

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO



FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

***“ESTUDIO DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA POR PRODUCTOS
FABRICADOS A BASE DE PVC USANDO ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN
ATÓMICA Y QUIMIOMETRÍA”.***

Tesis de Grado Previo a la obtención del título de:

INGENIERIA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

SUELEN LOANA REALPE BURBANO

Riobamba*Ecuador

2009

- *En primer lugar agradezco a Dios, por haber guiado mis pasos hasta esta etapa tan importante para mi vida tanto profesional como personal.*
- *Agradezco también a mi Padre, Madre y hermanos, que ha sido el pilar fundamental, para llegar a ser la persona que hoy soy, en especial a mis tíos Miguel, Matilde y Aidita por su apoyo y ayuda incondicional.*
- *Quiero agradecer también a mi esposo por su comprensión y apoyo incondicional en todas mis decisiones, y especialmente a mi hija por ser ese motor que me impulso para culminar mi carrera.*
- *De igual manera a mi Director de Tesis Dr. Roberth Cazar , y a los miembros del Tribunal Dr. Ángel Silva y Dra. Magdy Echeverria, quienes aportaron para la culminación de este trabajo de investigación.*
- *No puedo dejar de dar las gracias a esas personas que siempre estuvieron conmigo, que compartieron mis penas y alegrías, que fuimos avanzando y superando juntos todas las etapas de este proceso educativo, Muchas Gracias.*

DEDICATORIA

A mi PADRE JORGE y mi MADRE LOOLOBRIGIDA por su ayuda incondicional, y su amor brindado en todos los momentos de mi vida. A mis hermanos: Jorge, Eliana y Natalia.

A NAVI ANAOL mi hija la razón de mi existencia y a mi esposo Iván Mora.

A todos por el apoyo brindado en mis estudios universitarios, haciendo posible la terminación de mi carrera profesional.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Dr. Edmundo Caluña DECANO FAC. CIENCIAS	-----	-----
Dr. José Vanegas DIRECTOR DE ESCUELA.	-----	-----
Dr. Robert Cazar. DIRECTORA DE TESIS.	-----	-----
Dr. Magdy Echeverria MIEMBRO DE TRIBUNAL.	-----	-----
Dr. Ángel Silva MIEMBRO DE TRIBUNAL.	-----	-----
Sr. Carlos Rodríguez DIRECTOR DEL CENTRO DE DOCUMENTACION.	-----	-----
NOTA DE LA TESIS.	-----	-----

“Yo, Suelen Loana Realpe Burbano soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis, y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenecen a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo”.

SUELEN LOANA REALPE BURBANO

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

A1-A2-A3-A4-A5	Denominación para cada uno de los límites de cadmio en los gráficos
B1-B2-B3-B4-B5	Denominación para cada uno e los límites de plomo en los gráficos
°C	Grados centígrados
%	porcentaje
ANOVA	Tabla de Análisis de Varianza
As	Arsénico
Cd	Cadmio
CM	Cuadrados Medios
CO₂	Dióxido de Carbono
Cr	Cromo
Cu	Cobre
DBO₅	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DOP	Di Octil Ftalato
DQO	Demanda Química de Oxígeno
EAA	Espectroscopia de Absorción Atómica
EEA	Espectroscopia de Emisión Atómica
EPA	Agencia de Protección ambiental de los Estados Unidos
F1-F2-F3	Denominación a cada una de las diferentes fabricas de PVC
Fe	Hierro
FV	Fuente de Variación

g	Gramos
g.cm⁻³	gramos sobre centímetros cúbicos
g/cc	gramos sobre centímetros cúbicos
GL	Gradiente de Libertad
Hg	Mercurio
k	Número de fabricantes
mg	Miligramos
mg/Kg	Miligramos por cada Kilogramo
mL	Mililitros
Mn	Manganeso
Mo	Molibdeno
n	Número de muestras
Ni	Níquel
OD	Oxígeno Disuelto
Pb	Plomo
PbO	Oxido de Plomo
PE	Proceso de extracción
PEHD	Poly Ethylene High Density (Polietileno de alta densidad)
PELD	Low density polyethylene (Polietileno de baja densidad)
PET	Polietilentereftalato
pH	Potencial de Hidrógeno
PP	Polipropileno
ppm	Partes por millón

PVC	Policloruro de Vinilo
qa	Grado de confiabilidad
rm	Radio mayor
RV	Razón de Variante
Sb	Estroncio
SC	Sumatoria de Cuadrados
SCB	Sumatoria de Cuadrados de Bloques
SCE	Sumatoria de Cuadrados del Error
SCT	Sumatoria de Cuadrados totales
SCTr	Sumatoria de Cuadrados del Tratamiento
Se	Selenio
seg	segundos
T0-T1-T2	Denominación a los diferentes tiempos de radiación en las muestras
TULAS	Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria
UV	Radiación Ultravioleta
Zn	Zinc

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
INTRODUCCIÓN	21
CAPÍTULO I	
1. MARCO TEÓRICO	
1.1 DEFINICIONES DE CONTAMINACION DE AGUA.....	25
1.1.1 Tipos se Contaminación del Agua.....	25
1.1.1.1 Puntual.....	25
1.1.1.2 Difusa.....	25
1.1.2 Tipos de Agua en Función de su Contaminación.....	26
1.1.3 Origen de la Contaminación.....	26
1.1.3 .1 Natural.....	26
1.1.3.2 Antropogénicos.....	27
1.1.4 Alteraciones del Agua.....	27
1.1.4.1 Alteraciones Físicas del Agua.....	27
1.1.4.2 Alteraciones Químicas del Agua.....	28
1.1.4.3 Alteraciones Biológicas del Agua.....	30
1.1.5 Contaminación del Agua Freática o Subterránea.....	30
1.1.6 Contaminación de Cuerpos de Agua.....	32
1.2 METALES PESADOS.....	34
1.2.1 Los Metales Pesados como Contaminantes Tóxicos.....	35
1.2.2 Toxicidad de Metales Pesados.....	37

1.2.3 Bioacumulación de Metales Pesados.....	38
1.2.4 Vías de Entrada y origen de los metales pesados en los Sistemas Acuáticos.....	39
1.2.5 Metales Pesados Objeto de Nuestro Estudio.....	41
1.2.5.1 Cadmio (Cd).....	41
1.2.5.1.1 Efecto en la Salud.....	42
1.2.5.1.2 Efectos Ambientales del Cadmio.....	42
1.2.5.2 Plomo (Pb).....	43
1.2.5.2.1 Efectos Medioambientales del Plomo en el Agua.....	44
1.2.5.2.2 Efectos en la Salud que Produce el Plomo en el Agua.....	45
1.3 PVC POLICLORURO DE VINILO.....	45
1.3.1 Propiedades Importantes del PVC.....	47
1.3.1.1 Propiedades Físicas.....	47
1.3.1.2 Propiedades Químicas.....	49
1.3.2 Formulación del PVC.....	49
1.3.2.1 Estabilizadores.....	50
1.3.3 Producción del PVC.....	51
1.3.4 Proceso del PVC.....	51
1.3.4.1 Calandreo.....	51
1.3.4.2 Extrucción.....	51
1.3.4.3 Inyección.....	52
1.3.4.4 Soplado.....	52
1.3.4.5 Comprensión o Soplado.....	52
1.3.4.6 Recubrimiento.....	52

1.3.4.7 Vaciado.....	53
1.3.4.8 Moldeo Rotacional.....	53
1.3.4.9 Sinterización.....	53
1.3.4.10 Lecho Fluidizado.....	54
1.3.4.11 Aspersión.....	54
1.3.4.12 Electricidad y Electrónica.....	54
1.3.5 El PVC y el Reciclaje no hacen buena pareja.....	54
1.3.6 El Verdadero Destino del PVC.....	55
1.3.6.1 El Vertedero.....	55
1.3.6.2 Incineración: Dioxinas para todos.....	55
1.4 ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA.....	56
1.4.1 Antecedentes de la Espectroscopia Atómica.....	56
1.4.1.1 Espectroscopía de Átomos.....	57
1.4.2 Espectroscopía de Absorción Atómica en Flama (EAA).....	57
1.4.2.1 Componentes de un Espectrofotómetro de Absorción Atómica.....	58
1.4.3 Descripción de la Técnica de EAA.....	59
1.4.3.1 análisis Cuantitativo.....	61
1.4.3.2 Técnicas de Adición de Estándares.....	61
1.4.4 Aplicaciones Típicas de la EAA.....	61
1.5 QUIMIOMETRÍA.....	62
1.5.1 Definiciones Básicas.....	62
1.5.2 Áreas de Quimiometría.....	63

1.5.3 Metodología Recomendada para el Análisis de Quimiometría.....	64
1.5.4 Algunos Peligros Asociados con el uso de la Quimiometría.....	67

CAPÍTULO II

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 MATERIALES Y EQUIPO.....	69
2.1.1 Materiales.....	69
2.1.2 Equipos.....	70
2.1.3 Reactivos.....	70
2.2 MÉTODO.....	71
2.3 TÉCNICA Y ESTANDARES.....	71
2.3.1 Técnicas.....	71
2.3.2 Preparación de los Estándares para la Calibración.....	75
2.4 DISEÑO EXPERIMENTAL.....	76
2.4.1 Características del Diseño Experimental.....	76
2.4.2 Unidad Experimental o de análisis.....	78
2.4.3 Diseño de Bloques Balanceados.....	78

CAPÍTULO III

3. CÁLCULO Y RESULTADOS

3.1 Análisis Quimiométrico de los datos.....	82
--	----

3.2 Cálculo de la cantidad de Cadmio (Cd) en el agua contaminada por PVC con una irradiación de tiempo cero (T0).....	94
3.3 Cálculo de la cantidad de Plomo (Pb) en el agua contaminada por PVC con una irradiación de tiempo cero (T0).....	96
3.4 Cálculo de la cantidad de Cadmio (Cd) en el agua contaminada por PVC con una irradiación de tiempo un mes (T1).....	99
3.5 Cálculo de la cantidad de Plomo (Pb) en el agua contaminada por PVC con una irradiación de tiempo un mes (T1).....	101
3.6 Cálculo de la cantidad de Cadmio (Cd) en el agua contaminada por PVC con una irradiación de tiempo dos mes (T2).....	104
3.7 Cálculo de la cantidad de Plomo (Pb) en el agua contaminada por PVC con una irradiación de tiempo dos mes (T2).....	106
3.8 Comparación de los datos obtenidos con límites máximos permisibles según el TULAS.....	110
3.8.1 Comparación de los datos de cadmio en tiempo cero (T0) con los límites máximos permisibles.....	112
3.8.2 Comparación de los datos de cadmio en tiempo un mes (T1) con los límites máximos permisibles.....	113
3.8.3 Comparación de los datos de cadmio en tiempo dos meses (T2) con los límites máximos permisibles.....	114

3.8.4 Comparación de los datos de plomo en tiempo cero (T0) con los límites máximos permisibles.....	115
3.8.5 Comparación de los datos de plomo en tiempo un mes (T1) con los límites máximos permisibles.....	116
3.8.6 Comparación de los datos de plomo en tiempo dos meses (T2) con los límites máximos permisibles.....	117
3.9 Estimación de la cantidad de metales pesados que se desprenden de los productos fabricados a base de PVC al agua contaminada por este.....	118

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones.....	121
4.2 Recomendaciones.....	124

RESUMEN	126
----------------	-----

SUMARY	127
---------------	-----

BIBLIOGRAFÍA	128
---------------------	-----

ANEXOS	131
---------------	-----

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico #1: Representación gráfica del cadmio presente en muestras de agua contaminadas por PVC, con tiempo de irradiación cero T0	96
Gráfico #2: Representación gráfica del plomo presente en muestras de agua contaminadas por PVC, con tiempo de irradiación cero T0	98
Gráfico #3: Representación gráfica del cadmio presente en muestras de agua contaminadas por PVC, con tiempo de irradiación un mes T1	101
Gráfico #4: Representación gráfica del plomo presente en muestras de agua contaminadas por PVC, con tiempo de irradiación un mes T1	103
Gráfico #5: Representación gráfica del cadmio presente en muestras de agua contaminadas por PVC, con tiempo de irradiación dos meses T2	106
Gráfico #6: Representación gráfica del plomo presente en muestras de agua contaminadas por PVC, con tiempo de irradiación dos meses T2	110
Gráfico #7. Representación gráfica de la comparación de los datos en T0 de los límites máximos permisibles de cadmio en diferentes clases de agua según el TULAS	112
Gráfico #8 Representación gráfica de la comparación de los datos en T1 de los límites máximos permisibles de cadmio en diferentes clases de agua según el TULAS	113
Gráfico #9. Representación gráfica de la comparación de los datos en T2 de los límites máximos permisibles de cadmio en diferentes clases de agua según el TULAS	114
Gráfico #10. Representación gráfica de la comparación de los datos en T0 de los límites máximos permisibles de plomo en diferentes clases de agua según el TULAS	115
Gráfico #11. Representación gráfica de la comparación de los datos en T1 de los límites máximos permisibles de plomo en diferentes clases de agua según el TULAS	116
Gráfico #12. Representación gráfica de la comparación de los datos en T2 de los límites máximos permisibles de plomo en diferentes clases de agua según el TULAS	117

