

# UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACÉUTICAS



***“INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE BIOSÓLIDOS SOBRE LA BIODISPONIBILIDAD DE ELEMENTOS TRAZA (Cu, Cr, Ni Y Zn) EN SUELOS, DETERMINADA A TRAVÉZ DE UN MÉTODO PREDICTIVO (DGT) Y BIOENSAYOS CON PLANTAS DE MARAVILLA (Helianthus annuus)”***

Tesis presentada a la Universidad de Chile para optar al grado de Magíster en Química, Área de Especialización en Química Ambiental y Memoria para optar al Título de Químico por:

***KAREN CYNTHIA SEPÚLVEDA ALEGRÍA***

Director de Tesis: M. Sc. Inés Ahumada Torres.

Santiago-CHILE

Enero 2014

## ***Índice General de Contenidos.***

	Página
1. Introducción.....	1
2. Objetivos.....	7
2.1 Objetivo General.....	7
2.2 Objetivos Específicos.....	7
3. Materiales y Métodos.....	8
3.1 Reactivos.....	8
3.2 Materiales.....	8
3.3 Aparatos e Instrumentos.....	9
3.4 Procedimiento Experimental.....	10
3.4.1 Descripción de las muestras.....	10
3.4.1.1 Suelos.....	10
3.4.1.2 Biosólido.....	10
3.4.2 Caracterización Física y Química de Muestras de suelo y Biosólido	10
3.4.2.1 Determinación de pH.....	10
3.4.2.2 Determinación Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)...	10
3.4.2.3 Determinación de contenido de Materia Orgánica (MO).....	10
3.4.2.4 Determinación del contenido total de metales Cu, Cr, Ni y Zn	11
en suelos y biosólido.....	11
3.4.2.5 Determinación de la Textura de los suelos.....	11
3.4.3 Determinación del contenido total de elementos traza y	12
asociaciones químicas de suelos, biosólido y mezclas.....	12
3.4.3.1 Determinación de Cu, Cr, Ni y Zn total en muestras tratadas	12
con biosólidos.....	12
3.4.3.2 Extracción Secuencial de Cu, Cr, Ni y Zn.....	13
3.4.4 Determinación de la fracción biodisponible de los elementos	13
traza en plantas de Maravilla ( <i>Calendula annuus</i> ).....	13
3.4.5 Determinación de biodisponibilidad de elementos traza por DGT...	14
3.4.6 Análisis e interpretación de resultados.....	16
4. Resultados y Discusión.....	17
4.1 Caracterización química de suelos y biosólido.....	17

4.2 Determinación del Contenido total de elementos traza y asociaciones químicas de suelos, biosólido y mezclas.....	17
4.2.1 Contenido total de elementos traza en suelos y biosólido.....	17
4.3 Extracción secuencial de Cu, Cr, Ni y Zn.....	20
4.3.1 Cobre.....	20
4.3.2 Cromo.....	21
4.3.3 Niquel.....	21
4.3.4 Cinc.....	24
4.4 Biodisponibilidad de elementos traza en cultivos de plantas de Maravilla.....	25
4.4.1 Biodisponibilidad de elementos traza en cultivos de plantas de Maravilla: Contenido total.....	25
4.4.2 Biodisponibilidad de elementos traza en raíces y hojas de plantas de Maravilla.....	28
4.4.3 Factor de Bioconcentración.....	32
4.5 Determinación de $C_E$ a través de la técnica DGT.....	35
4.6 Comparación entre los distintos métodos para la determinación de la biodisponibilidad de elementos traza en plantas de Maravilla.....	38
4.6.1 Relación entre la concentración de elementos traza en plantas de maravilla con la concentración efectiva ( $C_E$ ) y la primera fracción del procedimiento de extracción secuencial.....	38
5. Conclusiones.....	42
6. Referencias.....	43
7. Anexos.....	45

