
2 LL-R-0	3	3,2	f

Anexo 3. Tratamiento estadístico de bioacumulación de cadmio, cromo y plomo en *Taraxacum officinale*, *Hypochaeris meyeniana* y *Plantago australis*

Tabla 24

ANOVA para Bioacumulación de Cadmio en *Taraxacum officinale*, *Hypochaeris meyeniana* y *Plantago australis*, a la distancia 0 y 1.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Planta	0,0058	2	0,0029	2,75	0,1041
B:Distancia	0,0138	1	0,0138	13,09	0,0035
INTERACCIÓN					
AB	0,0044	2	0,0022	2,10	0,1647
RESIDUOS	0,0127	12	0,0011		
TOTAL	0,0367	17			
(CORREGIDO)					

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Tabla 25

Test de Tukey para bioacumulación de Cadmio en raíces de *Taraxacum officinale*, *Hypochaeris meyeniana* y *Plantago australis*, de las distancias 0 y 1.

Método: 95,0 porcentaje LSD

Tratamiento	Casos	Media	Grupos homogéneos
1 LL-R-0	3	0,0285508	a
3 P-R-0	3	0,0398301	a
2 D-R-0	3	0,0446623	a
4 LL-R-1	3	0,0650937	a
5 D-R-1	3	0,0746652	a
6 P-R-1	3	0,139479	b

Tabla 26

ANOVA para Bioacumulación de Cromo en *Taraxacum officinale*, *Hypochoeris meyeniana* y *Plantago australis*, a la distancia 0 y 1

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Planta	0,0117	2	0,0058	533,77	0,0000
B:Distancia	0,0006	1	0,0006	52,76	0,0000
INTERACCIÓN					
AB	0,0085	2	0,0042	388,72	0,0000
RESIDUOS	0,0001	12	0,0000		
TOTAL	0,0209	17			
(CORREGIDO)					

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Tabla 27

Test de Tukey para bioacumulación de Cromo en raíces de *Taraxacum officinale*, *Hypochoeris meyeniana* y *Plantago australis* de las distancias 0 y 1

Método: 95,0 porcentaje LSD.

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
3 P-R-0	3	0,000608675	a
2 D-R-0	3	0,0201763	b
6 P-R-1	3	0,0212273	b
4 LL-R-1	3	0,0353296	c
5 D-R-1	3	0,0383509	c
1 LL-R-0	3	0,10808	d

Tabla 28

ANOVA para bioacumulación de Plomo en *Taraxacum officinale*, *Hypochaeris meyeniana* y *Plantago australis*, a la distancia 0 y 1.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Planta	0,0027	2	0,0014	33,78	0,0000
B:Distancia	0,0054	1	0,0054	134,69	0,0000
INTERACCIÓN					
AB	0,0034	2	0,0017	42,72	0,0000
RESIDUOS	0,0005	12	0,00004		
TOTAL	0,0121	17			
(CORREGIDO)					

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Tabla 29

Test de Tukey para bioacumulación de Plomo en raíces de *Taraxacum officinale*, *Hypochaeris meyeniana* y *Plantago australis* de las distancias 0 y 1.

Método: 95,0 porcentaje LSD.

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
3 P-R-0	3	0,000439508	a
4 LL-R-1	3	0,00094964	a
5 D-R-1	3	0,00160028	a
6 P-R-1	3	0,00448326	a
2 D-R-0	3	0,0512326	b
1 LL-R-0	3	0,0596452	b

Anexo 4. Tratamiento estadístico de translocación de cadmio, cromo y plomo en *Taraxacum officinale*, *Hypochaeris meyeniana* y *Plantago australis*

Tabla 30

ANOVA para la Translocación de Cadmio en *Taraxacum officinale*, *Hypochaeris meyeniana* y *Plantago australis* a la distancia 0 y 1

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS					
PRINCIPALES					
A:Distancia	0,006	1	0,006	0,04	0,849
B:Planta	1,564	2	0,782	4,92	0,028
INTERACCIONES					
AB	0,075	2	0,038	0,24	0,792
RESIDUOS	1,908	12	0,159		
TOTAL	3,553	17			
(CORREGIDO)					

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Tabla 31

Test de Tukey para translocación de Cadmio, de raíz a parte aérea en *Taraxacum officinale*, *Hypochaeris meyeniana* y *Plantago australis*, de la distancia 0 y 1.

