

UCH-FC
Q. Ambiental
S. 586
C.1



**“PRESERVANTES PARA MADERA TIPO CCA Y SU EFECTO
SOBRE EL MEDIO AMBIENTE”**

**Seminario de Título entregado a la
Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile
en cumplimiento parcial de los requisitos
para optar al Título de**

QUÍMICO AMBIENTAL

Héctor Fabián Silva Camilla

Director (a) de Tesis: Lic. Mónica Díaz Badillo

Profesor (a) Patrocinante: M. Cs. Sylvia Copaja

Noviembre, 2004

INFORME DE APROBACIÓN

MEMORIA DE TÍTULO

Se informa a la escuela de Pre-grado de la Facultad de Ciencias, Universidad de Chile que el Seminario de Título presentado por el alumno.

Héctor Fabián Silva Camilla

Ha sido aprobada por la Comisión de Evaluación de la Memoria de Título como requisito para optar al Título de Químico Ambiental.

Director (a) de Memoria de Título

Lic. Mónica Díaz Badillo



Comisión de Evaluación de la Memoria de Título

Dr M.Cs. Sylvia V. Copaja

Dr Ing. Forestal. René Carmona

Dr Mauricio Isaac



DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo, el cual representa la culminación de una etapa de aprendizaje, desarrollo personal y formación profesional, a mis amados padres quienes con mucho esfuerzo y confianza pusieron ante mí las herramientas a libertad de elección y de mis propias decisiones, siempre bajo sus orientaciones.

El hombre se convierte muchas veces en lo que cree que es.

Si me repito una y otra vez que no puedo hacer algo,
es muy probable que termine siendo incapaz de hacerlo
y por el contrario si tengo el convencimiento
que puedo hacerlo, seguramente obtendré
la capacidad de hacerlo, incluso aunque no lo logre al principio....

Soy un hombre de bien gracias a ustedes.

AGRADECIMIENTOS

Quiero dar las gracias a quienes de una u otra forma me apoyaron y orientaron en la elaboración del presente seminario de título.

Al Centro de Estudios Medición y Certificación de Calidad Cesmec Ltda. En especial a la División Análisis Químico. Al jefe de División Sr. René Pereira L. y jefa de Dpto. Sra. Mónica Díaz B, quienes me abrieron las puertas, acogieron mi proyecto y dieron su apoyo, siempre con la mejor disposición.

A todos quienes allí trabajan y que me brindaron su entusiasmo, alegría y amistad. Por crear un excelente ambiente laboral, por enseñarme tantas cosas, cosas que no se aprenden en los libros sino con la práctica, y por supuesto por confiar en mí.

Finalmente quiero agradecer al Grupo Guías y Scout Quillahue de San Bernardo, a quienes forman parte de él y los que ya no. Aquí aprendí el sentido de responsabilidad, de hacer siempre las cosas bien, no porque te obliguen sino porque te gusta, porque cada día tiene que ser mejor que el anterior, me enseñaron a ser tolerante y consecuente. Aquí conocí a mis verdaderos amigos, quienes están contigo en los buenos y que especialmente en los malos momentos tienden su mano para levantarte y brindarte una sonrisa. A todos ustedes muchas gracias, hoy dejo mi vida activa para convertirme en un scout de civil y llevar a otros el sentido del movimiento. Buena caza ...

INDICE DE CONTENIDOS

	Página
1. Introducción	1
1.1. Objetivos del Estudio	4
1.2. Hipótesis	5
2. Antecedentes Generales	6
2.1. Problemas Ambientales Asociados al Sector Forestal.....	7
2.2. Requerimientos de Calidad Ambiental	8
2.3. Restricciones Generales para los Productos Chilenos	11
2.4. Agentes Destruidores de la Madera	13
2.4.1. Efectos de los Hongos de Pudrición	14
2.5. Durabilidad Natural y Permeabilidad de la Madera	16
2.6. Requisitos de Retención	18
2.7. Sales Preservantes CCA	19
2.7.1. Almacenamiento y Manejo de las Sales CCA	22
2.8. Proceso de Impregnación de Madera con Sales CCA	24
2.8.1. Antecedentes Generales de la Impregnación	24
2.8.2. Proceso de Impregnación	26
2.9. Toxicidad por Metales Pesados	29
2.10. Contaminación de Suelo por Metales Pesados	32
2.11. Estándares Holandeses de Concentración de Contaminantes en Suelos	37
3. Procedimiento de Toma de Muestra	39
3.1. Antecedentes Generales del Muestreo	47

	Página
3.2. Distribución de Plantas Impregnadoras en la Región Metropolitana	44
4. Parte Experimental	45
4.1. Preparación de Muestras de Suelo Análisis Físicoquímico	47
4.2. Análisis de Parámetros complementarios para Suelo de Planta de Impregnación	47
4.3. Análisis Químico para Metales Cu, Cr y As en Suelo de Planta de Impregnación	48
4.4. Análisis Químico para Metales Cu, Cr y As en Madera Preservada y Soluciones de Tratamiento	49
4.5. Test de Lixiviación Característico de Constituyentes Tóxicos	49
4.6. Extracción por Fraccionamiento Secuencial de Metales Pesados en Muestras de Suelo	50
4.7. Ensayo de Lixiviación para metales Cu, Cr y As sobre un Suelo de Referencia	52
4.7.1. Descripción del Ensayo de Lixiviación	53
5. Resultados y Discusiones	56
5.1. Análisis de Parámetros Complementarios para Suelo Planta de Impregnación	56
5.2. Análisis Químico Metales Pesados en Suelos Contaminados	61
5.2.1. Análisis Comparativo de Metodologías, A.A y F.R.X	65
5.3. Análisis Químico de Muestras de Madera y Soluciones de Tratamiento por A.A	67

	Página
5.4. Test de Lixiviación Característico de Constituyentes Tóxicos	70
5.5. Análisis Químico de Extracción Secuencial de Metales pesados en suelos Contaminados	75
5.6. Ensayo de Lixiviación para metales Cu, Cr y As sobre un Suelo de Referencia	79
5.6.1. Análisis de Resultados - Metales Pesados en Suelo de Referencia	84
6. Discusión General	92
6.1. Suelo Planta Impregnadora/Madera Preservada y Soluciones de Tratamiento	92
6.2. Suelo de Referencia/Ensayo Final de Lixiviación	95
7. Conclusiones	98
8. Bibliografía	101
ANEXO I RESUMEN DE MÉTODOS ANALÍTICOS	105
ANEXO II CURVAS DE CALIBRACIÓN ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA	124
ANEXO III INFORMACIÓN RELATIVA A RESIDUOS INDUSTRIALES SÓLIDOS	135
ANEXO IV MUESTRA CONTROL DE SUELO	139

INDICE DE TABLAS

		Página
Tabla 1:	Durabilidad Natural y Permeabilidad de Maderas Comerciales	17
Tabla 2:	Requisitos de Retención para Preservantes Hidrosolubles CCA	18
Tabla 3:	Clasificación Preservantes CCA, Proporción de Óxidos Activos	20
Tabla 4:	Límites de Composición Máximos y Mínimos de Sales CCA	20
Tabla 5:	Valores Indicativos para cada Nivel de Riesgo en Suelo	37
Tabla 6:	Metodología descrita para Suelos	46
Tabla 7:	Resumen Análisis Complementario, Suelo Planta de Impregnación	56
Tabla 8:	Análisis Estructural, Suelo Planta de Impregnación	59
Tabla 9:	Análisis de Metales por A.A, Suelo Planta de Impregnación	62
Tabla 10:	Análisis de Metales por F.R.X, Suelo Planta de Impregnación	63
Tabla 11:	Límites de Composición para Madera Tratada, NCh 763/2. Of. 1996	67
Tabla 12:	Análisis Químico para Madera Impregnada y Soluciones de Tratamiento	68
Tabla 13:	Análisis de Lixiviación, Suelo Planta de Impregnación Test TCLP	71
Tabla 14:	Determinación de Cu, Cr y As para Madera Impregnada, Test TCLP	73
Tabla 15:	Análisis de Extracción Secuencial de Metales Pesados por A.A, Suelo Planta de Impregnación	76
Tabla 16:	Suma de Fracciones Parciales para Extracción Secuencial v/s Contenido Total de Metales, Suelo Planta de Impregnación	77

	Página
Tabla 17: Caracterización de Suelo de Referencia	80
Tabla 18: Análisis de TCLP para Ensayo Final/Suelo de Referencia	81
Tabla 19: Contenido de Cu, Cr y As en Madera Impregnada	82
Tabla 20: Análisis Extracción Secuencial de Metales en Suelo de Referencia/Ensayo de Lixiviación	85
Tabla 21: Suma de Fracciones Parciales para Extracción Secuencial v/s Contenido Total de Metales en Suelo de Referencia	86

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1: Madera en Pudrición	14
Figura 2: Presencia de Hongos	14
Figura 3: Diagrama de Flujo – Proceso de Impregnación de Madera	28
Figura 4: Esquema General de Planta de Impregnación Muestreada	42
Figura 5: Diagrama de Flujo, Procedimiento de Toma de Muestra	43
Figura 6: Distribución de Plantas Impregnadora en la R.M	44
Figura 7: Esquema de Ensayo de Lixiviación para Suelo de Referencia	54
Figura 8: Ensayo de Lixiviación	55
Figura 9: Madera Utilizada y Preservante CCA Tipo C	55
Figuras 10-11-12: Comparación de Metodologías para el Análisis de Cu, Cr y As en Suelo Planta de Impregnación	65-66
Figura 13: Proporción de Óxidos Activos en Preservante CCA Tipo C	69
Figura 14: Retención de Óxidos en Madera Preservada CCA Tipo C	69
Figuras 15-16: Metales Lixiviados de Suelos Contaminados y Madera Preservada con Sales CCA Tipo C	74
Figura 17: Liberación de Elementos Tóxicos sobre Suelo de Referencia/Test TCLP	83
Figura 18: Pérdida de Metales en Madera por Efecto del Lavado Excesivo	83
Figuras 19-20-21: Análisis de Cu, Cr y As en Suelo de Referencia	87-88
Figura 22: Distribución Porcentual de Metales en Suelo Clase Arena Migajonosa	90
Figura 23: Distribución Porcentual de Metales en Suelo Clase Migajón	91

LISTADO DE ABREVIATURAS Y SIGLAS

ASTM: American Society for Testing and Materials.

CCA: Formulaci3n a base de Cromo, Cobre y Ars3nico.

CESMEC: Centro de Estudios Medici3n y Certificaci3n de Calidad.

CIC: Capacidad de Intercambio Cati3nico.

CMP: Concentraci3n M3xima Permisible.

DS: Decreto Supremo.

EFTA: Asociaci3n Europea de Libre Comercio.

EPA: Agencia de Protecci3n Medioambiental de Estados Unidos.

ICP: Plasma Acoplado Inductivamente.

IHOBE: Est3ndar Holand3s de Concentraci3n de Contaminantes en Suelos.

INFOR: Instituto Forestal.

LMP: L3mite M3ximo Permitido.

OMC: Organizaci3n Mundial de Comercio.

PCF: Pentaclorofenol.

PCB(s): Bifenilos Policlorados.

PMP: M3todos de Producci3n y Procesos.

RDA: Relaci3n de Adsorci3n.

RIL: Residuo Industrial L3quido.

RIS: Residuo Industrial S3lido.

TCLP: Test de Lixiviaci3n Caracter3stico para Sustancias Peligrosas.

TLC: Tratado de Libre Comercio.

UA: Unidades de Absorbancia.

US\$ FAS: Libre al costado del buque.

US\$ FOB: Libre a bordo.

USDA: Departamento de Agricultura de Estados Unidos.

VIE: Valor Indicativo de Evaluaci3n.

GLOSARIO

- Absorción bruta: Volumen total de preservante que ha penetrado en la madera durante el período de presión y antes de aplicar el vacío final. Incluye la absorción inicial y el preservante inyectado en la madera durante el período de presión. Se expresa en L/m³.
- Absorción inicial: En un proceso a presión, la cantidad de preservante absorbida por la madera mientras se llena el cilindro, antes del período de presión.
- Albura: Capa que se encuentra inmediatamente debajo de la corteza, que en el árbol vivo está formada por las células en que se realiza la actividad fisiológica de éste.
- Carga: Cantidad total de madera tratada en cada ciclo de impregnación, se puede expresar en unidades de volumen o masa (m³ ó kg)
- Ciclo de impregnación: Comprende todas aquellas operaciones destinadas a introducir el preservante en la madera.
- Cilindro de presión, autoclave: Estanque de acero, generalmente cilíndrico horizontal, cerrado herméticamente, donde se realiza la impregnación de la madera, a presiones diferentes a la atmosférica.
- Corteza: Es la envoltura natural exterior de un árbol.
- Duramen: Es el núcleo, generalmente de color más oscuro que el de la albura, que se encuentra inmediatamente debajo de ésta y que en el árbol vivo está formado por las células inactivas.
- Ecodumping: Término relacionado a la venta de un producto en el extranjero a un precio inferior al que paga por él un consumidor nacional. Asociado al medio ambiente, se relaciona con la producción y exportación de un determinado producto, cuyo proceso productivo va en perjuicio del medio ambiente nacional.
- Estanque de almacenamiento: Estanque generalmente graduado que sirve de depósito del líquido preservante y que abastece al cilindro de presión.
- Humedad libre: Humedad que esta contenida en las cavidades celulares y espacios intercelulares y se mantiene solamente por fuerzas capilares.

- Insectos xilófagos: Organismos vivos pertenecientes a la clase artrópodos que se alimentan de la madera causando la destrucción de ella.
- Madera aserrada: Es la pieza de madera de forma paralelepípedica obtenida por cortes longitudinales de sierra.
- Madera permeable: Madera en que tanto la albura como el duramen son susceptibles de ser penetrados por sustancias preservantes.
- Madera refractaria: Madera resistente a la penetración de los preservantes.
- Madera seca: Es aquella cuyo contenido de humedad esta referido al agua de constitución de las células de la madera.
- Madera semi-seca: Es la madera cuyo contenido de humedad está referido al agua de constitución de las células de la madera más el agua ligada.
- Madera verde: Es la madera cuyo contenido de humedad es superior al 30 %.
- Probeta: Pieza obtenida de una unidad de muestreo, que se somete a ensayo.
- Proceso a presión: Cualquier tratamiento en el cual el preservante se introduce en la madera a una presión diferente a la atmosférica en un recipiente cerrado.
- Proceso de vacío: Aplicación de un preservante a la madera en un autoclave por evacuación del aire y posterior llenado del autoclave con preservante, antes de aliviar el vacío.
- Proceso vacío - presión: Cualquier proceso de tratamiento de la madera en un autoclave en el cual la madera se somete a vacío y/o presión, con el fin de introducir el preservante.
- Punto de saturación de las fibras: El contenido de humedad hipotético al cual se ha extraído toda la humedad libre, permaneciendo el agua ligada en las paredes celulares.
- Retención efectiva: Cantidad de componentes tóxicos activos del preservante que permanece en la madera después del tratamiento. Se expresa en kg/m^3 .
- Retención neta: La cantidad de preservante en forma de compuesto líquido o seco que permanece en la madera después del tratamiento. Se expresa en kg/m^3 .
- Sangría, deserción: La exudación del líquido preservante de la superficie de la madera tratada después que se completa el tratamiento.

RESUMEN

La preservación de la madera es una actividad común en el sector forestal nacional, la cual da al producto final una importante cualidad por concepto de valor agregado, un bien más durable. En la actualidad, existe una variedad de sustancias preservadoras en el mercado nacional, siendo de interés las denominadas sales CCA, a base de Cobre (CuO), Cromo (CrO_3) y Arsénico (As_2O_5), bajo la forma de óxidos.

Sin embargo, la mala manipulación de estas sales, tanto en su preparación (solución preservante) como en el proceso mismo de la impregnación puede producir serios problemas de contaminación al medio ambiente, especialmente en el suelo, repercutiendo finalmente en el hombre.

Es así, como en muchas plantas de impregnación de madera, que utilizan **sales preservantes CCA tipo C**, las medidas de seguridad son mínimas, produciéndose vertimientos del producto al suelo, el cual se ve en primera instancia afectado por la presencia de estos metales pesados, los cuales posteriormente cambian sus condiciones fisicoquímicas, produciendo la movilidad de éstos metales hacia estratos inferiores del perfil, llegando de éste modo a las napas freáticas, generando así la contaminación, indirecta, de ellas.

Para poder establecer, la real situación en que se encuentran los suelos expuestos a este fenómeno se realizó, primeramente, la etapa de muestreo y caracterización visual de él (en terreno) en una determinada Planta de Impregnación de la Región Metropolitana. Luego, se procedió a caracterizar el suelo contaminado, en los laboratorios de CESMEC Ltda, por medio de parámetros complementarios al análisis mismo de los metales en estudio.

Los análisis por Espectrofotometría de Absorción Atómica para la Extracción por Fraccionamiento Secuencial de Metales Pesados, en conjunto con el Test de Lixiviación Característico para Sustancias Peligrosas son la base del presente trabajo para, en cierta medida, estimar el posible impacto negativo que la inadecuada preservación de madera tiene sobre el suelo.

Del test TCLP (definido en la parte experimental), se desprende la necesidad de considerar a la madera impregnada como un residuo tóxico extrínseco, cuando ella es eliminada como un desecho de construcción.

Los resultados obtenidos en la extracción secuencial, en conjunto con el test TCLP indican principalmente que la mayor parte de los metales estudiados permanecerá en estado residual, vale decir, retenido por la fracción arcillosa del suelo. Importante es considerar que, el arsénico presenta su mayor disponibilidad en medio alcalino, a diferencia de cromo y cobre cuya solubilización es máxima a pH ácido.

El ensayo de lixiviación final realizado, justifica la presencia de un mayor contenido de arcilla en los suelos de las plantas impregnadoras, que en su mayoría son de tipo arenosos, para la retención de estos metales y por supuesto una mayor cantidad de materia orgánica, de modo de minimizar el potencial peligro que este tipo de sustancia genera en el medio ambiente.

SUMMARY

The preservation of the wood is a common activity in the national forest sector, which gives to the final product an important quality for concept of added value, a good more durable one. At the present time, a variety of substances preservers exists in the national market, being of interest those denominated salts CCA, on de basis of Copper (CuO), Chrome (CrO_3) and Arsenic (As_2O_5), under the form of oxides.

However, the bad manipulation of these salts, so much in their preparation (solution preserver) as in the same process of the impregnation it can produce serious problems of contamination to the environment, especially in the soil, rebounding finally in the man.

It this way, like in many plants of wooden impregnation, that to use salts preservers CCA type C, the measures of security are minimum, taking place spill to the soil, which is affected in first instance affected for the presence of these heavy metals, those which later on change their conditions physical-chemistry, producing the mobility of these metals toward inferior even of the cross section, reaching this way to the waters underground, generating this way the contamination, indirect, of them.

To be able to establish, the real situation in the are the exposed soils to this phenomenon is was made, first, the sampling stage and visual characterization of him (in land) in a certain Plant of Impregnation of the Metropolitan Region. Then, you proceeded to characterize the polluted soil, in the laboratories of CESMEC Ltda, by means of complementary parameters to the same analysis of the metals in study.

The analyses for Spectrometer of Atomic Absorption for the Extraction by Sequential Division of Heavy Metals, altogether with the Test of Characteristic Leach for Dangerous Substances are the base of the present work for, in certain measure, to estimate the possible negative impact that the inadequate wooden preservation has on the soil.

Of the test TCLP, comes off the necessity to consider to the wood impregnated as an extrinsic toxic residual, when she is eliminated as a construction waste.

The results obtained in the sequential extraction, together with the test TCLP indicates mainly that most of the studied metals will remain in residual state, that is to say, retained by the loamy fraction of the soil. Important it is to consider that, the arsenic presents their biggest availability in alkaline ambient, contrary to chromium and copper whose solubilización is maximum to acid pH.

The rehearsal of carried out final leach, justifies the presence of a bigger clay content in the floors of the plants impregnadoras that are of sandy type in its majority, for the retention of these metals and of course a bigger quantity of organic matter, minimizing the potential danger that this substance type generates in the environment.

“PRESERVANTES DE MADERA TIPO CCA Y SU EFECTO SOBRE EL MEDIO AMBIENTE”

1. INTRODUCCIÓN

El sector forestal se ha convertido en un pilar fundamental de nuestra economía, llegando a ser el segundo rubro de mayor importancia después del cobre en nuestras exportaciones. El Instituto Forestal, INFOR, señaló que las exportaciones forestales chilenas durante el primer semestre de 2003 llegaron a US\$ 1.198,1 millones, lo que representó un crecimiento de 8,2% respecto de igual período de 2002. En cuanto a los mercados, las exportaciones a Estados Unidos, principal destino, se mantuvieron prácticamente sin variación, mientras que las ventas a Holanda crecieron en un 47%, a Japón y México en un 20% cada uno y a China en un 11%. Como se observa, las exportaciones de madera cada vez van en un notable aumento. (Boletín de Exportaciones Forestales, INFOR, Septiembre de 2003)

Sin embargo, todo crecimiento económico tiene una incidencia, que puede llegar a ser negativa sobre el medio ambiente. El deterioro ambiental existente hoy en día ha sensibilizado a gobiernos, organismos no gubernamentales, organizaciones internacionales y a las personas en general, incrementando la conciencia medioambiental especialmente en los países más desarrollados. Como consecuencia de ésta preocupación, hay mayor tendencia a establecer regulaciones destinadas a preservar el medio ambiente en un amplio rango de actividades económicas entre las que se encuentra el comercio internacional. (Boletín de Exportaciones Forestales, Sector Económico y Forestal a Nivel Mundial y su Influencia en el Mercado Nacional, INFOR, Enero 2003)

La madera tiene innumerables aplicaciones y el uso de los tratamientos con preservantes, cuyo fin es proporcionar a la madera una notable prolongación de su vida útil, constituye no sólo una ventaja económica para el consumidor, sino que hace posible también el uso de especies madereras menos durables, tales como; el Pino Insigne, Tapa, Coihue, etc. En aplicaciones donde tradicionalmente se han utilizado especies nobles, como es el caso del Roble. (Revista Protecma, N°7, Los 90 años de la Madera Impregnada en España, 1999)

La durabilidad natural de la madera se refiere a la capacidad que posee este material para resistir el ataque de los diferentes agentes biológicos de destrucción (como hongos, insectos, perforadores marinos y bacterias), una vez que se pone en servicio sin ningún tratamiento preservador. La NCh 789/Of.1987 clasifica en cinco clases la durabilidad, dentro de las cuales tenemos: maderas muy durables, maderas durables, maderas moderadamente durables, maderas poco durables y maderas no durables.

Para aumentar ésta durabilidad natural, la madera es sometida a un proceso denominado **impregnación**, el cual consiste en la saturación de las fibras con un producto o mezcla de sustancias químicas, de efectividad comprobada, con el objeto de protegerla contra organismos destructores y prolongar su vida útil. La impregnación deberá aplicarse siempre que las condiciones del empleo de la madera así lo justifiquen. Pero, se debe recordar que su uso indiscriminado no aportará mayores beneficios y encarecerá los costos de producción de la madera tratada. En general, los tratamientos de impregnación tienen éxito en la medida que la madera tratada cumpla con las especificaciones de las normas nacionales o internacionales de preservación (NCh 819 "Madera preservada – Pino radiata – Clasificación y requisitos").

Los preservantes tipo CCA son una serie de compuestos a base de **chromo, cobre y arsénico**, ya sea separados o mezclados. Principalmente como uso para la preservación de la madera. Entre ellos tenemos: Wolman CCA (70 y 60 %), Strongwood, Osmose K-33, Oxidecca P-70 y Preservante de madera CCA tipo C.

La proliferación de productos no es más que una consecuencia de la capacidad de los organismos de biodeterioro en volverse resistente a un mismo compuesto (funguicida, pesticida, etc) después de su aplicación reiterada. Principalmente los hongos de pudrición que causan el deterioro de la madera, perdiendo gradualmente sus propiedades de solidez, volviéndose esponjosa, filamentosa o laminada y usualmente manchada y descolorida en relación a la madera sana, también se produce una disminución de la resistencia mecánica y aumento de la permeabilidad (Gilbertson R & L. Ryvardeen, Setas, Prados y Bosques, 1986). Los hongos de pudrición son, en consecuencia, una preocupación constante para el sector forestal.

Cada preservante posee características propias que determinan su persistencia y por lo tanto su toxicidad para el hombre y el medio; la cual se ve incrementada por su composición (a base de Cr, Cu, y As). Por ello, y **como aporte a la ciencia ambiental y en virtud de la protección del medio ambiente se llevó a efecto el estudio de la contaminación de suelos con éstos preservantes CCA bajo condiciones ambientales normales** (temperatura, humedad, presión, radiación solar, etc).

1.1. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

OBJETIVO GENERAL

- Estudiar la contaminación de suelo de una planta impregnadora de la Región Metropolitana, con cromo, cobre y arsénico, producto de la impregnación de maderas con preservantes tipo CCA.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar cuantitativamente cromo, cobre y arsénico en preservantes de madera tipo CCA.
- Determinar cuantitativamente cromo, cobre y arsénico en madera que han sido tratada con preservantes tipo CCA.
- Determinar cuantitativamente cromo, cobre y arsénico en suelos que han sido contaminado con preservantes tipo CCA.
- Establecer las condiciones de disponibilidad química por las cuales se presentan los metales en suelos contaminados.
- Proponer una metodología de resguardo y minimización de la contaminación.

1.2. HIPÓTESIS

La contaminación del suelo por cromo (Cr), cobre (Cu) y arsénico (As), bajo la forma de óxidos, producto de la impregnación de madera con sales CCA tipo C, es posible de ser cuantificada por métodos analíticos apropiados y equipos con alta calidad analítica como **Absorción atómica**, **Generación de hidruros** o **Fluorescencia de Rayos X**, utilizando estándares adecuados en la especiación y siguiendo la **Metodología EPA**.

Los resultados de los análisis expuestos en el presente trabajo permitirán proponer una metodología que ayude a resguardar y minimizar el efecto tóxico de estos elementos presentes en los preservantes de madera.

2. ANTECEDENTES GENERALES DEL ESTUDIO

El presente trabajo fue realizado en los laboratorios del Centro de Estudios Medición y Certificación de Calidad, CESMEC Ltda, de la División Análisis Químico. El cual cuenta con los equipos apropiados, tanto de muestreo como de análisis de laboratorio. Sin embargo, el estudio de la madera representa nuevos desafíos para la gran gama de servicios que CESMEC presenta y que hasta ahora resultaban ajenos al área forestal. Es por ello, que este estudio incluye información relativa al proceso mismo de impregnación de la madera, de los requerimientos tanto ambientales como de calidad en el proceso productivo, los cuales nos llevan necesariamente a cumplir con las regulaciones tanto nacionales como internacionales y que con los recientes acuerdos firmados por Chile en el ámbito del comercio internacional sientan sus bases en uno de los puntos claves que ahora forma parte de estos tratados y que dice relación con la protección de nuestro medio ambiente nacional, para finalmente establecer la real situación de nuestro rubro maderero en una de sus crecientes áreas, como lo es la venta de productos impregnados que le confieren a la madera un importante factor adicional por concepto de valor agregado.

El estudio se basa en la caracterización del suelo de ciertas plantas impregnadoras de madera, a las cuales se tuvo acceso y que realizan tratamientos con preservantes del tipo CCA. Se procedió a analizar y estudiar el proceso de producción, lo que permitió diseñar un plan de muestreo, con énfasis en el suelo.

2.1. PROBLEMAS AMBIENTALES ASOCIADOS AL SECTOR FORESTAL

Nuestro país debe producir respetando las disposiciones destinadas a la protección del medio ambiente global y nacional de eventos de contaminación. Sumado ello, a que los países importadores pueden exigir ciertas condiciones en los productos que importan con el objeto de proteger su medio ambiente y su agricultura o mezclar razones netamente de protección del medio ambiente con razones económicas comerciales, para así evitar acusaciones de "ecodumping", cuando el país exportador daña su propio medio ambiente. (Informe CONAMA, 1991. "Problemas Ambientales Sector Agrícola y Forestal")

Con el avance del tiempo, las restricciones ambientales irán en aumento, poniendo quizás barreras al crecimiento de los países en vía de desarrollo, pero éstos con la debida capacidad técnica y educacional deben ser capaces de crecer en forma amigable con el medio ambiente nacional y global.

En vista de lo anterior, los principales impactos asociados a la producción e industria agrícola / forestal nacional son:

- Erosión de suelo y desertificación. (sector silvoagropecuario)
- Contaminación del aire.
- Contaminación de las aguas (superficiales y subterráneas)
- Uso inadecuado de fertilizantes, plaguicidas agrícolas, **preservantes y presencia de sus residuos en los alimentos.**
- Extinción de especies autóctonas y disminución de poblaciones de flora y fauna.

2.2. REQUERIMIENTOS DE CALIDAD AMBIENTAL

Con la reciente firma del Acuerdo de Asociación con la Unión Europea y el TLC con Estados Unidos, en el ámbito ambiental estos contribuirán a que Chile sea reconocido y valorado como un país que adhiere firmemente a los principios de Desarrollo Sustentable. Si a esto le agregamos que la capacidad de los países en desarrollo de insertarse plenamente en el comercio internacional depende no solamente de sus facultades para penetrar los mercados, desarrollando la oferta de productos competitivos, sino y sobre todo, en la adopción e implementación de manera eficaz de los nuevos requerimientos que exige el mercado internacional, las empresas chilenas se ven enfrentadas a grandes desafíos en los próximos años para sobrepasar las barreras no arancelarias. (Requerimientos de Calidad Ambiental, Barreras no Arancelarias para el Productor Nacional, Informe PROCHILE, 2002)

REQUERIMIENTOS OBLIGATORIOS

Los requerimientos a los productos se presentan como reglamentos obligatorios resultantes de acuerdos ambientales internacionales que contienen explícitamente restricciones comerciales utilizadas como instrumentos reguladores (p.e Protocolo de Montreal), o de la legislación ambiental nacional o regional como el caso de la Unión Europea. ("Diagnostico del impacto de posibles restricciones ambientales sobre el sector exportador chileno", Universidad de Concepción. Centro EULA-Chile. Enero, 1995)

REQUERIMIENTOS A LOS PRODUCTOS

En principio se caracterizan por exigencias respecto a criterios económicos, de salud, de seguridad técnica o ambiental. Entre estos, los requerimientos ambientales se presentan bajo los aspectos siguientes:

- Prescripciones legales en forma de valores límites. Ejemplo: para sustancias químicas, biológicas.
- Regulaciones de aplicación y/o prohibiciones relativas a sustancias peligrosas.
- Restricciones de la comercialización de productos con insumos peligrosos. Ejemplo: prohibición de PCBs.
- Determinación de cuotas de producción y consumo.
- Exigencias respecto a la eficiencia energética o al uso racional de insumos.
- Exigencias a la fase del post consumo (reembolso, reciclaje)
- Etiquetado Ecológico
- Prescripciones al embalaje.