ÍNDICES DE TABLAS

	Pág.
Tabla I: Alteraciones Físicas del Agua.....	27
Tabla II: Alteraciones Químicas del Agua.....	28
Tabla III: Alteraciones Biológicas del Agua.....	30
Tabla IV: Elementos esenciales y/o tóxicos para vegetales y/o animales..	34
Tabla V: Principales Orígenes Antropogénicos de los metales pesados..	41
Tabla VI: Métodos utilizados para el análisis de metales pesados.....	71
Tabla VII: Ejemplo esquemático de los datos obtenidos en los diferentes tiempos.....	76
Tabla VIII: Bosquejo del diseño Bloques Balanceados.....	78
Tabla IX: Cuadro de promedios.....	79
Tabla X: Tabla de análisis de varianza (ANOVA).....	80
Tabla XI: Contenido de plomo y cadmio de las muestras consideradas...	82
Tabla XII: Resultados del análisis estadístico univariado de los datos.....	84
Tabla XIII: Datos pretratados mediante autoscaling.....	85
Tabla XIV: Información contenida en las componentes principales (PC1 y PC2).....	88
Tabla XV: Loading (aporte) de las variables originales en los componentes principales.....	88
Tabla XVI: Datos de cadmio (Cd) en mg/L en las muestras de cada fabricante con su respectiva repetición.....	94
Tabla XVII: Promedio de datos obtenidos de Cd.....	95

Tabla XVIII: Sumatoria de cuadrados para Cd.....	95
Tabla XIX: ANOVA (Cd).....	95
Tabla XX: Datos de plomo (Pb) en mg/L en las muestras de cada fabricante con su respectiva repetición.....	96
Tabla XXI: Promedio de datos obtenidos de Pb.....	97
Tabla XXII: Sumatoria de cuadrados para Pb.....	97
Tabla XXIII: ANOVA (Pb).....	98
Tabla XXIV: Datos de cadmio (Cd) en mg/L en las muestras de cada fabricante con su respectiva repetición con tiempo de irradiación un mes (T1).....	99
Tabla XXV: Promedio de datos obtenidos de Cd.....	99
Tabla XXVI: Sumatoria de cuadrados para Cd.....	100
Tabla XXVII: ANOVA (Cd).....	100
Tabla XXVIII: Datos de plomo (Pb) en mg/L en las muestras de cada fabricante con su respectiva repetición con tiempo de irradiación un mes (T1).....	102
Tabla XXIX: Promedio de datos obtenidos de Pb.....	102
Tabla XXX: Sumatoria de cuadrados para Pb.....	102
Tabla XXXI: ANOVA (Pb).....	103
Tabla XXXII: Datos de cadmio (Cd) en mg/L en las muestras de cada fabricante con su respectiva repetición con tiempo de irradiación dos mes (T2).....	104
Tabla XXXIII: Promedio de datos obtenidos de Cd.....	104
Tabla XXXIV: Sumatoria de cuadrados para Cd.....	105

Tabla XXXV: ANOVA (Cd).....	105
Tabla XXXVI: Datos de plomo (Pb) en mg/L en las muestras de cada fabricante con su respectiva repetición con tiempo de irradiación dos mes (T2).....	107
Tabla XXXVII: Promedio de datos obtenidos de Pb.....	107
Tabla XXXVIII: Sumatoria de cuadrados para Pb.....	107
Tabla XXXIX: ANOVA (Pb).....	108
Tabla XXXX: Cuadro de medias para TUKEY.....	108
Tabla XXXXI: Comparación de los datos con TUKEY.....	109
Tabla XXXXII: Límites máximos de cadmio y plomo.....	111

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Ciclo Biogeoquímico de los Metales Pesados.....	40
Figura 2: Componentes de un Fotómetro de Emisión en Flama y de un EAA.....	57
Figura 3: Elementos susceptibles de determinación por EAA así como las líneas de absorción más intensas y las flamas recomendadas.....	60
Figura 4: Dendograma resultado del análisis del agrupamiento para las muestras de PVC.....	86
Figura 5: Proyección de las muestras sobre los dos componentes principales.....	89
Figura 6: Proyección de las variables.....	90
Figura 7: Gráfico de la asignación de las clases efectuadas por KNN...	92
Figura 8: Gráfico de la asignación de clases efectuada por LDA.....	93

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXOS	
ANEXOS A	132
A1. Resultado de análisis de metales pesados en las muestras de PVC.....	132
A2. Muestras de algunos análisis de metales pesados en las muestras de contaminación del agua contaminada por PVC.....	132
ANEXOS B	133
B1. Preparación de las muestras.....	133
B2. Equipo EAA.....	133
B3. Muestras listas para irradiar.....	134
B4. Contaminación del agua por PVC.....	134
B5. Agitación de muestras.....	135
B6. Lectura de metales.....	136

INTRODUCCIÓN

Es bien conocido que metales, tales como el cadmio y plomo son tóxicos para el medio ambiente y los seres humanos, particularmente los niños, muchos de los accesorios y básicamente tubería usada para la circulación y transporte de agua son fabricadas a base de PVC que contiene dichos metales. Por ejemplo los plásticos fabricados con polivinil cloruro (PVC) rígido, a menudo contienen cadmio, y plomo, como estabilizadores térmicos, biocidas, pirorretardantes, rellenanates. Cuando los polímeros de PVC se rompen, por ejemplo, debido a la exposición a radiación UV, los metales estabilizantes se vuelven polvo que se van diluyendo y mezclando con el agua que circula por ellos, agua que es ingerido por las personas que la consumen como puede también contaminar el suelo al ser vertida en este.

Para el medio ambiente el PVC es uno de sus peores enemigos, ya que en la fabricación de éste, se utilizan sobre todo compuestos organoclorados y metales pesados, entre otros productos químicos de gran toxicidad. El 30% del cloro que alcanza la atmósfera procede de las emisiones por incineración del PVC.

Es importante determinar y cuantificar la presencia de metales tóxicos en artículos fabricadas a base de PVC. Es común que residuos plásticos como empaques, residuos de tubería y botellas vacías sean desechados en los basureros o incinerados sin ningún tratamiento, lo cual puede provoca una contaminación de fuentes de agua, suelos y la atmósfera.

Estos metales en un grado pequeño se incorporan a nuestros cuerpos vía el alimento, agua potable y el aire provocando así daños en la salud como: graves efectos en el cerebro y en la evolución mental de los niños, especialmente en la formación de la inteligencia.

Estos antecedentes motivaron al estudio de la contaminación del agua por productos fabricados a base de PVC usando espectroscopia de absorción atómica y quimiometría, con el propósito de determinar el grado de contaminación que producen los artículos a base de PVC en el agua. Y obtener datos reales y claros sobre los metales cadmio y plomo presentes en tales artículos y el daño que estos pueden producir si no están bajo la Normas Nacionales vigentes en el País

Los productos fabricados a base de PVC cuando se desechan al ambiente podrían producir contaminación del agua debido a metales pesados presentes en los mismos.

La presente investigación muestran los siguientes objetivos:

General:

- Estudiar la posible contaminación del agua por productos fabricados a base de PVC usando la Espectroscopía de absorción atómica y quimiometría.

Específicos:

- Cuantificar los metales pesados presentes en algunos productos plásticos fabricados a base de PVC
- Estimar el riesgo para el recurso agua que genera la disposición de artículos fabricadas a base de PVC.
- Estimar que cantidad de metales pesados que poseen los PVC podrían contaminar el agua mediante una simulación
- Comparar los resultados con normas nacionales (TULAS).

CAPÍTULO I

CAPITULO I

1. PARTE TEÓRICA

1.1 DEFINICIÓN DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA

La contaminación del agua es, según el Artículo 85 de la Ley General de Aguas, “la acción y el efecto de introducir materias o formas de energía o inducir condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica”.

1.1.1 Tipos de contaminación del agua

Atendiendo al modo en el que la contaminación se produce, podemos distinguir entre contaminación difusa y contaminación puntual:

1.1.1.1 Puntual.

Es producida por un foco emisor determinado afectando a una zona concreta, lo que permite una mejor difusión del vertido. Su detección y su control son relativamente sencillos. Un ejemplo de contaminación puntual sería el vertido de aguas residuales industriales o domésticas.

1.1.1.2 Difusa.

Su origen no está claramente definido, aparece en zonas amplias en las que coexisten múltiples focos de emisión, lo que dificulta el estudio de los contaminantes y su control individual. Pueden producirse posibles interacciones

que agraven el problema. Principalmente correspondería a la contaminación natural.

La contaminación del agua puede estar producida por:

- Compuestos minerales
- Compuestos orgánicos
- La contaminación microbiológica
- La contaminación térmica provoca una disminución de la solubilidad del oxígeno en el agua

1.1.2 Tipos de agua en función del origen de su contaminación

- a. Aguas residuales urbanas.
- b. Aguas residuales industriales.
- c. Aguas residuales ganaderas.
- d. Aguas residuales agrícolas
- e. Mareas negras.

1.1.3 Origen de la Contaminación

1.1.3.1 Natural.

La contaminación natural consiste en la presencia de determinadas sustancias en el agua sin que intervenga la acción humana.

1.1.3.2 Antropogénico.

Desde el punto de vista regional representan la mayor fuente de contaminación. Cuantitativamente son menores que las naturales pero sus efectos se multiplican porque sus efluentes se localizan en áreas reducidas, que a su vez son las que mayor cantidad de población tienen, y además, porque sus emisiones son más intensas. (5)

1.1.4 Alteraciones del agua

1.1.4.1 Alteraciones físicas del agua

TABLA I:
Alteraciones físicas del agua

Alteraciones físicas	Características y contaminación que indica
Color	<p>El agua no contaminada suele tener ligeros colores rojizos, pardos, amarillentos o verdosos debido, principalmente, a los compuestos húmicos, férricos o los pigmentos verdes de las algas que contienen..</p> <p>Las aguas contaminadas pueden tener muy diversos colores pero, en general, no se pueden establecer relaciones claras entre el color y el tipo de contaminación</p>
Temperatura	<p>El aumento de temperatura disminuye la solubilidad de gases (oxígeno) y aumenta, en general, la de las sales. Aumenta la velocidad de las reacciones del metabolismo, acelerando la putrefacción. La temperatura óptima del agua para beber está entre 10 y 14°C.</p> <p>Las centrales nucleares, térmicas y otras industrias contribuyen a la contaminación térmica de las aguas, a veces de forma importante.</p>
Olor y sabor	<p>Compuestos químicos presentes en el agua como los fenoles, diversos hidrocarburos, cloro, materias orgánicas en descomposición o esencias liberadas por diferentes algas u hongos pueden dar olores y sabores muy fuertes al agua, aunque estén en muy pequeñas concentraciones. Las sales o los minerales dan sabores salados o metálicos, en ocasiones sin ningún olor.</p>
Materiales en suspensión	<p>Partículas como arcillas, limo y otras, aunque no lleguen a estar disueltas, son arrastradas por el agua de dos maneras: en suspensión estable (disoluciones coloidales); o en suspensión que sólo dura mientras el movimiento del agua las arrastra. Las suspendidas coloidalmente sólo precipitarán después de haber sufrido coagulación o floculación (reunión de varias partículas)</p>
Radiactividad	<p>Las aguas naturales tienen unos valores de radiactividad, debidos sobre</p>

	todo a isotopos del K. Algunas actividades humanas pueden contaminar el agua con isótopos radiactivos.
Espumas	Los detergentes producen espumas y añaden fosfato al agua (eutrofización). Disminuyen mucho el poder autodepurador de los ríos al dificultar la actividad bacteriana. También interfieren en los procesos de floculación y sedimentación en las estaciones depuradoras.
Conductividad	El agua pura tiene una conductividad eléctrica muy baja. El agua natural tiene iones en disolución y su conductividad es mayor y proporcional a la cantidad y características de esos electrolitos. Por esto se usan los valores de conductividad como índice aproximado de concentración de solutos. Como la temperatura modifica la conductividad las medidas se deben hacer a 20°C

Tomado de: <http://www1.ceit.es/asignaturas/ecologia/Hipertexto/11CAgu/100CoAcu.htm>

1.1.4.2 Alteraciones químicas del agua

TABLA II:
Alteraciones químicas del agua

Alteraciones químicas	Contaminación que indica
<u>pH</u>	<p>Las aguas naturales pueden tener pH ácidos por el CO₂ disuelto desde la atmósfera o proveniente de los seres vivos; por ácido sulfúrico procedente de algunos minerales, por ácidos húmicos disueltos del mantillo del suelo. La principal sustancia básica en el agua natural es el carbonato cálcico que puede reaccionar con el CO₂ formando un sistema tampón carbonato/bicarbonato.</p> <p>Las aguas contaminadas con vertidos mineros o industriales pueden tener pH muy ácido. El pH tiene una gran influencia en los procesos químicos que tienen lugar en el agua, actuación de los floculantes, tratamientos de depuración, etc.</p>
<u>Oxígeno disuelto OD</u>	Las aguas superficiales limpias suelen estar saturadas de oxígeno, lo que es fundamental para la vida. Si el nivel de oxígeno disuelto es bajo indica contaminación con materia orgánica, septicización, mala calidad del agua e incapacidad para mantener determinadas formas de vida.
Materia orgánica biodegradable: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	DBO ₅ es la cantidad de oxígeno disuelto requerido por los microorganismos para la oxidación aerobia de la materia orgánica biodegradable presente en el agua. Se mide a los cinco días. Su valor da idea de la calidad del agua desde el punto de vista de la materia orgánica presente y permite prever cuanto oxígeno será necesario para la depuración de esas aguas e ir comprobando cual está siendo la eficacia del tratamiento depurador en una planta.
Materiales oxidables: Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Es la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar los materiales contenidos en el agua con un oxidante químico (normalmente dicromato potásico en medio ácido). Se determina en tres horas y, en la mayoría de los casos, guarda una buena relación con la DBO por lo que es de gran utilidad al no necesitar los cinco días de la DBO. Sin embargo la DQO no diferencia entre materia biodegradable y el resto y no suministra información sobre la velocidad de degradación en condiciones naturales.
Nitrógeno total	Varios compuestos de nitrógeno son nutrientes esenciales. Su