Método: 95,0 porcentaje LSD

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
1 LL-H-0	3	0,723333	a
3 P-H-0	3	0,726667	a
6 P-H-1	3	0,773333	ab
4 LL-H-1	3	0,913333	ab
5 D-H-1	3	1,343333	ab
2 D-H-0	3	1,47	b

Tabla 32

ANOVA para Translocación de Cromo en *Taraxacum officinale*, *Hypochaeris meyeniana* y *Plantago australis*, a la distancia 0 y 1.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Distancia	0,317	1	0,317	4,90	0,0470
B:Planta	49,716	2	24,858	383,68	0,000
INTERACCIÓN					
AB	3,044	2	1,522	23,49	0,0001
RESIDUOS	0,777	12	0,065		
TOTAL	3,855	17			
(CORREGIDO)					

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Tabla 33

Test de Tukey para translocación de Cromo, de raíz a parte aérea en *Taraxacum officinale*, *Hypochaeris meyeniana* y *Plantago australis*, de la distancia 0 y 1

Método: 95,0 porcentaje LSD

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
6 P-H-1	3	0,06	a
1 LL-H-0	3	0,343333	a
4 LL-H-1	3	0,99	b
3 P-H-0	3	1,40667	b
5 D-H-1	3	4,17667	c
2 D-H-0	3	4,27333	c

Tabla 34

ANOVA para Translocación de Plomo en *Taraxacum officinale*, *Hypochaeris meyeniana* y *Plantago australis* a la distancia 0 y 1.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Distancia	708,385	1	708,385	83,27	0,0000
B:Planta	364,346	2	182,173	21,41	0,0001
INTERACCIÓN					
AB	494,841	2	247,421	29,08	0,0000
RESIDUOS	102,083	12	8,507		
TOTAL (CORREGIDO)	1669,66	17			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Tabla 35

Test de Tukey para translocación de Plomo, de raíz a parte aérea en *Taraxacum officinale*, *Hypochaeris meyeniana* y *Plantago australis*, de la distancia 0 y 1.

Método: 95.0 porcentaje LSD

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
6 P-H-1	3	0,233333	a
1 LL-H-0	3	0,326667	a
2 D-H-0	3	1,45333	a
3 P-H-0	3	2,51667	a
4 LL-H-1	3	20,31	b
5 D-H-1	3	21,3933	b

Anexo 5. Tratamiento estadístico de concentración de cadmio, cromo, plomo en infusiones y cocciones de hojas y raíces de *Taraxacum officinale*, *Hypochaeris meyeniana* y *Plantago australis*

Tabla 36

ANOVA para concentración de cadmio en infusión y cocción de la parte aérea y raíz de diente de león, pilli pilli y puna llantén.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Parte planta	0,095	5	0,019	38,02	0,0000
B:Extracción acuosa	0,071	1	0,071	142,22	0,0000
INTERACCIONES					
AB	0,117	5	0,023	46,84	0,0000
RESIDUOS	0,012	24	0,001		
TOTAL (CORREGIDO)	0,295	35			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Tabla 37

Test de Tukey para concentración de Cadmio, en infusión y cocción de raíz a parte aérea en *Taraxacum officinale*, *Hypochaeris meyeniana* y *Plantago australis*, de la distancia 0 y 1

Método: 95,0 porcentaje LSD

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
2 I-LL-R	3	0,02	a
12 C-P-R	3	0,0233333	ab
4 I-D-R	3	0,03	ab
1 I-LL-H	3	0,0433333	abc
10 C-D-R	3	0,06	bcd
5 I-P-H	3	0,08	cde
3 I-D-H	3	0,0866667	de
11 C-P-H	3	0,09	de
6 I-P-R	3	0,11	e
8 C-LL-R	3	0,16	f
7 C-LL-H	3	0,28	g
9 C-D-H	3	0,29	g