("Diagnostico del impacto de posibles restricciones ambientales sobre el sector exportador chileno", Universidad de Concepción. Centro EULA-Chile. Enero, 1995)

REQUERIMIENTOS A LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN

Según el Acuerdo sobre Obstáculos Técnicos al Comercio de la OMC, establece que no se permite a los países establecer normas sobre la forma de elaborar o fabricar los productos y prohibir seguidamente las importaciones de "productos semejantes" que no se ajusten a esas normas. Sin embargo, ya existen ejemplos prácticos de restricciones de importación sobre la base de requerimientos a métodos de producción y proceso (PMP). Un ejemplo de lo anterior es la prohibición de la Unión Europea respecto a la importación de papel blanqueado con cloro. ("Diagnostico impacto de posibles restricciones ambientales al sector exportador chileno", Universidad de Concepción. Centro EULA-Chile, 1995)

REQUERIMIENTOS VOLUNTARIOS

Hay una variedad de instrumentos voluntarios dirigidos a introducir elementos ambientales en el proceso de producción, al producto mismo, a la manera de consumirlo y su disposición final. Entre ellos figuran:

- Normalización Industrial
- Sellos Ecológicos
- Normas de Origen empresarial
- Sistemas de Gestión Ambiental y de Calidad. Auditorias en la industria.

("Diagnostico impacto de posibles restricciones ambientales sobre el sector exportador chileno", Universidad de Concepción. Centro EULA-Chile, 1995)

2.3. RESTRICCIONES GENERALES PARA LOS PRODUCTOS CHILENOS EN EUROPA, ESTADOS UNIDOS Y ASIA

El listado que se menciona a continuación, es el resultado de algunos estudios realizados por CONAMA, y apuntan a que el sector forestal nacional, en forma gradual, sufrirá un proceso de coordinación y nivelación de las políticas medioambientales en el tiempo.

La madera elaborada está enfrentada a restricciones al uso de sustancias como pentaclorofenol (PCF), Formaldehído, Lacas y Barnices. Además se visualizan posibles restricciones en el área del tratamiento de las emisiones, los efluentes y desechos de los **procesos de tratamiento de la madera**, así como también las normas para la eficiencia energética. (Medio Ambiente y competitividad, El caso del sector exportador chileno, Instituto Alemán de Desarrollo, 1994)

Por otra parte, el Acuerdo suscrito entre nuestro país y la Unión Europea, de igual modo que el TLC con EE.UU, inserta temas de gran importancia como son la Cooperación Ambiental, Medidas Sanitarias y Fitosanitarias, entre otros. A continuación se mencionan algunos de los principales sellos ecológicos para la certificación del sector forestal y las restricciones vinculadas a niveles de sustancias peligrosas, entre las que se encuentran aquellas provenientes de la impregnación de madera con sustancias preservantes (tipo CCA).

Valores de metales pesados en embalajes de madera:

- Arsénico 100 ppm.
- Cromo 1000 ppm.

Sellos (certificación voluntaria)

- Sello calidad 830 Al, para preservadores químicos.
- Sello control preservantes de madera "Prüfzeichen für Holzschutzmittel" del Instituto de Técnica de Construcción, Berlín

Requerimiento

- Ministerio de protección del Medio Ambiente promueve el uso de productos ambientalmente amigables en su propia organización.
- Firma de muebles Origo de Alemania exige a sus proveedores materiales puros y naturales, producidos sin dañar el medio ambiente, que no afecten las condiciones de trabajo de sus trabajadores y que aseguren a sus clientes una vida saludable.

Éstos requerimientos nos llevan necesariamente a pensar, por qué entonces es necesario impregnar la madera con estas sustancias tóxicas, por qué no basta con presentar un producto maderero en estado natural y evitar, de este modo, restricciones comerciales.

2.4. AGENTES DESTRUCTORES DE LA MADERA

El origen orgánico de la madera la hace susceptible al deterioro por parte de agentes biológicos, como son los hongos, insectos, perforadores marinos y bacterias. Los hongos son organismos de origen vegetal cuyo cuerpo fructífero está compuesto de células individuales conocidas como hifas, las que en conjunto conforman el micelio. El micelio suministra el alimento a los hongos a través de la secreción de enzimas, las que son capaces de desintegrar el contenido de las paredes celulares de la madera. (Manual del Grupo Andino, 1988)

HONGOS DE PUDRICIÓN

Los hongos que dañan y degradan la madera en exteriores son del tipo Lignívoro, que pertenecen a diferentes especies presentes en la atmósfera bajo la forma de esporas. Estas esporas logran penetrar a la madera cuando esta no se encuentra tratada con algún producto protector como las sales CCA, o cuando la madera esta agrietada o torcida. Cuando los hongos comienzan a destruir y degradar la madera se inicia el proceso llamado "pudrición". La acción de los hongos produce con el tiempo una pérdida considerable de las propiedades de la madera. (Vicuña et al, 1994)

Los hongos pudridores de madera pueden ser agrupados en dos categorías según la forma en la cual pudren la madera. Estos dos grupos son denominados hongos de **pudrición blanca** y hongos de **pudrición castaña**.

2.4.1. EFECTOS DE LOS HONGOS DE PUDRICIÓN

La madera consiste principalmente de tres componentes; lignina, celulosa y hemicelulosas. Los hongos de pudrición tienen un sistema de enzimas celulasa y lignasa que le permiten degradar gran parte de los componentes de las paredes celulares de la madera.

La madera podrida por hongos de pudrición blanca tiende a perder gradualmente sus propiedades de solidez y retiene su estructura fibrosa aún en estados avanzados. La madera podrida se vuelve esponjosa, filamentosa, o laminada y usualmente está manchada y descolorida en relación a la madera sana. Algunas especies son; *Hydnopolyporus fimbriatus* y *Lenzites elegans*.

La madera podrida por hongos de pudrición castaña pierde rápidamente sus propiedades de solidez y experimentan roturas drásticas. En estados avanzados la madera es reducida a un residuo de trozos amorfos, blandos, castaños y cúbicos, compuestos mayormente de lignina ligeramente modificada. Uno de ellos es la especie *Pycnoporus sanguineus*. (Gilbertson & Ryvarden, 1986)



Figura 1: Madera en pudrición.



Figura 2: Presencia de hongos.

FACTORES QUE INFLUYEN EN EL ATAQUE DE LOS HONGOS

a) HUMEDAD

El contenido de humedad óptimo para el crecimiento de los hongos oscila entre 35 y 50 %. Bajo el 20 %, la madera no puede ser degradada por acción de los hongos.

b) TEMPERATURA

El crecimiento de los hongos se hace posible en un rango de temperatura, que va desde 3 a 42 °C. El rango óptimo oscila entre los 24 y 35 °C.

c) OXIGENO

Los hongos son organismos aeróbicos, por lo que para que la madera sea atacada es necesario que contenga aproximadamente una cantidad de aire superior al 20 % de su volumen.

d) ALIMENTO

En la albura de madera existen proteínas, carbohidratos y lípidos, que son las fuentes de nutrientes más importantes para la mayoría de los organismos. Para extraer los nutrientes, los hongos requieren producir enzimas extracelulares que hidrolizan éstas macromoléculas a elementos asimilables como carbono y nitrógeno. (Rodríguez B, Patología de la Madera, Madrid, 1988)

2.5. DURABILIDAD NATURAL Y PERMEABILIDAD DE LA MADERA

La durabilidad natural de la madera se refiere a la capacidad que posee este material para resistir el ataque de los diferentes agentes biológicos de destrucción, una vez que se pone en servicio sin ningún tratamiento preservador. La NCh 789/Of.1987, clasifica en cinco clases la durabilidad, de acuerdo a la vida útil que se espera de una madera comercial sin tratar, de una calidad comercial promedio, usada en contacto con el suelo, en condiciones climáticas normales existentes en Chile.

Durabilidad 1: Maderas muy durables, de las cuales se espera una vida útil superior a los 20 años.

Durabilidad 2: Maderas durables, cuya vida útil es superior a 15 e inferior a 20 años.

Durabilidad 3: Maderas moderadamente durable, con una vida útil superior a 10 e inferior a 15 años.

Durabilidad 4: Maderas poco durables, de las cuales se espera una vida útil superior a 5 e inferior a 10 años.

Durabilidad 5: Maderas no durables, con una vida útil inferior a los 5 años.

La permeabilidad, en preservación de maderas, se define, como la facilidad con que penetra el preservante en ella. A continuación se muestra una clasificación, basado en algunos estudios, de la permeabilidad de algunas maderas comerciales. Ella tiene por objeto, fijar criterios sobre la conveniencia de impregnar una madera de acuerdo a su tratabilidad y a la duración que se espera de ella.

Tabla 1: Durabilidad Natural y Permeabilidad de Algunas Maderas Comerciales

Espece nombre común	Durabilidad natural clase	Permeabilidad
Roble	1	Refractaria
Ciprés de las Guaitecas	1	Refractaria
Alerce	2	Refractaria
Canelo	2	Permeable
Ciprés de la Cordillera	2	Refractaria
Eucalipto	2	Refractaria
Lenga	2	Refractaria
Raulí	2	Refractaria
Álamo	3	Permeable
Coihue	3	Refractaria
Laurel	3	Permeable
Olivillo	3	Permeable
Pino Araucaria	3	Permeable
Pino Insigne	3	Permeable
Tepa	3	Permeable
Tineo	3	Permeable
Ulmo	3	Permeable

Extraído de la NCh 789.

2.6. REQUISITOS DE RETENCIÓN

La madera preservada deberá cumplir con los requisitos de penetración y retención que se especifican en la tabla 2, de acuerdo a sus características de durabilidad. (NCh 819/Of. 77)

Tabla 2: Retención para Preservantes Hidrosolubles CCA

Tipo de preservante	Ret. kg de óxidos activos totales/m ³ de madera tratada	Ret. mín individual de cada elemento activo, en kg óxido/m ³ madera			Suma de las ret. individuales de los óxidos activos, kg/m ³
		Cromo, CrO ₃	Cobre, CuO	Arsénico, As ₂ O ₅	
A	3,5	2,08	0,56	0,51	3,50
	4,8	2,85	0,77	0,71	4,80
	6,5	3,86	1,04	0,95	6,50
	7,2	4,28	1,15	1,06	7,20
	9,6	5,70	1,54	1,41	9,60
	12,0	7,13	1,92	1,76	12,00
	13,5	8,02	2,16	1,98	13,50
B	3,5	1,56	0,63	1,47	3,50
	4,8	1,58	0,86	2,02	4,80
	6,5	2,15	1,17	2,73	6,50
	7,2	2,38	1,30	3,02	7,20
	9,6	3,17	1,73	4,03	9,60
	12,0	3,96	2,16	5,04	12,00
	13,5	4,46	2,43	5,67	13,50
C	3,5	1,56	0,60	1,05	3,50
	4,8	2,14	0,82	1,44	4,80
	6,5	2,89	1,11	1,95	6,50
	7,2	3,20	1,22	2,16	7,20
	9,6	4,27	1,63	2,88	9,60
	12,0	5,34	2,04	3,60	12,00
	13,5	6,01	2,30	4,05	13,50

2.7. SALES PRESERVANTES CCA

ASPECTOS GENERALES DE LAS SALES PRESERVANTES

La NCh 1260/Of. 77 establece la clasificación y requisitos que deben cumplir los preservantes hidrosolubles formados por sales de cromo-cobre-arsénico, sales CCA. Ella se aplica en la fabricación de preservantes, para establecer las formulaciones correspondientes a cada tipo. Las sales preservantes CCA sólo pueden usarse en tratamientos de preservación a presión y podrán presentarse en forma de sal seca, en pasta o en solución. Se obtienen por mezclas de sales de cromo, cobre y arsénico cuya pureza sea superior a 95%. Usándose las sales que se indican a continuación, para cada uno de los elementos activos.

Cromo hexavalente:	Dicromato de Potasio.
	Dicromato de Sodio.
	Trióxido de Cromo.
	Ácido Crómico.
Cobre bivalente:	Sulfato de Cobre.
	Carbonato básico de Cobre.
	Óxido Cúprico.
	Hidróxido cúprico.
Arsénico Pentavalente:	Pentóxido de Arsénico.
	Ácido Arsénico.
	Arseniato de Sodio.
	Piroarseniato de Sodio.

De acuerdo a la proporción de los tres óxidos activos en el preservante, se clasifican en tres tipos. A continuación se indica la clasificación de preservantes CCA y los límites de composición (máximos y mínimos) de los óxidos activos en porcentaje, respectivamente.

Tabla 3: Clasificación de Preservantes CCA según Proporción de Óxidos Activos en Porcentaje

Proporción porcentual de óxidos			
Elementos activos	Tipo A	Tipo B	Tipo C
Cromo hexavalente, como CrO_3	65,5	35,3	47,5
Cobre bivalente, como CuO	18,1	19,6	18,5
Arsénico pentavalente, como As_2O_5	16,4	45,1	34,0

Tabla 4: Límites de Composición Máximos y Mínimos expresados como Óxidos en Porcentaje

Elementos activos	Tipo A		Tipo B		Tipo C	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Cromo hexavalente, CrO_3	54,5	69,3	33,0	38,0	44,5	50,5
Cobre bivalente, CuO	16,0	20,9	18,0	22,0	17,0	21,0
Arsénico pentavalente, As_2O_5	14,7	19,7	42,0	48,0	30,0	38,0

Cabe mencionar, que las formulaciones CCA Tipo B y Tipo C, han logrado dar a la madera una mejor protección, como consecuencia de una adecuada fijación de los elementos tóxicos activos. Se puede observar que la sal CCA Tipo A, presenta en su formulación una gran cantidad de óxido crómico, que excede en cuatro veces el contenido de arsénico, lo que se traduce en una pérdida importante de cromo por efecto del lavado, sin ninguna ventaja de fijación para los óxidos activos. Estas razones han dado origen al uso cada vez más restringido de esta formulación en casi todos los países del mundo. (William T. Henry & EDWARD B. Jerosky, American Wood Preservers Association, 1982)

Por otra parte, la designación de ellos debe ser por el tipo y por el contenido total de óxidos activos en porcentaje de la masa total del preservante. Por ejemplo, un preservante del Tipo C, con un contenido total de óxidos activos de 62% se designará como sigue:

CCA – C/62%

2.7.1. ALMACENAJE Y MANEJO DE LAS SALES CCA

Cuando se refirió anteriormente a la presentación de las sales CCA, se mencionó que éstas pueden estar en polvo, pasta o solución. El envase que las contiene, dependiendo de su forma, puede ser en bolsas de polietileno o depósitos metálicos. Ahora bien, en cualquiera de los casos, deben almacenarse en lugares secos, aireados y mantenerse alejados del suelo. Un buen método es colocarlos ordenadamente sobre tarimas de madera seca, a una adecuada distancia del suelo. Aunque los envases son impermeables, deben tomarse las precauciones necesarias para que no estén expuestas a acumulación de agua.

En cuanto al manejo de las sales CCA, deben tomarse en consideración, en forma muy especial, el no tomar contacto directo, por tiempo muy prolongado con las sales. Sobre todo si ellas son del tipo en polvo, evitar que flote en el aire, principalmente durante las operaciones de mezcla.

PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN PRESERVADORA

Es recomendable el siguiente método para la preparación de la solución, la cantidad adecuada de preservante CCA (redondeada a los kilos más cercanos para aquellas cantidades que excedan de 100 kg). Se agrega gradualmente al agua, que está en constante agitación, en el estanque mezclador. Se debe continuar agitando, por lo menos durante 45 minutos, para el caso de usar preservantes CCA en polvo, y unos 20 min, para sales en pasta o en solución. (Revista Protecma, IMPREGNA S.A, 1^{er} Trimestre, 2000)

Para el preservante en polvo es importante evitar el vaciado de él, en forma brusca o rápida dentro del estaque, de lo contrario es posible que parte de las sales formen grumos en la zona inferior del estanque, produciendo una mezcla ineficiente.

Luego de completar la mezcla, se debe verificar la concentración de la solución, usando un densímetro. La relación de densidad versus temperatura nos da la concentración en una tabla confeccionada ex profeso por el fabricante de la sal en uso. (Revista Protecma, IMPREGNA S.A, 1^{er} Trimestre, 2000)

CONCENTRACIÓN Y TEMPERATURA DE LA SOLUCIÓN

La concentración de la disolución se calcula sobre la base de p/v. Esto es, el peso del preservante, en kilos, que se disuelve en agua hasta 100 L de disolución. Debido al alto poder de solubilidad de las sales CCA, no es necesario calentar la disolución, y si esto fuera necesario, no exceder el calentamiento sobre los 40 °C. (Revista Protecma, IMPREGNA S.A, 1^{er} Trimestre, 2000)

2.8. PROCESO DE IMPREGNACIÓN DE MADERAS CON SALES CCA

2.8.1. ANTECEDENTES GENERALES

La impregnación de madera es un negocio que se ha potenciado en los últimos años. Actualmente existen cerca de 150 plantas dedicadas a este proceso en el país y como en otros rubros, no hay homogeneidad en la calidad del producto obtenido. Sin embargo, existen medidas que son aceptadas mayoritariamente como las que se deben llevar a cabo para obtener un buen resultado en este proceso, cuyo objetivo es introducir y fijar un preservante en el interior de las células de la madera, para que ésta quede inmune a la acción de variados organismos destructores.

En Chile, la impregnación se realiza con CCA, producto químico compuesto por **cobre (fungicida)**, **cromo (fijador)** y **arsénico (insecticida)** y que permite una durabilidad de la madera superior a los 25 años, dependiendo de su uso y de la cantidad de preservante que se le haya introducido. (López de Roma, A. & Cockroft, R, Estocolmo, 1983)

Visualmente, el proceso de fijación del CCA se distingue por un cambio en la coloración de la madera, a un verde característico (ver figura 9). Para obtener los resultados esperados es importante la elaboración del preservante, en la que se utilizan los óxidos de los tres metales mencionados. Según la concentración que tengan en la mezcla final se clasifican en tipos A, B y C, anteriormente mencionado, pero sólo este último es empleado en nuestro país y en gran parte del mundo, debido a su alta efectividad y a que se ajusta a las condiciones de riesgo del ataque de muchos insectos de temporadas, bacterias específicas y **hongos**. (aeróbicos y anaeróbicos)

En Chile, los preservantes se comercializan a una formulación de 60, 70 y 72% de óxidos activos. Si al momento de comprar el producto, se verifica un porcentaje superior al mencionado, se estará adquiriendo a un precio inferior al que corresponde y en caso de ser menor, se estará perdiendo dinero y ese preservante provocará la formulación de una solución con concentraciones más bajas a lo esperado, obteniéndose un producto de menor calidad, con menor retención y por lo tanto, menos eficiente. (López de Roma, A. & Cockroft, R, Estocolmo, 1983)

Para evitar esta incertidumbre, existen dos alternativas. En primer lugar, que el productor exija al proveedor de sales un **certificado** que le asegure que éste cumple con cierto margen la norma exigida o en segundo lugar, que el comprador cuente con un instrumento que le permita llevar un control del preservante que adquiere y que puede determinarse por **Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X o de Absorción Atómica** u otro método analítico, registrando los porcentajes de cromo, cobre y arsénico en la madera para entregar la retención final, expresada en kg de óxido/m³.

Para definir la concentración de la solución del CCA necesaria para cada caso en particular, hay que tener en cuenta el uso que se le dará a la madera a impregnar y el contenido de humedad de ésta, puesto que mientras más seca, mayor cantidad del producto absorberá y su concentración deberá ser más baja.

Para evitar errores, cada vez que se termina la preparación de la disolución de preservante en la planta se debe verificar su concentración a través de una tabla, que relaciona la temperatura y la densidad del líquido.

2.8.2. PROCESO DE IMPREGNACIÓN

El proceso de impregnación más utilizado en nuestro país es el método Bethell, por ser el más efectivo y que permite obtener mejores niveles de penetración de la solución preservante. El proceso propiamente tal, comienza llenando con madera seca un autoclave, en el que se realiza el vacío inicial para sacar parte del aire de las células. Éste vacío se mantiene durante aproximadamente 15 a 30 min, dependiendo del tipo de madera. Es importante precisar que el tiempo de vacío inicial dependerá de las dimensiones de la madera, la cantidad de humedad, la época del año en que se realiza el proceso y la potencia de las bombas de la planta.

El tercer paso en el proceso es la inundación del autoclave con la solución preservante, aprovechando el vacío inicial y luego sigue un período de presión de 10 a 14 kg/cm² que debe ser lo más rápido posible, debiendo mantenerse durante 30 a 60 minutos hasta obtener la absorción requerida.

Posteriormente, se debe cortar la presión lentamente, para permitir la primera fijación del CCA e iniciar el trasvasije de solución desde el autoclave al estanque de almacenamiento. **Con el objeto de evitar el goteo (sangrado) de solución preservante una vez que se saque la madera del autoclave debe realizarse siempre un vacío final** y, por último, recuperar la solución restante que queda en el autoclave con la bomba de trasvasije.

Cabe mencionar que una mala impregnación involucra pérdidas económicas significativas, debido a que la única solución para remediar el mal trabajo es volver a secar la madera y utilizar nuevas cantidades de preservante. Para evitar que esto suceda, siempre es recomendable poner atención en cada una de las etapas del proceso, como también poner especial énfasis en la mantención de los equipos

involucrados que, junto con la humedad de la madera y la preparación de la solución preservante, es uno de los factores de mayor riesgo para el éxito de la impregnación.

Un ciclo de tratamiento estándar de una duración de aproximadamente 45 min, se puede resumir:

1. Una fase de vacío inicial, para obtener una evacuación parcial del aire de los poros de la madera.
2. Un tratamiento de las piezas, con preservante inyectado a presión dentro de la madera. La instalación en esta fase puede trabajar tanto manteniendo el vacío constante como haciendo entrar el aire para ayudar al producto a penetrar en profundidad.
3. Una serie de intercambios de aire en el interior del autoclave para facilitar el goteo y secado de las piezas tratadas.

Para evitar la pérdida del producto también se recomienda no someter la madera a lixiviación durante siete días, de modo de evitar el sangrado de la sustancia. Pero hay que distinguir que no es lo mismo realizar el proceso en invierno que en verano, puesto que por efecto de la temperatura el producto se puede usar más rápido, dependiendo de la zona en que se realice.

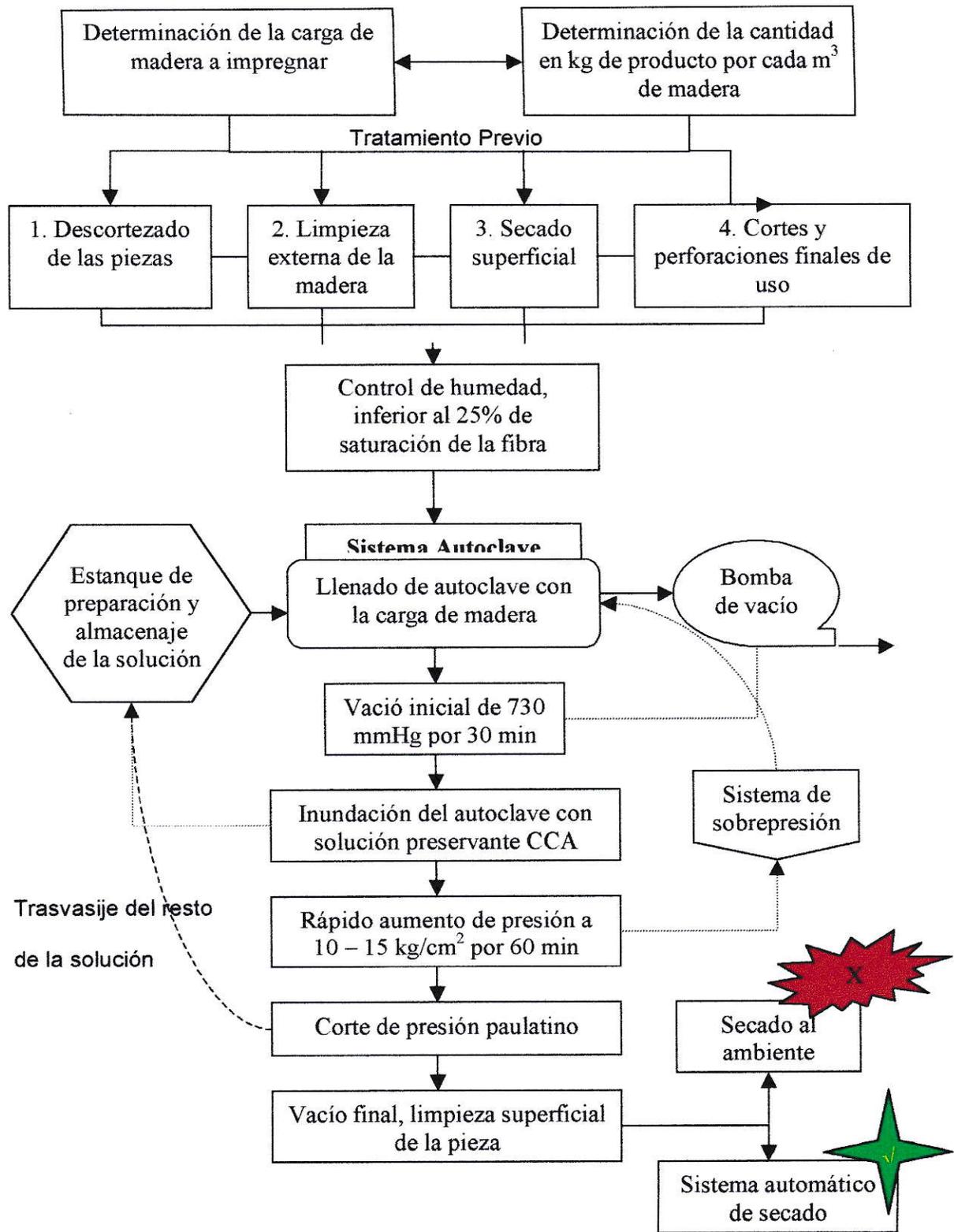


Figura 3: Diagrama de Flujo – Proceso de Impregnación de Madera

2.9. TOXICIDAD POR METALES PESADOS

Dada la composición de éstas sales, es preciso conocer el grado de toxicidad y peligrosidad que representan para el para el hombre, en el caso particular de cada elemento.

TOXICIDAD POR COBRE

El cobre es un metal esencial para el ser humano, pero en concentraciones muy bajas. La exposición excesiva a los vapores de este metal, produce un cuadro de cefalea, sabor metálico dulce en la boca, fiebre, mialgias y fatiga. Se le conoce como la "Fiebre del fundidor metálico", y es autolimitado al suspender la exposición.

En aguas contaminadas con altos niveles de cobre (superiores a 3-5 mg/L) pueden inducir malestares gastrointestinales pasajeros en algunas personas con mayor sensibilidad, las enfermedades asociadas al cobre radican en fallas de origen genético o a la incapacidad de regular la cantidad de cobre que ingresa al cuerpo. Afortunadamente estos son casos muy poco frecuentes. (Manual de Toxicología, Servicio Agrícola y Ganadero, 1990)

TOXICIDAD POR CROMO

El Cromo (Cr) es un metal que posee varios estados de oxidación: 0, +2, +3, +4, +5, +6. Sin embargo aquellos que tienen importancia en higiene industrial son +3 que es cancerígeno, sin absorción dérmica, pero si importante por vía gastrointestinal y +6 que es absorbido por piel y fácilmente ingresa a las células, en donde es reducido a +3.

El cromo es un componente normal del organismo y existe una RDA de 50 a 200 μg de cromo. Cromo +3 causa cáncer de pulmón y perforación de tabique nasal, también provoca bronquitis, asma, dermatitis de contacto.

LPP 0,4 ppm trivalente y 0,04 ppm hexavalente. En el DS 594 el cromo hexavalente insoluble tiene además su LPP en 0,008 ppm. IBE Cromo en orina 30 $\mu\text{g/g}$ Creatinina 40 $\mu\text{g/L}$ de orina. (Manual de Toxicología, Servicio Agrícola y Ganadero, 1990)

TOXICIDAD POR ARSÉNICO

El arsénico actúa inhibiendo el sistema inmune, provocando aberraciones cromosómicas en los linfocitos. Esta acción es mediada por la fuerte afinidad del arsénico con las enzimas y proteínas que contienen grupos sulfhidrilos.

Lo más típico es la exposición crónica. Una reacción tóxica de piel y mucosas. Es muy característica la aparición de puntos blancos en la piel (leucomelanodermia puntiforme) y la formación de callosidades puntiformes a la manera de clavos córneos en palmas y plantas. Exposición aguda; La intoxicación se produce por ingestión oral involuntaria o en intento de suicidio y produce un cuadro intestinal con gastroenteritis, esofagitis, vómitos, diarrea, náuseas, dolor abdominal, y puede llegar al shock. Dosis mortal 70 a 80 mg de arsénico elemental. El arsénico se monitorea en la orina. Se debe considerar que lo que se mide en orina es arsénico inorgánico en forma de Ácido dimetilarsénico y monometilarsénico y orgánico, en forma de trimetil arsénico. Al revés de otros metales, la fracción tóxica es aquí la inorgánica, pues las orgánicas son de excreción muy rápida. (Manual de Toxicología, Servicio Agrícola y Ganadero, 1990)

El arsénico es usado como preservante, herbicida, insecticida. Los compuestos mas usados son:

Pentóxido de Arsénico: (As_2O_5) contiene un 65 % de arsénico y se utiliza en la fabricación de vidrio, preservante para madera, herbicida y fungicida.

Acetoarsenito Cúprico ($\text{Cu}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)$) Contiene un 44 % de arsénico y se conoce como pigmento verde de Viena, de París o Schweinfurth. Se utiliza como pigmento, insecticida, preservador de madera, pinturas preservativas para barcos.

(Sitio Web, eructoline.ar.com, Sitio Especializado en Noticias Ambientales)

Como se mencionó, la presencia de estos elementos en el medio, en concentraciones lo suficientemente altas representan una amenaza latente de intoxicación para el hombre, aún más cuando se produce un evento de contaminación local. Es en este sentido, en donde el suelo, principal componente ambiental afectado, regula y amortigua la movilidad de sustancias peligrosas en función de una serie de factores tanto físicos como químicos.