	<p>presencia en las aguas en exceso es causa de eutrofización.</p> <p>El nitrógeno se presenta en muy diferentes formas químicas en las aguas naturales y contaminadas. En los análisis habituales se suele determinar el NTK (nitrógeno total Kendahl) que incluye el nitrógeno orgánico y el amoniacal. El contenido en nitratos y nitritos se da por separado.</p>
Fósforo total	<p>El fósforo, como el nitrógenos, es nutriente esencial para la vida. Su exceso en el agua provoca eutrofización.</p> <p>El fósforo total incluye distintos compuestos como diversos ortofosfatos, polifosfatos y fósforo orgánico. La determinación se hace convirtiendo todos ellos en ortofosfatos que son los que se determinan por análisis químico.</p>
<p>Aniones:</p> <p>cloruros</p> <p>nitratos</p> <p>nitritos</p> <p>fosfatos</p> <p>sulfuros</p> <p>cianuros</p> <p>fluoruros</p>	<p>indican salinidad</p> <p>indican contaminación agrícola</p> <p>indican actividad bacteriológica</p> <p>indican detergentes y fertilizantes</p> <p>Indican acción bacteriológica anaerobia (aguas negras, etc.)</p> <p>indican contaminación de origen industrial</p> <p>en algunos casos se añaden al agua para la prevención de las caries, aunque es una práctica muy discutida.</p>
<p><u>Cationes:</u></p> <p>sodio</p> <p>calcio y magnesio</p> <p>amonio</p> <p>metales pesados</p>	<p>indica salinidad</p> <p>están relacionados con la dureza del agua</p> <p>contaminación con fertilizantes y heces</p> <p>de efectos muy nocivos; se bioacumulan en la cadena trófica;</p>
Compuestos orgánicos	<p>Los aceites y grasas procedentes de restos de alimentos o de procesos industriales (automóviles, lubricantes, etc.) son difíciles de metabolizar por las bacterias y flotan formando películas en el agua que dañan a los seres vivos.</p> <p>Los fenoles pueden estar en el agua como resultado de contaminación industrial y cuando reaccionan con el cloro que se añade como desinfectante forman clorofenoles que son un serio problema porque dan al agua muy mal olor y sabor.</p> <p>La contaminación con pesticidas, petróleo y otros hidrocarburos se estudia con detalle en los capítulos correspondientes.</p>

Tomado de: <http://www1.ceit.es/asignaturas/ecologia/Hipertexto/11CAgu/100CoAcu.htm>

1.1.4.3 Alteraciones biológicas del agua

TABLA III:
Alteraciones biológicas del agua

Alteraciones biológicas del agua	Contaminación que indican
Bacterias coliformes	Desechos fecales
Virus	Desechos fecales y restos orgánicos
Animales, plantas, microorganismos diversos	Eutrofización

Tomado de: <http://www1.ceit.es/asignaturas/ecologia/Hipertexto/11CAgu/100CoAcu.htm>

(10)

1.1.5 Contaminación del agua freática o subterránea

Parte de la precipitación se infiltra en el suelo y llena los poros que hay en el suelo y rocas de la corteza terrestre. A la superficie bajo la tierra en donde todo el suelo y la roca disponibles están llenos de agua se le denomina zona de saturación, y al agua que llena esos poros se le conoce como agua subterránea o freática. El nivel de agua freática es la superficie superior de la zona de saturación. Es la línea divisoria entre suelo y roca saturada y roca y suelo no saturados, en donde los poros todavía pueden absorber más agua.

Se considera que existe 40 veces más agua subterránea bajo la superficie terrestre que en las corrientes de agua y lagos de todo el mundo. Sin embargo, esta agua “enterrada” está distribuida de manera desigual, y solamente una pequeña cantidad es económicamente explotable. Como la extracción de agua subterránea profunda se hace con mayor rapidez que aquella con la que se recarga en el ciclo hidrológico, consume las aguas líquidas existentes potencialmente renovables de la Tierra.

El agua freática es el agua subterránea que constituye una fuente muy importante para extraer agua para beber y para riego agrícola, pero como su proceso de renovación es muy lento, resulta una fuente de agua fácil de agotar. Por otra parte, la contaminación del agua subterránea puede considerarse permanente.

Algunas bacterias y la mayoría de los contaminantes sólidos en suspensión son removidas o eliminadas cuando el agua superficial contaminada se infiltra a través del suelo en los mantos acuíferos. Sin embargo, este proceso puede llegar a ser sobre cargado por grandes volúmenes de desechos domésticos e industriales. Por otra parte, ningún tipo de suelo puede retener la infiltración de virus y muchas sustancias químicas orgánicas.

Cuando las aguas subterráneas llegan a ser contaminadas no pueden depurarse por sí mismas, debido a que las corrientes de las aguas freáticas son lentas y no turbulentas, y los contaminantes no se diluyen ni se dispersan de manera efectiva. También hay poca descomposición por bacterias aeróbicas, porque las aguas subterráneas no tienen suministro de oxígeno de la atmósfera y además las poblaciones de bacterias aeróbicas y anaeróbicas degradadoras son muy pequeñas. Por otra parte, la baja temperatura de las aguas subterráneas hace que las reacciones de descomposición de sustancias sean lentas. Esto implica que para que las aguas subterráneas contaminadas puedan liberarse por sí mismas de los desechos contaminantes son necesarios cientos de miles de años.

Otro factor que contribuye a que la gente no tenga conciencia del problema de la contaminación de las aguas subterráneas es que sus corrientes no se ven, por lo que la contaminación se va acumulando y cuando se descubre su peligrosidad ya es demasiado tarde. Por esto, algunos ambientalistas consideran que la contaminación de las aguas subterráneas, a largo plazo, emergerá como uno de los problemas más graves de los recursos acuíferos, en la medida en que los niveles umbrales de contaminación sean rebasados.

Las aguas freáticas son fácilmente contaminadas por desechos de productos químicos debido a que las leyes para proteger las aguas subterráneas son poco estrictas o no existen en la mayoría de los países. (2)

1.1.6 Contaminación de cuerpos de agua

La contaminación de los ríos se produce, bien por la presencia de compuestos o elementos que normalmente no estarían sin la acción del hombre, o por el aumento o descenso de la concentración normal de las sustancias ya existentes debido a la acción humana. Uno de los componentes químicos potenciales más tóxicos son los metales pesados, y entre ellos Sb, As, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb, Se, Zn. El aporte de estos metales al ciclo hidrológico procede de diversas fuentes, siendo una de ellas de origen litogénico o geoquímico a partir de los minerales que por causa de erosión, lluvias, etc. son arrastradas al agua. No obstante, actualmente la mayor concentración es de origen antropogénico o debido a la actividad humana.

En la actualidad se estima en más de un millón de sustancias diferentes las que son introducidas en las aguas naturales a través de los vertidos

antropogénicos. Muchas de ellas no son consideradas tóxicas, si bien pueden alterar las características organolépticas del agua, perturbar severamente el ecosistema y/o ser directamente nocivas para el hombre.

Los problemas de contaminación de las aguas tiene su origen en la Revolución Industrial, hace aproximadamente unos 200 años y con un rápido aumento de la población mundial, la industrialización condujo a una urbanización muy localizada creando problemas en la calidad y en la cantidad del agua.

Al contrario que muchos contaminantes orgánicos los metales pesados, generalmente no se eliminan de los ecosistemas acuáticos por procesos naturales debido a que no son biodegradables. Por el contrario son muy contaminantes y sufren un ciclo global eco-biológico, donde las aguas naturales son el principal camino. Hoy en día los metales pesados tienen un gran significado como indicadores de la calidad ecológica de todo flujo de agua debido a su toxicidad y muy especialmente al comportamiento bioacumulativo.

Asimismo los metales pesados, tiene tendencia a formar asociaciones con sustancias minerales (carbonos, sulfatos, etc.) y en mayor grado con sustancias orgánicas mediante fenómenos de intercambio químico, por lo que se acumulan en el ambiente principalmente los sedimentos de ríos, lagos y mares. (4)

1.2 METALES PESADOS

El término 'metal pesado' suele referirse a metales cuyo peso específico es superior a 5 g.cm^{-3} , poseen un peso atómico comprendido entre 63.55 (Cu) y 200.59 (Hg), y que tiene un número atómico por encima de 20.

Desde el punto de vista de los seres vivos, hay metales pesados que son nutrientes esenciales (Fe, Mn, Zn, Cu y Mo), elementos beneficiosos en ciertas circunstancias (Ni, Cr, V, Ti, etc) y elementos que, por ahora, no se consideran que tengan funciones en los seres vivos (Cd, Hg, Pb, etc).

TABLA IV.

Elementos esenciales y/o tóxicos para vegetales y/o animales (Extraído de J. Boixadera y M. R. Teira (eds). 2001. "Aplicación agrícola de residuos orgánicos". Universidad de Lérida)

Metal	Esencial		Tóxico		F. dominante en el suelo
	Vegetal	Animal	Vegetal	Animal	
As	NO	NO	SI	SI	AsO_4^{-3}
Cd	NO	NO	SI	SI	Cd^{2+}
Cr	NO	SI	NO	NO	Cr^{3+} , CrO_4^{2-}
Cu	SI	SI	SI	SI	Cu^{2+}
Hg	NO	NO	SI	SI	Hg^{2+} , $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$
Mo	SI	SI	SI	SI	MoO_4^{2-}
Ni	SI	SI	SI	NO	Ni^{2+}
Pb	NO	NO	SI	SI	Pb^{2+}
Se	NO	NO	SI	SI	SeO_4^{2-}
Zn	SI	SI	SI	SI	Zn^{2+}
Co	SI	SI	NO	NO	Co^{2+}
Sn	NO	NO	NO	SI	Sn^{4+}

Los metales pesados son componentes naturales de la corteza de la tierra. No pueden ser degradados o ser destruidos. En un grado pequeño se incorporan a nuestros cuerpos vía el alimento, el agua potable y el aire. Como elementos de

rastros, algunos metales pesados (e.g. cobre, selenio, cinc) son esenciales para mantener el metabolismo del cuerpo humano. Sin embargo, en concentraciones más altas pueden conducir al envenenamiento. El envenenamiento por metal pesado podría resultar, por ejemplo, de la contaminación del agua potable (e.g. tuberías del plomo), las altas concentraciones en el aire cerca de fuentes de la emisión, o producto vía la cadena de alimento. (1)

1.2.1 Los metales pesados como contaminantes tóxicos

La Agencia para la Protección Ambiental de los Estados Unidos (E.P.A.) ha definido algunos metales como posibles elementos peligrosos, lo cual significa que su peligrosidad es potencial y que deben mantenerse bajo control. Son el bario, el cadmio, el cobre, el plomo, el manganeso, el níquel, el cinc, el vanadio y el estaño. Todos éstos, excepto el manganeso son metales traza, y todos, excepto el bario, son metales pesados. [Duffus, *Toxicología Ambiental*. Ed. Omega (1983)]

El medio ambiente recibe aportes de metales de origen tanto natural como artificial. Son procesos naturales que aportan metales al ambiente, fenómenos geológicos normales como la formación de menas, la meteorización y erosión de las rocas, la lixiviación y los fenómenos volcánicos en el fondo marino. Los aportes de origen artificial son consecuencia de la actividad humana, la mayoría procedentes de procesos desarrollados en la minería y en la industria.

Los metales pesados poseen una gran capacidad para unirse con muy diversos tipos de moléculas orgánicas.

Los procesos de bioacumulación son debidos básicamente a la imposibilidad, por parte del organismo afectado, de mantener los niveles necesarios de excreción del contaminante, por lo que sufre una retención en el interior del mismo. El proceso se agrava a lo largo de las cadenas tróficas, debido a que los niveles de incorporación sufren un fuerte incremento a lo largo de sus sucesivos eslabones, siendo en los superiores donde se hallan los mayores niveles de contaminantes.

Una vez incorporados a los tejidos, los metales son capaces de reaccionar con una gran variedad de sustancias. Sus efectos tóxicos específicos sobre un sistema biológico, sin embargo, dependen de reacciones con ligandos que son esenciales para la función normal de ese sistema.

Mercurio, plomo y cadmio se encuentran entre los metales más prevalentes en el medio ambiente. El cadmio se emplea industrialmente como agente antifricción, antioxidante, en aleaciones, en los semiconductores, baterías y en la manufactura de PVC.

En el ambiente, el cadmio es peligroso porque muchas plantas y algunos animales lo absorben eficazmente y lo concentran dentro de sus tejidos. Una

vez absorbido, se combina con la proteína metalotioneína y se acumula en los riñones, el hígado y los órganos reproductores.

El plomo está ampliamente distribuido en la naturaleza, pero normalmente el riesgo máximo surge de las emisiones asociadas al uso humano del metal y de sus derivados. Los humos y el polvo proceden de la fundición de plomo, de la fabricación de insecticidas, pinturas, vidrios, y de las gasolinas que contienen aditivos de plomo. Los animales pueden absorber plomo por inhalación o ingestión. Si la absorción es lenta, la excreción lo es más aún, de manera que el plomo tiende a acumularse. El resto de metales pesados producen efectos de gravedad similar. No es de extrañar, pues, que la detección de metales pesados se haya convertido en un parámetro clave de los análisis medioambientales.