Tabla 38

ANOVA para concentración de Cromo en infusión y cocción de la parte aérea y raíz de *Taraxacum officinale*, *Hypochaeris meyeniana* y *Plantago australis*.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A: Parte planta	1,480	5	0,296	2,55	0,055
B: Extracción acuosa	2,970	1	2,970	25,56	0,000
INTERACCIÓN					
AB	1,024	5	0,205	1,76	0,159
RESIDUOS	2,789	24	0,116		
TOTAL	8,262	35			
(CORREGIDO)					

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Tabla 39

Test de Tukey para concentración de Cromo, en infusión y cocción de raíz a parte aérea en *Taraxacum officinale*, *Hypochaeris meyeniana* y *Plantago australis*, de la distancia 0 y 1.

Método: 95,0 porcentaje LSD

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
6 I-P-R	3	1,05333	a
5 I-P-H	3	1,05333	a
2 I-LL-R	3	1,15	a b
3 I-D-H	3	1,15333	a b
11 C-P-H	3	1,18667	a b
4 I-D-R	3	1,38333	a b
1 I-LL-H	3	1,53333	a b c
7 C-LL-H	3	1,63333	b c
12 C-P-R	3	1,72	b c
8 C-LL-R	3	2,03333	c
10 C-D-R	3	2,1	c
9 C-D-H	3	2,1	c

Tabla 40

ANOVA para concentración de Plomo en infusión y cocción de la parte aérea y raíz de *Taraxacum officinale*, *Hypochaeris meyeniana* y *Plantago australis*.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Parte planta	4,725	5	0,945	351,78	0,0000
B: Extracción acuosa	1,588	1	1,588	591,04	0,0000
INTERACCIONES					
AB	0,956	5	0,191	71,17	0,0000
RESIDUOS	0,064	24	0,003		
TOTAL	7,333	35			
(CORREGIDO)					

Tabla 41

Test de Tukey para concentración de Plomo, en infusión y cocción de raíz a parte aérea en *Taraxacum officinale*, *Hypochaeris meyeniana* y *Plantago australis*, de la distancia 0 y 1.

Método: 95,0 porcentaje LSD

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
2 I-LL-R	3	0,223333	a
6 I-P-R	3	0,28	a
4 I-D-R	3	0,29	a
12 C-P-R	3	0,41	b
5 I-P-H	3	0,523333	c
10 C-D-R	3	0,54	c d
11 C-P-H	3	0,62	d
1 I-LL-H	3	0,746667	e
3 I-D-H	3	0,976667	f
7 C-LL-H	3	1,05	f g
8 C-LL-R	3	1,07	g
9 C-P-H	3	1,87	h

Tabla 42

ANOVA para concentración de Cadmio en suelo de plantas de la distancia 0 y 1.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Suelo de Planta	0,149693	2	0,0748463	67,46	0,0000
B:Distancia	0,624776	1	0,624776	563,15	0,0000
INTERACCIONES					
AB	0,133008	2	0,066504	59,94	0,0000
RESIDUOS	0,0133132	12	0,00110943		
TOTAL (CORREGIDO)	0,920789	17			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Tabla 43

ANOVA para concentración de Cromo en suelo de plantas de la distancia 0 y 1.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Suelo de Planta	160,448	2	80,2239	32,28	0,0000
B:Distancia	259,161	1	259,161	104,29	0,0000
INTERACCIONES					
AB	333,954	2	166,977	67,19	0,0000
RESIDUOS	29,82	12	2,485		
TOTAL (CORREGIDO)	783,383	17			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Tabla 44

ANOVA para concentración de Plomo en suelo de plantas de la distancia 0 y 1.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Suelo de Planta	1035,04	2	517,522	173,83	0,0000
B:Distancia	4636,84	1	4636,84	1557,44	0,0000
INTERACCIONES					
AB	766,27	2	383,135	128,69	0,0000
RESIDUOS	35,7267	12	2,97722		
TOTAL (CORREGIDO)	6473,89	17			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Anexo 6. Informe de identificación botánica de *Taraxacum officinale*, *Hypochaeris meyeniana* y *Plantago australis*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