2.10. CONTAMINACIÓN DE SUELOS POR METALES PESADOS

En la Región Metropolitana existe una gran cantidad de plantas dedicadas a la impregnación de maderas. Con todo ello, nos vemos enfrentado a dos especies contaminantes que representan cierto cuidado en cuanto a la manipulación de sustancias o soluciones que poseen dentro de su formulación química, ya sea Cromo o Arsénico, en este caso bajo la forma de óxidos activos solubles en agua, lo que necesariamente aumenta su grado de peligrosidad en una eventual contaminación de algún curso de agua, sea este superficial o subterráneo, o cuando el suelo se ve afectado.

La determinación de parámetros adicionales del suelo, como por ejemplo el pH y el contenido de materia orgánica, son de vital importancia a la hora de estudiar la contaminación de un suelo en particular, ello porque su conocimiento y adecuado estudio permitirán proponer un metodología que minimice el efecto tóxico de estas sustancias. Los principales factores del suelo que afectan su acumulación y disponibilidad son:

INFLUENCIA DEL pH

Es un factor esencial. La mayoría de los metales tienden a estar más disponibles a pH ácido, excepto **As**, **Mo**, **Se** y **Cr**, los cuales tienden a estar más disponibles a pH alcalino. El pH es un parámetro importante para definir la movilidad del catión, debido a que en medio de pH moderadamente alto se produce la precipitación como hidróxidos. En medios muy alcalinos, pueden nuevamente pasar a la solución como hidróxicomplejos.

Por otra parte, algunos metales pueden estar en la solución del suelo como aniones solubles. Tal es el caso de los siguientes metales: Se, V, **As** y **Cr**. La adsorción de los metales pesados esta fuertemente condicionada por el pH del suelo, y por lo tanto, también su solubilidad. (Sitio Web, eructoline.ar.com, Sitio Especializado en Noticias Ambientales & Sylvia C. Contaminación de Suelos, Universidad de Chile, 2002)

CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (CIC)

La capacidad de intercambio catiónico es función directa del contenido de arcilla y materia orgánica, fundamentalmente. En general cuanto mayor sea la CIC, mayor será la capacidad del suelo de fijar metales. El poder de adsorción de los distintos metales pesados depende de su estado de oxidación y del radio iónico hidratado. A mayor tamaño y menor estado de oxidación, quedarán retenidos débilmente. (Sylvia C. Contaminación de Suelos, Universidad de Chile, 2002)

CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA

La materia orgánica reacciona con los metales formando complejos de cambio y quelatos. Los metales una vez que forman quelatos o complejos pueden migrar con mayor facilidad a lo largo del perfil del suelo. La materia orgánica puede retener tan fuertemente a algunos metales, como es el caso del **Cu**, que pueden quedar en posición no disponible para las plantas.

La complejación por la materia orgánica del suelo es uno de los procesos que gobiernan la solubilidad y la bioasimilación de metales pesados. La toxicidad de éstos se potencia en gran medida por su fuerte tendencia a formar complejos organometálicos, lo que facilita su solubilidad y dispersión. La estabilidad de muchos de estos complejos frente a la degradación por los organismos del suelo es una causa muy importante de la persistencia de la toxicidad. Pero también la presencia de abundantes quelatos puede reducir la concentración de otros iones tóxicos en la solución del suelo. (Lorenzo Chichón, Especiación de Metales Pesados, Universidad de Málaga, 1995)

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

La conductividad eléctrica es una medida directa del contenido de iones disueltos en la solución del suelo, esta medida está asociada al concepto de salinidad.

El aumento de la salinidad puede incrementar la movilización de metales pesados, principalmente por dos mecanismos. En primer lugar, los cationes asociados con las sales (Na y K) pueden reemplazar a los metales pesados en lugares de adsorción. En segundo lugar, los aniones cloruro pueden formar complejos solubles estables con metales pesados. (Lorenzo Chichón, Especiación de Metales Pesados, Universidad de Málaga, 1995)

CONDICIONES REDOX

El potencial de óxido-reducción es el responsable de que el metal se encuentre en estado oxidado o reducido. Consideremos, que los iones reducidos son más solubles. Las condiciones redox pueden afectar indirectamente la movilidad de ciertos metales, así, muchos metales están asociados o adsorbidos a hidróxidos de Fe y Mn, éstos no son estables a potenciales (Eh) bajos y se convierten en FeS o FeCO₃ dependiendo de las condiciones químicas, cuando esto ocurre los metales que estaban asociados con los hidróxidos de Fe y Mn se movilizan. (Lorenzo Chichón, Especiación de Metales Pesados, Universidad de Málaga, 1995)

TEXTURA DE SUELO

Otro factor predominante de la condición de un suelo frente a un metal es su textura, el cual se relaciona directamente con el contenido de arcilla, la fracción químicamente más activa de los agregados del suelo, a diferencia de la arena y el limo. La arcilla tiende a adsorber a los metales pesados, que quedan retenidos en sus posiciones de cambio. Por el contrario los suelos arenosos carecen de capacidad de fijación de los metales pesados, los cuales pasan rápidamente al subsuelo.

Cada especie mineralógica de las arcillas tiene unos determinados valores de superficie específica y descompensación eléctrica. Ambas características son las responsables del poder de adsorción de éstos minerales. La capacidad de cambio de cationes es mínima para los minerales del grupo de la caolinita, baja para las micas, alta para las esmectitas y máxima para las vermiculitas. (Alonso I, Pérez A & Moreno A, Sociedad Española de la Ciencia del Suelo, 1997)

TAMAÑO E IMPORTANCIA DE LOS POROS

Los suelos superficiales arenosos tienen densidad aparente mayor que los arcillosos. En los suelos arenosos hay menor volumen ocupado por espacio poroso. Pero se dice que, el agua se mueve con más rapidez a través de un suelo arenoso que de un suelo arcilloso. Esto se debe al tamaño de poro que existe en cada suelo.

Suelos Arenosos

El espacio total de poros puede ser bajo, pero una gran parte del mismo está formado por poros grandes en los cuales el agua y el aire se mueven con facilidad. Los poros pequeños ocupan un porcentaje reducido, baja capacidad para retener agua.

Suelos Superficiales de Textura Fina

En este tipo de suelo hay más espacio poroso total y una proporción relativamente elevada del mismo es ocupada por poros pequeños, lo cual da como resultado un suelo con una elevada capacidad de retención de agua. El agua y el aire se mueven con dificultad a través del suelo debido a que hay pocos poros grandes.

En suelos húmedos y bien drenados los espacios porosos grandes están llenos de aire, denominados poros de aireación (macroporos). Por otra parte, los poros más pequeños tienden a estar llenos de agua, denominados microporos o poros capilares. (Alonso I, Pérez A & Moreno A, Sociedad Española de la Ciencia del Suelo, 1997)

2.11. ESTÁNDARES HOLANDESES DE CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES EN SUELO

En nuestro país no existe normativa ambiental para suelo, por lo que resulta necesario establecer el grado de contaminación en que se encuentran los suelos muestreados. Para ello, se utilizó la norma holandesa de suelo IHOBE, en relación a tres niveles de calidad ambiental, basado en los riesgos humanos y del ecosistema.

Para los análisis posteriores, los resultados se comparan con el nivel VIE-B, de modo de establecer un nivel medio de referencia.

Tabla 5: Valores Indicativos para cada Nivel de Riesgo (mg/kg mat. seca)

VIE			
Metales	A	B	C
Cromo	100	250	800
Cobalto	20	50	300
Níquel	50	100	500
Cobre	50	100	500
Zinc	200	500	3000
Arsénico	20	30	50
Molibdeno	10	40	200
Cadmio	1	5	20
Estaño	20	50	300
Bario	200	400	2000
Mercurio	0,5	2	10
Plomo	20	150	600

Clasificación según IHOBE (1994).

Valores Indicativos de Evaluación (VIE)

Los Valores Indicativos de Evaluación son niveles cuantitativos de la calidad del suelo que permiten una evaluación genérica de los emplazamientos en relación con el riesgo que su alteración supone para los objetivos protegidos (salud humana y ecosistema).

Valor VIE – A o Nivel de Referencia

El nivel de referencia es el valor indicativo de evaluación por debajo del cual es posible afirmar que el suelo no se encuentra afectado por la contaminación y, en consecuencia, el riesgo es nulo o despreciable.

Valor VIE – B

Este valor marca el límite inferior de aceptabilidad del riesgo. Concentraciones del contaminante por debajo de este valor pero superiores a VIE – A implican riesgos aceptables, mientras que contenidos mayores que VIE – B pueden llevar asociado un riesgo inaceptable.

Valor VIE – C

○ máximo riesgo tolerable, indica el límite superior de aceptabilidad del riesgo. Su superación implica un peligro grave para el funcionamiento de los ecosistemas y la necesidad de adoptar medidas que eliminen el riesgo.

3. PROCEDIMIENTO DE TOMA DE MUESTRA

Dada las características de la investigación a realizar, para la obtención de muestras representativas de suelo, se utilizó el método de extracción de muestras por calicata, el cual consiste, según EPA (1992), en la excavación de una zanja o trinchera de lados aproximadamente iguales a la profundidad, con herramientas como pala, picota, cucharón u otras.

La toma de incrementos de muestras se efectuó con las mismas herramientas de excavación, formando una muestra compósito representativa del punto muestreado. Este proceso se realizó bajo las recomendaciones de aseguramiento de calidad señalado por IHOBE (1998) y EPA (1992). Para el envasado y transporte de la muestra, el material seleccionado fue polietileno, de acuerdo a lo sugerido por CESMEC Ltda. y avalado por IHOBE (1998).

El tamaño de la muestra debió cumplir dos requisitos; ser representativo de la composición del medio en el que fue tomada y satisfacer las exigencias de los análisis específicos de laboratorio. De acuerdo a esto, se tomó un volumen mayor al necesario, 2000 g aproximadamente, para evitar recurrir a una nueva toma de muestra.

3.1. ANTECEDENTES GENERALES DEL MUESTREO

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS DE SUELO

Las muestras de suelo fueron identificadas en terreno. De acuerdo con lo observado (discriminación por el color del suelo, de un verde característico), las muestras fueron tomadas en aquellos lugares donde se presumía mayor contaminación, puesto que correspondían a aquellas zonas donde se almacenaba la madera recién impregnada con solución preservante.

También se tomaron blancos de suelo en aquellas zonas cercanas a la planta de impregnación, pero que no recibían dicho impacto directamente, asumiendo que no estaban contaminados o si lo estaban (producto del largo período en que la planta ha funcionado) era presumiblemente en un menor grado.

TOMA DE MUESTRA

Se procedió a muestrear estos suelos contaminados. Para que el muestreo se realizase en forma representativa, se tomaron 3 incrementos por cada sector seleccionado de la planta y sus alrededores (blancos de suelo). Dichos incrementos fueron extraídos en forma aleatoria, y para el mismo sector se preparó una muestra compósito formada por los tres incrementos extraídos.

Los incrementos se tomaron a una profundidad promedio de aproximadamente 30 cm, esto dependió fundamentalmente de la dureza que presentaba y su condición de humedad.

PREPARACIÓN DE MUESTRA COMPÓSITO

Luego, se homogeneizaron los incrementos por intermedio de roleo y cuarteo reduciendo hasta dejar una muestra compósito de 2 kg, por cada sector analizado, los cuales fueron tres (ver figura 4).

ALMACENAJE, TRASLADO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS

A continuación correspondió el almacenaje de las muestras. Éstas fueron debidamente depositadas e identificadas en material de polietileno, para evitar una posible contaminación y de este modo trasladarlas hacia los laboratorios de CESMEC Ltda, lugar donde se desarrollaron los análisis.

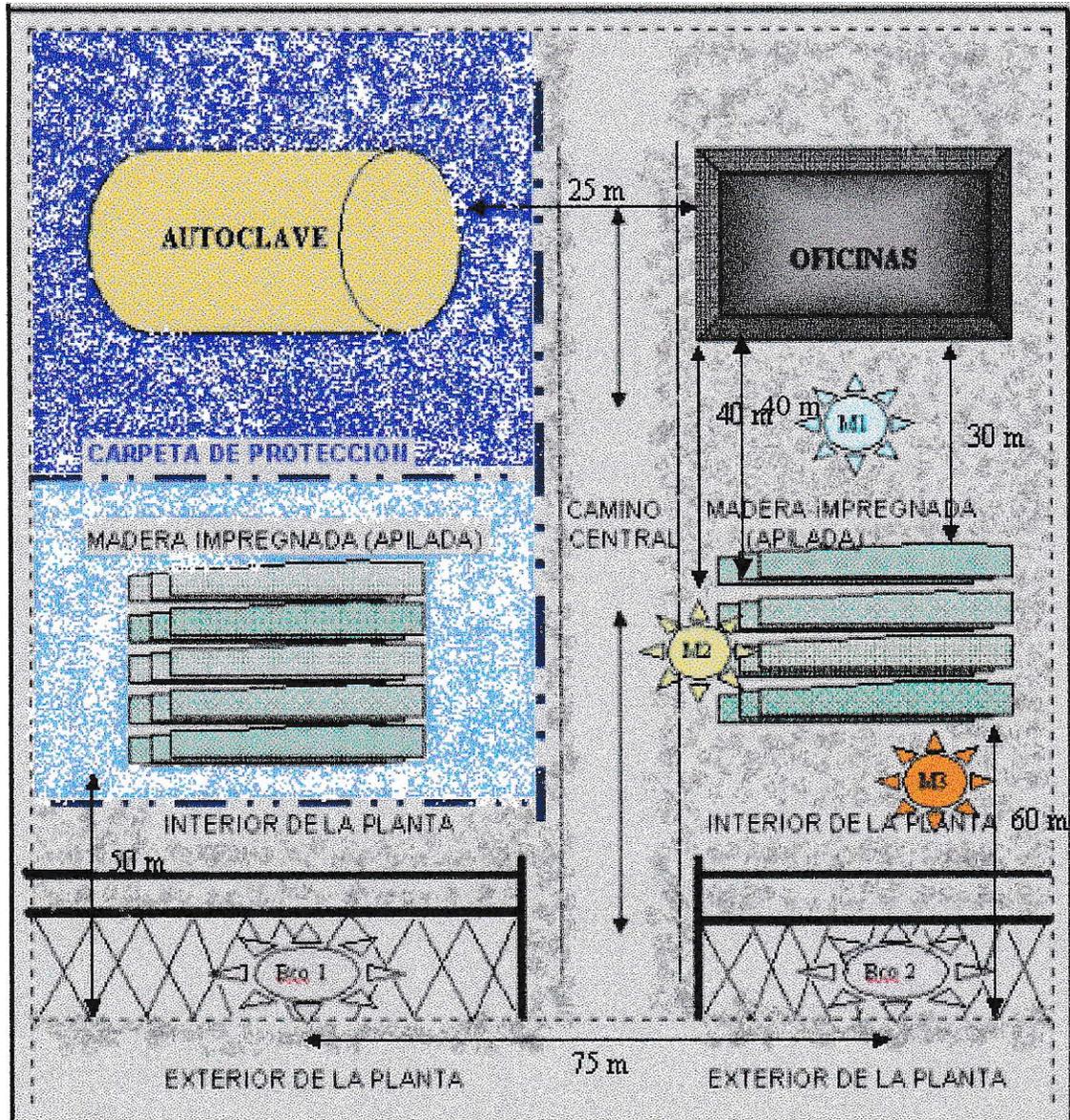


Figura 4: Esquema General de la Planta de Impregnación Muestreada.

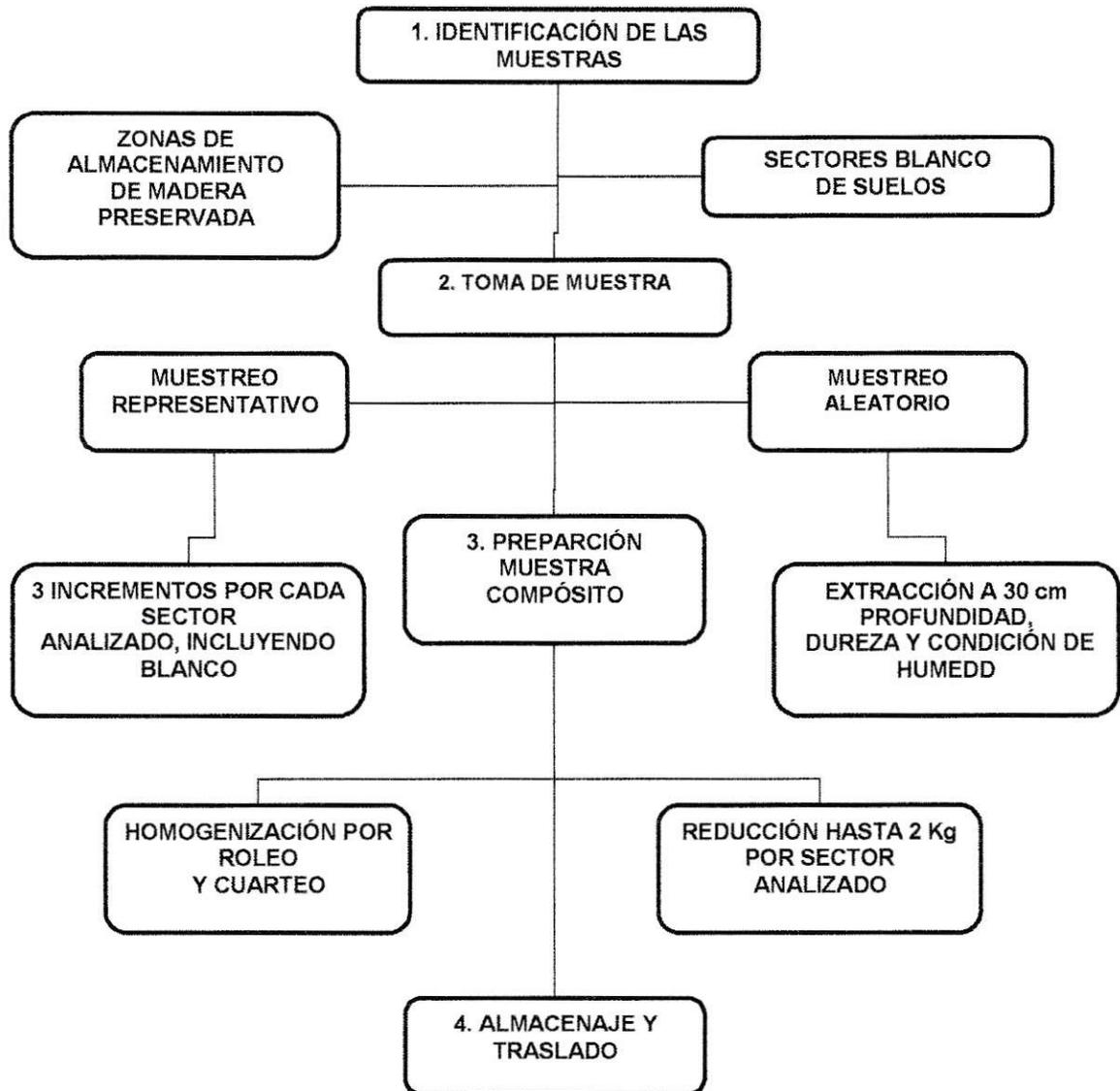
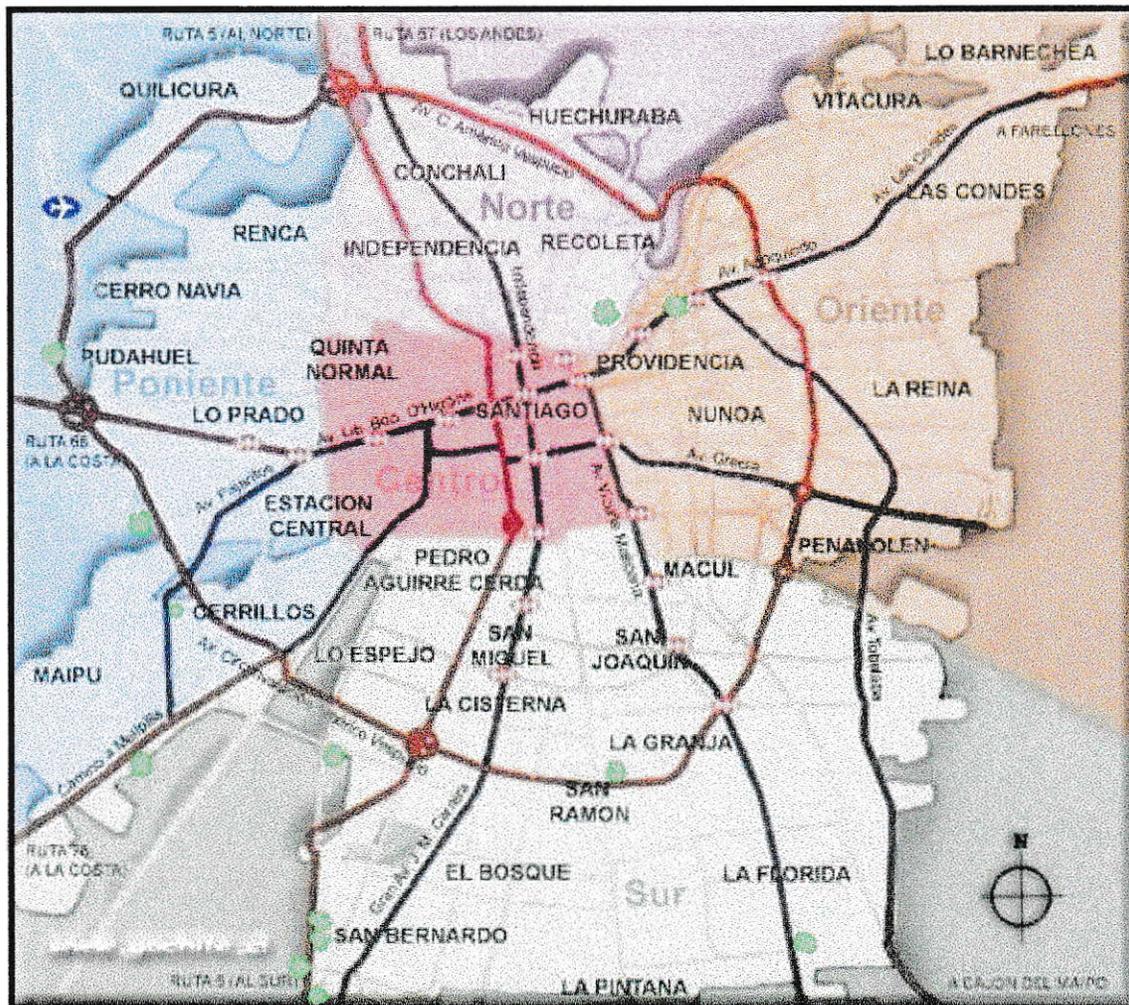


Figura 5: Diagrama de Flujo Procedimiento de Toma de Muestra

3.2. DISTRIBUCIÓN DE PLANTAS IMPREGNADORAS EN LA R.M

La siguiente figura tiene por objeto mostrar la distribución de las 13 plantas de impregnación que actualmente se encuentran en funcionamiento en la Región Metropolitana:



Plano del gran Santiago. Escala original 1:5000.

Figura 6: Distribución Plantas Impregnadoras en la R.M.

● Planta Impregnadora de madera.

4. PARTE EXPERIMENTAL

Para una mejor comprensión de los distintos ensayos de laboratorio realizados, a continuación se presentan y se describen cada uno de ellos:

- Preparación de muestras de suelo para análisis fisicoquímico.
- Análisis de parámetros complementarios para suelo de planta de impregnación.
- Análisis químico para metales Cu, Cr y As en suelo de planta de impregnación.
- Análisis químico para metales Cu, Cr y As en madera preservada y solución de tratamiento.
- Test de lixiviación característico de constituyentes tóxicos.
- Extracción por fraccionamiento secuencial de metales pesados.
- Ensayo de lixiviación para metales Cu, Cr y As en un suelo de referencia.

Tabla 6: Metodología Descrita para Suelos

Ensayo	Método	Técnica Analítica	Instrumento de Medición
Arsénico (Total)	EPA 206.3	A.A. - Llama - Gen Hidruro / ICP	Espectrofotómetro de Absorción Atómica / Equipo de Plasma
Cobre (total)	EPA 200.7	A.A. - Llama - ICP	Espectrofotómetro de Absorción Atómica / Equipo de Plasma
Cromo (Total)	EPA 218.2	A.A. - Llama - ICP	Espectrofotómetro de Absorción Atómica / Equipo de Plasma
Cromo, Cobre y Arsénico	Extracción por fraccionamiento secuencial	A.A. - Llama - Gen Hidruro / ICP	Espectrofotómetro de Absorción Atómica / Equipo de Plasma
Materia Orgánica	Walkley and Black	Volumetría	No Aplicable
Humedad	Gravimetría	105 °C / Gravimetría	Estufa de Secado
PH	----	Potenciometría	Peachímetro
Conductividad	----	Conductivimetría	Conductivímetro
Clase Textural	Método de la pipeta	Ley de Stoke, Velocidad de sedimentación	Pipeta volumétrica, probeta y balanza analítica
Densidad Real y Aparente	----	Análisis Mecánico, Dispersión de agregados	Balanza analítica

4.1. PREPARACIÓN DE MUESTRAS DE SUELO PARA ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO

El procedimiento para realizar la preparación de las muestras fue el que actualmente se emplea en los laboratorios de CESMEC Ltda, el cual coincide con las sugerencias de IHOBE (1998) "Preparación de muestras de suelo para el análisis fisicoquímico" método CESMEC, código interno ICE-131/203-090 (ver Anexo I), mediante materiales y equipos con certificación de calibración, tales como:

- Tamiz ASTM, N° 10 (2 mm) y N° 60 (250 mm).
- Estufa de secado marca Heraeus Instruments modelo D-6450 Hanau.
- Molino marca Herzog modelo HSM-100.

4.2. ANÁLISIS DE PARÁMETROS COMPLEMENTARIOS PARA SUELO DE PLANTA DE IMPREGNACIÓN

A continuación se presentan una serie de parámetros químicos que se tomaron en consideración al realizar el estudio de aquellos suelos muestreados de la planta de impregnación. Así, la determinación del contenido de materia orgánica y pH, se realizó de acuerdo al instructivo "Determinación del contenido de materia orgánica en muestras de suelo" (código interno ICE-131/203-091) y "Determinación de pH en muestras de suelo" (código interno ICE-131/203-092). Otros parámetros de interés son; la conductividad eléctrica, el contenido de humedad, textura, densidad real y aparente. Todos estos procedimientos se describen en detalle en el Anexo I.

4.3. ANÁLISIS QUÍMICO PARA METALES Cu, Cr y As EN SUELO DE PLANTA DE IMPREGNACIÓN

Las muestras fueron tratadas según el procedimiento; "Digestión Ácida de Muestras de Suelo, Sedimentos y Lodos, método CESMEC (ICE-131/203-094). La metodología empleada para ello describe en el Anexo I.

La cuantificación de metales (Cr, Cu y As) en las muestras de suelo se realizó por Fluorescencia de Rayos X y por Espectrofotometría de Absorción Atómica, previa digestión ácida de los metales, de acuerdo al método mencionado anteriormente, el cual está basado en el método EPA 3050B "Acid digestion of sediments, sludges, and soils". Para arsénico se aplicó el instructivo "Determinación del contenido de arsénico en muestras de suelo mediante Espectrofotometría de Absorción Atómica (técnica de generación de hidruros) previa digestión con agua regia. (ver Anexo I)

Los equipos utilizados para este propósito son:

- Espectrofotómetro de Absorción Atómica marca VARIAN, modelo SPECTRA 55.
- Generador de Hidruros marca VARIAN, modelo VGA-77.
- Equipo de Fluorescencia de Rayos X marca Phillips, modelo-2406.

4.4. ANÁLISIS QUÍMICO PARA METALES Cu, Cr y As EN MADERA PRESERVADA Y SOLUCIÓN DE TRATAMIENTO

Paralelamente al análisis del suelo, se determinó el contenido de Cu, Cr y As en muestras de madera y soluciones de tratamiento, las cuales fueron obtenidas de la misma planta impregnadora muestreada. Ello, con el fin de establecer si se cumple con las normas nacionales de preservación. Dichos valores serán usados mas adelante para el ensayo final de lixiviación. Para tal efecto se aplicó la NCh 763/2. Of 1996. "Método Estándar de Madera Tratada y Soluciones de Tratamiento mediante Espectrofotometría de Absorción Atómica". (ver Anexo I)

4.5. TEST DE LIXIVIACIÓN CARACTERÍSTICO DE CONSTITUYENTES TÓXICOS

Con el objeto de poder relacionar los parámetros físico-químicos adicionales de las muestras de suelo con el contenido de metales presentes en ellos, se realizó el Test de Lixiviación Característico de Constituyentes Tóxicos, en el cual el suelo es sometido a una lixiviación con un determinado agente extractante, cuya elección depende fundamentalmente del pH de la muestra.

Este ensayo nos permite cuantificar la liberación de elementos tóxicos en la **muestra de suelo y madera impregnada**, de modo de estimar el grado de peligrosidad de un determinado producto o residuo, en función directa, en este caso, de la liberación al medio ambiente de Cr y As.

El ensayo esta basado en la norma EPA 1311 y el método utilizado para tal propósito es el "Proceso de Lixiviación Característico de Toxicidad, TCLP (ICE-131/203-095), el cual se describe en el Anexo I. Los resultados informados se respaldan con el análisis de una **muestra control certificada** para el contenido de metales pesados en muestras de suelo. (ver Anexo IV)

4.6. EXTRACCIÓN POR FRACCIONAMIENTO SECUENCIAL DE METALES PESADOS EN MUESTRAS DE SUELO

En la medida en que se desarrolla este trabajo, se observará la real situación en que se encuentra el área de impregnación de maderas, para el sector forestal. No sólo, el evento de un derrame accidental o la liberación al suelo de Cu, Cr y As cuando la madera es secada al ambiente, debe ser considerado como el principal punto de preocupación en la contaminación del suelo; sino además, resulta preciso establecer bajo que formas se presentan éstos metales cuando son liberados, es decir, si se encuentran en un estado biodisponible, acomplejados con la materia orgánica o simplemente adsorbidos en la superficie de las arcillas.

Todos los factores mencionados anteriormente darán cuenta del grado de peligrosidad de estos elementos. Por esta razón, se realizó la determinación de los tres metales previa extracción en función de la forma en que éstos se presentan, vale decir, una extracción por fraccionamiento secuencial.