1.2.2 Toxicidad de los metales pesados

La toxicidad de los metales pesados depende, como ha quedado expuesto previamente, de la concentración, la forma química y la persistencia. Un elemento indispensable para un ser vivo en concentraciones traza puede llegar a ser tóxico en concentraciones elevadas. Por otra parte, la mayoría de metales pesados se combina con otras formas químicas, antes de entrar en los organismos o cuando se encuentra en el interior de los mismos; por tanto, antes de determinar la toxicidad de un elemento es necesario determinar la forma química en la que se encuentra. La persistencia se define como el tiempo que tarda un contaminante en transformarse en una forma no tóxica.

Los metales pesados están considerados como muy peligrosos para los seres vivos en general, pues poseen una gran toxicidad, en parte debido a su elevada tendencia a bioacumularse.

Otro aspecto importante a considerar es la presencia simultánea (mezcla) de los metales pesados, ya que sus efectos pueden ser tanto tóxicamente sinérgicos o antagónicos (la toxicidad se reduce al mezclarse), por tanto existe cierta dificultad para predecir los efectos reales de los contaminantes en el medio.

La causa primaria del elevado nivel de toxicidad a nivel químico es que los metales pesados poseen una gran capacidad para unirse con moléculas orgánicas. (3)

1.2.3 Bioacumulación de metales pesados

Evidencias experimentales han llegado a demostrar que el grado de importancia biológica de los iones metálicos pesados con respecto a los sistemas vivos, de los que algunos son oligoelementos, sigue el mismo patrón que tiene su disponibilidad en la naturaleza. Además existe una aparente correlación entre la abundancia de los elementos en la corteza terrestre y las necesidades alimentarias de las células microbianas.

Estos metales en cantidades mínimas o traza, puede ejercer efectos positivos o negativos sobre los seres de vivos. Algunos de ellos se determinadas concentraciones, siempre menos al 0.01% de la masa total del organismo, son elementos esenciales para la vida y así el V, Cr, Mo, Mn, Fe, Co, Ni, Cu y Zn lo son para el hombre. No obstante pequeñas variaciones de sus

concentraciones, tanto disminuciones como incrementos, pueden producir efectos nocivos, a veces graves, crónicos e incluso letales sobre los seres vivos. Iguales efectos nocivos pueden ser causados por los metales trazas no esenciales que de forma natural o principalmente como consecuencia de la actividad humana se encuentran, actualmente en el medio ambiente de forma accesible.

El grado de toxicidad potencial y la biodisponibilidad que un metal pesado presenta en un ambiente dado depende de una serie de factores que si bien están muy interrelacionadas, los hemos clasificado en dos grupos: factores abióticos y bióticos.

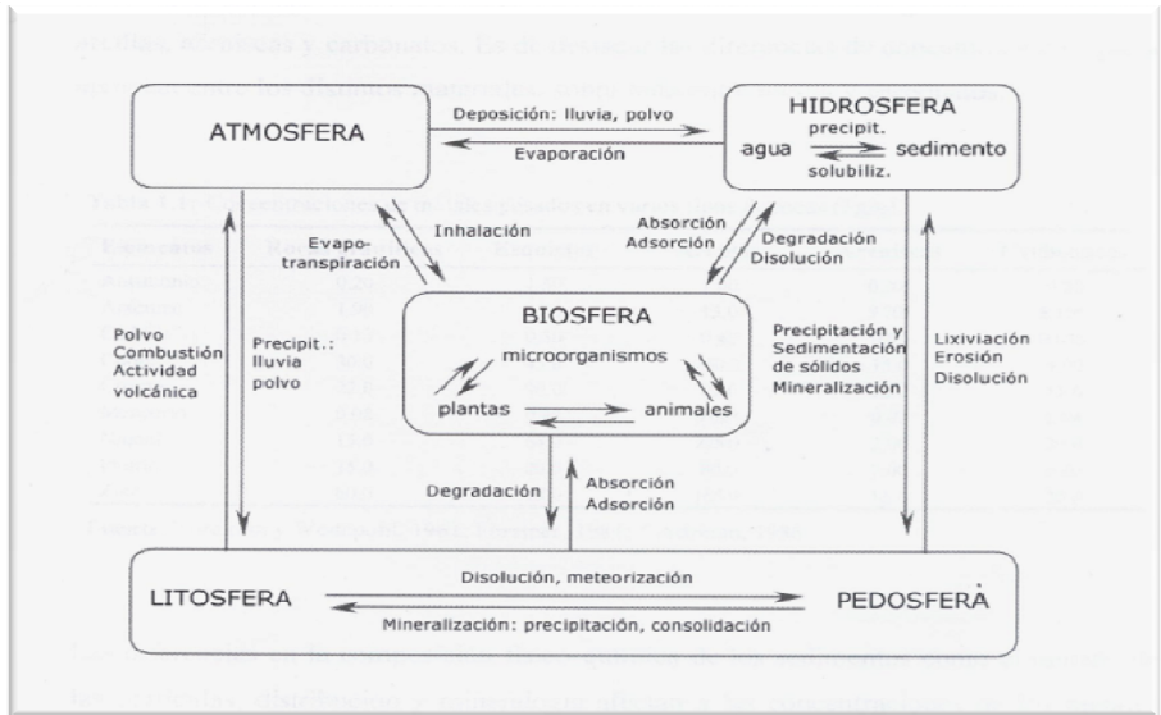
1.2.4 Vías de entrada y origen de los metales pesados en los sistemas acuáticos

Los metales tienen tres vías principales de entrada en el medio acuático **(Figura 1)**:

1. La vía atmosférica, se produce debido a la sedimentación de partículas emitidas a la atmosfera por procesos naturales o antropogénicos (principalmente combustión de combustibles fósiles y procesos de fundición de metales).
2. La vía terrestre, producto de filtraciones de vertidos, de la escorrentía superficial de terrenos contaminados (minas, utilización de lodos como abonos, lixiviación de residuos sólidos, precipitación atmosférica, etc.) y otras causas naturales.

3. La vía directa, de entrada de metales pesados es a consecuencia de los vertidos directos de aguas residuales industriales y urbanas a los cauces fluviales.

Figura 1: Ciclo biogeoquímico general de los metales pesados (varios autores)



En los sistemas acuáticos continentales (ríos, lagos, embalses, etc.) los metales pesados son introducidos como resultado de la acción de procesos naturales y antropogénicos. (8)

TABLA V:
Principales orígenes antropogénicos de los metales pesados.

Origen	Sb	As	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Pb	Zn
Baterías eléctricas			x	x			x	x	
Cementos y amiantos					x				
Chapados metálicos					x				
Curtidos de pieles				x	x				
Eléctrica y electrónica			x	x	x		x	x	x
Farmacéuticas		x		x	x				x
Fertilizantes		x	x	x	x	x	x	x	x
Fotografía			x	x	x			x	
Fundiciones		x	x	x	x		x	x	x
Galvanizado, electro chapados			x	x	x		x	x	x
Minería	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Motores de vehículos, chapados de aviones			x	x	x				x
Municiones y explosivos				x	x			x	
Papelería y similares				x	x		x	x	x
Pesticidas		x		x	x	x		x	x
Pigmentos, tintes, pinturas, tintas	x		x	x	x		x	x	x
Plásticos	x		x		x			x	x
Químicas, petroquímicas	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Textiles	x			x	x				x
Vitrocerámica			x				x	x	

Fuente: Wittmann, 1981; MOPU, 1982

http://www.tesisenxarxa.net/TESIS_UPC/AVAILABLE/TDX-0712101-075103//02INTRODUCCION.pdf

(14)

1.2.5 Metales pesados objeto de nuestro estudio

1.2.5.1 Cadmio (Cd)

El cadmio es un metal blanco azulado, dúctil y maleable. Se puede cortar fácilmente con un cuchillo. En algunos aspectos es similar al zinc. La toxicidad que presenta es similar a la del mercurio; posiblemente se enlace a residuos de cisteína. La metalotioneína, que tiene residuos de cisteína, se enlaza selectivamente con el cadmio. Su estado de oxidación más común es el +2. Puede presentar el estado de oxidación +1, pero es muy inestable. El cadmio es un metal pesado que produce efectos tóxicos en los organismos vivos, aun en concentraciones muy pequeñas.

1.2.5.1.1 Efectos en la salud

El Cadmio puede ser encontrado mayoritariamente en la corteza terrestre. Este siempre ocurre en combinación con el Zinc. El Cadmio también consiste en las industrias como inevitable subproducto de extracciones de Zinc, plomo y cobre. Después de ser aplicado este entra en el ambiente mayormente a través del suelo, porque es encontrado en estiércoles y pesticidas. La toma por los humanos de Cadmio tiene lugar mayormente a través de la comida. Otra alta exposición puede ocurrir con gente que vive cerca de los vertederos de residuos peligrosos o fábricas que liberan Cadmio en el aire y gente que trabaja en las industrias de refineras del metal. Cuando la gente respira el Cadmio este puede dañar severamente los pulmones.

1.2.5.1.2 Efectos ambientales del Cadmio

De forma natural grandes cantidades de Cadmio son liberadas al ambiente, sobre 25.000 toneladas al año. La mitad de este Cadmio es liberado en los ríos a través de la descomposición de rocas y algún Cadmio es liberado al aire a través de fuegos forestales y volcanes. El resto del Cadmio es liberado por las actividades humanas, como es la manufacturación.

Las fuentes más comunes son las pilas, que también contienen Mercurio, los pigmentos para pinturas, los barnices y las cañerías de PVC. Este metal es sumamente tóxico, además de cancerígeno. Cadmio puede ser transportado a grandes distancias cuando es absorbido por el lodo. Este lodo rico en Cadmio puede contaminar las aguas superficiales y los suelos.

El Cadmio es fuertemente adsorbido por la materia orgánica del suelo. Cuando el Cadmio está presente en el suelo este puede ser extremadamente peligroso, y la toma a través de la comida puede incrementar. Los suelos que son ácidos aumentan la toma de Cadmio por las plantas. Esto es un daño potencial para los animales que dependen de las plantas para sobrevivir. El Cadmio puede acumularse en sus cuerpos, especialmente cuando estos comen muchas plantas diferentes. Las vacas pueden tener grandes cantidades de Cadmio en sus riñones debido a esto.

Las lombrices y otros animales esenciales para el suelo son extremadamente sensibles al envenenamiento por Cadmio. Pueden morir a muy bajas concentraciones y esto tiene consecuencias en la estructura del suelo. Cuando las concentraciones de Cadmio en el suelo son altas esto puede influir en los procesos del suelo de microorganismos y amenazar a todo el ecosistema del suelo.

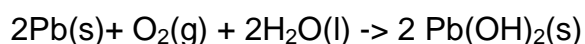
En ecosistemas acuáticos el Cadmio puede bioacumularse en mejillones, ostras, gambas, langostas y peces. La susceptibilidad al Cadmio pueden variar ampliamente entre organismos acuáticos. Organismos de agua salada se sabe que son más resistentes al envenenamiento por Cadmio que organismos de agua dulce. Animales que comen o beben Cadmio algunas veces tienen la presión sanguínea alta, daños del hígado y daños en nervios y el cerebro.

1.2.5.2 Plomo (Pb)

El plomo es un metal común que se encuentra en el ambiente. También se encuentra en pinturas preparadas con plomo, en el aire, en la tierra

contaminada, en el polvo dentro de la casa, en la comida y en ciertos tipos de cerámicas, porcelanas, plásticos, peltre y en el agua potable contaminada.

En condiciones normales el plomo no reacciona con el agua. Sin embargo, cuando el plomo se pone en contacto con aire húmedo, la reactividad con el agua aumenta. En la superficie del metal se forma una pequeña capa de óxido de plomo (PbO); en presencia de oxígeno y agua, el plomo metálico se convierte en hidróxido de plomo (Pb(OH)₂):



El plomo se utilizó como material de fontanería en épocas anteriores, y todavía está presente en construcciones antiguas. El plomo de las tuberías puede disolverse parcialmente en el agua que pasa a su través. El plomo se une al carbonato, por lo tanto inferiores cantidades de plomo se disuelven en agua dura. En el interior de las tuberías, se forma una capa de carbonato de plomo apenas soluble. Esta capa funciona como un recubrimiento de protección para el plomo subyacente de las tuberías.

1.2.5.2.1 Efectos medioambientales del plomo en el agua

El plomo y los compuestos de plomo son generalmente contaminantes tóxicos, este limita la síntesis clorofílica de las plantas. No obstante las plantas pueden absorber del suelo altos niveles de plomo, hasta 500 ppm. Concentraciones más altas perjudican el crecimiento de las plantas. Mediante la absorción por parte de las plantas, el plomo se introduce en la cadena alimenticia. Consecuentemente, la aplicación de pesticidas de plomo está prohibida en la

mayor parte de los países. El plomo se acumula en los organismos, en los sedimentos y en el fango. El plomo en el agua residual proviene principalmente de los tejados y de las calles.

El plomo existe en forma de 4 isótopos estables, y no en menos de 26 isótopos inestables.