- **APARTADO POSTAL**
N° 921 - Cusco - Perú
- **FAX:** 238156 - 238173 - 222512
- **RECTORADO**
Calle Tigre N° 127
Teléfonos: 222271 - 224891 - 224181 - 254398
- **CIUDAD UNIVERSITARIA**
Av. De la Cultura N° 733 - Teléfonos: 228661 - 222512 - 232370 - 232375 - 232226
- **CENTRAL TELEFÓNICA:** 232398 - 252210
243835 - 243836 - 243837 - 243838
- **LOCAL CENTRAL**
Plaza de Armas s/n
Teléfonos: 227571 - 225721 - 224015
- **MUSEO INKA**
Cuesta del Almirante N° 103 - Teléfono: 237380
- **CENTRO AGRONÓMICO K'AYRA**
San Jerónimo s/n Cusco - Teléfonos: 277145 - 277246
- **COLEGIO "FORTUNATO L. HERRERA"**
Av. De la Cultura N° 721
"Estadio Universitario" - Teléfono: 227192

EL QUE SUSCRIBE PROFESOR INVESTIGADOR ASOCIADO AL HERBARIO VARGAS (CUZ)

C E R T I F I C A.

Que la Señora **Yolanda Callo Choquevilca**, Profesora de la Escuela Profesional de Química, Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco; ha presentado a la Dirección del Herbario (CUZ), plantas herborizadas para su determinación taxonómica, las que al ser diagnosticadas utilizando claves dicotómicas y consultas con bibliografía especializada y en concordancia con el Grupo del Sistema Filogenético de las Angiospermas Angiosperm Phylogeny Group. (APG IV - 2016), pertenecen a las siguientes especies:

Orden Lamiales
Familia Plantaginaceae
Género *Plantago*
Especie *Plantago australis* subsp. *hirtella* (Kunth) Rahn

Sinonimias: *Plantago bicallosa* Decne., *P. cantagallensis* Zahlb. ex Wawra, *P. galeottiana* Decne., *P. hirtella* fo. *minor* (Pilg.) Pilg., *P. hirtella* Kunth, *P. hirtella* var. *brachipus* Pilg., *P. hirtella* var. *denticulata* Pilg., *P. hirtella* var. *galeottiana* (Decne.) Pilg., *P. glabrescens* (Schltdl. ex J.A. Schmidt) Pilg., *P. hirtella* var. *mollier* Pilg., *P. leptophylla* Decne., *P. veratrifolia* Decne., *P. virginica* var. *hirtella* (Kunth) Kuntze.
Nombres comunes: "Puna llantén", "Ojo ojo llantén", "Huacac ccallun".

Orden Asterales
Familia Asteraceae
Género *Hypochaeris*
Especie *Hypochaeris meyeniana* (Walp.) Bent. & Hook.f. ex Griseb.

Sinonimias: *Achyrophorus meyenianus* (Walp.) Walp., *Hypochaeris meyenianus* var. *ciliatus* Wedd. *H. meyenianus* var. *brachylepis* Cabrera, *H. meyenianus* var. *ciliata* (Wedd.) Perkins, *H. meyenianus* var. *eriolaenoides* Cabrera, *Oreophyla meyeniana* Walp.
Nombres comunes: "Pilli", "Pilli pilli", "Misq'i pilli"

Orden Asterales
Familia Asteraceae
Género *Taraxacum*
Especie *Taraxacum officinale* F. H. Wigg.

Sinonimias: *Leontodon taraxacum* L., *L. vulgare* Lam., *Taraxacum dens-lionis* Desf., *T. mexicanum* DC., *T. retroflexum* H. Lindb., *T. subspatulatum* A.J. Richards, *T. sylvaticum* R. Doll, *Taraxacum taraxacum* (L.) H. Karst., *T. tenejapense* A.J. Richards, *T. vulgare* Schrank.
Nombres comunes: "Achicoria", "Diente de león", "Amargón"

Se expide la presente certificación para fines de investigación.