Para tal efecto, el análisis fue basado en la práctica de laboratorio, para el Curso de Contaminación de Suelos, de la Universidad de Chile, denominado "Extracción de Metales Pesados por Fraccionamiento Secuencial en Muestras de Suelo", 2002, El cual fue aplicado a ambos tipos de suelo, suelo de planta impregnadora y suelo de referencia.

DISOLUCIONES EXTRACTANTES

KNO₃ : Para extraer los metales en estado libre, adsorbidos superficialmente en las arcillas, los de mayor disponibilidad.

NaOH: Para extraer los metales en medio básico, y que eventualmente pudiesen precipitar a pH muy alcalinos como hidróxidos.

EDTA: Para la extracción de metales que pueden acomplejarse, principalmente con la materia orgánica, formando quelatos.

HNO₃: Para extraer los metales en estado residual, aquellos que están más fuertemente retenidos por la fracción arcillosa.

4.7. ENSAYO DE LIXIVIACIÓN PARA METALES Cu, Cr y As SOBRE UN SUELO DE REFERENCIA

La elección de un nuevo tipo de suelo, con características distintas al común de los suelos presentes en las plantas impregnadoras de la Región Metropolitana, tanto física como químicamente, nos conduce a establecer cual de ellos es el más apropiado para resistir una carga de solución preservante y al mismo tiempo impedir que dicha mezcla se expanda hacia otra componente ambiental, como lo es un cuerpo de agua, sea éste superficial o subterráneo. Para tal efecto, se dispuso de un suelo de referencia, el cual se encontraba previamente caracterizado. (ver tabla 17)

Tanto la madera, como la solución preservante empleada, fue analizada previamente de modo de conocer el contenido total de los tres metales en estudio. Ello nos permitirá predecir bajo qué porcentaje se libera la solución al medio. El ensayo en detalle se puede observar en la figura 7.

4.7.1. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Conocidas las propiedades de interés del suelo de referencia, se procedió a realizar el ensayo de lixiviación de los tres metales en estudio, bajo condiciones ambientales normales de presión, temperatura y humedad. El suelo, aproximadamente 1300 g, fue colocado en un tubo de polietileno, sobre una base de grava (ripio), y fue regado cada dos días con 100 mL de agua desionizada, lavado excesivo (simulación de lluvia), bajo tres situaciones distintas:

– **A. Ensayo blanco de suelo:**

Sobre el cual no se dispuso ningún tipo de carga

– **B. Ensayo carga de madera:**

Sobre él se dispuso una carga de 100 g de madera preservada, aprox. La madera se encontraba previamente caracterizada.

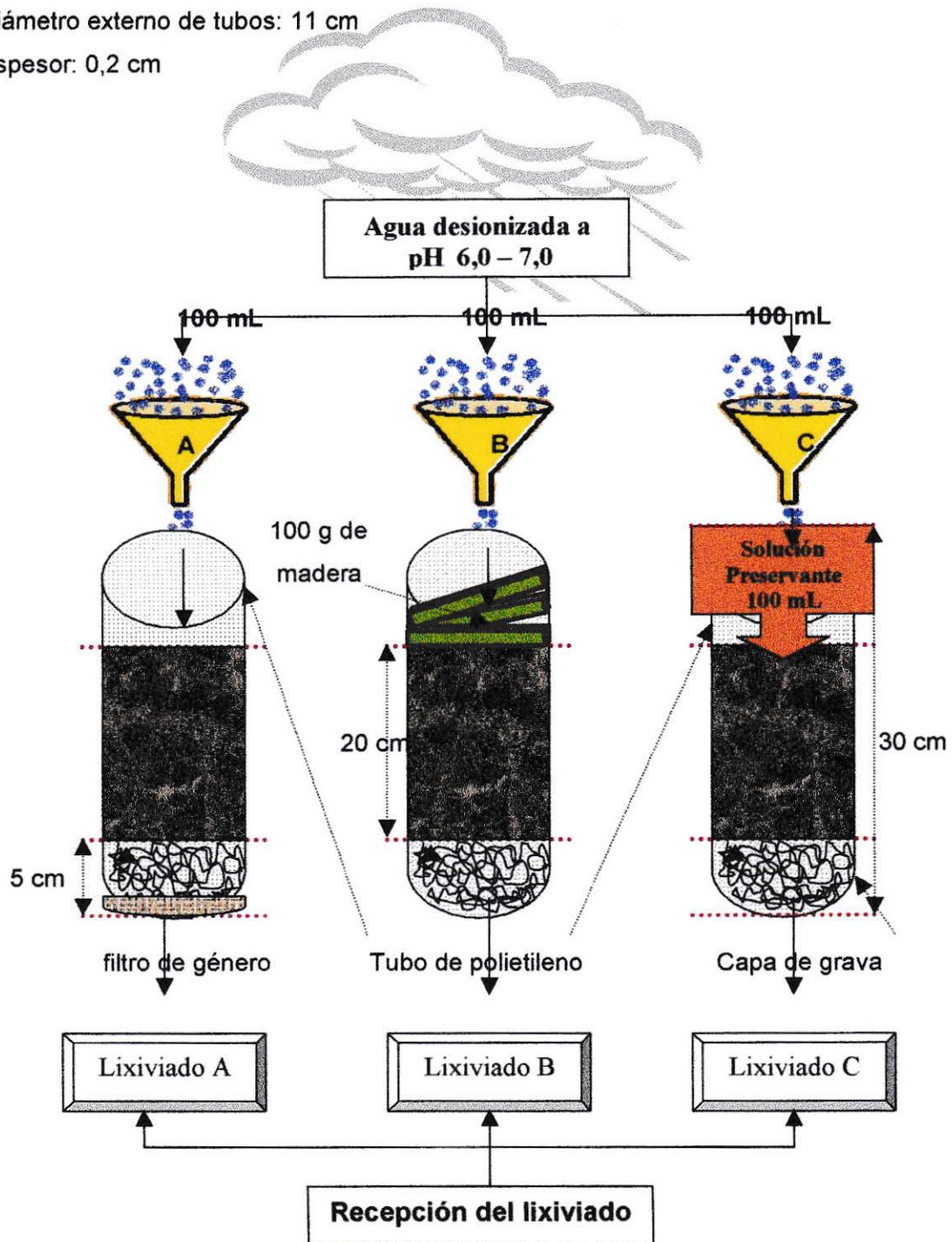
– **C. Ensayo carga de Sol. Preservante:**

Al cual se adicionó inicialmente 100 mL de solución preservante CCA tipo C (simulación de derrame). La solución empleada fue obtenida del mismo estanque donde se realiza la preservación, de la planta de impregnación muestreada.

Figura 7: Esquema de Ensayo de Lixiviación / Suelo de Referencia

Diámetro externo de tubos: 11 cm

Espesor: 0,2 cm



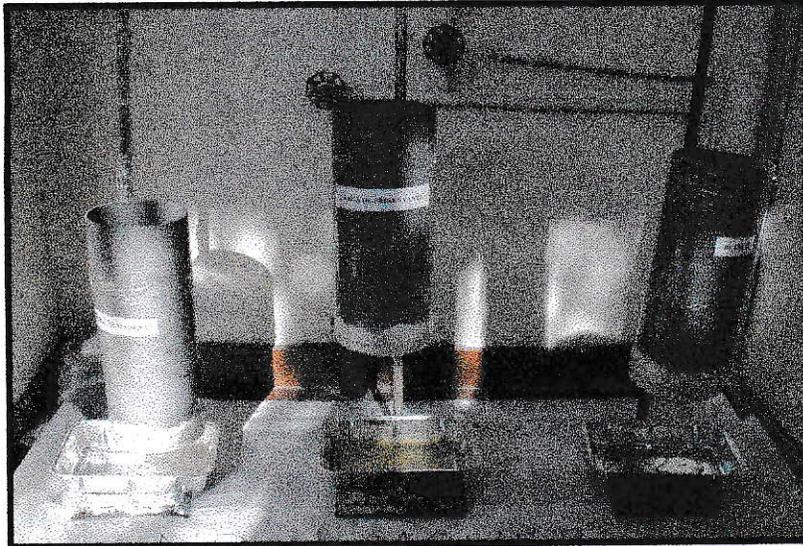


Figura 8: Ensayo de Lixiviación

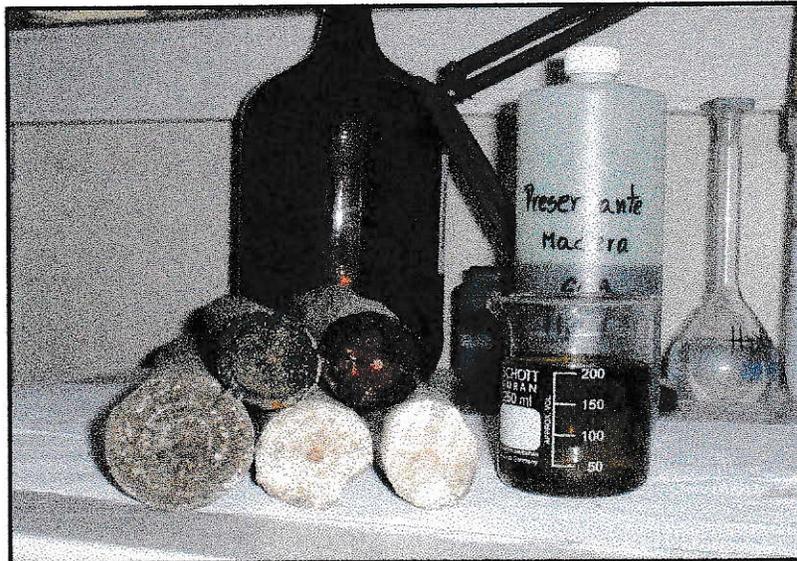


Figura 9: Madera Utilizada y Preservante CCA tipo C

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores registrados en los distintos análisis son graficados y complementados con valores de referencia y límites máximos permitidos, con normas tales como; EPA 1311/test TCLP y la normativa holandesa para suelo IHOBE. Consideremos que actualmente en el país no existe normativa al respecto en suelo.

5.1. ANÁLISIS DE PARÁMETROS COMPLEMENTARIOS PARA SUELO DE PLANTA DE IMPREGNACIÓN

Tabla 7: Resumen Análisis Complementario, Suelo Planta de Impregnación

Muestra	pH (Unid. de pH)	CE (dS/m)	% (p/p) Humedad	% (p/p) Saturación de agua	% (p/p) Materia Orgánica
M1	7,02	0,86	3,2	22,6	1,34
M2	8,41	1,09	3,5	23,2	1,82
M3	8,77	0,78	2,5	27,9	2,07
Bco(1)	8,72	0,49	11,9	31,1	1,88
Bco(2)	8,64	0,65	5,1	29,6	1,64

PH

Como se puede observar, los valores de pH obtenido dan cuenta del carácter más bien básico del suelo. Presentando un valor promedio de 8,31, muy cercano al registrado en la muestra M2. El valor mínimo correspondió a la muestra M1 y el máximo para M3. Su carácter neutro-alcalino favorece la retención o la relativa y baja movilidad de los tres óxidos metálicos. La solubilidad de éstos es máxima a pH extremos, es decir, 2 y 12 respectivamente.

CE

El valor promedio obtenido en la medida de Conductividad Eléctrica fue de 0,773 dS/m, muy semejante al obtenido para la muestra M3, el valor mínimo correspondió a la muestra Bco (1) y el más alto para M2, estableciendo a primera vista la gran cantidad de sales presentes en ella, dado los altos valores de conductividad registrados. La diferencia es clara cuando estos valores, para el suelo contaminado, se comparan con los valores de un suelo de referencia (tabla 17).

% HUMEDAD

El contenido de humedad correspondió a las muestras extraídas en la etapa de muestreo, realizado durante Diciembre de 2004. El valor máximo se obtiene para la muestra de blanco de suelo (1) y el mínimo para la muestra M1, en tanto que el promedio se encuentra muy cercano al valor obtenido para la muestra de blanco de suelo (2).

% SAT. AGUA

El porcentaje de saturación de agua es una medida que nos da cuenta de la capacidad que tiene el suelo para absorber agua antes que comience la infiltración hacia estratos inferiores o se formen aglomerados de moléculas de agua en su superficie. De acuerdo a los resultados se tiene un valor mínimo para la muestra M1, el máximo para la muestra Bco (1) y un promedio de 26,9%, muy cercano a M3. En todas las muestras analizadas se observa similitud en los resultados. Se estima la baja capacidad de retención de agua de los suelos analizados, lo cual es perjudicial, puesto que facilita la movilidad o lixiviación. Los bajos valores obtenidos dan cuenta de un suelo con una abundante cantidad de macroporos, por los cuales el agua circula libre y rápidamente. Esto hace presumir un suelo de características arenosas.

% MATERIA ORGÁNICA

Como se observa, existe un bajo contenido de materia orgánica en las muestras estudiadas. El valor máximo se obtuvo para la muestra M3, el mínimo para la muestra M1, mientras que la media fue de 1,75%, no existiendo mayor variedad en los resultados. Ello, favorece negativamente un evento de contaminación, ya que el contenido de materia orgánica es una de las formas que tiene el suelo de auto depuración.

Tabla 8: Análisis Estructural, Suelo Planta de Impregnación

Muestra	Densidad Aparente (g/mL)	Densidad Real (g/mL)	% (p/p) Arcilla	% (p/p) Limo	% (p/p) Arena	Clase Textural
M1	1,51	0,99	2,8	11,8	85,4	Arena Migajonosa
M2	1,46	0,97	3,2	11,0	85,8	Arena Migajonosa
M3	1,39	0,98	3,0	14,0	83,0	Arena Migajonosa
Bco(1)	1,24	0,72	2,7	36,8	60,5	Migajón Arenoso
Bco(2)	1,35	0,87	3,4	12,5	84,1	Arena Migajonosa

DENSIDAD APARENTE

El valor máximo obtenido para la medida de la densidad aparente correspondió a la muestra M1, mientras que el mínimo fue para Bco (2). El promedio concuerda exactamente con la muestra M3. Como se observa la densidad aparente de las muestras de blancos de suelo es menor que las muestras contaminadas.

DENSIDAD REAL

El valor máximo obtenido para la medida de la densidad real correspondió a la muestra M1, mientras que el mínimo fue para Bco (1). El promedio fue de 0,91 g/mL. Como se observa, igual que en el caso anterior, la densidad real de las muestras de blancos de suelo es menor que las muestras contaminadas.

CLASE TEXTURAL

Del análisis textural, basado en la Ley de Stoke, Velocidad de Sedimentación de los agregados del suelo – Método de la Pipeta, se establece que la clase textural para el suelo muestreado y que es común al resto de las plantas visitadas, corresponde a **Arena Migajonosa**.

A primera vista nos damos cuenta de la vulnerabilidad del suelo en estudio, dada sus características de tipo arenosa, se espera que el suelo tenga una baja capacidad de retención de agua o de solución preservante (como ya fue mencionado), en el caso de un posible derrame, sumado a ello el hecho de la gran permeabilidad que presenta, favoreciendo de este modo su infiltración hacia estratos inferiores del cuerpo receptor.

5.2. ANÁLISIS QUÍMICO DE METALES PESADOS PARA SUELO DE PLANTA DE IMPREGNACIÓN

A continuación se presentan los resultados cuantitativos de los análisis de las muestras de suelo contaminadas, obtenidas en la Etapa de muestreo de la planta de impregnación. En el Anexo I se describe en detalle el procedimiento analítico efectuado en los Laboratorios de la División Química de CESMEC Ltda.

Las muestras fueron analizadas por **Espectrometría de Absorción Atómica y los resultados validados mediante análisis por Fluorescencia de Rayos X**. Los valores son comparados con los estándares holandeses de concentración de contaminantes en suelo, los cuales permiten la evaluación genérica en relación con el riesgo que su alteración supone, VIE - B, Valor Indicativo de Evaluación medio.

Tabla 9: Análisis de Metales en Suelo Planta de Impregnación, por Espectrofotometría de Absorción Atómica

(Los resultados son el promedio de dos determinaciones)

Muestra	COBRE		CROMO		ARSENICO	
	Concentración (µg/g)	VIE - B (µg/g)	Concentración (µg/g)	VIE - B (µg/g)	Concentración (µg/g)	VIE - B (µg/g)
M1	55	100	58	250	63	30
M2	105	100	252	250	88	30
M3	58	100	62	250	56	30
Bco(1)	35	100	16	250	30	30
Bco(2)	36	100	15	250	27	30
Límite de Detección con 4 Unidades de absorbancia						
			(Cu)		(Cr)	
			0,5 µg/g		1,0 µg/g	
			(As)			
			2 µg/g			

Tabla 10: Análisis Suelo Planta de Impregnación, por Espectroscopia de Fluorescencia de Rayos X

(Los resultados son el promedio del análisis efectuado de dos determinaciones, éstos se entregan en partes por millón, base muestra seca, para el contenido total de metales)

Muestra	COBRE		CROMO		ARSÉNICO	
	Concentración (µg/g)	VIE – B (µg/g)	Concentración (µg/g)	VIE – B (µg/g)	Concentración (µg/g)	VIE – B (µg/g)
M1	60	100	60	250	55	30
M2	115	100	250	250	98	30
M3	55	100	75	250	45	30
Bco(1)	45	100	15	250	30	30
Bco(2)	40	100	10	250	20	30
Límite de Detección			(Cu) 2,0 µg/g	(Cr) 5,0 µg/g	(As) 5,0 µg/g	

Basado en los resultados obtenidos para cobre (ver tablas 9 y 10), se tiene que la concentración mínima de este metal correspondió a la muestra Bco(1), mientras que el valor máximo se encontró en la muestra M2, que era precisamente una de las más contaminadas. Se obtuvo un promedio de 58 $\mu\text{g/g}$.

Los resultados para cromo, establecen que la concentración mínima de éste correspondió a la muestra Bco(2), muy semejante a Bco(1), mientras que el valor máximo se encontró en la muestra M2 nuevamente. El valor medio es de 81 $\mu\text{g/g}$.

Para el caso del arsénico, los valores indican una concentración mínima de este metal para la muestra Bco(2), similar a Bco(1), mientras que el valor máximo se encontró en la muestra M2, comprobando de éste modo el real aporte en la contaminación del suelo por los preservantes CCA. El valor medio es de 53 $\mu\text{g/g}$.

Es necesario hacer notar, que prácticamente todas las muestras analizadas superan el valor medio establecido en el estándar holandés (VIE – B), para el cual el nivel de contaminación requiere de medidas reductoras inmediatas.

El análisis por Fluorescencia de Rayos X, comprueba los valores ya obtenidos por Espectrometría de Absorción Atómica. Por ambas metodologías los niveles obtenidos en los blancos de suelo son inferiores a las muestras de suelo contaminadas.

Para éste análisis, el valor máximo obtenido, de concentración de estos metales correspondió a M2, en tanto que el valor mínimo se obtuvo en Bco(1) para cobre y en Bco(2) para cromo y arsénico. El valor promedio es; para arsénico de 60, para cobre de 72 y para cromo de 82 ppm.

5.2.1. ANÁLISIS COMPARATIVO DE ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA Y ESPECTROSCOPIA DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X

Las figuras que a continuación se presentan, tienen por objeto demostrar la validez de los resultados, para el análisis de suelos contaminados. Las muestras fueron analizadas por dos metodologías distintas, comprobándose de esta manera la similitud de los valores obtenidos para cada metal analizado.

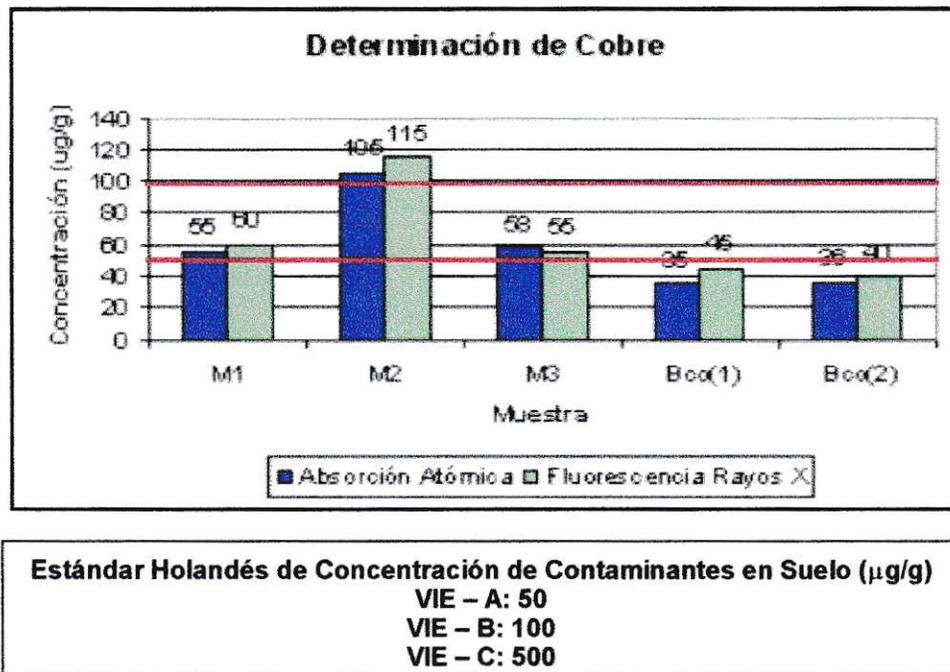


Figura 10: Comparación de Metodologías para el Análisis Cu en Suelo

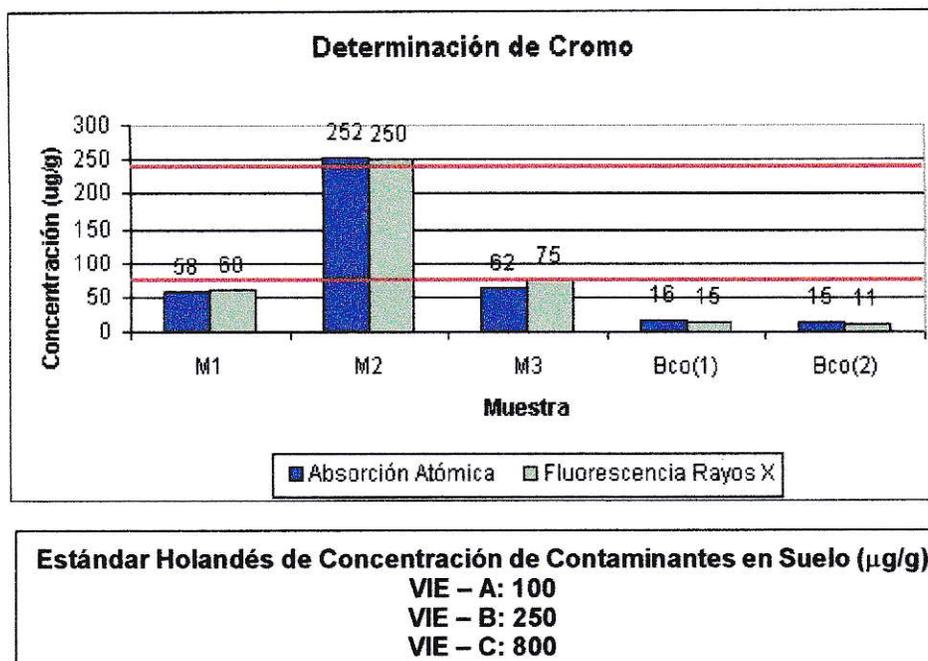


Figura 11: Comparación de Metodologías para el Análisis Cr en Suelo

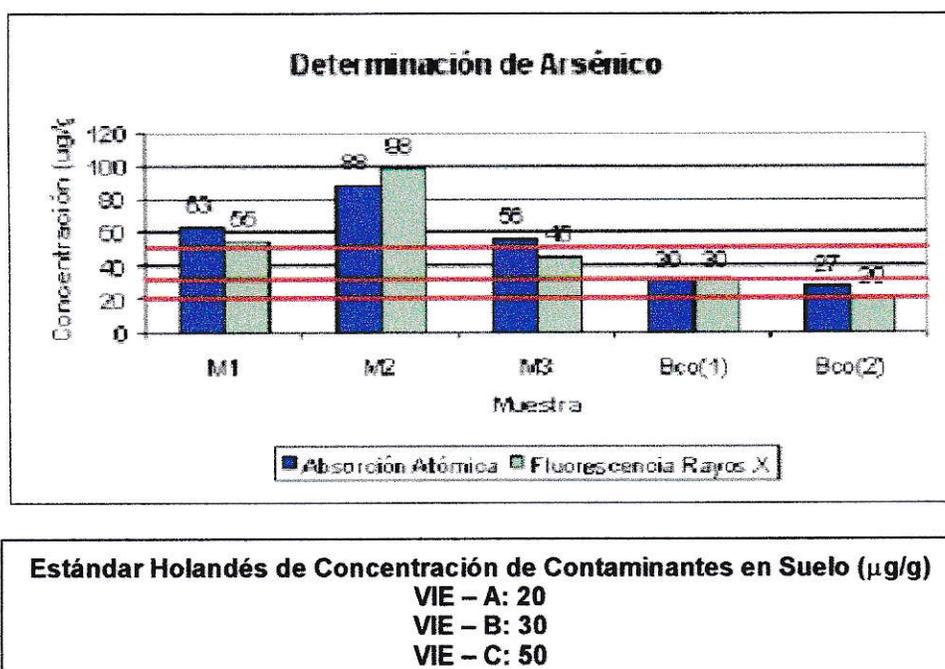


Figura 12: Comparación de Metodologías para el Análisis As en Suelo

5.3. ANÁLISIS QUÍMICO DE MUESTRAS DE MADERA, SEGÚN NORMA CHILENA 763/2. Of 1996 “MÉTODO ESTÁNDAR DE MADERA TRATADA Y SOLUCIONES TRATAMIENTO MEDIANTE ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA”

El análisis fue desarrollado para un total de 10 muestras, provenientes de la misma matriz, tanto de madera, como de solución preservante. De acuerdo a lo establecido por la Norma Chilena 763/2. Of 1996, el rango de concentraciones de los elementos en la madera debe ser:

Tabla 11: Límites de Composición en Madera Tratada

Elemento	Rango de concentración (ppm)
Cu	2 – 20
Cr	2 – 20
As	10 – 100

La concentración en el gráfico de conversión se puede graficar como ppm del elemento en las soluciones patrón. No obstante, los elementos se indican como óxidos en los cálculos de AWPA. Realizando los cálculos respectivos, se tienen los valores en porcentaje de óxido activo, para la solución preservante y en kg/m^3 para madera impregnada.

Nota (1): La densidad de la solución preservante, determinada mediante el uso de un picnómetro (a 20°C) es 1,005 (g/mL)

Nota (2): Según la Norma Chilena 173/Of. 49 “Términos en Relación con Maderas”, la densidad básica (madera seca) para la especie Pino Insigne es 530 kg/m^3

Tabla 12. Análisis Químico para Madera Impregnada y Soluciones de Tratamiento

Muestra	COBRE			CROMO			ARSENICO					
	mg/L	(p/p) % Óxido, CuO	NCh 1260/Of.77	mg/L	(p/p) % Óxido, CrO ₃	NCh 1260/Of.77	mg/L	(p/p) % Óxido, As ₂ O ₅	NCh 1260/Of.77			
Solución de Tratamiento	5,97 ± 0,11	15,03	18,50	9,32 ± 0,12	36,02	47,50	18,00 ± 0,22	28,4	34,00			
Muestra	mg/L	µg/g	CuO Kg/m ³	NCh 819/Of.77	mg/L	µg/g	CrO ₃ Kg/m ³	NCh 819/Of.77	mg/L	µg/g	As ₂ O ₅ Kg/m ³	NCh 819/Of.77
Madera Impregnada	18,69 ± 0,16	869 ± 32,56	0,50	0,60	20,99 ± 0,38	2100 ± 38,78	0,86	1,56	31,00 ± 0,40	3092 ± 40,75	1,01	1,05
Límite de Detección con 4 Unidades de absorbancia				Solución Tratamiento		(Cu) 0,01 mg/L		(Cr) 0,02 mg/L		(As) 0,04 mg/L		
				Madera Impregnada		(Cu) 0,02 mg/L		(Cr) 0,02 mg/L		(As) 0,10 mg/L		

A continuación se presenta la diferencia entre la muestra real y la establecida por NCh 1260/Of. 77 y NCh 819/Of. 77 en los niveles de óxidos presentes en la solución preservante, y madera tratada respectivamente:

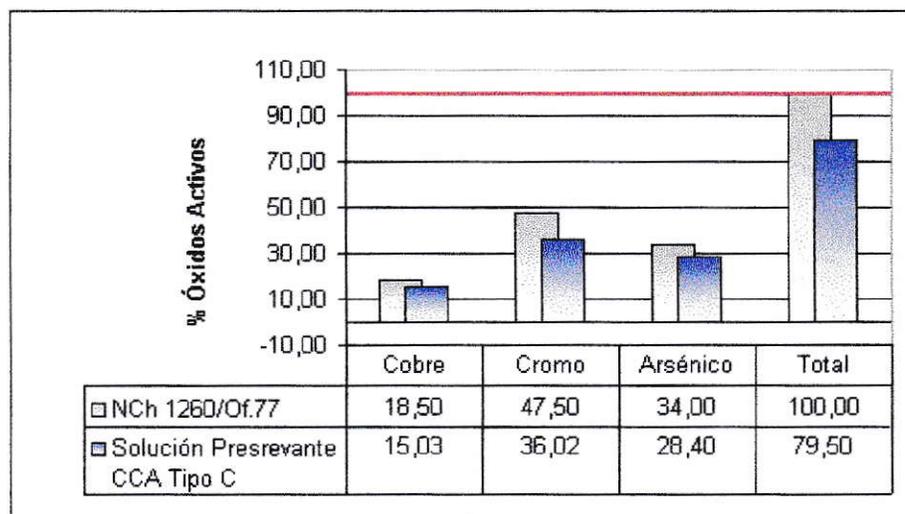


Figura 13: Proporción de Óxidos Activos en Solución Preservante CCA tipo C.