## Índice de Tablas.

	Página
Tabla 1. Concentraciones máximas de elementos traza en lodos recomendables para su aplicación benéfica.....	2
Tabla 2. Reactivos utilizados durante el procedimiento experimental.....	8
Tabla 3. Materiales utilizados durante el procedimiento experimental.....	8
Tabla 4. Método de fraccionamiento químico BCR optimizado.....	13
Tabla 5. Características generales de los suelos Codigua, Pelvín, Lampa y Biosólido.....	18
Tabla 6. Contenido total de Cu, Cr, Ni y Zn en suelos Codigua, Pelvín, Lampa y Biosólido.....	18
Tabla 7. Extracción secuencial de Cu, Cr, Ni y Zn en suelos Codigua, Pelvín y Lampa.....	22
Tabla 8. Biomasa producida por las plantas de Maravillas cultivadas en los suelos Codigua, Pelvín y Lampa con diferentes dosis de biosólido.....	25
Tabla 9. Concentración de los metales en el DGT y en el agua de poro, en suelos Codigua, Pelvín y Lampa tratados con dosis 0, 30, 90 y 200 Mg ha <sup>-1</sup> de biosólido.....	35
Tabla 10. Concentración Efectiva (C <sub>E</sub> ) determinada mediante la técnica DGT y la Aplicación computacional DIFS, para los suelos Codigua, Pelvín y Lampa tratados con biosólido en dosis 0, 30, 90 y 200 Mg ha <sup>-1</sup> .....	36
Tabla 11. Coeficiente de correlación (R) para la comparación de los tres métodos de determinación de biodisponibilidad (n = 3).....	39
Tabla 12. Coeficiente de correlación (R) para la comparación de la concentración de metales en las raíces de las plantas de maravillas cultivadas - C <sub>E</sub> y raíces de las plantas de maravillas cultivadas – fracción soluble.....	39
Tabla 13. Coeficiente de correlación (R) para la comparación de la concentración de metales en las hojas de las plantas de maravillas cultivadas - C <sub>E</sub> y hojas de las plantas de maravillas cultivadas – fracción soluble.....	40
Tabla 14. Coeficiente de correlación (R) para la comparación de los tres métodos de determinación de biodisponibilidad (n = 12).....	41

Anexos.

Tabla 15. Contenido total de Cu, Cr, Ni y Zn en suelos Codigua, Pelvín y Lampa enmendados con diferentes dosis biosólido.....	45
Tabla 16. Fracción soluble en ácido de elementos traza en suelos Codigua, Pelvín y Lampa enmendados con biosólido en dosis de 0, 30, 90 y 200 Mg ha <sup>-1</sup> .....	45
Tabla 17. Fracción reducible de elementos traza en suelos Codigua, Pelvín y Lampa enmendados con biosólido en dosis de 0, 30, 90 y 200 Mg ha <sup>-1</sup>	46
Tabla 18. Fracción oxidable de elementos traza en suelos Codigua, Pelvín y Lampa enmendados con biosólido en dosis de 0, 30, 90 y 200 Mg ha <sup>-1</sup>	46
Tabla 19. Fracción Residual de elementos traza en suelos Codigua, Pelvín y Lampa enmendados con biosólido en dosis de 0, 30, 90 y 200 Mg ha <sup>-1</sup>	47
Tabla 20. Contenido total de Cu, Cr, Ni y Zn en plantas de maravilla cultivadas en suelos Codigua, Pelvín y Lampa enmendados con biosólido en dosis de 0, 30, 90 y 200 Mg ha <sup>-1</sup> .....	47
Tabla 21. Contenido total de Cu, Cr, Ni y Zn en Raíces de plantas de maravilla cultivadas en suelos Codigua, Pelvín y Lampa enmendados con biosólido en dosis de 0, 30, 90 y 200 Mg ha <sup>-1</sup> .....	48
Tabla 22. Contenido total de Cu, Cr, Ni y Zn en Hojas de plantas de maravilla cultivadas en suelos Codigua, Pelvín, y Lampa enmendados con biosólido en dosis de 0, 30, 90 y 200 Mg ha <sup>-1</sup> .....	48
Tabla 23. Factor de bioconcentración raíz-suelo.....	49
Tabla 24. Factor de bioconcentración hoja-suelo.....	49