Cusco, 25 de octubre del 2017

M. Cs. Btgo. Alfredo Tupayachi Herrera
Prof. Investigador Asociado al Herbario Vargas (CUZ)

Anexo 7. Informe de resultados del análisis químico de las muestras



INFORME DE ENSAYO

Nº de Referencia: V-17/020998	Registrada en: AGQ Perú	Cliente: YOLANDA CALLO CHOQUEVILCA
Análisis: V-0284-PE (Cd, Pb, Cr)	Centro Análisis: AGQ Perú	Domicilio: COVIDUC B -5 SAN SEBASTIAN CUSCO
Tipo Muestra: FOLIAR-RAIZ	Fecha Recepción: 03/05/2017	Contrato: PE17-1374
Fecha Inicio: 05/05/2017	Fecha Fin: 12/05/2017	Cliente 3º: ---
Descripción:		
Fecha/Hora Muestreo: 17/04/2017	Muestreado por: YOLANDA CALLO CHOQUEVILCA	
Lugar de Muestreo: SACSAYHUAMAN - CUSCO		
Punto de Muestreo: KM - 4 - RUTA A TAMBOMACHAY		

A continuación, se exponen el Informe de Ensayo y Anexo Técnico asociados a la muestra, en los cuales se pueden consultar toda la información relacionada con los ensayos realizados.

Muestra	Cadmio mg/Kg			Cromo mg/Kg			Plomo mg/Kg		
LL-0-H	0,018	0,015	0,012	1,15	1,08	1,22	1,02	0,95	1,13
LL-0-R	0,025	0,017	0,021	3,35	3,19	3,5	3,17	3,55	2,88
D-0-H	0,024	0,02	0,015	2,6	2,1	3,19	2,17	2,34	2,05
D-0-R	0,019	0,01	0,013	0,608	0,559	0,667	1,54	1,29	1,8
P-0-H	0,027	0,01	0,011	0,032	0,041	0,046	0,07	0,058	0,082
P-0-R	0,024	0,015	0,029	0,025	0,028	0,031	0,026	0,022	0,037
LL-1-H	0,013	0,01	0,011	0,96	0,955	0,968	0,295	0,305	0,307
LL-1-R	0,01	0,012	0,018	0,998	0,789	1,205	0,011	0,019	0,017
D-1-H	0,014	0,019	0,017	4,8	4,63	4,95	0,528	0,498	0,652
D-1-R	0,014	0,01	0,015	1,141	1,045	1,272	0,026	0,028	0,025
P-1-H	0,01	0,011	0,014	0,033	0,031	0,039	0,021	0,017	0,023
P-1-R	0,028	0,016	0,011	0,56	0,5	0,612	0,085	0,09	0,091

P.A.

Yoel Iñigo CQP 826
Resp. Lab.
Inorgánico

FECHA EMISIÓN: 12/05/2017

OBSERVACIONES:

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como un certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

AGQ PERU, S.A.C.

Av. Santa Rosa 511 La Perla - Callao Lima, Lima. PERU

T: (511) 710 27 00

F: (511) 718 30 94

operacionesperu@agq.com.pe

www.agqlabs.pe



INFORME DE ENSAYO



Nº de Referencia: V-17/020998
Descripción: D-0-H

Tipo Muestra: FOLIAR
Fecha Fin: 12/05/2017

ANEXO TECNICO

Parámetro	PNT	Técnica	Ref Norma	Rango (1)
Metales Pesados				
Cadmio Total	PE-324	Espect ICP-MS		0,010 - 20,0 mg/kg
Cromo Total	PE-324	Espect ICP-MS		0,03 - 20 mg/kg
Plomo Total	PE-324	Espect ICP-MS		0,010 - 20,0 mg/kg

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como un certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

AGQ PERU, S.A.C.