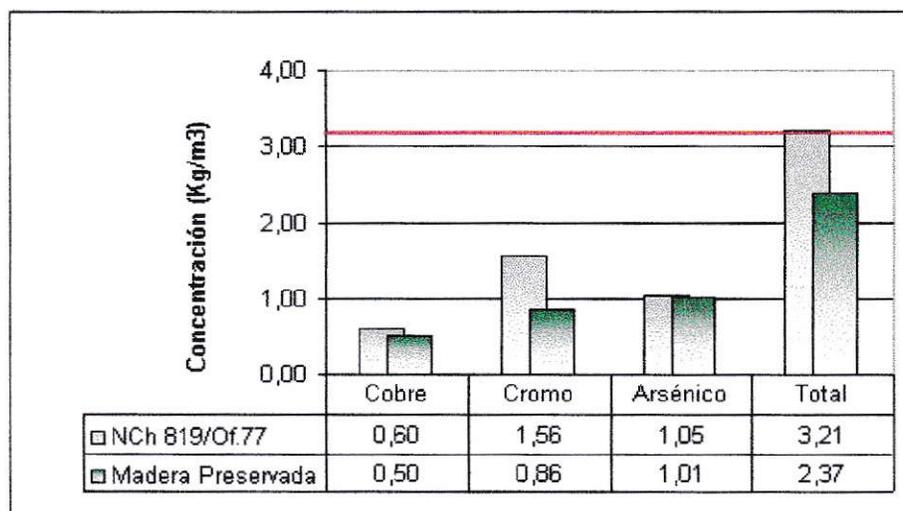


Figura 14: Retención de Óxidos Activos en Madera Preservada

5.4. TEST DE LIXIVIACIÓN CARACTERÍSTICO DE CONSTITUYENTES TÓXICOS

Una vez conocidos los niveles de los tres metales pesados en estudio contenidos en los suelos muestreados y en la madera preservada, obtenida de la planta de impregnación, estamos en condiciones de establecer que cantidad de estos elementos podrían ser eventualmente lixiviados hacia estratos inferiores del suelo.

Los resultados se presentan en las tablas N° 13 y 14 respectivamente, y son comparados con el Límite Máximo Permitido para dicho Test, normativa EPA 1311, test TCLP, tanto para el suelo como para la madera analizada.

Los resultados informados se respaldan con el análisis de una **muestra control certificada** para el contenido de metales pesados en muestras de suelo. (ver Anexo IV)

Tabla 13: Análisis de Lixiviación para Suelo Planta de Impregnación / Test TCLP (Los resultados son el promedio del análisis efectuado de dos determinaciones)

Muestra	COBRE		CROMO		ARSÉNICO	
	mg/L	LMP / TCLP (mg/L)	mg/L	LMP / TCLP (mg/L)	mg/L	LMP / TCLP (mg/L)
M1	7,34	S/L	0,59	5,0	0,94	5,0
M2	1,34	S/L	0,56	5,0	2,00	5,0
M3	3,00	S/L	0,10	5,0	0,34	5,0
Bco(1)	0,28	S/L	0,14	5,0	< 0,04	5,0
Bco(2)	0,45	S/L	0,07	5,0	< 0,04	5,0
Muestra Control	---	S/L	4,56	5,0	1,01	5,0
Límite de Detección con 4 Unidades de Absorbancia			(Cu) 0,01 mg/L	(Cr) 0,02 mg/L	(As) 0,04 mg/L	

S/L, Significa Sin Límite Establecido para tal Elemento.

Para las muestras de suelo analizadas se tiene, que los resultados obtenidos para el lixiviado de Cobre, indican una concentración mínima de este metal para la muestra Bco(1), similar a Bco(2), mientras que el valor máximo se encontró en la muestra M1. El valor medio es de 2,48 mg/L.

Para cromo, se tiene que la concentración mínima de este metal correspondió a la muestras Bco(1) y Bco(2), mientras que el valor máximo se encontró en la muestra M1. En tanto que se obtuvo un promedio de 0,29 mg/L.

Los resultados obtenidos para Arsénico, indican que la concentración mínima correspondió a la muestras Bco(1) y Bco(2), mientras que el valor máximo se encontró en la muestra M2. En tanto que se obtuvo un promedio de 0,65 mg/L. Cabe mencionar que la Lixiviación para las dos últimas muestras estaba muy por debajo del límite de detección.

Si bien es cierto, la lixiviación de los metales de interés (Cr y As), obtenida en las muestras de suelo contaminadas, están por debajo de los límites establecidos por la EPA (mg/L) son notablemente más altas que los blancos de suelo. (ver tabla 13)

En especial el arsénico registrado en la muestra M2 (2,0 mg/L) se encuentra muy cercano del valor límite de 5,0 mg/L para lixiviado.

De los resultados obtenidos es posible realizar una comparación sobre la lixiviación para los tres metales analizados. A modo de hacer más fácil tal comparación se presentan las siguientes gráficas, para suelo contaminado y para madera impregnada con sales CCA tipo CC:

Tabla 14: Determinación de Cu, Cr y As. Madera Aserrada de Pino Insigne, Test TCLP

(Los resultados son el promedio del análisis efectuado de dos determinaciones)

Muestra	Cobre		Cromo		Arsénico	
	mg/L	µg/g	mg/L	µg/g	mg/L	µg/g
Madera aserrada	9,59	24,0	20,75	10,3	14,00	7,0
LMP / TCLP (mg/L)	-		5,0		5,0	
Límite de Detección 4 UA			(Cu) 0,02 mg/L	(Cr) 0,02 mg/L	(As) 0,10 mg/L	

La determinación de la lixiviación de estos metales presentes en la madera preservada con sales CCA tipo C, nos entrega una referencia bastante clara de la magnitud de las sustancias peligrosas que son liberadas al medio, de acuerdo a lo realizado por este ensayo, se demuestra que tanto As como Cr (no se incluye Cu en los análisis de TCLP EPA 1311) superan el valor establecido por dicha norma en mg/L.

Para poder visualizar de una mejor forma éstos resultados, a continuación se presentan las gráficas correspondiente a ambos análisis de TCLP.

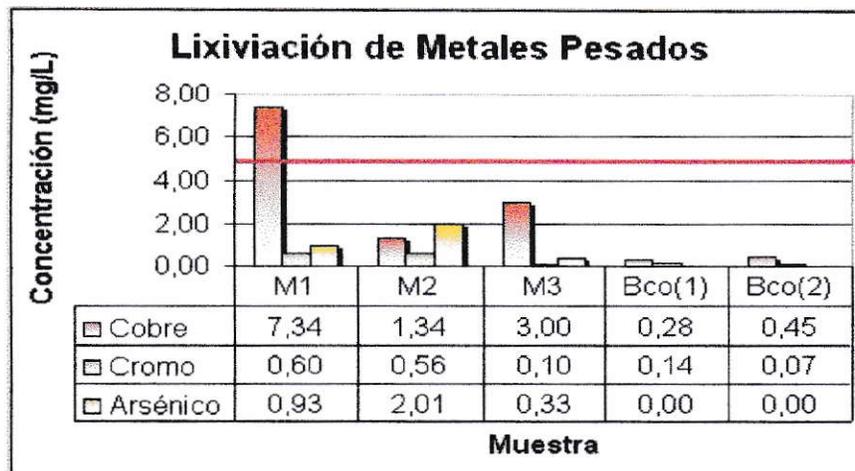


Figura 15: Metales Lixiviados Suelos Contaminados con Sales CCA tipo C, Test TCLP

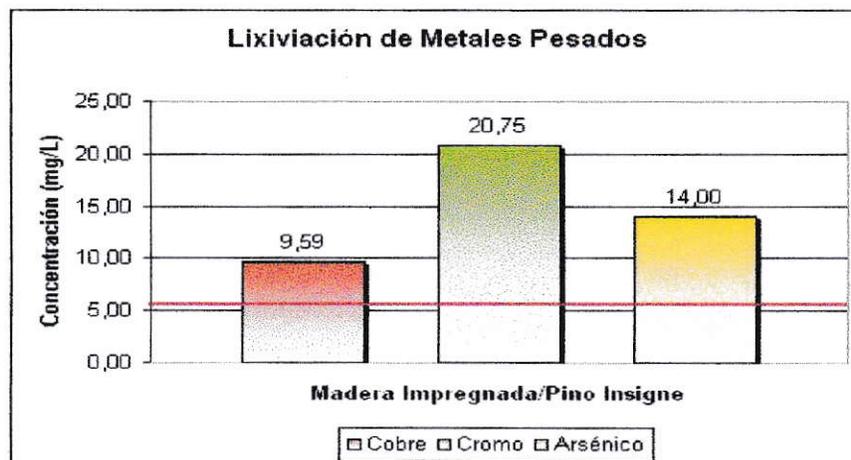


Figura 16: Metales Lixiviados de Madera Tratada con Sales CCA tipo C

5.5. ANÁLISIS DE EXTRACCIÓN SECUENCIAL DE METALES PESADOS EN SUELOS CONTAMINADOS

La metodología que describe el procedimiento para la extracción por fraccionamiento secuencial (Anexo I), es una herramienta bastante útil, ya que hace mención a la forma o condición en que ellos se presentan en la solución del suelo.

Ello, en conjunto con las propiedades o parámetros físicos y químicos, descritos anteriormente para el suelo extraído de la planta impregnadora, ayudan a estimar el grado de una posible contaminación con solución preservante en dicho suelo.

A continuación se presentan los resultados para el ensayo de extracción secuencial de los suelos provenientes de la planta impregnadora.

Tabla 15: Análisis de Extracción Secuencial de Metales Pesados / Análisis por Espectrofotometría de Absorción Atómica para Suelo Planta de Impregnación

(Los resultados son el promedio del análisis efectuado de dos determinaciones, los valores son informados en $\mu\text{g/g}$ del elemento total)

Muestra	Extractante KNO_3 0,5 M			Extractante NaOH 0,5 M			Extractante EDTA al 50% (p/v)			Extractante HNO_3 4 M		
	Cu	Cr	As	Cu	Cr	As	Cu	Cr	As	Cu	Cr	As
$\mu\text{g/g}$												
M1	0,18	2,10	3,65	2,66	3,20	41,10	11,58	16,98	3,68	30,21	31,75	3,90
M2	0,26	1,22	9,30	10,35	3,96	49,9	40,14	61,69	12,68	55,17	152,42	21,50
M3	0,31	0,06	2,50	8,56	1,20	29,56	11,60	15,24	5,27	36,08	36,98	8,98
Bco (1)	0,14	<0,02	0,40	7,11	0,16	13,20	11,01	1,76	5,76	17,64	10,95	9,08
Bco (2)	0,28	<0,02	0,45	11,26	0,18	13,38	21,44	2,20	3,75	33,26	9,06	6,00
Límite de Detección 4 Unidades de absorbancia			Límite de Cuantificación			(Cu) 0,01 $\mu\text{g/g}$		(Cr) 0,02 $\mu\text{g/g}$		(As) 0,04 $\mu\text{g/g}$		

Tabla 16: Suma de Fracciones Parciales para Extracción Secuencial v/s Contenido Total de Metales, Suelo Planta de Impregnación (Los resultados son el promedio del análisis efectuado de dos determinaciones)

Elemento	Extracción secuencial ($\mu\text{g/g}$), suma de fracciones			Ataque total / Digestión Ácida ($\mu\text{g/g}$)			% Recuperación		
	Cu	Cr	As	Cu	Cr	As	Cu	Cr	As
Muestra									
M1	44,63	52,12	52,36	44,9	57,7	62,7	99,40	90,33	83,51
M2	105,92	219,28	93,40	105,5	251,4	87,6	100,40	87,22	106,62
M3	56,55	53,50	46,31	57,9	62,0	56,3	97,67	86,29	82,26
Bco (1)	35,90	12,87	28,48	35,8	15,7	30,4	100,28	81,97	93,68
Bco (2)	66,24	11,44	23,58	72,7	15,2	27,4	91,11	75,26	86,06

La validación de los resultados entregados por la extracción secuencial se realiza mediante la suma de las fracciones respectivas, para ello, se comparan con los valores registrados para el total de cada elemento en la muestra de suelo, previo ataque ácido de ellas. Las recuperaciones obtenidas dan cuenta de la validez de los resultados.

Para el suelo de tipo arenoso, predominante en las plantas de impregnación, la disposición de metales pesados se presenta según:

(a) Para Cobre; La principal forma en que este metal se presenta en el suelo es en estado residual, muy adsorbido o retenido por la fracción arcillosa principalmente. (aunque muy baja). La segunda forma de mayor predominancia es en estado acomplejado relativamente impedido para las plantas. En una muy pequeña fracción se libera en medio alcalino y en un muy menor grado disponible o de fácil liberación.

(b) Para Cromo; La distribución es muy similar al caso del Cobre, la mayor parte se presenta en estado residual o muy difícil de ser liberado, se requiere de un ambiente muy ácido. Una fracción muy importante tiende a liberarse con facilidad cuando se utiliza como agente extractante EDTA. Esto apoya la necesidad de un suelo con un mayor contenido de materia orgánica, de modo de minimizar el efecto tóxico de estos elementos. Las demás fracciones son despreciables con respecto al contenido total.

(c) Para Arsénico; Distinto es el comportamiento que presenta el Arsénico, ya que los mayores niveles se obtuvieron con el agente extractante NaOH, por lo que este metal tiende a estar más disponible en ambiente alcalino. En una menor proporción en estado residual y acomplejado. Su biodisponibilidad es muy baja.

5.6. ENSAYO DE LIXIVIACIÓN PARA LOS METALES Cu, Cr y As SOBRE UN SUELO DE REFERENCIA

Para la realización del ensayo final de lixiviación, pero ahora sobre un **suelo de referencia**, previamente caracterizado y con un mayor contenido de arcilla, se utilizó la misma solución preservante analizada anteriormente (ver tabla 12). Los parámetros de interés del suelo de referencia se presentan en la tabla 17.

Del mismo modo, se procedió a analizar un grupo de listones impregnados, elegidos en forma aleatoria, de una planta del sector Sur de la Región Metropolitana, distinta a la anterior. La muestra de madera fue analizada antes y después del ensayo de lixiviación, con el fin de establecer las pérdidas producidas por un lavado excesivo de las mismas, simulando un normal evento de lluvia.

La madera analizada correspondió a Pino Insigne, previamente tratada con solución CCA tipo C. Los resultados se presentan a continuación, y al igual que en el caso anterior son comparados con los establecidos por la Norma Chilena 819/Of. 77.

Tabla 17: Caracterización de Suelo de Referencia

Muestra	pH (Unid de pH)	CE (dS/m)	% Humedad	% Saturación de agua	% C.O	% M.O
Suelo Referencia	7,1	0,13	2,40	37,04	1,04	2,08
Muestra	Densidad Aparente (g/mL)	Densidad Real (g/mL)	% Arcilla	% Limo	% Arena	Clase Textural
Suelo Referencia	1,43	0,89	8,12	36,68	55,2	Migajón

Tanto el Suelo de Referencia, como los parámetros presentados fueron facilitados gentilmente, para el presente estudio, por Lic. Verónica Vicuña, de su trabajo correspondiente al Seminario de Título; "Estudio de Selectividad Catiónica entre Sedimentos de Laguna Carén y Suelos Aledaños", Universidad de Chile, 2004.

Tabla 18: Análisis de TCLP para Ensayo Final / Suelo de Referencia (El valor informado corresponde al promedio de dos determinaciones)

Ensayo	Cobre (mg/L)	Cromo (mg/L)	Arsénico (mg/L)	
Blanco de Suelo	0,41	0,16	< 0,04	
Carga de Madera Impregnada	0,63	0,24	0,04	
Carga Solución Preservadora	1,08	3,30	3,26	
LMP Test TCLP – EPA 1311	S/L	5,0	5,0	
Límite de Detección con 4 Unidades de absorbancia	Solución Tratamiento	(Cu) 0,01 mg/L	(Cr) 0,02 mg/L	(As) 0,04 mg/L
	Madera Impregnada	(Cu) 0,02 mg/L	(Cr) 0,02 mg/L	(As) 0,10 mg/L

Este análisis corresponde al ensayo TCLP para el suelo de referencia, una vez finalizado el ensayo.

Tabla 19: Contenido de Cu, Cr y As en Madera Tratada (Los resultados son el promedio del análisis efectuado de dos determinaciones)

Etapa del Ensayo de Lixiviación	Elemento	mg/L	µg/g	Proporción de óxidos activos kg/m ³	NCh 819/Of. 77 Kg/m ³	% Pérdida elementos metálicos
Inicial, antes de la lixiviación	Cobre, (CuO)	16,46	658,4	0,44	0,60	-
	Cromo, (CrO ₃)	41,26	1650,4	1,68	1,56	-
	Arsénico, (As ₂ O ₅)	36,90	1476,2	1,20	1,05	-
Final, posterior a la lixiviación	Cobre, (CuO)	12,57	502,6	0,33	0,60	25
	Cromo, (CrO ₃)	27,94	1117,7	1,14	1,56	32
	Arsénico, (As ₂ O ₅)	23,87	954,7	0,77	1,05	36
Límite de Detección con 4 Unidades de absorbancia		(Cu) 0,02 mg/L		(Cr) 0,02 mg/L	(As) 0,04 mg/L	

Estos resultados pueden comprenderse mejor en las siguientes gráficas.

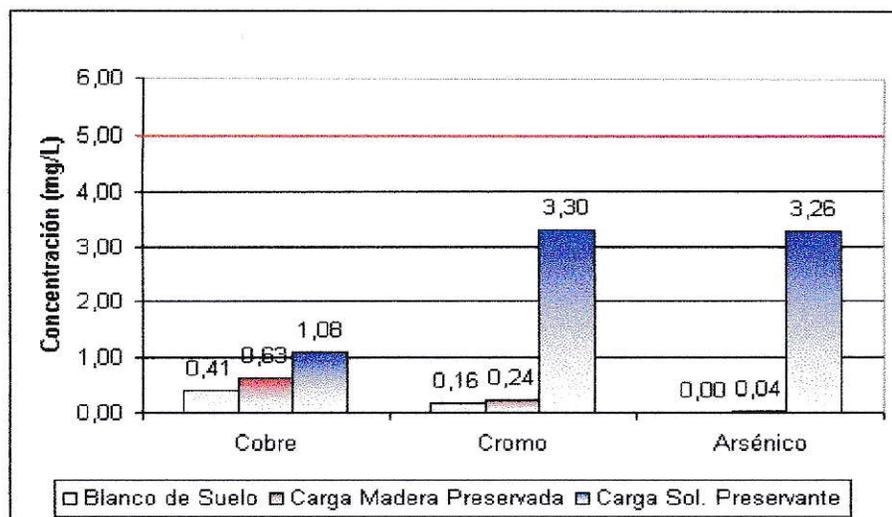
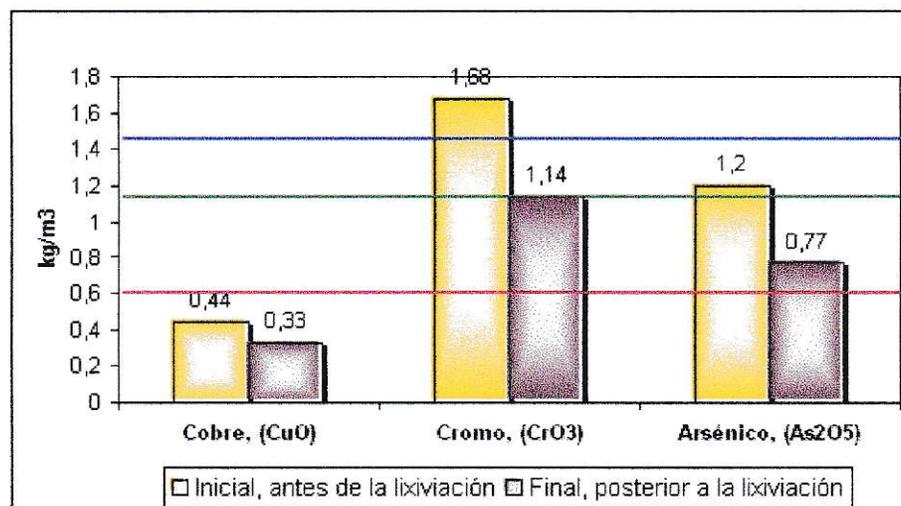


Figura 17: Liberación de Elementos Tóxicos en Suelo de Referencia / Test TCLP



NCh 819/Of. 77 Kg/m³

Cobre, (CuO) ⇒ 0,60 kg/m³

Cromo, (CrO₃) ⇒ 1,56 kg/m³

Arsénico, (As₂O₅) ⇒ 1,05 kg/m³

Figura 18: Pérdida de Metales en Madera por Efecto de Lavado Excesivo

En una primera instancia, se puede observar una no muy adecuada correlación de los tres óxidos analizados previamente a la lixiviación propiamente tal, con respecto a lo establecido por la normativa chilena para madera impregnada con CCA tipo C. Ello nos demuestra la variabilidad en la calidad de un mismo producto ofrecido por distintos productores, comparado con la madera analizada anteriormente proveniente de otra planta impregnadora. Sin embargo, pese a los niveles registrados en la madera, la retención pareciese no tan efectiva. Puesto que con un simple lavado de las piezas de madera sobre nuestro suelo de referencia se pierde demasiada sustancia preservadora, de acuerdo a los porcentajes de pérdida registrados.

Este simple experimento, demuestra el **carácter de toxicidad extrínseca** que representa la madera impregnada cuando es dispuesta sobre el suelo, especialmente cuando se le considera como un desecho de la construcción.

5.6.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS - METALES PESADOS EN SUELO DE REFERENCIA

Al igual que lo realizado para el suelo contaminado, se efectuó una extracción secuencial de metales pesados, ello para visualizar de una mejor manera bajo que condiciones se presentan éstos en nuestro suelo de referencia, y establecer de este modo, el carácter de vulnerabilidad de un suelo cuyo contenido de arcilla es superior al común de los suelos presentes en las plantas impregnadoras visitadas en la región metropolitana (suelo de tipo arenoso). Esta comparación nos servirá como parámetro de referencia de modo de establecer cual de los dos suelos es el más adecuado o presenta una mayor capacidad de retención de metales pesados.

Tabla 20: Análisis Extracción Secuencial de Metales en Suelo de Referencia / Ensayo de Lixiviación (Los resultados son el promedio del análisis efectuado de dos (2) determinaciones, los valores son informados en µg/g del elemento total)

Ensayo (µg/g)	Extractante KNO ₃ 0,5 M			Extractante NaOH 0,5 M			Extractante EDTA al 50%			Extractante HNO ₃ 4 M		
	Cu	Cr	As	Cu	Cr	As	Cu	Cr	As	Cu	Cr	As
Blanco de suelo	0,39	0,23	< 0,04	11,24	1,70	1,69	25,61	1,02	0,20	53,25	8,92	6,36
Carga de madera	0,74	0,24	0,04	11,32	1,10	2,80	28,55	2,27	3,60	52,48	10,08	4,47
Carga de sol. Preservante	0,51	0,52	4,25	16,24	3,25	14,69	68,76	75,50	27,38	79,32	97,60	35,05
Límite de Detección 4 Unidades de absorbancia	Límite de Cuantificación			(Cu) 0,01 ug/g			(Cr) 0,02 ug/g			(As) 0,04 ug/g		

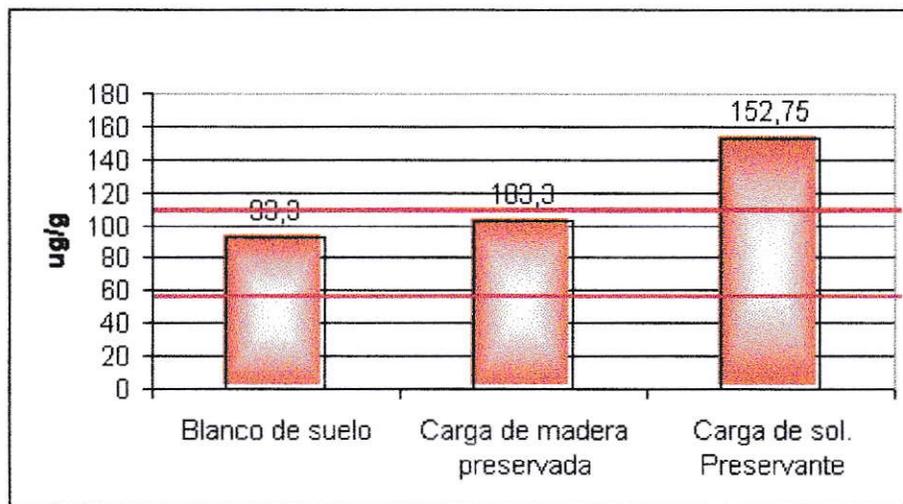
Tabla 21: Suma de Fracciones Parciales para Extracción Secuencial v/s Contenido Total de Metales, Suelo de Referencia (Los resultados son el promedio del análisis efectuado de dos determinaciones)

Elemento	Extracción secuencial ($\mu\text{g/g}$), suma de fracciones			Ataque total / Digestión Ácida ($\mu\text{g/g}$)			% Recuperación		
	Cu	Cr	As	Cu	Cr	As	Cu	Cr	As
Ensayo									
Blanco de suelo	90,49	11,86	8,28	93,30	13,95	9,14	97,0	85,0	91,2
Carga de madera preservada	93,09	13,69	10,96	103,3	15,25	12,85	90,1	89,5	84,6
Carga de sol. Preservante	154,83	173,87	81,37	152,75	171,35	84,92	101,4	101,5	95,7

Nos referimos a ataque total, cuando se cuantifica el contenido total, de elemento total, previo ataque ácido, según la metodología "Digestión Ácida para Muestras de Suelo, Lodo y Sedimentos" (método CESMEC)

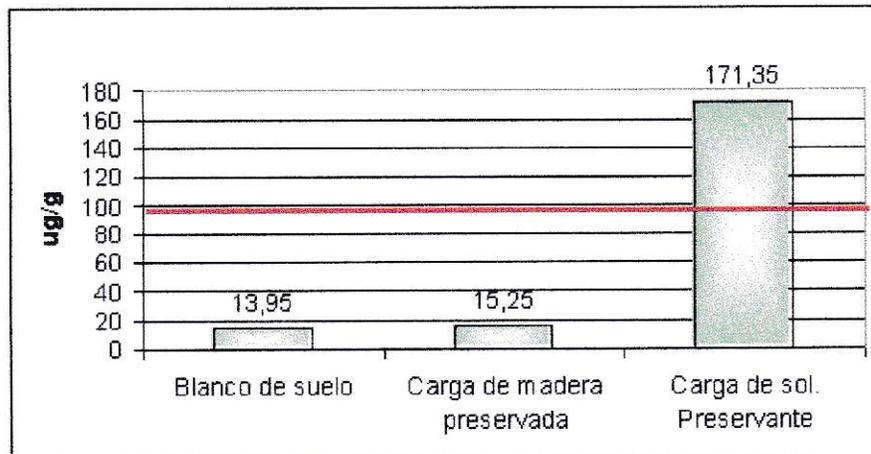
Las recuperaciones obtenidas dan cuenta de la validez de los resultados en cuanto a la extracción por fraccionamiento secuencial. El análisis de los resultados es discutido en extenso, a continuación.

Los niveles de cada elemento total, encontrados en el suelo de referencia al finalizar el ensayo de lixiviación para las tres situaciones anteriores, pueden ser descritos en las siguientes gráficas y al igual que para el suelo contaminado, los valores son comparados con el nivel de referencia VIE - B:



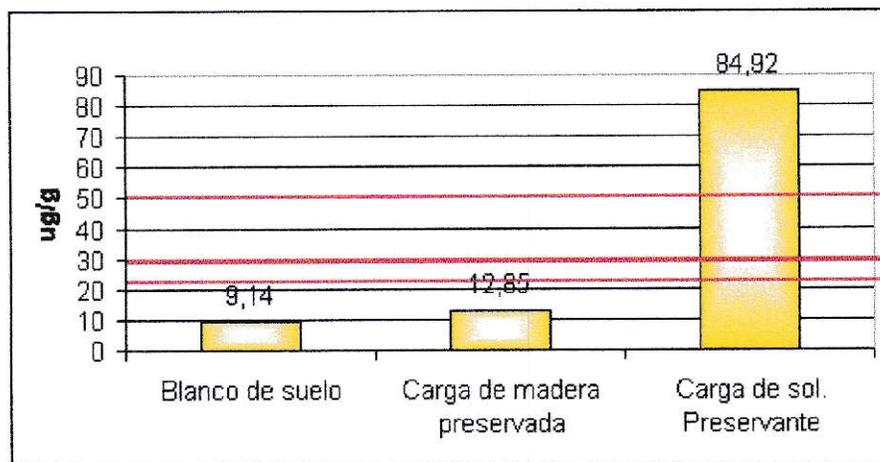
Estándar Holandés de Concentración de Contaminantes en Suelo ($\mu\text{g/g}$)
VIE - A: 50
VIE - B: 100
VIE - C: 500

Figura 19: Análisis de Cobre en Suelo de Referencia



Estándar Holandés de Concentración de Contaminantes en Suelo ($\mu\text{g/g}$)
VIE - A: 100
VIE - B: 250
VIE - C: 800

Figura 20: Análisis de Cromo en Suelo de Referencia



Estándar Holandés de Concentración de Contaminantes en Suelo ($\mu\text{g/g}$)
VIE - A: 20
VIE - B: 30
VIE - C: 50

Figura 21: Análisis de Arsénico en Suelo de Referencia

Los resultados obtenidos en la extracción secuencial para Cobre, Cromo y Arsénico, muestran una mayor tendencia de éstos metales a permanecer en estado residual en el suelo de tipo arcilloso, es decir, se requiere de una condición extremadamente ácida para que éstos queden libres en el medio. Los mayores niveles fueron registrados en la solución extractante de ácido nítrico 4 M.

Por otra parte, los altos valores registrados en la solución extractante EDTA (al 50%) comprueban en cierto modo la gran acción acomplejante principalmente debido a la materia orgánica presente, mayor que en los suelos de tipo arenoso, anteriormente analizados. (ver tablas 7 y 17 respectivamente)

Aunque la mayor parte de los metales se encuentra en estado residual, es importante destacar que una fracción puede liberarse al medio en condiciones alcalinas fuertes.

Lo principal, es que estos elementos tóxicos tienen una disponibilidad libre casi despreciable, de acuerdo a los niveles observados cuando se utiliza como líquido extractante una solución de KNO_3 0,5 M, de modo que su biodisponibilidad resulta ser baja.

Comparando ambas extracciones, **suelo arenoso contaminado** (ver tabla 15) y **suelo arcillosos de referencia** (ver tabla 20), podemos notar que, en proporción, **un suelo con mayor contenido de arcilla es capaz de retener una mayor cantidad de metales que uno de tipo arenoso**. A eso hay que agregarle, que la cantidad de M.O presente es decisiva en la complejación de estos elementos.