1.2.5.2.2 Efectos en la salud que produce el plomo en el agua

El cuerpo humano contiene aproximadamente 120 mg de plomo. Alrededor del 10-20% del plomo es absorbido por los intestinos. Los síntomas de la exposición al plomo incluyen cólicos, pigmentación de la piel y parálisis. Generalmente los efectos del envenenamiento por plomo son neurológicos o teratógenos.

Los niños absorben mayores cantidades de plomo por unidad de masa corporal que los adultos (hasta un 40%). Por lo tanto los niños son generalmente más susceptibles al envenenamiento por plomo que los adultos. Los síntomas incluyen inferiores CI, cambios de comportamiento y desorden en la concentración. (6)

1.3 PVC (POLICLORURO DE VINILO)

El Policloruro de Vinilo (PVC) es un material termoplástico que se presenta en su forma original como un polvo de color blanco. Se fabrica mediante la polimerización del Cloruro de Vinilo monómero (VCM) que, a su vez, se obtiene de la sal común y del petróleo.

- El PVC contiene un 57% de cloruro que proviene de la sal

- La sal es un recurso natural prácticamente inagotable
- El PVC contiene un 43% de etileno obtenido del petróleo
- El petróleo es un recurso natural no renovable

La resina que resulta de esta polimerización es la más versátil de la familia de los plásticos; pues además de ser termoplástica, a partir de ella se pueden obtener productos rígidos y flexibles. A partir de procesos de polimerización, se obtienen compuestos en forma de polvo o pellet, plastisoles, soluciones y emulsiones.

Además de su gran versatilidad, el PVC es la resina sintética más compleja y difícil de formular y procesar, pues requiere de un número importante de ingredientes y un balance adecuado de éstos para poder transformarlo al producto final deseado.

El PVC fue patentado en 1913 como el primer producto sintético. En 1930 B.F. Goodrich Chemical descubre que el PVC absorbe plastificante y que al procesarse se transforma en un producto flexible. Este descubrimiento hizo posible el desarrollo comercial inicial. Posteriormente con el empleo de estabilizadores más adecuados se hizo posible el desarrollo del mercado del PVC rígido; estos dos importantes desarrollos permitieron que el PVC se convirtiera en el termoplástico más versátil e importante del mercado mundial.

El PVC crea problemas medioambientales en todo su ciclo de vida: durante su producción, debido a la intervención de gran cantidad de sustancias

tóxicas, durante su uso, debido a la migración de aditivos tóxicos, y su eliminación, terminando en los vertederos (contaminando el suelo y aguas subterráneas) o en las incineradoras (emitiendo sustancias tóxicas al aire).

(11)

1.3.1 Propiedades importantes del PVC

1.3.1.1 Propiedades Físicas

Forma y Tamaño de la Partícula

Su forma es esférica y en algunos casos tiene similitud a la de una bola de algodón. El tamaño varía según se trate de resina de suspensión o de pasta.

Porosidad de la Partícula

Es característica de cada tipo de resina. A mayor porosidad, mayor facilidad de absorción del plastificante, acortándose los ciclos de mezclado y eliminando la posibilidad de que aparezcan “ojos de pescado” (fish eyes) en el producto terminado.

Peso Molecular

Su promedio se mide indirectamente evaluando la viscosidad específica en soluciones al 0.4% de nitrobencono o la viscosidad inherente en soluciones al 0.5% de ciclo-hexanona. En el primer caso, nos da valores de 0.30 a 0.71 y en el segundo de 0.650 a 1.348, con valor K de 50 a 75. Conforme disminuye el peso molecular, las temperaturas de procesamiento de las resinas serán más bajas serán más fácilmente procesables, las propiedades

físicas en el producto terminado, tales como la tensión y la resistencia al rasgado, serán más pobres; el brillo y la capacidad de aceptar más carga será mejor y la fragilidad a baja temperatura será menor.

Gravedad Específica

Los valores típicos para la resina de suspensión tipo homopolímero son de 1.40 g/cc y para copolímeros cloruro-acetato de vinilo son de 1.36 a 1.40 g/cc. Los compuestos modifican su gravedad específica al adicionar cargas o plastificantes. El plastificante reduce el peso específico; por cada 10 partes de DOP se reduce en aproximadamente 0.02 gramos, mientras que la carga lo aumenta en función del tipo de carga de que se trate.

Estabilidad Térmica

A mayor peso molecular, se tiene mayor estabilidad térmica. Durante su procesamiento, la resina se degrada al recibir calor y trabajo. La degradación se presenta en forma de amarillamiento y empobrecimiento de las propiedades mecánicas del producto. Es para evitar esto que se adicionan los estabilizadores.

Características de Procesabilidad

La temperatura de fusión de la resina de suspensión homopolímero es de 140°C la de copolímero de 130°C. Al ser formuladas, las temperaturas de fusión de las resinas aumentan hasta 160°C y 180°C. Las cargas y los

plastificantes también sirven para aumentar dicha temperatura, aunque unos lo hacen con mayor efectividad que otros.

1.3.1.2 Propiedades Químicas

El PVC es soluble en ciclohexanona y tetrahidrofurano. Puede copolimerizarse con acetato de vinilo y cloruro de vinilideno, reduciéndose la temperatura de fusión. Puede post-clorarse, elevando su temperatura de distorsión. El PVC rígido, resiste a humos y líquidos corrosivos; soluciones básicas y ácidas; soluciones salinas y otros solventes y productos químicos. Tiene buena estabilidad dimensional. Es termoplástico y termosellable. Sólo arde en presencia de fuego; de otra forma, no lo sostiene y tiene buena resistencia a los efectos del medio ambiente, principalmente al ozono.

1.3.2 Formulación del PVC

- Resinas de PVC
- Plastificantes
- Estabilizadores
- Lubricantes
- Cargas
- Pigmentos
- Espumantes
- Absorbedores de rayos ultravioleta
- Ayudas de proceso

- Modificador de impacto
- Modificadores de viscosidad
- Antiestáticos
- Fungicidas
- Solventes

1.3.2.1 Estabilizadores

Se pueden clasificar como el único ingrediente indispensable en la formulación de un compuesto de PVC. Es importante mencionar que es el único ingrediente con el cual el PVC reacciona durante la fabricación del compuesto y su procesado; que seguirá en cierta forma reaccionando durante la vida útil del producto, retardando la degradación que el calor y la luz producen en el producto.

Los estabilizadores pueden ser: sales organometálicas de Ba, Cd, Pb y Zn en forma de líquidos o polvos, mercapturos y carboxilatos de compuestos organoestanosos en forma de líquidos o polvos, jabones y sales de plomo, líquidos o polvos, combinaciones de estearatos de Ca y Zn atóxicos; estabilizadores organofosfitos, epoxis y algunos más que contienen nitrógeno.

Es importante mencionar que el zinc, a pesar de ser estabilizador, en circunstancias especiales tiene efectos perjudiciales. Algunas resinas son más sensitivas que otras al zinc, así como que éste no es tan efectivo en presencia de fosfatos y plastificantes derivados de hidrocarburos clorados.

1.3.3 Producción del PVC

Las resinas de PVC se pueden producir mediante cuatro procesos diferentes: Suspensión, emulsión, masa y solución. Con el proceso de suspensión se obtienen homopolímeros y copolímeros y es el más empleado, correspondiéndole cinco octavas partes del mercado total. El proceso se lleva a cabo en reactores de acero inoxidable por el método de cargas la tendencia es hacia reactores de 15,000 Kilogramos.

1.3.4 Proceso del PVC

1.3.4.1 Calandreo

A partir de este proceso se elaboran principalmente películas y láminas (flexibles y rígidas, transparentes y opacas, espumadas o no, encogibles y orientadas, con y sin carga, con y sin pigmento, etc.), El proceso en sí consiste en hacer pasar el compuesto de PVC por un juego de tres o más rodillos de considerable dimensión, alimentándose el compuesto previamente molineado, para que por rotación y compresión se forme la película o lámina, según el espesor deseado.

1.3.4.2 Extrusión

Consiste en un tornillo sinfín dentro de un barril, en cuyo extremo se encuentra un dado que da forma a un sin número de perfiles rígidos y flexibles, tales como cintas, cordones, mangueras, tubos rígidos, perfiles rígidos para ventanas, puertas, cancelería, etc.

1.3.4.3 Inyección

Este proceso también emplea casi exclusivamente las resinas de suspensión, aunque hubo equipo diseñado para emplearse con plastisol. Consiste en un tornillo sinfín que empuja el compuesto de PVC fundido hacia un molde que debe ser completamente llenado, a partir de este proceso se fabrica una gran variedad de artículos.

1.3.4.4 Soplado

Es un proceso combinado de extrusión y soplado para producir artículos huecos, donde se aprovecha el mismo principio que para la producción de botellas de vidrio. Es un proceso crítico e interesante para compuestos a base de homopolímero de suspensión.

1.3.4.5 Compresión o prensado

Este es un proceso poco común, empleado principalmente para la fabricación de discos fonográficos; consiste en un molde de dos partes con calefacción propia que acciona por presión.

1.3.4.6 Recubrimiento

A través de un par de rodillos se hace pasar el soporte, que puede ser papel o tela de varias calidades. En él se vierte el plastisol, cuyo espesor es regulado por los rodillos o por cuchillas. El soporte recubierto se hace pasar a través de un horno horizontal eléctrico o de flama, donde se lleva a cabo el proceso de curación. Mediante un proceso similar, pero usando papel

siliconado (transfer) y el soporte seleccionado, se puede producir el recubrimiento espumado para tapicería de muebles y automotriz.

Inmersión

1.3.4.7 Vaciado

El molde caliente es llenado y vaciado formando una película de espesor dependiente de la temperatura del molde. Posteriormente se aplica más temperatura para que la película cure adecuadamente y se extrae a mano el objeto moldeado. Los productos típicos de este proceso son las cabezas de muñeca.

1.3.4.8 Moldeo Rotacional

Al molde frío se le pone una cierta cantidad de plastisol y se le cierra herméticamente. Se coloca dentro de un horno, donde el artículo se forma por medio de aplicación de calor y rotación al molde, se utiliza principalmente en la producción de pelotas.

1.3.4.9 Sinterización

Se utiliza para la producción de separadores de batería, en donde las partículas de resina se unen por fusión calórica en sus puntos de contacto, formando una lámina delgada de buena flexibilidad de gran porosidad. Este es un proceso único donde el PVC no se formula como compuesto y no requiere de estabilizador sino que sólo se emplean resinas de suspensión y pasta.

1.3.4.10 Lecho fluidizado

Es un proceso muy especializado que se utiliza para recubrir objetos metálicos empleando energía calorífica para lograr la adherencia al metal y formar una película protectora. Se usa normalmente resina de masa estabilizada.

1.3.4.11 Aspersión

Se aplica mediante pistolas parecidas a las de pintura por aspersión, como películas protectoras de metal. En este proceso se emplea principalmente la resina de masa estabilizada.

1.3.4.12 Electricidad y electrónica

Recubrimientos para cables eléctricos de uso doméstico, telefónica e industriales. Cajas de distribución, perfiles para instalaciones, enchufes, clavijas, gabinetes y teclados para computadora. (12)

1.3.5 El PVC y el reciclaje no hacen buena pareja

- Es un bajociclaje. Debido a la gran variedad de aditivos usados (en su mayoría tóxicos) en las distintas aplicaciones de este material, el PVC no es una sustancia única. Todas las aplicaciones del PVC reciclado están perfectamente cubiertas por materiales más adecuados como el cemento y la madera. Esto no hace otra cosa que retrasar el vertido inevitable en vertederos o incineradoras.

- Es caro. La propia industria del PVC ha reconocido que los actuales esfuerzos de reciclaje no son rentables, ya que las resinas y productos reciclados son a menudo más caros que el plástico virgen.

Como consecuencia de ello, el reciclaje de plásticos después de su consumo es insignificante y aumenta el tráfico de residuos plásticos.

1.3.6 El verdadero destino del PVC:

1.3.6.1 El vertedero

Cuando el PVC se deposita en un vertedero se está poniendo en peligro de contaminación el subsuelo y las aguas subterráneas. Tanto los plastificantes como los metales pesados, por la acción de microorganismos o de líquidos corrosivos en el vertedero, pueden ser liberados y contribuir al aumento de la peligrosidad del lixiviado (el líquido que se filtra a través del vertedero). Ni siquiera los mejores impermeabilizantes de vertederos pueden prevenir el escape del lixiviado, que es solo cuestión de tiempo. De esta manera, estamos trasladando el problema a las próximas generaciones.

1.3.6.2 Incineración: dioxinas para todos

- Dispersa contaminantes tan peligrosos como los organoclorados, el cloruro de hidrógeno y metales pesados en el aire y el agua.
- Genera enormes cantidades de nuevos y peligrosos residuos. Por cada 3 toneladas de residuos urbanos que entran en los hornos de las incineradoras, sale 1 tonelada de cenizas tóxicas, que deberán depositadas en vertederos, esta vez especiales.

- Despilfarra energía. La energía obtenida al quemar unos residuos es del orden de 3 a 5 veces menor que la que será necesaria para producir esos objetos de nuevo (extracción de materias primas, elaboración, distribución).

El contenido en cloro del PVC lo hace totalmente inadecuado para ser incinerado. El PVC genera cloruro de hidrógeno al ser incinerado y es la fuente principal de las dioxinas emitidas por las incineradoras. (13)

1.4 ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA

1.4.1 Antecedentes de la Espectroscopía atómica

El término espectroscopia significa la observación y el estudio del espectro, o registro que se tiene de una especie tal como una molécula, un ion o un átomo, cuando estas especies son excitadas por alguna fuente de energía que sea apropiada para el caso.