Av. Santa Rosa 511 La Perla - Callao Lima, Lima, PERU

T: (511) 710 27 00

F: (511) 718 30 94

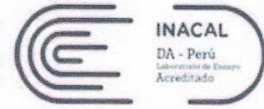
operacionesperu@agq.com.pe

www.agqlabs.pe



INFORME DE
ENSAYO

LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-072



Registro N° LE - 072

Nº de Referencia: S-17/014481	Registrada en: AGQ Perú	Cliente: YOLANDA CALLO CHOQUEVILCA
Análisis: S-3319-PE (Cd, Pb, Cr)	Centro Análisis: AGQ Perú	Domicilio: COVIDUC B-5 SAN SEBASTIAN CUSCO
Tipo Muestra: SUELOS MA	Fecha Recepción: 02/05/2017	Contrato: PE17-1374
Fecha Inicio: 08/05/2017	Fecha Fin: 15/05/2017	Cliente 3º: ---
Descripción:		
Fecha/Hora: 17/04/2017	Muestreado por: YOLANDA CALLO CHOQUEVILCA	
Muestreo:		
Lugar de Muestreo: SACSAYHUAMAN-CUSCO		
Punto de Muestreo: K-4 RUTA A TAMBOMACHAY		

A continuación, se exponen el Informe de Ensayo y Anexo Técnico asociados a la muestra, en los cuales se pueden consultar toda la información relacionada con los ensayos realizados.

Muestra	Cadmio mg/Kg			Cromo mg/Kg			Plomo mg/Kg		
S-LL-0	0,739	0,7162	0,754	31,3	28,7	33	53,8	51,9	55,8
S-D-0	0,3125	0,2895	0,3364	30,8	28,5	31,5	30,6	33,4	27,8
S-P-0	0,5865	0,6585	0,5198	46,2	44	47,8	64,2	63,1	65,5
S-LL-1	0,2034	0,198	0,2105	28	26,5	29,7	15,3	16,4	17,5
S-D-1	0,1726	0,206	0,159	31	30	29,3	16,1	17,8	15,5
S-P-1	0,1322	0,1185	0,1536	26,7	27	25,3	19,3	21,1	18,2

P.A.

Yoel Iñigo
CQP 826
Resp. Lab. Inorgánico

FECHA EMISIÓN: 15/05/2017

OBSERVACIONES:

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como un certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

AGQ PERU, S.A.C.

Av. Santa Rosa 511 La Perla - Callao Lima, PERU

T: (511) 710 27 00

F: (511) 718 30 94

operacionesperu@agq.com.pe

www.agqlabs.pe



INFORME DE ENSAYO

LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-072



Registro N° LE - 072

N° de Referencia: S-17/014481
Descripción: S-D-0

Tipo Muestra: SUELOS MA
Fecha Fin: 15/05/2017

ANEXO TECNICO

Parámetro	PNT	Técnica	Ref Norma	Rango (1)
Metales Totales				
Cadmio Total	EPA 200.8	Espect ICP-MS		0,0007 - 1 000 mg/kg PS
Cromo Total	EPA 200.8	Espect ICP-MS		0,1 - 1 000 mg/kg
Plomo Total	EPA 200.8	Espect ICP-MS		0,006 - 5 000 mg/kg PS

Los parámetros marcados con asterisco (*) no están incluidos en el Alcance de Acreditación.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como un certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

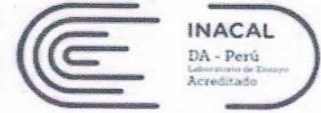
AGQ PERU, S.A.C.

Av. Santa Rosa 511 La Perla - Callao, Lima, PERU T: (511) 710.27.00 F: (511) 718.30.94 operacionesperu@agq.com.pe www.agqlabs.pe



INFORME DE
ENSAYO

LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-072



Registro N° LE - 072

Nº de Referencia: A-17/025906	Registrada en: AGQ Perú	Cliente: YOLANDA CALLO CHOQUEVILCA
Análisis: A-7030-PE	Centro Análisis: AGQ Perú	Domicilio: COVIDUC B -5 SAN SEBASTIAN CUSCO
Tipo Muestra: INFUSIONES	Fecha Recepción: 04/05/2017	Contrato: PE17-1374
Fecha Inicio: 05/05/2017	Fecha Fin: 18/05/2017	Cliente 3º: ---
Descripción:		
Fecha/Hora Muestreo: 24/04/2017 08:00	Muestreado por: Cliente	
Lugar de Muestreo: CUSCO		
Punto de Muestreo:		

A continuación, se exponen el Informe de Ensayo y Anexo Técnico asociados a la muestra, en los cuales se pueden consultar toda la información relacionada con los ensayos realizados.