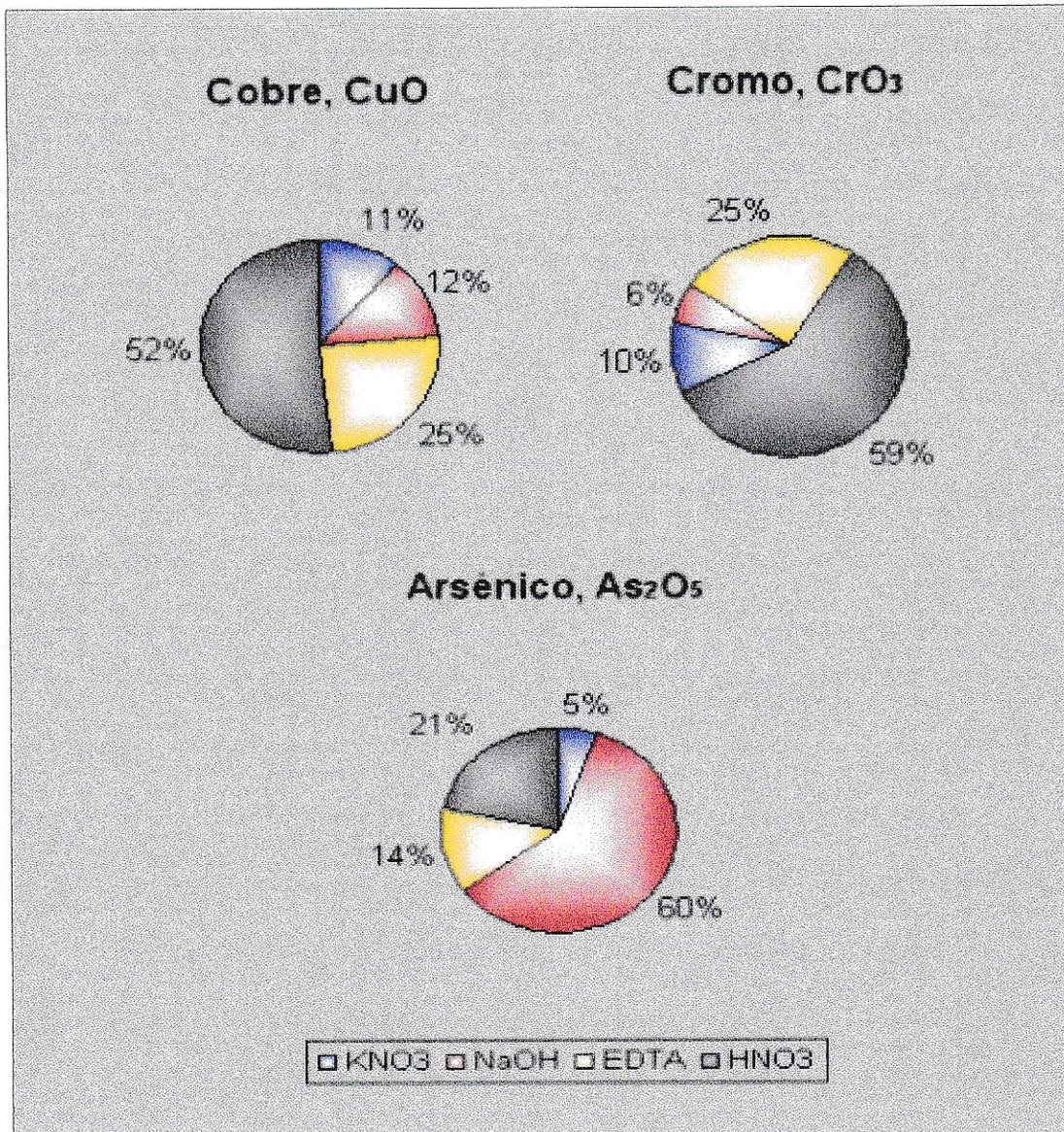


Figura 22: Distribución Porcentual de Metales, Suelo Clase Arena Migajonosa

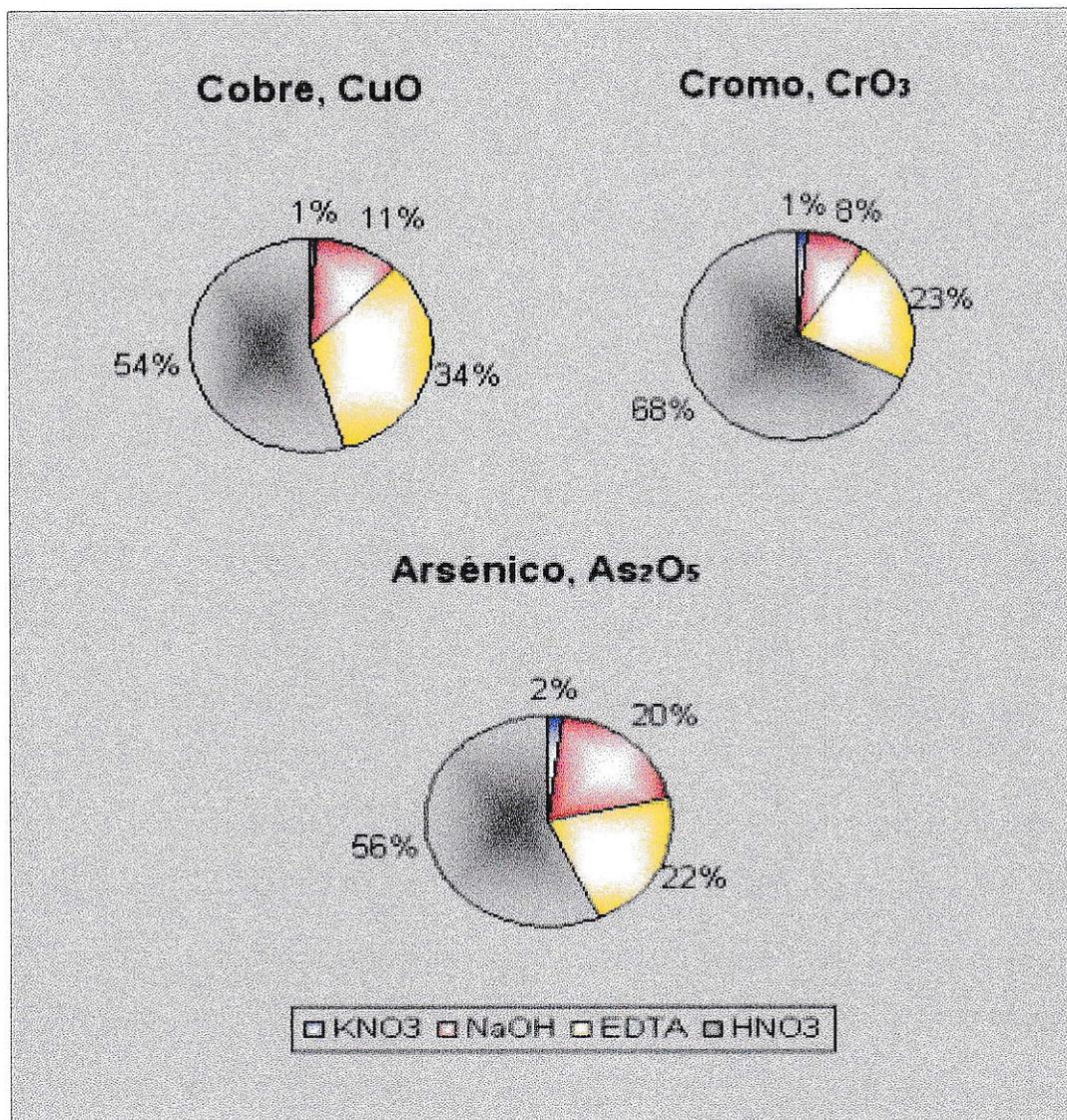


Figura 23: Distribución Porcentual de Metales, Suelo Clase Migajón

6. DISCUSIÓN GENERAL

6.1. SUELO PLANTA IMPREGNADORA - MADERA PRESERVADA Y SOLUCIONES DE TRATAMIENTO

En primer lugar, del análisis de pH, se establece que el suelo presenta, más bien, un comportamiento levemente alcalino, no existiendo mayor variación con los blancos de suelo analizados. Sin embargo, la medida de la Conductividad Eléctrica (CE) nos da cuenta de la presencia de sales en el suelo, debido al alto valor registrado, el mayor para la muestra M2 de 1,085 dS/m y con un promedio de 0,773 dS/m. Cabe destacar, el alto valor detectado en los suelos blancos, ello puede deberse principalmente, al largo período que la planta lleva en funcionamiento. Esto comprueba en cierta medida la movilidad relativa de estos metales hacia zonas cercanas a la planta de impregnación, y que no reciben en forma directa tal impacto.

El contenido de humedad junto al bajo porcentaje de saturación de agua registrado indican que se trata de un suelo con un muy buen drenaje, lo cual es perjudicial para un evento de contaminación, ya que facilita el recorrido del líquido hacia aguas subterráneas. (Ver tabla 7, % de saturación de agua)

Los bajos contenidos de materia orgánica observados en los suelos contaminados, dan cuenta de la vulnerabilidad de éstos a la presencia de los óxidos metálicos presentes en la solución preservante. El porcentaje promedio fue de 1,73% de materia orgánica. Sin embargo, pese a ello y como se detalla mas adelante, la poca materia orgánica presente es capaz de acomplejar a una no muy despreciable cantidad de metales.

El análisis estructural realizado, indica que el suelo corresponde a una clase textural tipo Arena Migajonosa. Demostrando, de éste modo, la baja capacidad que posee para retener la solución preservante en su superficie y la gran cantidad de espacio poroso existente (macroporos), debido a la arena (ver tabla 8), favoreciendo así la infiltración de los metales hacia una mayor profundidad.

Ahora bien, el análisis químico, propiamente tal, realizado sobre los suelos, demuestra el grado de contaminación en que éstos se encuentran. Para los tres metales analizados (Cu, Cr y As) los mayores niveles encontrados se registraron para la muestra M2 que era precisamente donde se encontraban las maderas apiladas, recién impregnadas, convirtiéndola así en uno de los principales puntos de contaminación. Todos los valores registrados fueron más altos que los blancos de suelo.

Desde el punto de vista ambiental, se tiene que; para el Cobre, M2 supera el valor medio VIE – B de la norma holandesa de suelo asociada al riesgo medio esperado para la salud humana y los ecosistemas. Pero si tomáramos como valor límite el sugerido por VIE – A, al cual se le asocia un menor riesgo, entonces, prácticamente todas las muestras superarían dicho límite, con excepción del Blanco (1).

Para el Cromo, ocurre una situación muy similar, en donde nuevamente M2 supera el nivel establecido. En cambio, las otras muestras están, inclusive, por debajo del valor VIE – A.

La situación del Arsénico es compleja, ya que prácticamente todas las muestras superan el valor medio VIE – B, es más, las tres muestras de suelo contaminadas superan el límite VIE – C, por sobre el cual existe peligro para el funcionamiento de los ecosistemas y la necesidad de adoptar medidas inmediatas que eliminen el riesgo.

Por otra parte, se comprueba la validez de los resultados, dado que las muestras fueron analizadas tanto por espectrofotometría de Absorción Atómica, como por Espectroscopia de Fluorescencia de Rayos X. Por ambos métodos se obtienen valores muy semejantes. (ver tablas 9 y 10)

Otra parte importante del estudio, consistió en el test de lixiviación de residuos peligrosos, TCLP, según el cual podemos estimar la cantidad de estos metales que quedan biodisponibles para la normal, pero adversa, incorporación a la cadena alimenticia. Si bien es cierto, en ningún caso se superó el valor establecido como referencia (EPA 1311), sin embargo es necesario hacer notar que de igual forma existe lixiviación y/o liberación de estos elementos tóxicos al medio.

También se analizó el contenido de Cu, Cr y As en madera que ya fue preservada y en solución preservante, obtenida de la misma planta de impregnación. Ello permitió comprobar que efectivamente se estaba haciendo uso del preservante CCA tipo C. Pero también se detectó un menor contenido de los óxidos activos, tanto en madera, como en la solución preservante, lo que obliga en muchos casos a una segunda impregnación de la madera, para así alcanzar los niveles de retención requeridos.

Los análisis de TCLP realizados a la madera ya impregnada son categóricos, al entregar valores muy por encima de lo establecido como aceptable. Por lo tanto, es necesario clasificarlo como un **residuo peligroso extrínsecamente**, cuando la madera preservada forma parte de los residuos de construcción, al ser depositados en un determinado sitio de disposición final. (ver Anexo III)

6.2. SUELO DE REFERENCIA - ENSAYO FINAL DE LIXIVIACIÓN

Los parámetros físicos y químicos conocidos, previo al ensayo, predicen en cierta medida el comportamiento que este suelo de referencia puede tener frente a la presencia de los metales en estudio. Ello se debe principalmente al mayor contenido de arcilla (suelo de textura Migajón), casi 4 veces mayor que el suelo arenoso anteriormente analizado, de este modo se espera que este suelo retenga una mayor cantidad de metales.

Lo anterior se comprueba con la medida del porcentaje de saturación de agua, cuyo valor, de 37,04%, es mayor que el del suelo contaminado, de 23,17%, dificultando así el paso del líquido hacia una mayor profundidad. De este modo estamos frente a un suelo que soportaría mejor un evento de derrame de solución preservante que un suelo de tipo arenoso.

A esto hay que agregar que el suelo de referencia posee una mayor cantidad de microporos (poros de aireación), al contrario del común de los suelos de las plantas impregnadoras, cuyo espacio poroso está compuesto en gran medida de macroporos (poros de drenaje).

En cuanto al pH (7,1), este corresponde al común de los suelos, vale decir pH intermedios, lo que es positivo para el estudio. Recordemos que los mayores niveles de solubilidad se producen a pH extremos.

La medida de Conductividad Eléctrica (0,13 dS/cm) es un valor indicativo de la ausencia de una cantidad significativa de sales, al contrario de lo ocurrido en el suelo contaminado el valor obtenido está muy por debajo de lo registrado para el suelo de la planta de impregnación (1,085 dS/cm).

Por otra parte, el mayor contenido de materia orgánica presente en este tipo de suelo, aproximadamente el doble, permitiría retener una fracción importante de metales en su matriz, ya sea acomplejándolos o formando quelatos.

El ensayo de lixiviación realizado, permite estimar en primer lugar, la **gran cantidad de elementos activos que pierde la madera con un lavado excesivo, simulando lluvia**. De acuerdo a los resultados, se tiene un **gran porcentaje de pérdida, 25% para Cobre, 32% para Cromo y 36% para arsénico**, lo cual es bastante alto, si consideramos que este tipo de madera se utiliza principalmente en la zona sur del país, donde los niveles de lluvia son notablemente mayores que los registrados en la Región Metropolitana. Desde el punto de vista ambiental, se tiene que los niveles encontrados son menores que para el otro tipo de suelo, pero ello puede atribuirse al menor tiempo que estuvieron expuestos a estas sustancias. El grado de contaminación es mucho menor. Sin embargo, la liberación de metales es mucho menor que en un suelo tipo arenoso, en ningún caso se supera el valor límite establecido de 5,0 mg/L para Cu y Cr.

Para el caso del cobre, se tiene que en las tres situaciones se supera el valor mínimo de concentración, vale decir VIE – A, pero ello es debido fundamentalmente al contenido propio del suelo, ya que el nivel encontrado para el suelo blanco es considerablemente alto, y muy cercano al valor medio VIE – B. En todo caso, el suelo contaminado por una carga de solución preservante presenta niveles mucho mayores. Tanto en el ensayo de carga de madera como de carga de solución los niveles son mayores que en el ensayo blanco de suelo.

Para cromo, tanto el suelo blanco como el suelo con carga de madera presentan niveles muy bajos del elemento en estudio, incluso muy por debajo de nivel mínimo aceptable VIE – A. Para el ensayo carga de solución preservante se tiene que

se supera el valor mínimo de contaminación, pese a ello, estamos aún muy por debajo del nivel medio VIE – B. Cabe hacer notar que el contenido en este caso es mucho mayor a los otros dos ensayos.

La situación de cuidado está dada por el arsénico, cuyos niveles registrados están muy cercanos al estándar mínimo VIE – A, para el caso del blanco de suelo y el ensayo carga de madera. Lo contrario ocurre para el ensayo carga de preservante, cuyos valores sobrepasan incluso el estándar máximo permitido VIE – C, por sobre el cual se deben tomar medidas inmediatas que minimicen el efecto tóxico de este metal, que pone en peligro el normal funcionamiento de los ecosistemas existentes en él.

El ensayo de extracción secuencial de metales pesados, comprueba el comportamiento predicho, basado en las características fisicoquímicas previamente analizadas para el suelo de referencia. Se establece de este modo la gran capacidad de retención de metales por parte de la fracción arcillosa y materia orgánica presente. Esto es muy positivo para el suelo, en una eventual situación de contaminación, ya que limita la movilidad de éstos metales. (ver figuras 22 y 23). Por otra parte el pH, como ya se mencionó, de características neutra, también impide una mayor movilidad de estas sustancias, las cuales presentan su mayor solubilidad a pH ácido, para el Cu y Cr, y a pH alcalino para As.

Todas estas variables deben ser consideradas al momento de la construcción de un planta impregnadora, ya que no basta con una **carpeta de protección**, que generalmente esta ubicada por debajo del equipo autoclave, sino que además el suelo de los alrededores del equipo y principalmente donde se almacena la madera debe tener ciertas cualidades que soporten la presencia de sustancias peligrosas cuando la madera “sangra” o lixivía metales al momento de ser secada al ambiente.

7. CONCLUSIONES

El estudio realizado contempló cuatro etapas; 1 Análisis Bibliográfico, 2 Toma de Muestra, 3 Análisis Químico en Laboratorio y 4 Análisis de Resultados. Estos fueron llevados a cabo en los laboratorios de CESMEC Ltda. De ellos se desprende que:

- Los suelos obtenidos de la planta de impregnación estudiada, dan cuenta de los altísimos niveles de concentración existentes y que ponen en riesgo el normal desarrollo de los ecosistemas que se ven afectados directa e indirectamente, y por lo tanto la salud de la población. Todo ello, basado en la norma holandesa para suelo IHOBE – 1994.
- El caso crítico puntual, es para el arsénico, cuyos niveles obtenidos, sobrepasan incluso el nivel más alto de tolerancia establecido por la norma VIE - C.
- Los parámetros complementarios, como pH, CE y materia orgánica, entre otros, revelan la vulnerabilidad del suelo en estudio, y la facilidad con que la solución preservante, cuando es vertida sobre el suelo, puede eventualmente, llegar hacia estratos inferiores del cuerpo receptor.
- El test TCLP realizado al suelo contaminado, nos muestra que existe lixiviación de los metales pesados (Cu, Cr y As), pero en ningún caso se supera el Límite Máximo Permisible (EPA 1311). Este ensayo es de importancia, ya que en caso de una limpieza del suelo, el material extraído se considera como un residuo sólido, por lo cual se aplica el test TCLP.

- Para la madera y la solución preservante, los análisis establecen que la proporción de óxidos existentes es menor a la esperada, tanto en el preservante como en la madera impregnada. (NCh 763/2 Of.1996 – NCh 1260/Of.77). Esto obliga, necesariamente, a una segunda impregnación para llegar a los niveles requeridos para la retención, con un mayor uso de preservante y una mayor liberación al suelo.

- Los análisis de TCLP realizados a la madera, dan cuenta del **carácter de residuo peligroso**, debido a los niveles encontrados, prácticamente todos superan el Límite Máximo Permitido. Por ello, no puede ser dispuesto en lugares de acopio de basura, ya que en un evento de lluvia se liberarían al ambiente. (según la resolución N° 5.081/93 del SESMA)

Finalmente, basado en los resultados de los análisis efectuados en los Laboratorios de CESMEC Ltda. se vislumbra una posible solución al problema planteado que minimiza el efecto tóxico de los tres metales analizados, al respecto los suelos que presentan una mayor capacidad de retener los metales pesados, dificultando su movilidad y evitar así la contaminación de las aguas serán aquellos que presenten:

- a. **Textura arcillosa;** Muy adecuada desde el punto de vista químico (alta capacidad de fijación de metales), con una impermeabilidad alta. Pero no deben ser suelos muy arcillosos, pues éstos suelos en períodos secos tenderán a formar grietas en su superficie (sobre todo si son pobres en materia orgánica) por los que puede penetrar fácilmente la contaminación. Se recomienda un suelo de clase textural Migajón Arcilloso.

- b. **Mal drenaje;** Suelos impermeables. Para evitar que los contaminantes puedan atravesar rápidamente el suelo.

- c. **Alta capacidad de retención de agua;** Directamente asociado a la retención de soluciones líquidas en un eventual derrame de preservante.

- d. **pH neutro;** Como se demostró la mayor liberación de las formas más solubles de los metales se obtienen a pH extremos. Ambiente fuertemente ácido para Cu y Cr, y ambiente muy básico para As.

- e. **Adecuado contenido de Materia Orgánica;** Ya que esta tiene una capacidad de fijación incluso más alta que la de las arcillas, quedando los metales pesados en posición no disponible para las plantas. Al mismo tiempo, la presencia de microorganismos es muy importante para la degradación de los contaminantes.

El estudio demuestra, la necesidad inmediata de una política ambiental al sector forestal / maderero, a fin de proteger nuestro medio ambiente nacional y la salud de la población en general.

8. BIBLIOGRAFÍA

En Revista:

- ~ Boletín de Exportaciones Forestales. Área de Estudios Económicos y del Ambiente, INFOR, Abril 2003.
- ~ Boletín de Exportaciones Forestales. Área de Estudios Económicos y del Ambiente, INFOR. EE.UU. – Chile/TLC Abre una Nueva Etapa en el Comercio Bilateral, Septiembre 2002.
- ~ Boletín de Exportaciones Forestales. Extracto; Exportaciones Forestales según Producto, INFOR, Diciembre 2000.
- ~ Requerimientos de Calidad Ambiental, Barreras no Arancelarias para el Productor Nacional, PROCHILE, 2002.
- ~ Medio Ambiente y competitividad, El caso del sector exportador chileno, Instituto Alemán de Desarrollo, 1994.
- ~ Diagnostico del impacto de posibles restricciones ambientales sobre el sector exportador chileno, Universidad de Concepción. Centro EULA-Chile. Enero, 1995.
- ~ IMPREGNA S.A. Los 90 años de la madera de impregnación en España: 1909-1999. Revista Protecma, nº 7; 1er trimestre, 2000.
- ~ Informe Comercial – DIRECON – para el período 1998 - 2001.
- ~ Revista Montes, diversos artículos, correspondientes al período 1877 a 1920.
- ~ LOPEZ DE ROMA, A. & COCKCROFT, R. Wood preservation in Spain. STU Information, nr. 373. Estocolmo, 1983.

En Libros y Normativa Nacional:

- ~ José A. Prado D.; Santiago Barros A.; Juan José Aguirre A. La madera y sus Aplicaciones. Antecedentes sobre Propiedades y Utilización de la Madera, capítulo IX, 2^{da} Edición, 1996.
- ~ Ficha técnica de Equipos e Instrumentos – Sistema de Confirmación Metrológica. División Análisis Químico – Minerales y Metales. 1991-2004.
- ~ Instructivos y Guías de Métodos Analíticos:
 - Determinación de CE en Muestras de Suelo. (ICE-131/203-093)
 - Determinación de pH en Muestras de Suelo. (ICE-131/203-092)
 - Determinación del Contenido de Materia Orgánica en Muestras de Suelo. (ICE-131/203-091)
 - Digestión Ácida de Muestras de Suelo, Sedimentos y Lodos. (ICE-131/203-094)
 - Guía de Laboratorio, Contaminación de Suelos. Extracción por Fraccionamiento Secuencial de metales pesados, Sylvia C. Universidad de Chile, 2002.
 - Guía de Laboratorio, Química de Suelos. Análisis Textural de Suelos; Velocidad de Sedimentación de Suelos; Densidad Real y Aparente en Suelos; Porcentaje de Humedad y de Saturación de Agua en Suelos; Determinación del Porcentaje de Espacio Poroso, Marcia C. Universidad de Chile, 2001.
 - Método 3.I, Comisión de Normalización y Acreditación – Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo. Suspensión y Determinación Potenciométrica, 1998.
 - Método 3050 B, Acid Digestión of Sediments, Sludges and Soild, Test Methods for Evaluating Solid Waste, SW – 846, 1996.
 - Método 7000 A, Atomic Absorption Methods, Test Methods for Evaluating Solid Waste, SW – 846, 1992.

- Método 7061 A, Arsenic (Atomic Absorption, Gaseous Hydride), Test Methods for Evaluating Solid Waste, SW -846, Revision 1, 1992.
- Método 9060 A. Total Organic Carbon, Test Methods for Evaluating Solid Waste, SW 846, 1986.
- Norma Chilena 763/2. Método Estándar de Madera Tratada y Soluciones de Tratamiento Mediante Espectrofotometría de Absorción Atómica, 1996.
- Preparación de Muestras de Suelo para el Análisis Físicoquímico. (ICE-131/203-090)
- Proceso de Lixiviación Característico de Toxicidad TCLP. (ICE-131/203-095)
- ~ Reglamento Sanitario sobre el Manejo de Residuos Peligrosos. Extracto, Disposiciones Generales de Residuos Industriales Sólidos, 1993.
- ~ Manual de Procesos y Aseguramiento de Calidad, IHOBE. Estándares Holandeses de Concentración de Contaminantes en Suelos, 1998.
- ~ Manual del Grupo Andino; the 2º New Zealand Symposium, 1999.
- ~ Norma Chilena 1260/Of. 78. Preservantes; Cromo, Cobre y Arsénico, CCA – Requisitos y Clasificación.
- ~ Norma Chilena 1320. Madera – Preservación – Requisitos de la Madera Preservada.
- ~ Norma Chilena 173/Of. 49. Términos en Relación con Maderas.
- ~ Norma Chilena 176/Of. 84. Madera Parte 1: Determinación de Humedad, primera Edición 1984.
- ~ Norma Chilena 630/Of. 73. Madera – Preservación – Terminología.
- ~ Norma Chilena 786/Of. 71. Madera – Preservación – Clasificación de los Preservadores.

- ~ Norma Chilena 790/Of. 71. Madera – Preservación – Composición de los Preservadores de Madera, primera Edición 1971.
- ~ Norma Chilena 819 – Madera Preservada – Clasificación y Requisitos, segunda Edición 1985.
- ~ Resolución N° 5.081/93. Servicio de Salud Metropolitano del Ambiente, Información Relativa a Residuos Industriales Sólidos.
- ~ RODRIGUEZ BARREAL, J.A. Patología de la madera. Ed. Mundiprensa y Fundación Conde del Valle de Salazar. Madrid, 1988.
- ~ Lorenzo Chichón, Especiación de Metales Pesados en Lodos de Aguas Residuales de Origen Urbano y Aplicación de Lodos Digeridos como Mejoradores de Suelo, Ingeniería Ambiental de la Universidad de Málaga, 1995)
- ~ Alonso I, Pérez A. & Moreno A. Retención de Zn, Cd, Cu y Cr después del proceso de adsorción-desorción, Sociedad Española de la Ciencia del Suelo, 1997.
- ~ Servicio Agrícola y Ganadero, SAG, Manual de Toxicología, 4^{ta} Edición, 1990.
- ~ Sitio Web, <http://es.epa.gov/edca/ag/forestry.html>
- ~ Sitio Web, conama.cl, Disposición de residuos Sólidos.
- ~ Sitio Web, eructonline.ar.com. “Diversas Noticias Ambientales”. Sitio especializado en el área de residuos.
- ~ Sitio Web, <http://ccfb.cornell.edu/BDPdatabase.html>

ANEXO I

RESUMEN DE MÉTODOS ANALÍTICOS

Guía 1: PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS DE SUELO PARA EL ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

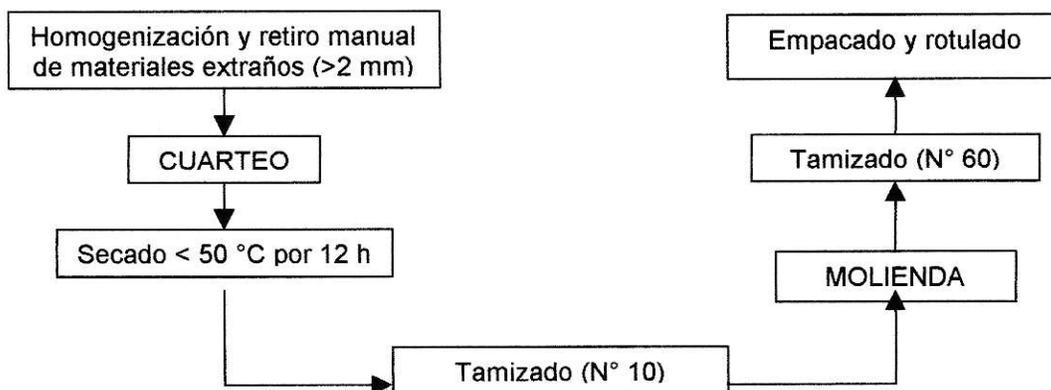
Código Interno Cesmec: ICE-131/203-090.

Materiales:

- Estufa con ventilación forzada y control termostático de temperatura.
- Mortero de oxido de fierro o circonio.
- Molino de agitación mecánica.
- Molino de agitación mecánica.
- Tamices; N° 10 (2 mm), N° 60 (25° μ m).
- Balanza Analítica, con precisión de 1,0 g.
- Lámina de polietileno desechable, de aproximadamente 1 m².
- Bandeja de aluminio de 11x16 cm o similar.
- Bolsitas de polietileno.

Procedimiento:

Flujograma del proceso de preparación de muestras de suelo.



Guía 2: DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA EN MUESTRAS DE SUELO.

Código Interno Cesmec: ICE-131/203-091.

Materiales:

- Matraces erlenmeyer, 250 mL.
- Balanza Analítica. Capaz de medir pesos de 0.01 g.
- Bureta.
- Agitador magnético.

Reactivos:

- Dicromato potásico 1N. Disolver 49,05 g de $K_2Cr_2O_7$ en agua y aforar a 1 Litro.
- Ácido sulfúrico concentrado 96%.
- Ácido fosfórico concentrado 85%.
- Difenilamina en solución sulfúrica. Disolver 0,5 g de Difenilamina en 20 mL de agua y añadir 100 mL de ácido sulfúrico concentrado.
- Sulfato de Hierro II (sal de Mhor) 0,5 N. Disolver 196,1 g de $(SO_4)_2Fe(NH_4)_2 \cdot 6H_2O$ en 800 mL de agua destilada que contenga 20 mL de ácido sulfúrico concentrado, diluyendo con agua hasta un Litro. Normalizar esta solución cada vez que se emplee, valorándola con 10 mL de solución de Dicromato potásico 1 N, siguiendo el mismo procedimiento descrito para las muestras.