Uno de los pioneros en la espectroscopia fue Isaac Newton, quien a principios de 1600 observó y estudió el comportamiento de la luz solar cuando esta atraviesa por un prisma.

Kirschhoff y Bunsen en 1859 ampliaron el conocimiento de la naturaleza de este fenómeno, cuando la luz colorida producida por el metal en la flama la hicieron incidir en un depósito óptico que separa la radiación emitida por el metal, de la luz solar. En éste instrumento que fue llamado espectroscopio

(espectroscopio= observación del espectro) se observa que cada metal que emite radiación de diferente color, presenta líneas que aparecen en diferentes posiciones en la pantalla o campo de observación, y esto es independientemente de las condiciones en que se realiza el experimento así como de la naturaleza de la sal metálica y únicamente depende del metal. Adicionalmente, la intensidad de la línea está directamente relacionada a la concentración del elemento en solución.

1.4.1.1 Espectroscopia de átomos

La espectroscopia atómica se puede dividir en tres clases:

1. Espectroscopía de Emisión Atómica (EEA)
2. Espectroscopía de Absorción Atómica (EAA)
3. Espectroscopia de Fluorescencia Atómica

Por nuestro estudio hablaremos de la Espectroscopía de absorción atómica.

1.4.2. Espectroscopía de Absorción Atómica en flama (EAA)

La espectroscopia de absorción atómica (EAA), tiene como fundamento la absorción de radiación de una longitud de onda determinada. Esta radiación es absorbida selectivamente por átomos que tengan niveles energéticos cuya diferencia en energía corresponda en valor a la energía de los fotones incidentes. La cantidad de fotones absorbidos, está determinada por la ley de Beer, que relaciona ésta pérdida de poder radiante, con la concentración de la

especie absorbente y con el espesor de la celda o recipiente que contiene los átomos absorbedores.

Los componentes instrumentales de un equipo de espectrofotometría de absorción atómica son los similares a los de un fotómetro o espectrofotómetro de flama, excepto que en EAA se requiere de una fuente de radiación necesaria para excitar los átomos del analito. Estos componentes se representan en la **Figura 2**.

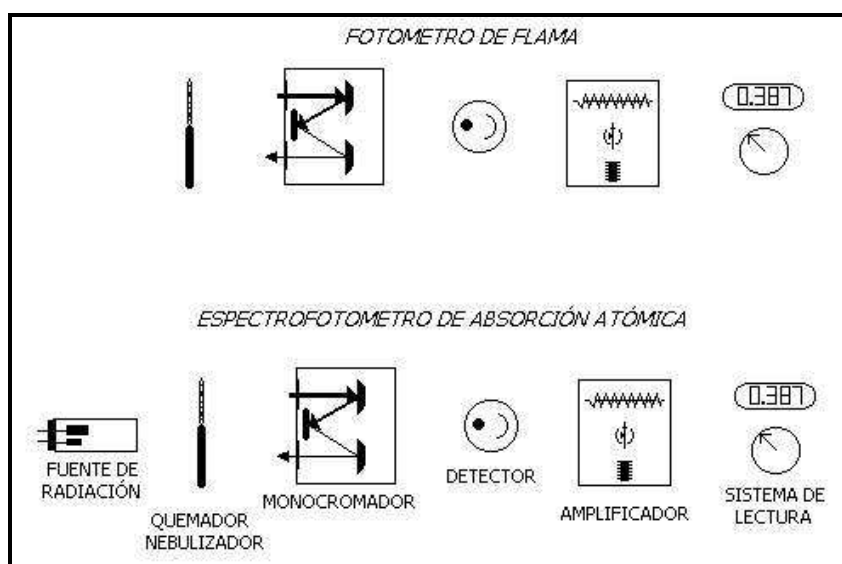


Figura 2: Componentes de un Fotómetro de Emisión de Flama y de un Espectrofotómetro de Absorción Atómica.

1.4.2.1 Componentes de un espectrofotómetro de absorción atómica

a) Una fuente de radiación que emita una línea específica correspondiente a la necesaria para efectuar una transición en los átomos del elemento analizado.

- b) Un nebulizador, que por aspiración de la muestra líquida, forme pequeñas gotas para una atomización más eficiente.
- c) Un Quemador, en el cual por efecto de la temperatura alcanzada en la combustión y por la reacción de combustión misma, se favorezca la formación de átomos a partir de los componentes en solución.
- d) Un sistema óptico que separe la radiación de longitud de onda de interés, de todas las demás radiaciones que entran ha dicho sistema.
- e) Un detector o transductor, que sea capaz de transformar, en relación proporcional, las señales de intensidad de radiación electromagética, en señales eléctricas o de intensidad de corriente.
- f) Un amplificador o sistema electrónico, que como su nombre lo indica amplifica la señal eléctrica producida, para que en el siguiente paso pueda ser procesada con circuitos y sistemas electrónicos comunes.
- g) Por último, se requiere de un sistema de lectura en el cual la señal de intensidad de corriente, sea convertida a una señal que el operario pueda interpretar (ejemplo: transmitancia o absorbancia).

1.4.3 Descripción de la técnica de EAA

La técnica de absorción atómica en flama en una forma concisa consta de lo siguiente: la muestra en forma líquida es aspirada a través de un tubo capilar y conducida a un nebulizador donde ésta se desintegra y forma un rocío o pequeñas gotas de líquido.

1.4.3.1 Análisis cuantitativo

El análisis cuantitativo en espectroscopia de absorción atómica es semejante al realizado en espectroscopia UV y Vis. Para esto se prepara una serie de estándares y se hace una curva de calibración con base a esta gráfica se determina la concentración de las soluciones problema.

1.4.3.2 Técnica de adición de estándar

Esta técnica consiste en agregar volúmenes iguales de solución problema a muestras estándar de conocida pero diferente concentración del elemento a determinar. Otra técnica diferente consiste en agregar a volúmenes iguales de muestra, cantidades variables de estándar de una misma concentración. Existe aún más variaciones, pero todas ellas están encaminadas a homogenizar las propiedades físicas de las soluciones que se aspiran al quemador.

1.4.4 Aplicaciones típicas de la EAA

La espectrofotometría de absorción atómica ha desplazado casi completamente a la fotometría de flama, debido a que esta última es más susceptible de interferencias y la sensibilidad en ambos métodos es similar. La mayor aplicación de la fotometría de flama es en la detección de Sodio y Potasio. Por EAA es posible determinar más de 70 elementos. La espectroscopia de fluorescencia atómica es más sensible que estas dos técnicas espectroscópicas, sin embargo, requiere de fuentes de radiación más intensas. Esta técnica produce mayores efectos de interferencia y este es otro factor limitante de la fluorescencia atómica. (9)

1.5 QUIMIOMETRIA

1.5.1 Definiciones Básicas

La Quimiometría es una disciplina científica relativamente joven (el término quimiometría fue acuñado en 1971) que se ha desarrollado rápidamente en las dos últimas décadas.

De acuerdo a D. L. Massart (uno de sus fundadores) es el uso de la estadística y matemática con el propósito de diseñar o seleccionar experimentos y procedimientos de medición óptimos, así como extraer un máximo de información de datos químicos.

Quimiometría puede definirse como la aplicación de métodos matemáticos, estadísticos, gráficos, ó simbólicos que permiten maximizar la información química que puede ser extraída de los datos. Los procedimientos Quimiométrico han probado ser útiles en cualquier punto del análisis, desde la primera concepción de un experimento, hasta que los datos son descartados.

El término Análisis Multivariado, como comúnmente es usado por los Quimiométrico, define cualquier aproximación matemática, estadística ó gráfica que considera múltiples variables simultáneamente.

Uno de los objetivos primarios de la quimiometría es reducir el número de dimensiones necesarias para representar con exactitud las características de un conjunto de datos.

1.5.2 Áreas de la Quimiometría

Un área del esquema contiene aquellos procedimientos que ayudan al investigador a recolectar *buenos datos*. El segundo conjunto de técnicas, que tiene algunos métodos en común con el primero, ayuda en la extracción de información valiosa de los buenos datos. Note el énfasis que se hace respecto a “buenos datos”. Datos malos tienen poca ó ninguna información valiosa asociada con ellos y la quimiometría no pueden ayudar con tales datos. Una tercera clase de creciente importancia para los químicos es la comparación de bibliotecas espectrales. Finalmente, aplicaciones de la inteligencia artificial en química han sido consideradas por muchos como técnicas quimiométricas.

En cierto sentido, la mayoría de técnicas quimiométricas son estadísticas en naturaleza, una categoría estadística sirve para recoger aquellas técnicas que no forman una categoría por si mismas en quimiometría. Un ejemplo de una técnica muy importante para los químicos que debe ser ubicada en esta categoría es el diseño estadístico de experimentos. Experimentos diseñados ofrecen una máxima cantidad de información por una mínima cantidad de esfuerzo y siempre deberían ser considerados cuando un experimento está siendo concebido. El experimentador planea cuidadosamente las mediciones que efectuará, consistente con diseños experimentales conocidos. Ejecutando un análisis de varianza (ANOVA) sobre estos resultados él puede extraer inferencias usando el mínimo número de experimentos. Excepto por los problemas más triviales, es importante considerar el uso de experimentos diseñados.

Una vez que buenos datos han sido recogidos, un investigador busca hacer el mejor trabajo posible para extraer información de ellos. Si él está trabajando con datos buenos y pertinentes, la quimiometría puede ayudarlo a responder las preguntas que se planteó al inicio.

1.5.3 Metodología Recomendada en un Análisis Quimiométrico

Para que la quimiometría sea de utilidad a un analista, ésta debe seguir un cierto protocolo. Algún tipo de metodología es usualmente necesaria para impedir desperdicio de tiempo y esfuerzo. Aunque la quimiometría es un campo amplio, se puede dar una estrategia general. Esta metodología da un sentido respecto a que suerte de consideraciones se deberían tener en una aplicación quimiométrica.

Primero, planee el experimento por si mismo, si es posible. Los mejores resultados pueden obtenerse cuando usted tiene un íntimo conocimiento de las condiciones bajo las cuales el experimento fue ejecutado. Trate de usar experimento estadísticamente diseñados para coleccionar eficientemente la mayor cantidad de información a cambio del mínimo esfuerzo. Como parte de este proceso, acuda a la literatura y veas si alguien más ha intentado un tipo similar de experimento. Metodologías específicas, bien definidas existen para algunas clases de problemas. Usted también debería considerar cuidadosamente que es lo que quiere aprender cuando decide que métodos usar y que variables medir. Ignorar variables críticas desecha información que ninguna técnica puede recuperar.

Segundo, comience a tomar los datos. En las primeras etapas, en particular, ponga mucha atención a la calidad de los datos. Dependiendo del tipo de datos que se recolectan, usted puede ser capaz de optimizar la respuesta del instrumento, incrementar la resolución y procesar la señal para reducir el ruido. Usted debería estar atento a eventos inusuales. Como parte de esto, es vital que usted mida y registre todos los datos por cada una de las muestras que considera. Datos faltantes degradan severamente el desempeño de técnicas multivariadas; en la mayoría de casos, puede ser mejor retirar la muestra completa del conjunto de datos, en vez de intentar alguna corrección de los datos faltantes.

Una vez que los datos han sido tomados, a menudo es necesario transferirlos a otro sitio, usualmente a un computador. En lo posible evite el ingreso manual de datos, ya que este método es más susceptible a error. Verifique siempre los datos transferidos. Valores inusuales de los datos deben ser investigados, para eliminar errores en la transferencia de datos, ya que muchos de los algoritmos quimiométricos dan resultados pobres con datos que contienen anómalos.

Un paso que se ajusta bien con la verificación de los datos involucra el desarrollo de un conocimiento básico de las características del conjunto de datos. Medias, desviaciones estándar, rangos y otros índices estadísticos deberían calcularse para cada una de las variables del conjunto de datos. Nuevamente busque posibles anómalos y vea si los resultados que obtiene son consistentes con lo que espera. Controle si cada variable se conforma de modo aproximado a una distribución Gaussiana. También, examine los coeficientes

de correlación entre las variables, para establecer si hay fuertes relaciones lineales presentes. Este proceso de familiarizarse con los datos será de valor en etapas posteriores del análisis. Trate de recolectar cualquier información que pueda ser pertinente.

Una vez que el análisis exploratorio de los datos se ha completado, la fase de indagación puede comenzar. Este es un proceso iterativo. Se ejecuta una rutina pertinente, la información que ésta provee es evaluada y usada para entender ulteriormente el problema. Basado en el nuevo conocimiento, una técnica complementaria puede ser escogida, la pregunta de interés puede ser reformulada o un nuevo set de preguntas puede ser generado. Un análisis completo puede involucrar muchos de estos pasos, con mucho refinamiento del conocimiento, usando un amplio arreglo de técnicas.

Finalmente, el analista debería revisar cuidadosamente lo que ha observado. Cuando se obtiene un resultado que no concuerda con el conocimiento del sistema, las técnicas ó los datos probablemente son erróneos. Quizás suposiciones críticas de algunos de los métodos fueron violadas, ó los datos tienen errores que impiden una solución directa. En cualquier caso, no abandone el conocimiento de cómo funciona el sistema. Cuando una amplia consideración de los resultados produce una conclusión en conflicto con el sentido común, apéguese al sentido común. Los métodos quimiométricos por si mismos no garantizan el éxito de un análisis.