Muestra	Cadmio mg/L			Cromo mg/L			Plomo mg/L		
I-LL-H	0,00004	0,00001	0,00008	0,0012	0,0019	0,0015	0,00074	0,00081	0,00069
I-LL-R	0,00002	0,00001	0,00003	0,0013	0,00105	0,0011	0,00022	0,00025	0,0002
I-D-H	0,00003	0,00008	0,00009	0,00109	0,00112	0,00125	0,00098	0,00096	0,00099
I-D-R	0,00003	0,00001	0,00005	0,00101	0,00104	0,0021	0,00029	0,00025	0,00033
I-P-H	0,00008	0,00012	0,00004	0,00109	0,00106	0,00101	0,00051	0,00049	0,00057
I-P-R	0,0001	0,00012	0,00011	0,00101	0,00105	0,0011	0,00028	0,00035	0,00021
C-LL-H	0,00028	0,00029	0,00027	0,0019	0,0014	0,0016	0,00105	0,00103	0,00107
C-LL-R	0,00016	0,00015	0,00017	0,0021	0,0027	0,0013	0,00107	0,00109	0,00105
C-D-H	0,00029	0,0003	0,00028	0,002	0,0022	0,0021	0,00187	0,00195	0,00179
C-D-R	0,00006	0,00004	0,00008	0,0019	0,0026	0,0018	0,00054	0,00061	0,00047
C-P-H	0,00009	0,00005	0,00013	0,00119	0,00125	0,00112	0,00062	0,00055	0,00069
C-P-R	0,00004	0,00001	0,00002	0,00204	0,0017	0,00142	0,00041	0,00036	0,00046

P.A.

Yoel Iñigo CQP 826
Resp. Lab. Inorgánico

FECHA EMISIÓN: 18/05/2017

OBSERVACIONES:

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como un certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

AGQ PERU, S.A.C.

Av. Santa Rosa 511 La Perla - Callao Lima, Lima, PERU

T: (511) 710 27 00

F: (511) 718 30 94

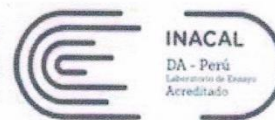
operacionesperu@agq.com.pe

www.agqlabs.pe



INFORME DE
ENSAYO

LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-072



Registro N° LE - 072

N° de Referencia: **A-17/025906**
Descripción: **I-D-H / CUSCO**

Tipo Muestra: **Infusión**
Fecha Fin: **18/05/2017**

ANEXO TECNICO

Parámetro	PNT	Técnica	Ref Norma	Rango (1)
Metales Totales				
Cadmio Total	EPA 200.8	Espect ICP-MS		0,00001 - 50,000 mg/L
Cromo Total	EPA 200.8	Espect ICP-MS		0,001 - 50,0 mg/L
Plomo Total	EPA 200.8	Espect ICP-MS		0,00006 - 50,000 mg/L

Los parámetros marcados con asterisco (*) no están incluidos en el Alcance de Acreditación.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como un certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

AGQ PERU, S.A.C.

Av. Santa Rosa 511 La Perla - Callao, Lima, Lima, PERU

T: (511) 710 27 00

F: (511) 718 30 94

operacionesperu@agq.com.pe

www.agqlabs.pe

Anexo 8. Galería Fotográfica



Figura 20. Zona de muestreo (cerca al tráfico)

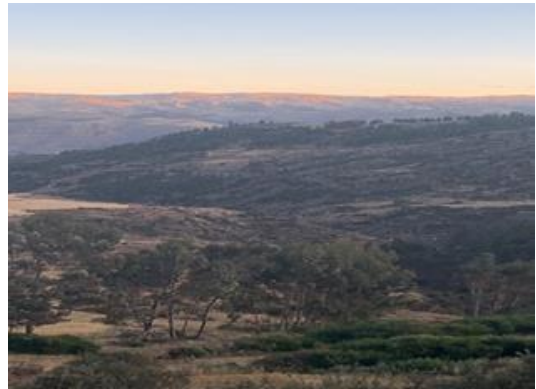


Figura 21. Zona de muestreo (lejos del tráfico)