Procedimiento:

- Pesar entre 0,2 y 1 g de muestra de suelo seco, homogenizado y tamizado por malla N° 60 (250 μm). La cantidad de muestra pesada dependerá del contenido de materia orgánica estimado en función de su aspecto (si tiene mucha materia orgánica, se ha de pesar una cantidad pequeña de suelo, y viceversa)
- Se añaden 10 mL de solución de Dicromato potásico 1N, dando un movimiento de giro al matraz para asegurar una mezcla íntima con el suelo.

- Agregar bajo campana 20 mL de ácido sulfúrico concentrado, lentamente y agitando para que la efervescencia no sea violenta.
- Dejar la mezcla en reposo durante 30 minutos.
- Detener la reacción añadiendo sobre la mezcla 100 mL de agua destilada y posteriormente 10 mL de ácido fosfórico concentrado.
- Se añaden 6 o 7 gotas del indicador y se valora con la sal de Mhor, la coloración vira del rojo burdeos a verde brillante, pasando por tonos azul violáceos.

Cálculos:

El contenido de materia orgánica, expresando en porcentaje sobre muestra seca, se calcula mediante la fórmula:

$$M.O = \frac{0,003 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot (m - m') \cdot 100\%}{P}$$

Donde:

m miliequivalentes de dicromato potásico añadidos (10 mL x 1N)

m' miliequivalentes de sal de Mhor consumidos.

P peso de la muestra seca en g.

K₁ 1,72 (constante correspondiente al contenido al contenido medio de carbono en la materia orgánica).

K₂ 1,29 (constante de recuperación del método utilizado para la oxidación en frío con dicromato potásico).

Guía 3: DETERMINACIÓN DEL pH EN MUESTRAS DE SUELO.

Código Interno Cesmec: ICE-131/203-092.

Materiales:

- Agitador magnético u horizontal.
- Vasos de precipitados, 250 mL.
- PH-metro con electrodo combinado de vidrio.
- Brazo universal
- Probeta de 25 mL.
- Agua con una conductividad no mayor de 2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25 °C y ajustada a pH 7.
- Solución tampón de pH 4,00 (20 °C). Disolver 10,21 g de biftalato potásico secado previamente por 2 hr. a 110 °C, en agua destilada y diluir a 1000 mL.
- Solución tampón de pH 7,00 (20 °C). Disolver 3,800 g de fosfato monopotásico secado previamente por 2 hr. a 110 °C (KH_2PO_4) y 3,415 g de fosfato disódico (Na_2HPO_4) en agua destilada y diluir y diluir a 1000 mL.

Procedimiento:

- Medir con la probeta una porción representativa de 5 mL de la muestra seca, molida y tamizada por malla N° 60.
- Colocar la alícuota en un vaso de 250 mL y añadir 95 mL de agua destilada ajustada a pH 7,0.
- Agita la suspensión por medio de agitador magnético u horizontal para mas muestras, por 10 minutos.
- Calibrar el pH-metro según las instrucciones del fabricante, esto es, sumergiendo en electrodo en la solución tampón pH 4,0 y luego en la solución tampón pH 7,0.
- Inmediatamente luego de agitar la muestra, medir el pH de la solución sujetando el electrodo con el brazo, de manera que éste no se mueva, tomar la lectura cuando se alcance la estabilidad.

Guía 4: DETERMINACIÓN DE CE EN MUESTRAS DE SUELO.

Código Interno Cesmec: ICE-131/203-093.

Materiales:

- Agua destilada
- Alcohol Etilico (para lavar los electrodos de pipeta)
- Brazo universal
- Para la calibración del conductivímetro, utilizar la KCl 0,0001 N con una conductividad establecida entre 13 a 16 $\mu\text{S}/\text{cm}$
- Conductivímetro
- Filtro a Presión
- Vasos de 50 mL.
- Papel de filtro (whatman 42)
- Vasijas plásticas
- Varillas

Procedimiento:

- Se prepara previamente una pasta de saturación con aproximadamente 100 g de suelo.
- Luego esta pasta es filtrada por vacío, descartar la fase sólida.
- Leer directamente la conductividad sumergiendo el electrodo en la solución recién filtrada.

Guía 5: DIGESTIÓN ÁCIDA DE MUESTRAS DE SUELO, SEDIMENTOS Y LODOS.

Código Interno Cesmec: ICE-131/203-094.

Al, Sb, Ba, Cd, Ca, Cr, Co, Cu, Fe, Pb, V, Mg, Mn, Mo, Ni, K, Na, Tl, Zn

Materiales:

- Vasos de precipitado de 250 mL, lavados con agua regia.
- Equipo de recuperación de vapores. Puede ser un dispositivo de reflujo o bien un vidrio de reloj.
- Dispositivo de medición de temperatura capaz de medir al menos 125 °C con notable precisión y exactitud. Por ejemplo; termómetro, sensor IR, termocupla, etc.
- Papel filtro, Whatman N° 41 o equivalente.
- Balanza analítica. Capaz de medir pesos de 0,01 g.
- Fuente de calor ajustable capaz de mantener una temperatura de 90 a 95 °C (por ejemplo; plancha, digestor de bloque, etc).
- Embudo o equivalente.
- Dispositivo de medición volumétrica.
- Matraz erlenmeyer de 100 mL, lavados con agua regia.

Reactivos:

- Agua destilada. Otorgará menor interferencia.
- Ácido nítrico concentrado, HNO₃.
- Ácido clorhídrico concentrado, HCl
- Peróxido de hidrógeno, al 30%, H₂O₂.

Procedimiento:

- Pesar 1 a 2 g de muestra en base natural o 1 g de muestra seca, homogenizada, molida y tamizada por malla N° 60 (250 μm).
- Preparar un blanco de reactivos.
- Agregar 10 mL de HNO_3 1:1, asegurando la mezcla con la muestra, cubrir con vidrio de reloj y calentar a $95\text{ }^\circ\text{C} \pm 5\text{ }^\circ\text{C}$ a baño maría, para reflejar por 10 a 15 minutos.
- Dejar que la muestra se enfríe y añadir 5 mL de HNO_3 concentrado, colocar el vidrio de reloj y reflejar con temperatura por 15 minutos.
- Repetir este paso (adición de 5 mL de HNO_3) una y otra vez hasta que no se aprecien los vapores café, lo que indica que la muestra ha reaccionado completamente con el HNO_3 .
- Dejar evaporar la solución semicubierta con vidrio de reloj a $95\text{ }^\circ\text{C} \pm 5\text{ }^\circ\text{C}$ hasta aproximadamente 5 mL.
- Una vez que la muestra se ha enfriado añadir 2 mL de agua y 3 mL de H_2O_2 al 30%. Cubrir con el vidrio de reloj y llevarlo a la fuente de calor para comenzar la reacción del peróxido. Asegurar que no ocurran pérdidas debido a una vigorosa efervescencia y enfriar el vaso.
- Continuar añadiendo H_2O_2 al 30% en alícuotas de 1 mL sin calor cubriendo con el vidrio de reloj, hasta que la efervescencia sea mínima o hasta que la muestra se mantenga inalterada. No agregar más de 10 mL de peróxido.
- Continuar calentando a $95\text{ }^\circ\text{C} \pm 5\text{ }^\circ\text{C}$ la digestión peroxiácida hasta que el volumen sea reducido a 5 mL, manteniendo la solución semicubierta.
- Agregar 10 mL de HCl concentrado al vaso y cubrir con vidrio de reloj. Colocar la muestra sobre la fuente de calor y reflujar por 15 minutos a $95\text{ }^\circ\text{C} \pm 5\text{ }^\circ\text{C}$.
- Pasar la solución por un papel filtro N° 5^a (o equivalente) recolectando el filtrado en un matraz aforado de 100 mL, aforar con agua desmineralizada y analizar por Espectrofotometría de Absorción Atómica.
- **Para la generación de hidruros (cuantificación de arsénicos bajos), se toman 5 mL de la solución anterior y se agregan 5 mL de KI ascórbico y 10 mL de HCl conc. Se aforan a 25 mL y se analiza por Espectrofotometría de Absorción Atómica acoplado a un equipo generador de hidruros.**

Guía 6: PROCESO DE LIXIVIACIÓN CARACTERÍSTICO DE TOXICIDAD TCLP

Código Interno Cesmec: ICE-131/203-095.

Materiales:

- Matraces aforados de 25 mL (previamente lavados con agua regia)
- Matraces aforados de 100 y 500 mL.
- Frascos Duran Shott.
- Vasos de precipitado de 250 mL (previamente lavados con agua regia).
- Plancha calefactora.
- Micropipeta (200 a 1000 μ L)
- Pipetas aforadas de 5 y 50 mL.
- Vidrios de reloj.
- Tubos de ensayo (previamente lavados con ácido nítrico)

Reactivos:

- Ácido clorhídrico concentrado.
- Ácido sulfúrico concentrado.
- Ácido nítrico concentrado.
- Ioduro de potasio (KI)
- Ácido ascórbico.
- Solución KI ascórbico: pesar 50 g de KI y diluir en 100 mL de solución saturada de ácido ascórbico. Transferir a matraz de 100 mL. Enrasar.
- NaOH 1 N.
- Ácido acético.

Procedimiento:

- Se pesan 5 g de la muestra en un vaso de precipitado de 250 mL y se le mide pH (procedimiento para la medición de pH).
- Si el pH es menor que 5,0, se utiliza líquido de extracción (1) y si fuera mayor que 5,0 se le agregan 3,5 mL de HCl 1N y se calienta por 5 minutos en la plancha. Se enfría la muestra y se mide el pH, si aún esta alto se utiliza el líquido de extracción (2).

- Se pasan en frascos Duran Shoot 20 g de muestra y se le agregan 400 mL del líquido de extracción correspondiente y se lixivian por 18 horas.
- Se saca la muestra y se filtra con papel N° 5ª y se recibe en frascos.
- Se toma una alícuota de 50 mL de la muestra y se agregan a vasos de 250 mL lavados con agua regia y se atacan con 15 mL de HNO₃ concentrado, se ponen en la plancha y se bajan a 5 mL aproximadamente.
- Se le agregan 5 mL de HCl concentrado, se afora en 25 mL y se pasan a tubos lavados con HNO₃. La muestra ahora esta apta para la lectura por Espectrofotometría de Absorción Atómica.

Preparación Líquido Extracción (1):

En un matraz de 2 L, se agregan 128,6 mL de NaOH 1N + 11,4 mL de ácido acético y se afora con agua destilada.

Preparación Líquido Extracción (2):

En un matraz de 2 L, se agregan 11,4 mL de ácido acético y se afora con agua destilada.

Un residuo es peligroso si el lixiviado del test TCLP contiene alguno de los constituyentes tóxicos indicados en la normativa sobre residuos peligrosos, en concentraciones que igualen o superen los valores máximos permisibles señalados en la misma normativa.

Niveles máximos permisibles para ensayo de TCLP

Elemento	Nivel Máximo Permissible (mg/L)	Método EPA
Ag	5,0	7760 A
As	5,0	7062
Ba	100,0	7080 A
Cd	1,0	7130
Cr	5,0	7190
Hg	0,2	7470 A (Líquidos)
		7471 A (Sólidos y Semisólidos)
Pb	5,0	7420
Se	1,0	7742

Guía 7: DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE Y REAL EN SUELOS

Universidad de Chile, Química de Suelos / Química Ambiental

Materiales:

- Probeta graduada de 100 mL.
- Vasos de precipitado de 600 mL
- Varilla de vidrio.
- Agua desmineralizada.
- Cedazo de malla 20.

Procedimiento:

a. Determinación de la Densidad Aparente

- Pesar una probeta graduada de 100 mL y llenarla con suelo compactado.
- Agregar un poco cada vez apretándolo con suavidad, golpeando ligeramente la probeta contra la superficie de un libro. Ajustar el volumen final a 100 mL y pesar la probeta llena.
- Pesar un vaso de precipitado, colocar en él aproximadamente la mitad del suelo y pesarlo de nuevo; acto seguido, secar el suelo en la estufa. Anotar el resultado. (en experiencia siguiente se usa la otra mitad del suelo)

$$\text{Densidad Aparente (g/mL)} = \frac{\text{(peso suelo seco a 105°C)}}{\text{(Volumen de suelo seco a 105°C)}}$$

b. Determinación de la densidad real

- Vierta 50 mL de agua en un probeta graduada de 100 mL, lentamente vacíe en él la mitad del suelo anterior.
- Agitar la probeta con objeto de eliminar las burbujas de aire. Espere 5 minutos y anote el volumen final de la mezcla de agua y suelo. Anote el resultado. Calcule el porcentaje de espacio poroso.

$$\text{Densidad Real (g/mL)} = \frac{\text{(peso suelo seco a 105°C)}}{\text{(volumen total de agua + suelo)}}$$

Guía 8: DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN Y TEXTURA DE LAS PARTÍCULAS DE SUELO

Universidad de Chile, Química de Suelos / Química Ambiental

Materiales:

- Los de uso habitual en el laboratorio, y además:
- Tamiz de 2 mm.
- Cronómetro, de 10 mS

Reactivos:

- Agua desmineralizada.
- Oxalato de sodio saturado.

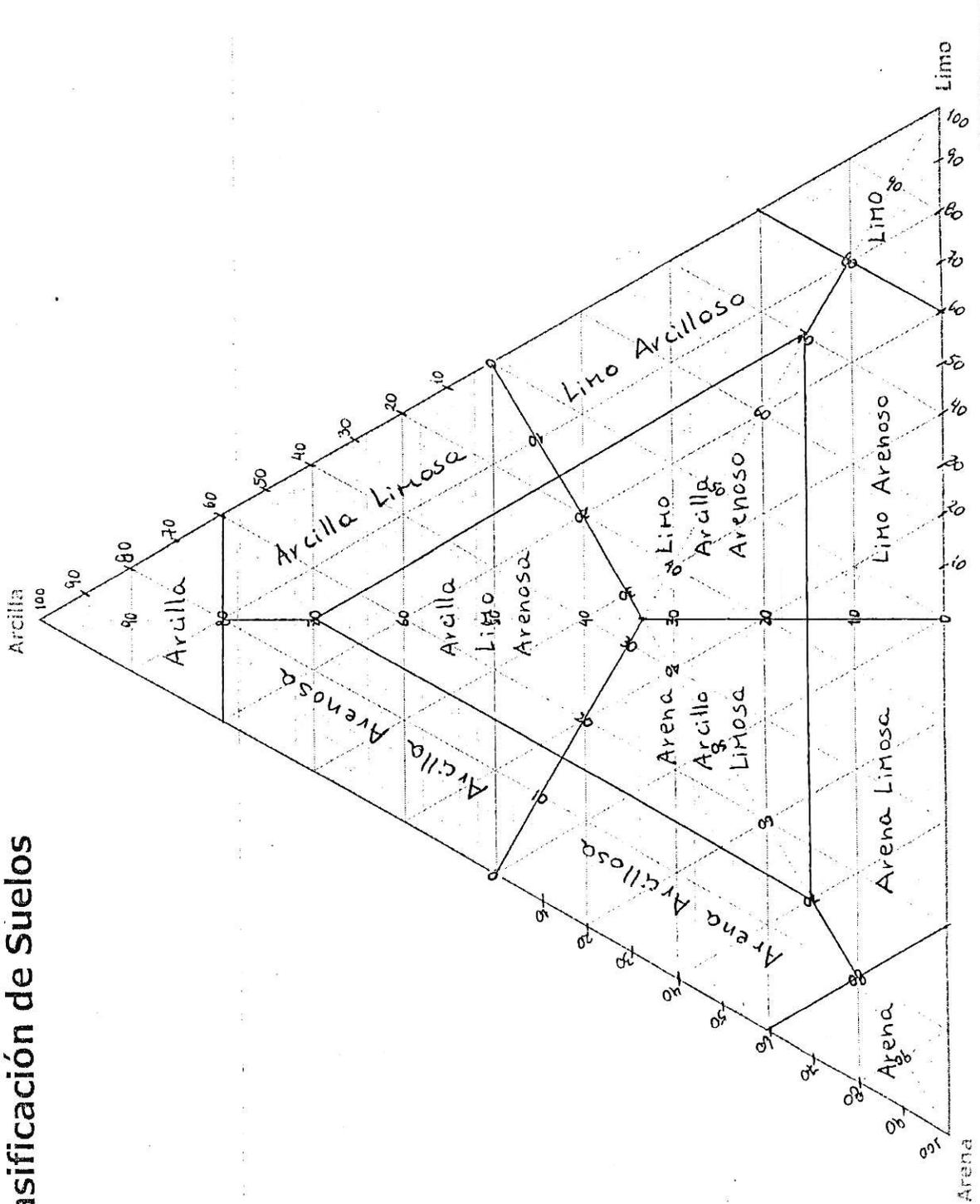
Procedimiento:

- Tomar unos 160 g de suelo y pasarlos por un tamiz de 2 mm.
- Pesar una muestra de suelo de 100 g y otra de 50 g. Colocar la segunda muestra en un vaso de precipitado tarado y secar en una estufa a 105 – 110 °C por 24 hrs.
- Colocar la primera muestra en un vaso de dispersión. Agregar unos 100 mL de agua destilada y agitar hasta formar una suspensión. Agregar 30 mL de oxalato de sodio saturado y agitar manualmente hasta que todo quede bien mezclado.
- Transferir la suspensión a la probeta de sedimentación y cubrir con agua hasta 1000 mL.
- Medir la temperatura de la suspensión y determinar la velocidad de sedimentación mediante la figura adjunta.
- Invertir la probeta varias veces, agitar y colocarla en el mesón y registrar de inmediato el tiempo (hora, minuto, segundos).
- 36 segundos después extraer una muestra a los 10 cm de profundidad insertando una pipeta en la suspensión y tomar una muestra de 25 mL.
- Colocar esta muestra en un vaso tarado y secar la muestra en un estufa a 110 °C durante 24 hrs. Pesar la muestra y multiplicar por 40 (1000/25), enseguida restar 1 g debido al agente dispersante. Registra el resultado como:

Peso del limo + arcilla en la muestra

- Repetir los pasos 5, 7 y 8 para determinar la cantidad de arcilla en la muestra. Luego de 2 h; tomar una muestra a la profundidad de 3 cm y colocarla en un vaso tarado para ser secada y pesarla luego de 24 h.
- Calcular el porcentaje de arena, limo y arcilla de la muestra y determinar la textura del suelo mediante el triángulo de la siguiente figura.

Clasificación de Suelos



Guía 9: DETERMINACIÓN DEL % DE HUMEDAD Y SATURACIÓN DE AGUA

Universidad de Chile, Química de Suelos/ Química Ambiental

Materiales:

- Tamiz de 2 mm.
- Balanza con precisión de 0,0001 g.
- Estufa de secado, capaz de alcanzar al menos los 500 °C.
- Placas de secado.
- Vasos de precipitado de 250 mL.
- Varilla de agitación.

1. Determinación de Humedad

- Pesar 20 g de suelo previamente pasado por cedazo, con exactitud de 0,0001 g y colocarla en un placa de secado.
- Secar la muestra a 105 °C, por 24 horas.
- Registrar peso de la muestra, tanto al inicio como al final de la operación de secado.
- La humedad, en porcentaje se define como:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(\text{peso muestra húmeda} - \text{peso muestra seca}) \times 100}{\text{Peso muestra húmeda}}$$

2. Determinación del Porcentaje (%) de Saturación de Agua

- Preparar una pasta saturada con 100 g de suelo húmedo.
- Llevar 20 g de esta pasta a la estufa de secado.
- Secar la muestra a 105 °C por 24 horas.
- La pérdida de peso corresponde al porcentaje de saturación de humedad del suelo.

$$\% \text{ Saturación} = (\text{Peso Húmedo} - \text{Peso Seco}) / \text{Peso Inicial de suelo Saturado}$$

GUÍA 10: MÉTODO ESTÁNDAR DE MADERA TRATADA Y SOLUCIONES DE TRATAMIENTO MEDIANTE ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA

Norma Chilena 763/2. Of 1996.

Materiales y Equipos:

- Equipo de Absorción Atómica.
- No se requieren equipos especiales para la preparación de la muestra, salvo aquellos usados para los análisis químicos regulares.

Reactivos

Durante todo el proceso se deben usar reactivos de grado analítico (p.a.).

- Agua desmineralizada.
- Ácido nítrico concentrado, HNO_3
- Ácido clorhídrico concentrado, HCl
- Ácido clorhídrico 2N.
- Hidróxido de sodio al 20%, NaOH .

Procedimiento preparación de la muestra de madera

- Si el análisis se ejecuta con muestras que tienen diferentes contenidos de humedad, se producirán diferencias significativas en los resultados del análisis, por lo tanto, es decisivo que antes del procesamiento, las muestras se sequen hasta un peso constante.
- Si la muestra no tiene la finura suficiente para pasar un tamiz de 30 mesh, debe molerse en un molino Wiley hasta obtener esta finura.
- Si la muestra pesa menos de 100 g, se debe moler la muestra completa en caso que sea necesario. Si la muestra es de mayor tamaño, reducir por cuarteo conforme a la práctica aceptada hasta obtener un peso conveniente, no menor que 100 g para molienda.
- Si las muestras corresponden a tarugos obtenidos por taladro de incremento (alrededor de 20 tarugos de un diámetro de 5 mm y largo de 15 mm) se pueden digerir sin moler.

- Después de moler, se trata químicamente una muestra de madera para obtener una solución que contenga la concentración adecuada del analito.

Nota: a manera de ejemplo la solución final debe tener concentraciones de los elementos en los siguientes rangos.

Elemento	Rango de concentración (ppm)
Cu	2 – 20
Cr	2 – 20
As	10 – 100

Generalmente se obtiene una solución de concentración adecuada, disolviendo o extrayendo 5 g de madera en 200 mL. Esta solución permite determinar la concentración de arsénico directamente y se deberá hacer una dilución de 10 veces para determinar los niveles de Cu y Cr.

Técnica de dilución

- Introducir 5,000 g de madera en un matraz que contenga 40 mL de HNO₃ concentrado, dejar reposar hasta que la madera se sature y cesen de aparecer humos de color café.
- Calentar agregando 5 mL de HNO₃ de una vez, si es necesario, hasta que cesen los humos de color café y toda la madera se disuelva, excepto un residuo bituminoso. Agregar 20 mL de HCl concentrado y evaporar hasta un volumen aproximado de 20 mL. Diluir con agua destilada hasta 100 mL, filtrar en un matraz volumétrico de 200 mL. Lavar el filtro con HCl 2N y enrasar con el mismo ácido.

Soluciones de tratamiento

Preparar una dilución de las soluciones de tratamiento con HCl 2N dentro del intervalo de soluciones patrón. Usar solución concentrada para As y diluida (1:10), para Cu y Cr.

Normalización

La concentración en el gráfico de conversión se puede graficar como ppm del elemento en las soluciones patrón. No obstante, los elementos se indican como óxidos en los cálculos de AWPA y los siguientes factores se pueden usar para obtener resultados en forma de óxidos:

Multiplicar ppm de Cu por 1,2518 para obtener ppm de CuO.
 ppm de As por 1,5339 para obtener ppm de As₂O₅.
 ppm de Cr por 1,9231 para obtener ppm de CrO₃.

Cálculos

A. Soluciones de tratamiento

Los porcentajes de óxidos en las muestras se calculan como sigue:

$$\% \text{ de Óxido} = \frac{(\text{ppm de óxido}) * (\text{grado dilución}) * (\text{densidad de solución original})}{10000}$$

El *grado de dilución* es el producto de todas las diluciones usadas en la preparación de la muestra

B. Para Muestras de Madera

El óxido en kg/m³ de muestra de madera se determina según:

$$\text{Kg óxido/m}^3 = \frac{\text{ppm de óxido} * \text{grado dilución} * \text{densidad de la madera (g/mL)}}{5000 * \text{peso de muestra (g)}}$$

GUÍA 12: EXTRACCIÓN DE METALES PESADOS POR FRACCIONAMIENTO SECUENCIAL

Universidad de Chile, Contaminación de Suelos / Química Ambiental

Materiales y Equipos

- Equipo de Absorción Atómica.
- Equipo Generador de Hidruros.
- Centrifuga para análisis.
- Equipo de agitación horizontal.
- No se requieren equipos especiales para la preparación de la muestra, salvo aquellos usados para los análisis químicos regulares.

Reactivos

Durante todo el proceso se deben usar reactivos de grado analítico (p.a.). salvo especificaciones contrarias, se contempla que todos los reactivos cumplan con las especificaciones de Committee on Analytical Reagents de la American Chemical Society, cuando pueda disponerse de éstas especificaciones. Se pueden usar otros grados siempre que primero se asegure que el reactivo tiene una pureza suficientemente alta para no afectar la exactitud o la precisión de la determinación.

- Agua desmineralizada.
- Ácido nítrico diluido, HNO_3 4M.
- Hidróxido de sodio en solución, NaOH 0,5 M.
- EDTA en solución, al 50% (p/v)
- Nitrato de potasio en solución, KNO_3 0,5 M

Procedimiento

- Pesar $5,0 \text{ g} \pm 0,001$ de suelo.
- Transferir el suelo a un vaso de precipitado de 250 mL.
- Añadir cada reactivo al vaso, de acuerdo al siguiente esquema:

Solución Extractante	Volumen agregado (mL)	Tiempo de Lixiviación (min)
1. KNO₃ 0,5 M	25,0	48
2. Agua desionizada	25,0	6
3. NaOH 0,5 M	25,0	48
4. EDTA 50%	25,0	18
5. HNO₃ 4,0 M	25,0	48

- Una vez agregado el reactivo correspondiente, la muestra debe ser lixiviada en el agitador horizontal.
- Luego de cada extracción, la solución debe centrifugarse cuidadosamente.
- La fase líquida se afora a 25 mL con la misma solución extractante. Almacenar bajo refrigeración para su posterior lectura por A.A.
- La siguiente extracción se realiza sobre el sólido residual.
- Continuar con la secuencia de extracciones y seguir con el procedimiento de centrifugación y separación de ambas fases, según corresponda.