1.5.4 Algunos peligros asociados con el uso de la quimiometría

- No espere obtener algo de la nada, las técnicas quimiométricas no son mágicas y no pueden obtener lo usted desea si se disponen de datos no significativos. Dejar fuera variables críticas hará que los datos no describan apropiadamente el sistema de interés.
- De la apropiada atención a lo que está haciendo. Las posibilidades de éxito se incrementan grandemente cuando el analista tiene un fuerte conocimiento de las técnicas quimiométricas que usa. Una apresurada selección de las técnicas quimiométricas dará lugar a pobres resultados. Esto es especialmente cierto cuando el analista viola las suposiciones sobre las cuales se basan las técnicas. (7)

CAPÍTULO II

CAPÍTULO II

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Materiales y Equipos

2.1.1. Materiales

Para el análisis de los metales pesados en las muestras de PVC.

- Placa
- Probeta
- Balones aforados 100mL

Para el análisis de los metales pesados en el agua contaminada con PVC

- Vasos de cristal
- Lupas
- Fundas negras
- Varilla de agitación
- Recipientes de plástico
- Probeta
- Balones aforados 100mL

2.1.2. Equipo

- Microondas
- EAA
- Lámparas para cada metal
- Agitador electrónico
- pHmetro

2.1.3. Reactivos

- Acido nítrico concentrado
- Acido fluorhídrico concentrado
- Acido clorhídrico concentrado
- Agua destilada
- Acido acético concentrado
- Estándares madre (certificados) para determinación en EAA
- Buffer pH 7
- Acido nítrico 1:1

2.2. Método

**Tabla VI:
Métodos utilizados para el análisis de metales pesados**

Parámetro/ Actividades	Métodos/Referencias	Material Utilizado									
<ul style="list-style-type: none"> Muestra 	Por fabricante más utilizado	Productos de PVC									
<ul style="list-style-type: none"> Metales Pesados 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Parámetro</th> <th>Expresado como</th> <th>Métodos de Análisis</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Plomo</td> <td>Pb</td> <td>APHA/AWWA Standard Methods N°3030 B, 311B</td> </tr> <tr> <td>Cadmio</td> <td>Cd</td> <td>APHA/AWWA Standard Methods N°3030 B, 311B</td> </tr> </tbody> </table>	Parámetro	Expresado como	Métodos de Análisis	Plomo	Pb	APHA/AWWA Standard Methods N°3030 B, 311B	Cadmio	Cd	APHA/AWWA Standard Methods N°3030 B, 311B	EAA
	Parámetro	Expresado como	Métodos de Análisis								
	Plomo	Pb	APHA/AWWA Standard Methods N°3030 B, 311B								
Cadmio	Cd	APHA/AWWA Standard Methods N°3030 B, 311B									

2.3. Técnicas y Estándares

2.3.1 Técnicas

Técnica para la determinación de metales pesados en las muestras de PVC

- Se tomo 5g de PVC y se coloca en una placa.
- Se coloca 5mL de ácido nítrico concentrado y 10mL ácido fluorhídrico.

- Se lleva al microondas por 2min y 20seg en potencia 5
- Se saca y se deja enfriar
- Se coloca 5mL de ácido clorhídrico y se coloca nuevamente al microondas por el mismo tiempo y potencia.
- Se afora a 100mL
- Y la muestra se llena a EAA para leer según el metal.

Técnica para la degradación del PVC la y simulación de la contaminación del agua.

Para un tiempo cero To

- Se toma una muestra de PVC aproximadamente de unos 5 centímetros en un erlenmeyer.
- Se coloca ácido acético con un pH 4.5
- Se aforo a 100mL con agua destilada
- Se agita la muestra por 24 horas
- Se lleva al equipo de EAA para leer los metales si hubiesen.

Para esta técnica nos basamos en: La Norma EPA 1311, trata sobre el procedimiento de obtención de lixiviado y el análisis de sus características de toxicidad. Su aplicación resulta de sumo interés para el estudio de la

caracterización química de los Residuos de Construcción y Demolición, además La Norma EPA 1311 sugiere la utilización de al menos 100 g de muestra sólida, a fin de obtener un volumen final de lixiviado de unos 2000 cm³, lo que permitiría realizar una buena cantidad de análisis sin volver a repetir la operación de lixiviado sobre el mismo residuo, sin embargo establece que si se toma menos gramos de muestra y se obtiene 100cm³ sugiere realizar más de dos repeticiones.

Existen 2 métodos de la EPA diferentes para la evaluación de las características de Toxicidad del lixiviado (metales):

1311:TCLP

1310 B:EP

Los dos métodos son ensayos empíricos y están diseñados para simular la lixiviación del residuo en un relleno Tipo 2 (peores condiciones de pH), en ensayos de laboratorio es decir en condiciones controladas.

Esta técnica se la conoce como **Test de Toxicidad (PE** proceso de extracción), este Test se lo aplica solo a muestras sólidas y se la hace para la determinación de ciertos metales y sustancias orgánicas, cuando la concentración en el extracto excede los límites específicos, el residuo sólido original es considerado tóxico.

Para tiempo T1 (un mes)

- Se toman vasos de cristal y se los forra con una lámina negra (funda plástica)
- Se coloca pequeños trozos de PCV aproximadamente de 5cm en cada uno de los vasos
- Se los tapa con una lupa y se los sella
- Se dejan irradiar al sol por un mes.
- Y se sigue la técnica para tiempo cero.

Para tiempo T2 (dos meses)

- Se hace todo lo del T1 con la diferencia que se deja irradiar la misma muestra del T1 por un mes más.
- Se sigue la técnica de To.

2.3.2 Preparación de los estándares para la calibración

La calibración de los estándares dentro del laboratorio se realizó para los dos metales de la siguiente manera:

Se prepara el agua acidulada (agua destilada y ácido nítrico 1:1) la cantidad dependerá de los estándares espectrofotómetro de la absorción atómica, para cada metal, se tiene un determinado estándar, todos estos estándares se los prepara en el agua acidulada y a partir del estándar madre después se lo lleva a lo indicado por la medición correspondiente.

Estándares para los metales objeto de nuestro estudio:

Cd (0,5 – 1 – 2)ppm

Pb(0,3 – 0,5 – 1- 2 – 4)ppm

Para la obtención de estándares que no se tienen preparados se los realiza mediante la fórmula:

$$C_1V_1 = C_2V_2 \quad \text{Ec. (1)}$$

Obteniendo el volumen inicial para las preparaciones de los estándares ya sabiendo sus correspondientes concentraciones.

Para la calibración de este equipo se prepara dos soluciones una de HCl 5M y la otra de NaBH₄ 0.4% esta con 2,5g de NaOH y 2g de Sodio Bromo hidruro, esto disolver y llevar a 100mL y la otra se la prepara debidamente con su pureza y densidad.

2.4. Diseño Experimental

2.4.1. Características del Diseño experimental

➤ Tipos de Investigación

- Por el nivel de profundidad:

Descriptiva

- Por la secuencia de estudios:

Transversal

- Por el tipo de datos analizados

Cuantitativo

- Por las condiciones de Estudio

De laboratorio

- Por la Utilización de los conocimientos

Aplicativa

- Por la rigurosidad del método implementado

Experimental

➤ **Metodología**

Se estudiaron tres muestras que fueron tubo, codo y T todos de PVC, y se seleccionaron los tres fabricantes más usados que son: Plastigama, Hidro 3, y Makro, se realizó el análisis de metales pesados Plomo(Pb) y Cadmio(Cd) con tres repeticiones de cada muestra y en diferentes tiempos, como se ve en el ejemplo siguiente:

Tabla VII:
Ejemplo esquemático de los datos obtenidos en los diferentes tiempos

Muestras	T₀			T₁			T₂		
tubería	T ₀₋₁	T ₀₋₂	T ₀₋₃	T ₁₋₁	T ₁₋₂	T ₁₋₃	T ₂₋₁	T ₂₋₂	T ₂₋₃
codo	T ₀₋₁	T ₀₋₂	T ₀₋₃	T ₁₋₁	T ₁₋₂	T ₁₋₃	T ₂₋₁	T ₂₋₂	T ₂₋₃
T	T ₀₋₁	T ₀₋₂	T ₀₋₃	T ₁₋₁	T ₁₋₂	T ₁₋₃	T ₂₋₁	T ₂₋₂	T ₂₋₃

La recolección de los datos será según el modelo del diseño experimental y corresponderán a los resultados de los diferentes análisis de laboratorio. Es un **diseño de Bloques Balanceados** ya que es el que mejor que se adapta a los datos obtenidos mediante el experimento para contaminar el agua por metales pesados usando radiación y un pH ácido con sus respectivas repeticiones se realizó una comparación de medias y un análisis de la varianza resumida en ANOVA, si existe significancia en los datos se realizaron las pruebas de comparación múltiple para elegir el fabricante que genera mayor contaminación con los metales pesados ya nombrados, usando la prueba de Tukey. Los resultados se resumieron en tablas y se los presentaron mediante gráficos.

2.4.2. Unidad experimental o de análisis

- Productos fabricados a base de PVC.

2.4.3. Diseño de Bloques Balanceados

Tabla VIII:
Bosquejo del diseño Bloques Balanceados

Muestra	F1			F2			F3		
1	Y1.1	Y1.1	Y1.1	Y2.1	Y2.1	Y2.1	Y3.1	Y3.1	Y3.1
2	Y1.2	Y1.2	Y1.2	Y2.2	Y2.2	Y2.2	Y3.2	Y3.2	Y3.2
3	Y1.3	Y1.3	Y1.3	Y2.3	Y2.3	Y2.3	Y3.3	Y3.3	Y3.3

➤ Plan de Tabulación

Parámetros de estudio:

Cadmio (Cd)

Plomo (Pb)

Factores de estudio:

F1: Fabricante Plastigama

1: Tubos

F2: Fabricante Hidro 3

2: Codos

F3: Fabricante Makro

3:T

Tabla IX:
Cuadros de Promedios

Muestra	F1	F2	F3	Yi.
1	Y1.1	Y2.1	Y3.1	
2	Y1.2	Y2.2	Y3.2	
3	Y1.3	Y2.3	Y3.3	
Y.j				Y..

Una vez obtenida la tabla de promedios se emplearon las siguientes formulas para para realizar los cuadros de promedios y poder hacer la tabla de análisis de varianzas ANOVA.

- Sumatoria de cuadrados Totales

$$SCT = \sum (Y_{ij})^2 - \frac{Y_{..}^2}{nK} \quad \text{Ec. (2)}$$

- Sumatoria de cuadrados del Tratamiento

$$SCTr = \frac{1}{n} \sum (Y_{.j})^2 - \frac{y_{..}^2}{nk} \quad \text{Ecu (3)}$$

- Sumatoria de cuadrados de los Bloques

$$SCB = \frac{1}{k} \sum (Y_i)^2 - \frac{y_{..}^2}{nk} \quad \text{Ec. (4)}$$

- Sumatoria de cuadrados del Error

$$SCE = SCT - SCTr - SCB \quad \text{Ec. (5)}$$

Una vez calculadas las sumatorias de los cuadrados se calculo y analizó la Tabla de Análisis de Varianzas (ANOVA)

Tabla X:
Tabla de Análisis de Varianza (ANOVA)

FUENTE DE VARIACIÓN (FV)	GRADIENTE DE LIBERTAD (GL)	SUMA DE CUADRADOS (SC)	CUADRADOS MEDIOS (CM)	RAZON DE VARIANTE (RV)	F DE TABLAS
Tratamientos	k-1	SCTr	SCTr/ k-1	CMTTr/CME	TABLAS
Bloques	n-1	SCB	SCB/ n-1	CMB/CME	
Error	(k-1)(n-1)	SCE	SCE/(k-1)(n-1)		
total	Kn-1	SCT	SCT/ Kn-1		

Una vez calculado la ANOVA, si el **F** de tablas es menor al **F** calculado (RV) existe significancia en mis datos por lo que procedimos a realizar las pruebas de comparación múltiple que la más aconsejable es la de Tukey.

$$TUKEY = q\alpha, rm, GL \sqrt{\frac{CME}{n}} \quad \text{Ec. (6)}$$

Una vez realizadas las pruebas de comparación múltiple podemos observar cual de los tres fabricantes es el que más contamina, se hacen los gráficos para mayor demostración.

CAPÍTULO III

CAPITULO III

3. CÁLCULOS Y RESULTADOS

3.1 Análisis Quimiométrico de los Datos

En este trabajo se ha determinado los niveles de plomo y cadmio en 15 muestras de materiales de uso cotidiano fabricados con PVC, los cuales incluyen las tuberías, codos y T, considerados en la sección anterior más algunos objetos tales como cables de teléfono, juguetes y otros accesorios. Para tal propósito las muestras fueron tratadas para extraer los metales en cuestión y luego analizadas mediante espectrometría de absorción atómica (AAS) para cuantificarlos. La tabla 11 muestra los resultados del análisis:

Tabla XI:

Contenido de plomo y cadmio de las muestras consideradas.