Figura 22. Afluencia vehicular cerca de la zona de muestreo



Figura 23. Ubicación de zona de *Plantago australis* (puna llantén)



Figura 24. Ubicación de zona de *Hypochaeris meyeniana* (pilli pilli)



Figura 25. Ubicación de zona de *Taraxacum officinale* (diente de león)

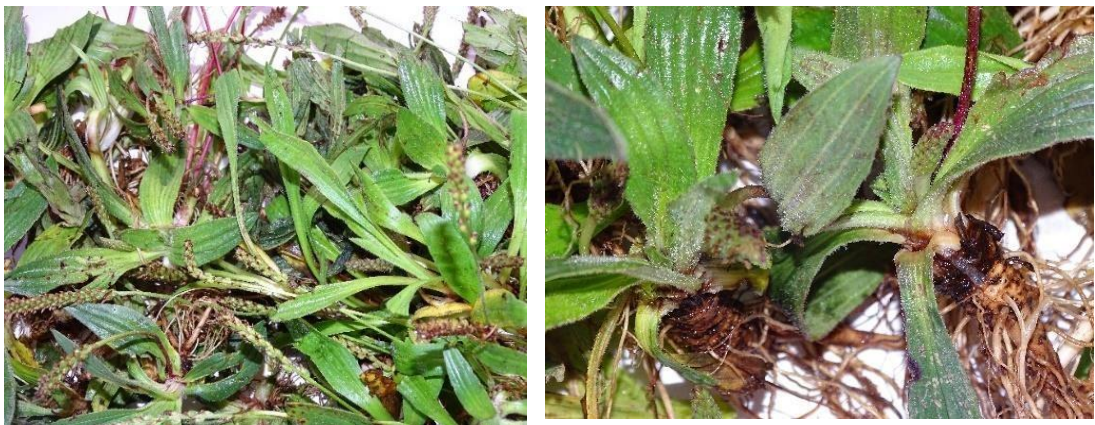


Figura 26. *Plantago australis* (puna llantén) recolectado



Figura 27. *Taraxacum officinale* (diente de león) recolectado



Figura 28. *Hypochaeris meyeniana* (pilli pilli) recolectado



Figura 29. Recolección de suelos de las plantas en estudio



Figura 30. Materia seca de parte aérea de *Plantago australis*



Figura 31. Materia seca de raíz de *Plantago australis*



Figura 32. Materia seca de parte aérea de *Hypochaeris meyeniana* (pilli pilli)



Figura 33. Materia seca de raíz de *Hypochaeris meyeniana* (pilli pilli)



Figura 34. Materia seca de parte aérea de *Taraxacum officinale* (diente de león)



Figura 35. Materia seca de raíz de *Taraxacum officinale* (diente de león)



Figura 36. Equipo ICP-MS



Figura 37. Digestión ácida de las muestras en el Hot block



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo YOLANDA CALLO CHOQUEVILCA
identificado con DNI 23 84 5920 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
CIENCIA, TECNOLOGIA Y MEDIO AMBIENTE

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:
" BIOACUMULACION DE METALES PESADOS: PLOMO, CADMIO Y CROMO
EN PLANTAS MEDICINALES RECOLECTADAS EN ZONAS CERCANAS A
ALTO TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DEL CUSCO "

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 27 de marzo del 2023

FIRMA (obligatoria)



Huella



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



VRI
Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo YOLANDA CALLO CHOQUEVILCA
identificado con DNI 23845920 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
CIENCIA, TECNOLOGIA Y MEDIO AMBIENTE

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:
" BIOACUMULACION DE METALES PESADOS: PLOMO, CADMIO Y CROMO
EN PLANTAS MEDICINALES RECOLECTADAS EN ZONAS CERCANAS
A ALTO TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DEL CUSCO "

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 27 de marzo del 2023


FIRMA (obligatoria)



Huella