## Índice de Figuras.

	Página
Figura 1. Diagramas dispositivo DGT para suelos y fotografías dispositivo DGT y dispositivo desplegado en suelo.....	5
Figura 2. Gráfico para la clasificación de suelos según textura.....	12
Figura 3. Brotes de semillas de maravilla y plantas.....	14
Figura 4. Dispositivos DGT desplegados en el suelo Lampa.....	15
Figura 5. Contenido total de Cu, Cr, Ni y Zn en biosólido.....	18
Figura 6. Contenido total de Cu, Cr, Ni y Zn en suelo Codigua enmendado con biosólido en dosis 0, 30, 90 y 200 Mg ha <sup>-1</sup> .....	19
Figura 7. Contenido total de Cu, Cr, Ni y Zn en suelo Pelvín enmendado con biosólido en dosis 0, 30, 90 y 200 Mg ha <sup>-1</sup> .....	19
Figura 8. Contenido total de Cu, Cr, Ni y Zn en suelo Lampa enmendado con biosólido en dosis 0, 30, 90 y 200 Mg ha <sup>-1</sup> .....	20
Figura 9. Contenido de Cu extraído secuencialmente al utilizar el método BCR en suelos Codigua, Pelvín y Lampa enmendados con dosis de 0, 30, 90 y 200 Mg ha <sup>-1</sup> de biosólido.....	23
Figura 10. Contenido de Cr extraído secuencialmente al utilizar el método BCR en suelos Codigua, Pelvín y Lampa enmendados con dosis de 0, 30, 90 y 200 Mg ha <sup>-1</sup> de biosólido.....	23
Figura 11. Contenido de Ni extraído secuencialmente al utilizar el método BCR en suelos Codigua, Pelvín y Lampa enmendados con dosis de 0, 30, 90 y 200 Mg ha <sup>-1</sup> de biosólido.....	24
Figura 12. Contenido de Zn extraído secuencialmente al utilizar el método BCR en suelos Codigua, Pelvín y Lampa enmendados con dosis de 0, 30, 90 y 200 Mg ha <sup>-1</sup> de biosólido.....	24
Figura 13. Contenido total de Cu, Cr, Ni y Zn en Plantas de maravilla cultivadas en suelo Codigua enmendado con biosólido en dosis 0, 30, 90 y 200 Mg ha <sup>-1</sup> .....	26
Figura 14. Contenido total de Cu, Cr, Ni y Zn en Plantas de maravilla cultivadas en suelo Pelvín enmendado con biosólido en dosis 0, 30, 90 y 200 Mg ha <sup>-1</sup> .....	27

Figura 15. Contenido total de Cu, Cr, Ni y Zn en Plantas de maravilla cultivadas en suelo Lampa enmendado con biosólido en dosis 0, 30, 90 y 200 Mg ha <sup>-1</sup> .....	27
Figura 16. Distribución del Contenido total de Cu en Plantas de maravilla cultivadas en suelos enmendado con biosólido en dosis 0, 30, 90 y 200 Mg ha <sup>-1</sup> .....	28
Figura 17. Distribución del Contenido total de Cr en Plantas de maravilla cultivadas en suelos enmendado con biosólido en dosis 0, 30, 90 y 200 Mg ha <sup>-1</sup> .....	29
Figura 18. Distribución del Contenido total de Ni en Plantas de maravilla cultivadas en suelos enmendado con biosólido en dosis 0, 30, 90 y 200 Mg ha <sup>-1</sup> .....	30
Figura 19. Distribución del Contenido total de Zn en Plantas de maravilla cultivadas en suelos enmendado con biosólido en dosis 0, 30, 90 y 200 Mg ha <sup>-1</sup> .....	30
Figura 20. Factor de Bioconcentración en Plantas de maravilla cultivadas en suelo Codigua enmendado con biosólido en dosis 0, 30, 90 y 200 Mg ha <sup>-1</sup> .....	32
Figura 21. Factor de Bioconcentración en Plantas de maravilla cultivadas en suelo Pelvín enmendado con biosólido en dosis 0, 30, 90 y 200 Mg ha <sup>-1</sup> .....	33
Figura 22. Factor de Bioconcentración en Plantas de maravilla cultivadas en suelo Lampa enmendado con biosólido en dosis 0, 30, 90 y 200 Mg ha <sup>-1</sup> .....	34
Figura 23. Variación de CE determinada por la técnica DGT en suelo Codigua enmendado con biosólido en dosis 0, 30, 90 y 200 Mg ha <sup>-1</sup>	36
Figura 24. Variación de CE determinada por la técnica DGT en suelo Pelvín enmendado con biosólido en dosis 0, 30, 90 y 200 Mg ha <sup>-1</sup>	37
Figura 25. Variación de CE determinada por la técnica DGT en suelo Lampa enmendado con biosólido en dosis 0, 30, 90 y 200 Mg ha <sup>-1</sup>	37