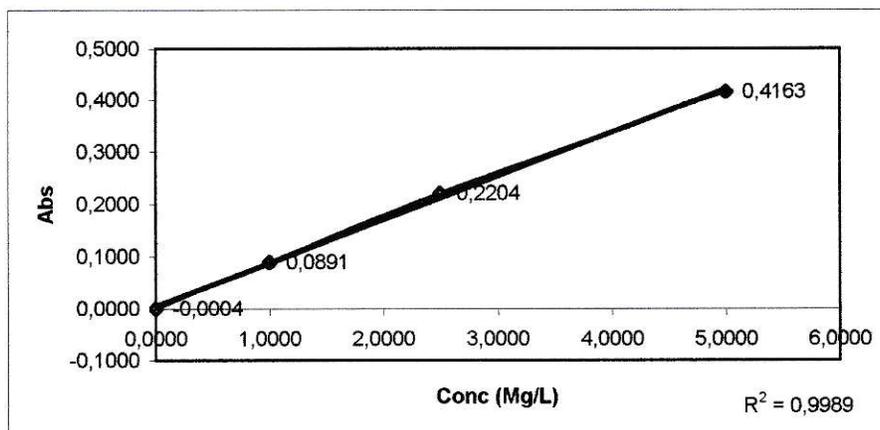
ANEXO II

CURVAS DE CALIBRACIÓN
ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA

DIGESTIÓN ÁCIDA DE MUESTRAS DE SUELO, SEDIMENTOS Y LODOS

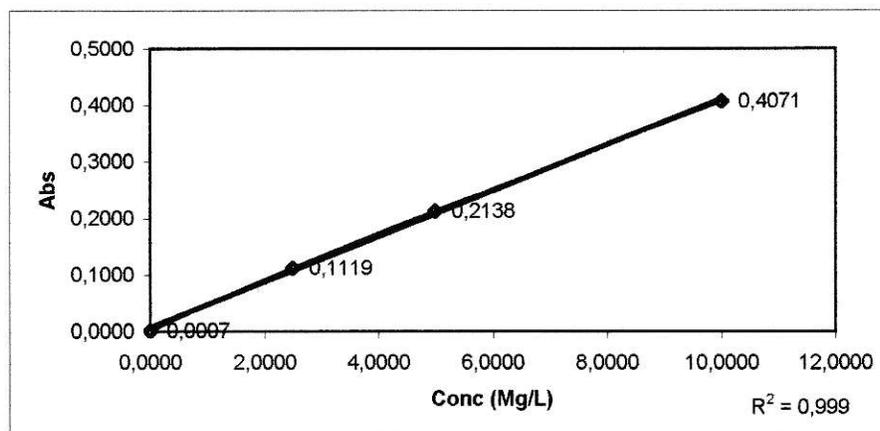
Estandarización para Cu total: Método HCl 10% (Llama)

Muestra ID	Conc. (Mg/L)	Media - Absorbancia	Absorbancias		
CAL ZERO	0.0000	-0.0004	-0.0002	-0.0009	-0.0003
STANDARD 1	1.0000	0.0891	0.0900	0.0893	0.0881
STANDARD 2	2.5000	0.2204	0.2205	0.2199	0.2206
STANDARD 3	5.0000	0.4163	0.4168	0.4168	0.4183



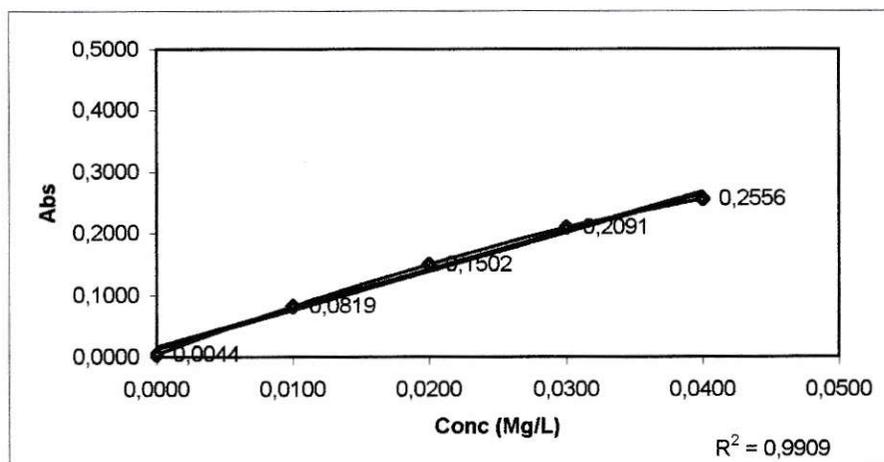
Estandarización para Cr total: Método HCl 10% (Llama)

Muestra ID	Conc. (Mg/L)	Media - Absorbancia	Absorbancias		
CAL ZERO	0.0000	0.0007	0.0009	0.0007	0.0004
STANDARD 1	2.5000	0.1119	0.1116	0.1125	0.1117
STANDARD 2	5.0000	0.2138	0.2138	0.2133	0.2143
STANDARD 3	10.0000	0.4071	0.4057	0.4066	0.4091



Estandarización para As total: Método HCl 20% + KI (Vapor)

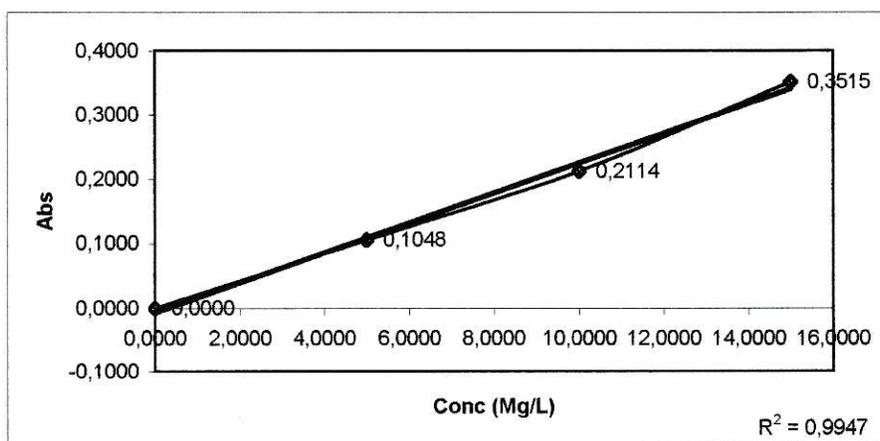
Muestra ID	Conc. (Mg/L)	Media - Absorbancia	Absorbancias		
CAL ZERO	0.0000	0.0044	0.0035	0.0065	0.0030
STANDARD 1	0.0100	0.0819	0.0825	0.0798	0.0835
STANDARD 2	0.0200	0.1532	0.1523	0.1532	0.1541
STANDARD 3	0.0300	0.2091	0.1997	0.2172	0.2104
STANDARD 4	0.0400	0.2556	0.2366	0.2590	0.2711



PROCESO DE LIXIVIACIÓN CARACTERÍSTICO DE TOXICIDAD TCLP

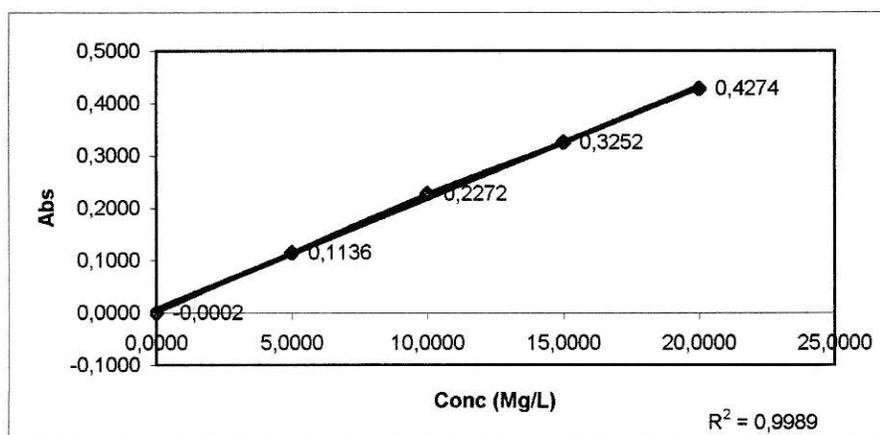
Estandarización para Cu total: Método HCl 10% (Llama)

Muestra ID	Conc. (Mg/L)	Media - Absorbancia	Absorbancias		
CAL ZERO	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0002	0.0002
STANDARD 1	5.000	0.1048	0.1043	0.1048	0.1053
STANDARD 2	10.0000	0.2114	0.2005	0.2030	0.2005
STANDARD 3	15.0000	0.3515	0.4840	0.4776	0.4828



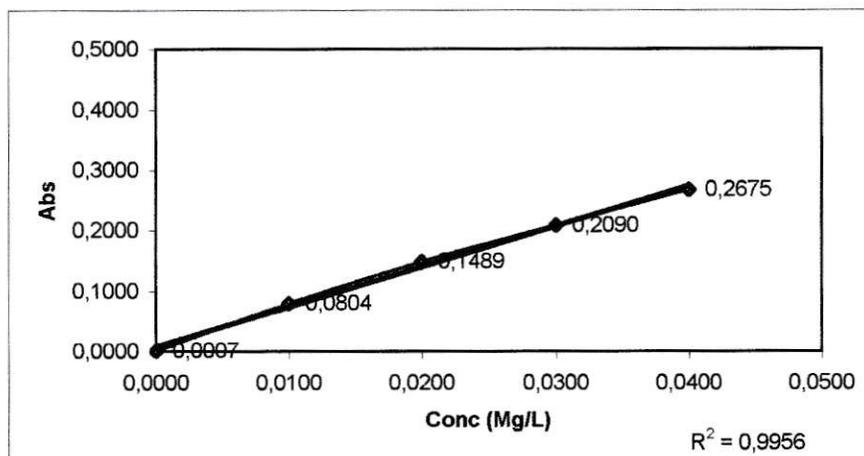
Estandarización para Cr total: Método HCl 10% (Llama)

Muestra ID	Conc. (Mg/L)	Media - Absorbancia	Absorbancias		
CAL ZERO	0.0000	-0.0002	-0.0003	0.0001	-0.0004
STANDARD 1	5.0000	0.1136	0.1118	0.1150	0.1140
STANDARD 2	10.0000	0.2272	0.2270	0.2262	0.2285
STANDARD 3	15.0000	0.3252	0.3232	0.3261	0.3262
STANDARD 4	20.0000	0.4274	0.4391	0.4363	0.4367



Estandarización para As total: Método HCl 20% + KI (Vapor)

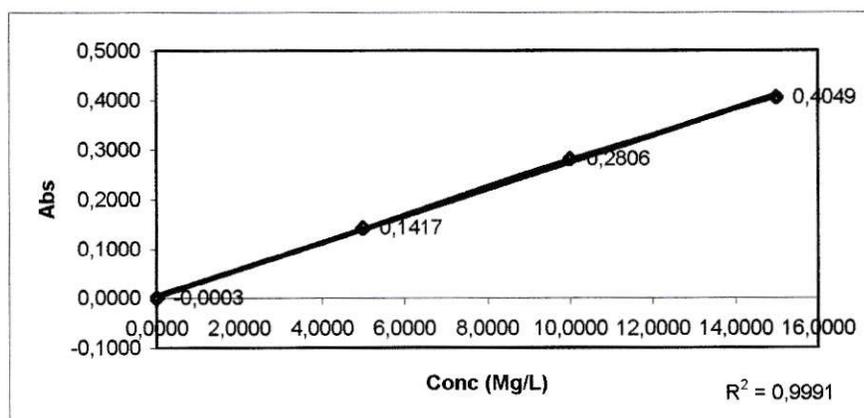
Muestra ID	Conc. (Mg/L)	Media - Absorbancia	Absorbancias		
CAL ZERO	0.0000	0.0007	0.0015	-0.0002	0.0003
STANDARD 1	0.0100	0.0804	0.0805	0.0768	0.0844
STANDARD 2	0.0200	0.1489	0.1523	0.1542	0.1517
STANDARD 3	0.0300	0.2090	0.1996	0.2182	0.2101
STANDARD 4	0.0400	0.2675	0.2381	0.2560	0.2741



ANÁLISIS QUÍMICO DE MUESTRAS DE MADERA Y SOLUCIONES TRATAMIENTO

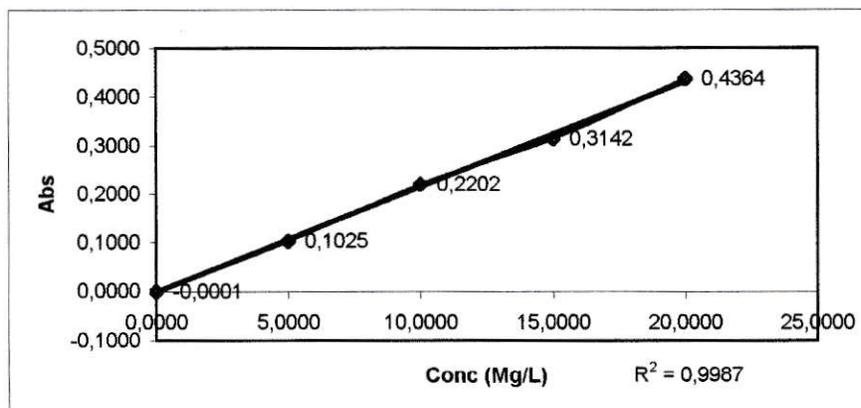
Estandarización para Cu total: Método HCl 10% (Llama)

Muestra ID	Conc. (Mg/L)	Media - Absorbancia	Absorbancias		
CAL ZERO	0.0000	-0.0003	-0.0006	-0.0003	0.0000
STANDARD 1	5.0000	0.1417	0.1412	0.1420	0.1420
STANDARD 2	10.0000	0.2806	0.2806	0.2810	0.2800
STANDARD 3	15.0000	0.4049	0.4069	0.4023	0.4054



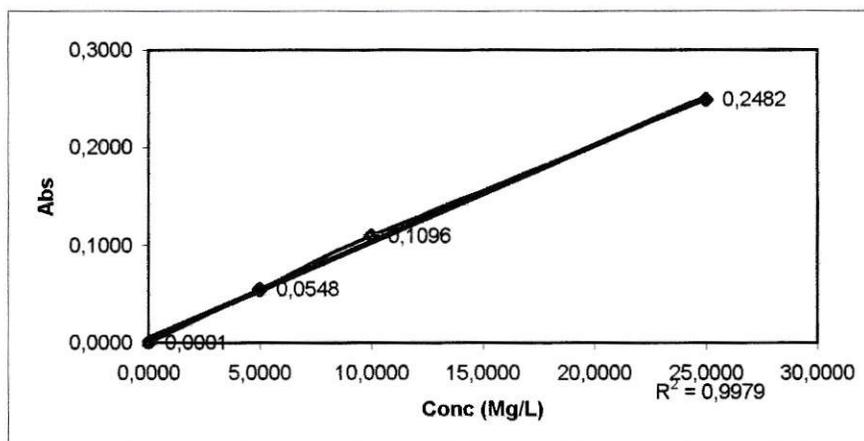
Estandarización para Cr total: Método HCl 10% (Llama)

Muestra ID	Conc. (Mg/L)	Media - Absorbancia	Absorbancias		
CAL ZERO	0.0000	-0.0001	-0.0001	-0.0002	-0.0001
STANDARD 1	5.0000	0.1025	0.1012	0.1010	0.1042
STANDARD 2	10.0000	0.2202	0.2208	0.2197	0.2202
STANDARD 3	15.0000	0.3142	0.3155	0.3151	0.3131
STANDARD 4	20.0000	0.4364	0.4365	0.4361	0.4366



Estandarización para As total: Método HCl 10% (Llama)

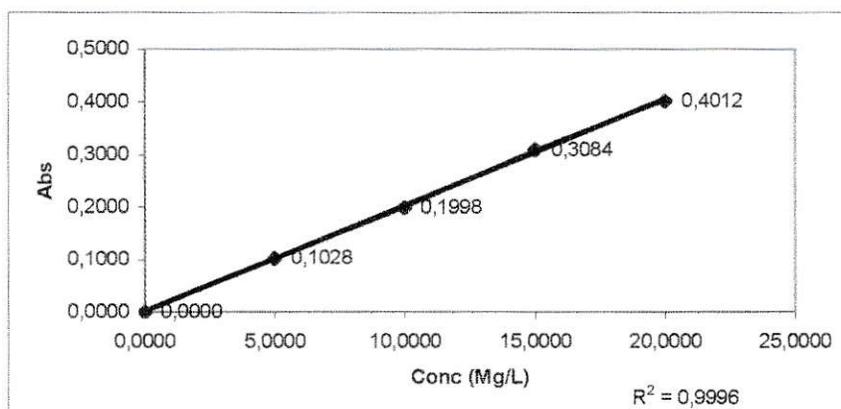
Muestra ID	Conc. (Mg/L)	Media - Absorbancia	Absorbancias		
CAL ZERO	0.0000	0.0001	0.0004	-0.0014	0.0011
STANDARD 1	5.0000	0.0548	0.0544	0.0553	0.0545
STANDARD 2	10.0000	0.1096	0.1102	0.1105	0.1081
STANDARD 3	25.0000	0.2482	0.2454	0.2489	0.2502



ANÁLISIS DE EXTRACCIÓN SECUENCIAL DE METALES PESADOS

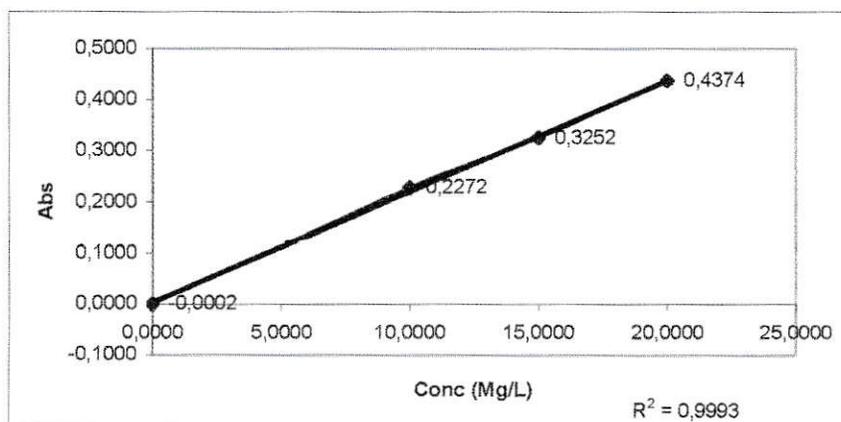
Estandarización para Cu total: Método HCl 10% (Llama)

Muestra ID	Conc. (Mg/L)	Media - Absorbancia	Absorbancias		
CAL ZERO	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0002	0.0002
STANDARD 1	5.0000	0.1028	0.1041	0.1029	0.1000
STANDARD 2	10.0000	0.1998	0.2005	0.2000	0.1984
STANDARD 3	15.0000	0.3084	0.3073	0.3079	0.3092
STANDARD 3	20.0000	0.4012	0.4011	0.4012	0.4012



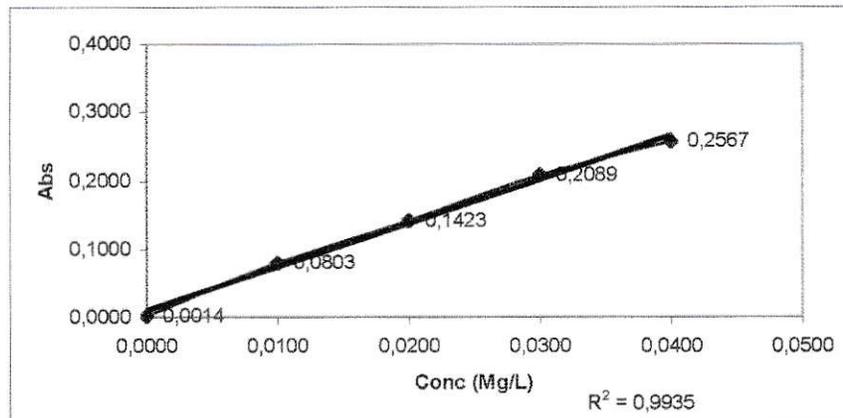
Estandarización para Cr total: Método HCl 10% (Llama)

Muestra ID	Conc. (Mg/L)	Media - Absorbancia	Absorbancias		
CAL ZERO	0.0000	-0.0002	-0.0003	0.0001	-0.0004
STANDARD 1	10.0000	0.2272	0.2270	0.2262	0.2285
STANDARD 2	15.0000	0.3252	0.3232	0.3261	0.3262
STANDARD 3	20.0000	0.4374	0.4391	0.4363	0.4367



Estandarización para As total: Método HCl 20% + KI (Vapor)

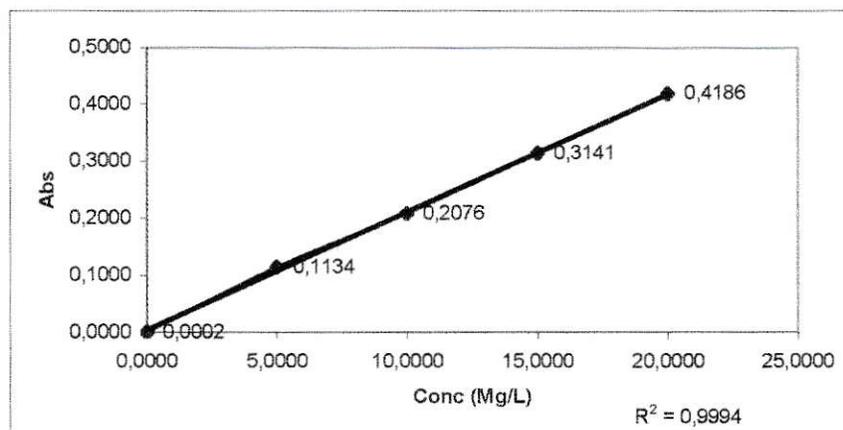
Muestra ID	Conc. (Mg/L)	Media - Absorbancia	Absorbancias		
CAL ZERO	0.0000	0.0014	0.0012	0.0014	0.0014
STANDARD 1	0.0100	0.0803	0.0825	0.0798	0.0801
STANDARD 2	0.0200	0.1423	0.1523	0.1531	0.1504
STANDARD 3	0.0300	0.2089	0.1999	0.2162	0.2115
STANDARD 4	0.0400	0.2567	0.2368	0.2571	0.2765



ENSAYO DE LIXIVIACIÓN DE METALES SOBRE UN SUELO DE REFERENCIA

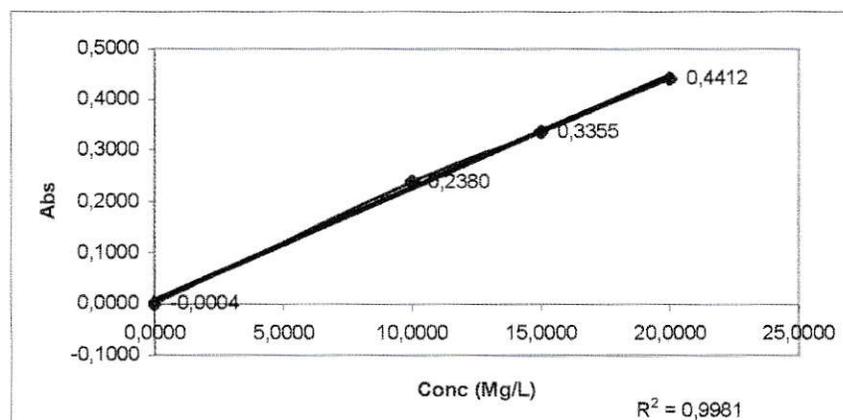
Estandarización para Cu total: Método HCl 10% (Llama)

Muestra ID	Conc. (Mg/L)	Media - Absorbancia	Absorbancias		
CAL ZERO	0.0000	0.0002	0.0003	-0.0001	0.0001
STANDARD 1	5.0000	0.1134	0.1136	0.1134	0.1132
STANDARD 2	10.0000	0.2076	0.2089	0.2063	0.2080
STANDARD 3	15.0000	0.3141	0.3140	0.3153	0.3132
STANDARD 3	20.0000	0.4186	0.4105	0.4210	0.4203



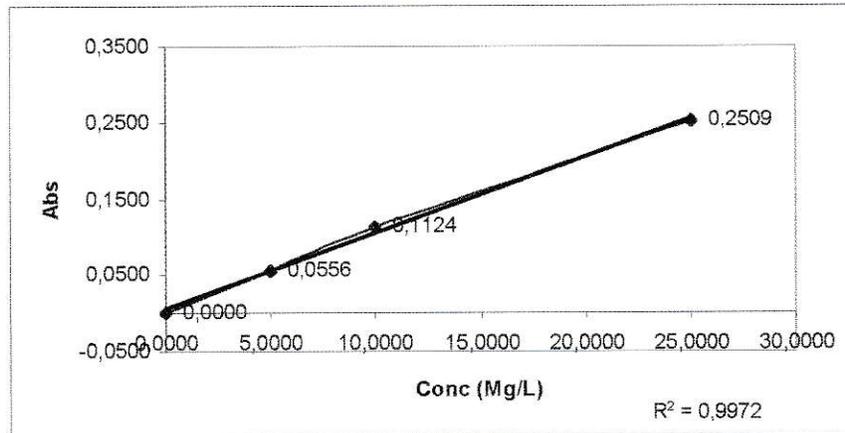
Estandarización para Cr total: Método HCl 10% (Llama)

Muestra ID	Conc. (Mg/L)	Media - Absorbancia	Absorbancias		
CAL ZERO	0.0000	-0.0004	-0.0003	-0.0001	-0.0007
STANDARD 1	10.0000	0.2380	0.2371	0.2394	0.2283
STANDARD 2	15.0000	0.3355	0.3352	0.3340	0.3369
STANDARD 3	20.0000	0.4412	0.4424	0.4410	0.4400



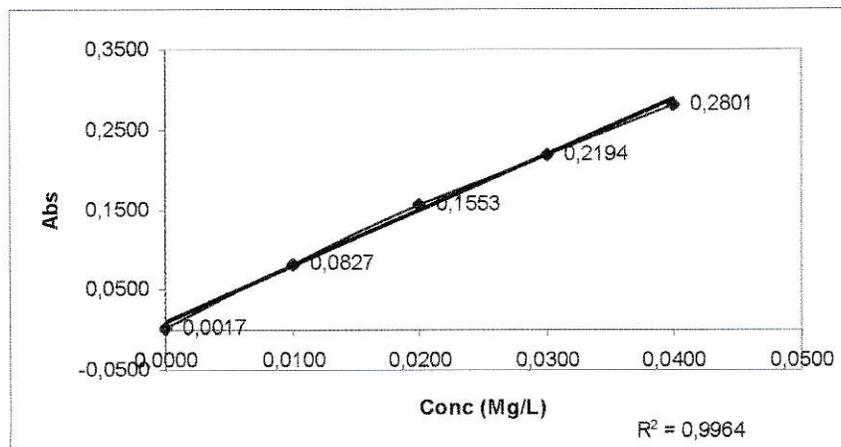
Estandarización para As total: Método HCl 10% (Llama)

Muestra ID	Conc. (Mg/L)	Media - Absorbancia	Absorbancias		
CAL ZERO	0.0000	0.0000	0.0002	-0.0004	0.0001
STANDARD 1	5.0000	0.0556	0.0551	0.0553	0.0560
STANDARD 2	10.0000	0.1124	0.1102	0.1135	0.1146
STANDARD 3	25.0000	0.2509	0.2489	0.2493	0.2532



Estandarización para As total: Método HCl 20% + KI (Vapor)

Muestra ID	Conc. (Mg/L)	Media - Absorbancia	Absorbancias		
CAL ZERO	0.0000	0.0017	0.0035	0.0065	0.0030
STANDARD 1	0.0100	0.0827	0.0825	0.0798	0.0835
STANDARD 2	0.0200	0.1553	0.1523	0.1532	0.1541
STANDARD 3	0.0300	0.2194	0.1997	0.2172	0.2104
STANDARD 4	0.0400	0.2801	0.2366	0.2590	0.2711



ANEXO III

**INFORMACIÓN RELATIVA A RESIDUOS INDUSTRIALES
SÓLIDOS**

La siguiente información fue obtenida del SESMA, organismo encargado del control y seguimiento del destino de los RIS según la resolución N° 5.081/93 de este servicio, competencia que le permite fiscalizar a las empresas generadoras y destinatarias de RIS.

Los residuos industriales sólidos son desechos o residuos sólidos o semisólidos resultantes de cualquier proceso industrial que no son reutilizados, recuperados o reciclados en el mismo establecimiento industrial. Según el D.S. 594/99 del Ministerio de Salud los residuos industriales son aquellos residuos sólidos o líquidos, o combinaciones de éstos, provenientes de los procesos industriales y que por sus características físicas, químicas o microbiológicas no pueden asimilarse a los residuos domésticos. En esta definición también se incluyen los residuos o productos de descarte, sean éstos líquidos o gaseosos. Aclaremos que el carácter de desecho sólido de estos residuos lo aporta el contenedor o recipiente que los contiene.

RIS Inertes: Residuos que no presentan efectos sobre el medio ambiente, debido a que su composición de elementos contaminantes es mínima. Estos residuos presentan nula capacidad de combustión, no tiene reactividad química y no migran del punto de disposición. Ejemplos; escombros, baldosas, etc.

RIS Peligrosos: Son aquellos materiales sólidos, pastosos, líquidos, así como los gaseosos contenidos en recipientes, que luego de un proceso de producción, transformación, utilización o consumo, su propietario destina a su recuperación o al abandono. La gama de estos productos es variada. Según la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) pueden ser subproductos de procesos de manufactura o simplemente productos comerciales desechados, tal como líquidos para limpiar o pesticidas. Estos productos pueden contener en su composición sustancias en cantidades o concentraciones tales que presentan un riesgo para la salud humana, recursos naturales y medio ambiente.

Su peligrosidad esta definida cuando el material desechado presenta al menos una de las siguientes características de peligrosidad: Toxicidad, Inflamabilidad, Reactividad y Corrosividad. Estos cuatro conceptos se utilizan para determinar si un residuo es peligroso o no, al margen de que se identifique una sustancia listada como sustancia peligrosa en el Código Sanitario.

Para el caso de la disposición final de la “**madera preservada con CCA**” con contenidos de **Cobre, Cromo y Arsénico**, la peligrosidad pasa por su toxicidad cuando estos tres elementos, mediante un proceso, físico, químico o microbiológico, son liberados al medio ambiente produciendo la contaminación del mismo. (Lixiviación)

Residuos Tóxicos por Lixiviación: Son aquellos que al ser abandonados en algún sitio eriazo y que al entrar en contacto con variables medio ambientales, como las aguas lluvias, producen la solubilidad de sus elementos tóxicos, los cuales son transportados por las aguas hacia las napas subterráneas. Ejemplos de residuos tóxicos por lixiviación son los pesticidas, insecticidas, lodos con plomo, lodos con arsénico, entre otros.

Un residuo será tóxico por lixiviación si una muestra del lixiviado contiene uno o más de los constituyentes tóxicos orgánicos e inorgánicos como Arsénico, Bario, Benceno, Cadmio, Cromo, Plomo, Mercurio, entre otros, en concentraciones mayores o iguales a las establecidas por la EPA. La muestra del lixiviado del residuo deberá obtenerse según el método 1311 ("Procedimiento para Determinar la Característica de Toxicidad por Lixiviación, EPA") – Test de toxicidad por lixiviación o Test TCLP.

El siguiente es un extracto del Reglamento Sanitario sobre el Manejo de Residuos Peligroso, y que hace referencia sólo a la peligrosidad de los residuos con contenidos de cromo y arsénico, destacando así, sólo los artículos de interés para el presente estudio

DISPOSICIONES GENERALES

Artículo 1. "Este Reglamento establece las condiciones sanitarias y de seguridad mínimas a que deberá someterse la generación, almacenamiento, transporte, tratamiento, eliminación y disposición final de los residuos peligrosos. Además, establece el Sistema de Declaración y Seguimiento de Residuos Peligrosos."

Artículo 4. "Los residuos peligrosos deberán identificarse y etiquetarse de acuerdo a la clasificación y tipo de riesgo que establece la Norma Chilena Oficial NCh 2.190 of.93. Esta obligación será exigible desde que tales residuos se almacenen y hasta su eliminación".

Artículo 5. "Los análisis de laboratorio que se requieran de acuerdo a las disposiciones del presente Reglamento se realizarán con sujeción a los métodos que fije el Ministerio de Salud mediante resolución o en su defecto conforme a la última edición del documento SW-846 Test Methods for Evaluating Solid Waste de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norteamérica, el que tendrá carácter referencial".

Artículo 9. "Sólo se podrán mezclar o estar en contacto entre si residuos peligrosos, cuando sean de naturaleza similar o compatible. Para estos efectos la Tabla de Incompatibilidades del Art 85 tendrán carácter referencial."

Con todo, en los procesos de eliminación podrán mezclarse residuos de los grupos A y B de dicha tabla, cuando se demuestre que los efectos de la reacción que ellos generan se encuentran bajo control.

Artículo 10. "Un residuo o una mezcla de residuos es peligroso si de acuerdo a sus características de peligrosidad definidas en el presente reglamento o de su manejo actual o provisto puede presentar riesgo para la salud pública y/o efectos adversos al medio ambiente."

Artículo 11. "Para los efectos del presente reglamento las características de peligrosidad son las siguientes":

- a) Toxicidad aguda.
- b) Toxicidad crónica.
- c) **Toxicidad extrínseca.**
- d) Inflamabilidad.
- e) Reactividad y
- f) Corrosividad.

Bastará una de éstas características en un residuo para que sea calificado como residuos peligroso.

Artículo 14. “Un residuo tendrá la característica de toxicidad extrínseca cuando, su eliminación pueda dar origen a una o más sustancias tóxicas agudas o tóxicas crónicas en concentraciones que pongan en riesgo la salud de la población”.

Cuando la eliminación se haga a través de su disposición final en el suelo se considerará que el respectivo residuo tiene esta característica cuando el Test de Toxicidad por Lixiviación arroje concentraciones superiores a las señaladas por ella.

Artículo 19. “Alternativamente a la aplicación del test de toxicidad por lixiviación, todo generador de residuos podrá demostrar mediante el análisis de la composición de sus residuos, hecho por un laboratorio reconocido por la Autoridad Sanitaria, que éstos no son tóxicos extrínsecos con respecto a su disposición final en el suelo. Se entenderá que ello ocurre, cuando la concentración de las sustancias a que se refiere el artículo 14, expresada en miligramos de sustancia por kilogramo de residuo, es inferior a la correspondiente Concentración Máxima Permisible, CMP, multiplicada por 20”

ANEXO IV

MUESTRA CONTROL DE SUELO