Muestra	Descripción	Pb (ppm)	Cd (ppm)
1	Tubería (Plastigama)	<0,1	<0,1
2	Codo (Plastigama)	<0,1	<0,1
3	Tubería (Hidro 3)	<0,1	100.4
4	Codo (Hidro 3)	<0,1	56.2
5	Tubería (Makro)	<0,1	<0,1
6	Codo (Makro)	<0,1	<0,1
7	plastic harmonica	20	7
8	toy dragon	1300	38
9	Modular Phone Cord, Gemini Industries, Inc.	910	0
10	Halloween placemat, Barth-Dreyfuss	150	10
11	Kentucky Fried Chicken, Henry Gordy, Int'l.	20	510

12	Space Jam placemat, Zak Designs	90	0
13	Raincoat, Warner Bros.	0	40
14	Umbrella B, Shaw Creations, Inc.	720	0
15	Barbie Slumber Tent, Ero Industries, Inc.	0	90

Los datos de la tabla XI fueron ingresados en un paquete de software especializado de quimiometría (SCAN) para su interpretación.

La quimiometría consiste en la aplicación de técnicas matemáticas y estadísticas para extraer la información útil contenida en determinaciones experimentales. El arsenal de la quimiometría incluye técnicas tales como el análisis de componentes principales (PCA), el análisis de agrupamientos (CLAN) y el análisis de clasificación, las cuales son poderosas herramientas que permiten a un experimentador, entre otras cosas, proyectar conjuntos de datos multivariados en gráficos bidimensionales conservando la información relevante para su inspección visual, la identificación de grupos con comportamiento similar sea de muestras o de variables, y clasificar agrupamientos de objetos previamente establecidos.

Antes de aplicar las técnicas quimiométricas mencionadas en el párrafo anterior, se efectuó un análisis estadístico univariado de los datos cuyos resultados se muestran en la Tabla XII:

Tabla XII:

Resultados del análisis estadístico univariado de los datos

<u>Variable</u>	<u>Número</u>	<u>Mínimo</u>	<u>Quartil 1</u>	<u>Mediana</u>	<u>Quartil 3</u>	<u>Máximo</u>
Pb	15	0	0	0.00	135.0	1300
Cd	15	0	0	7.00	52.15	510.0

<u>Variable</u>	<u>Media</u>	<u>Desv. Est.</u>	<u>Variance</u>	<u>Coef.Var.</u>	<u>Skewness</u>	<u>Curtosis</u>
Pb	214.0	412.4	170069	1.927	1.571	0.9439
Cd	56.77	129.9	16877	2.288	2.788	6.896

El análisis quimiométrico comienza con una operación de pretratamiento de los datos (autoscaling) que tiene el propósito de remover cualquier información “sucia” producto de la presencia de valores con magnitudes muy diferentes. El autoscaling transforma los datos de modo de cada variable adquiera una media igual a cero y una varianza igual a 1. Esto se logra modificando cada dato mediante la ecuación:

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{s_j} \quad \text{Ec: (7)}$$

La tabla XIII contiene los datos transformados:

Tabla XIII:

Datos pretratados mediante autoscaling.

Pb	Cd
-0.51892	-0.43701
-0.51892	-0.43701
-0.51892	0.33581
-0.51892	-0.00441
-0.51892	-0.43701
-0.51892	-0.43701
-0.47042	-0.38313
2.63341	-0.14451
1.68771	-0.43701
-0.15519	-0.36004
-0.47042	3.48869
-0.30068	-0.43701
-0.51892	-0.12911
1.22698	-0.43701
-0.51892	0.25576

La correlación entre las dos variables es muy baja ($r = -0.161$) por lo cual se comprueba que no están asociadas entre sí y cada una aporta información relevante en este análisis.

Sobre este conjunto de datos se aplicó un análisis de agrupamientos de naturaleza jerárquica (HCLAN) para buscar grupos de muestras con comportamiento similar. Los resultados de este análisis se pueden observar en un diagrama bidimensional en forma de árbol llamado *dendograma*. En este, las muestras se representan en el eje de abcisas y la distancia entre ellas (similaridad) en el eje de ordenadas. A continuación se incluye el dendograma en cuestión:

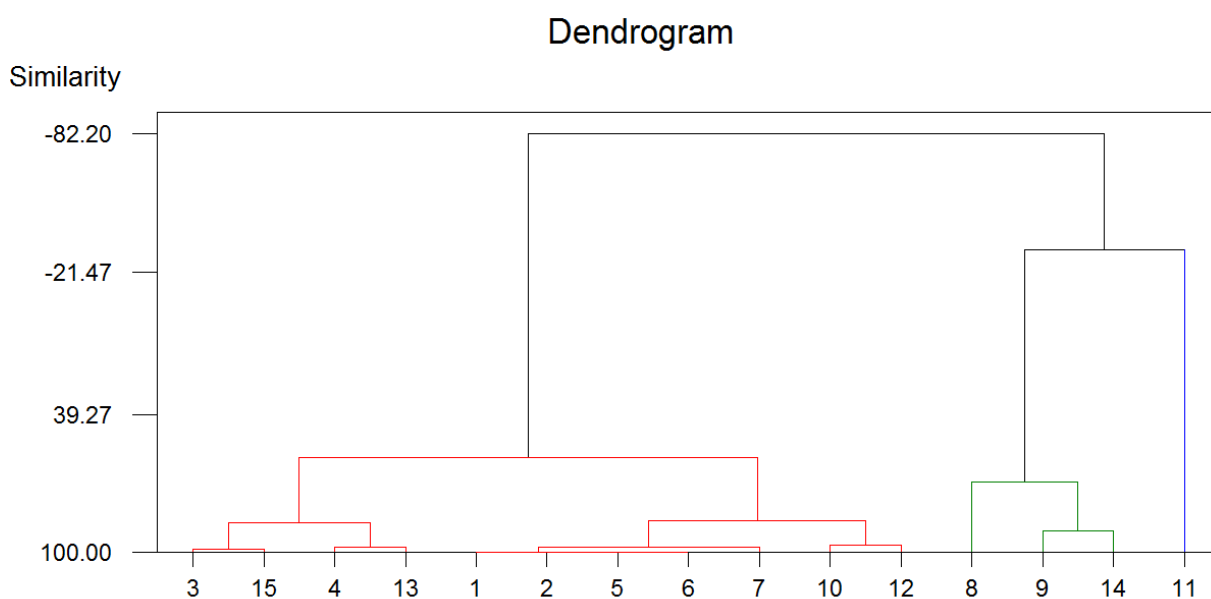


Figura 4: Dendograma resultado del análisis de agrupamientos para las muestras de PVC.

Del gráfico se deduce que las muestras forman 3 grupos bien definidos más un objeto aislado. El grupo 1 que contiene las muestras 3, 4, 13 y 15; el grupo 2 que contiene las muestras 1, 2, 5, 6, 7, 10 y 12; el grupo 3 que contiene las

muestras 8, 9 y 14; y finalmente la muestra 11 que tiene un comportamiento muy diferente a todas las demás. Observando la matriz de datos es posible establecer que en el grupo 1 están presentes muestras en las que se detectó plomo en mínimas concentraciones pero si cantidades relativamente importantes de cadmio; en el grupo 2, en cambio, están presentes muestras en las que no se detectó ni plomo ni cadmio o que contienen mínimas cantidad de ambos metales. El grupo 3 contiene muestras en las que se detectó cantidades relativamente importantes de plomo pero no se detectó (o existe en mínima proporción) cadmio. La muestra 11, que según el dendograma es muy diferente de las otras, contiene plomo en baja proporción, pero una cantidad muy alta de cadmio respecto al resto de muestras.

Como se observa, las muestras de tuberías y codos bajo examen y que fueron utilizadas para simular la contaminación del agua potable, se distribuyen de la siguiente manera: las muestras 3 y 4 (tubería y codo del proveedor Hidro 3) se ubican en el grupo de muestras que no presentan cantidades detectables de plomo pero si cantidades relativamente importantes de cadmio. Las otras muestras (1, 2, 5 y 6) que corresponden a tubos y codos de los proveedores Plastigama y Makro se ubican en el grupo de muestras que no poseen cantidades detectables de plomo ni cadmio. De aquí se deduce que solamente la muestra 3 (Tubería Hidro 3) sería susceptible de contaminar el agua porque posee una cantidad de cadmio que supera el límite establecido por el CPSC para riesgo sanitario (100 ppm). Las demás muestras de tuberías y codos serían inocuas de acuerdo a tales límites.

A continuación se efectuó un análisis de componentes principales para verificar la distribución de las muestras en el espacio bidimensional generado por las dos componentes. A continuación se muestra la composición de las componentes y el porcentaje de información acumulada por éstas:

Tabla XIV:

Información contenida en las componentes principales (PC1 y PC2)

	PC1	PC2
% Información	58.1	41.9
% Inf. acumulada	58.1	100

Tabla V:

Loadings (aporte) de las variables originales en las componentes principales.

Variable original	PC1	PC2
Pb	0.707	0.707
Cd	-0.707	0.707

La primera componente principal explica el 58.1% de la información contenida en los datos, la segunda componente explica la variabilidad residual (el 41.9%). Respecto al aporte de las variables originales en las componentes principales se encuentra que ambas aportan de modo similar a la construcción de las componentes, por tanto ambas variables se consideran necesarias en este estudio.

La Figura 5 muestra la proyección de las muestras sobre las dos componentes calculadas.

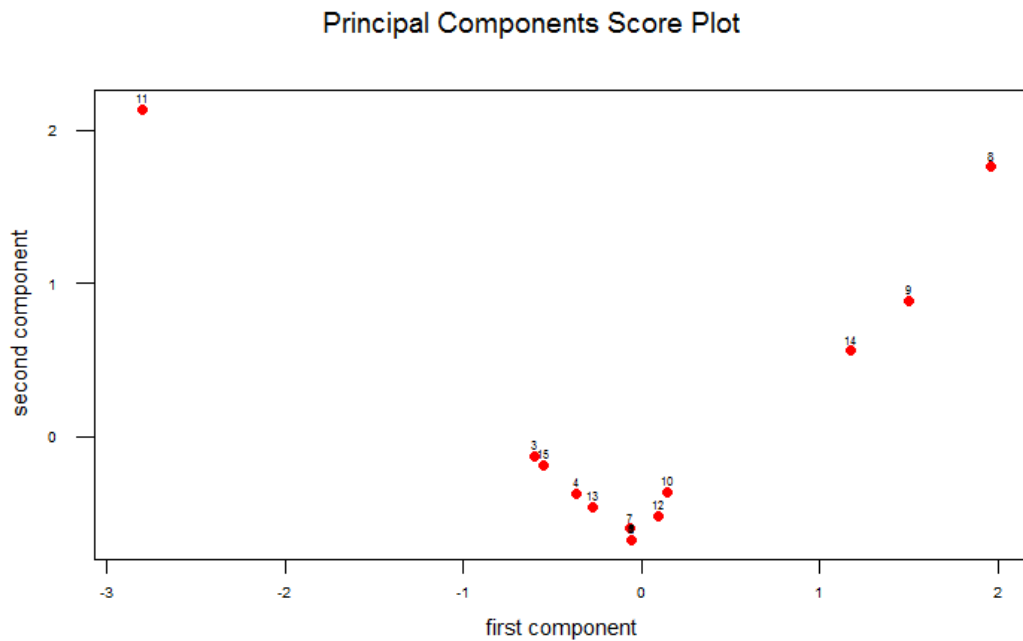


Figura 5: Proyección de las muestras sobre las dos componentes principales

La proyección de las muestras coincide con el análisis de agrupamientos pues en ésta se identifican los mismos grupos obtenidos en el dendograma.

La figura 6 muestra la proyección de las variables originales (plomo y cadmio) sobre las componentes:

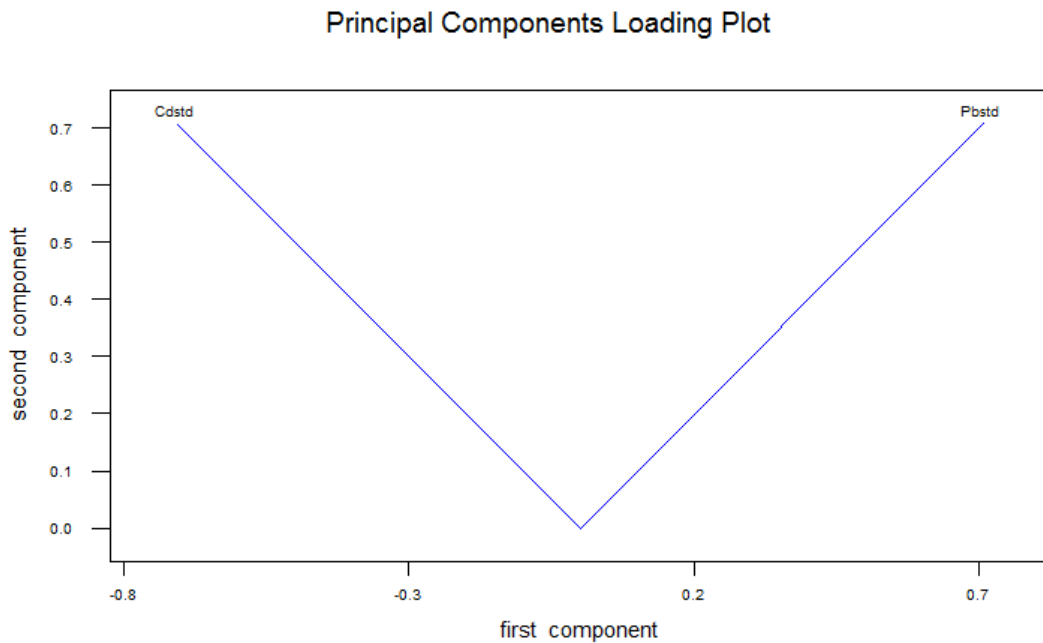


Figura 6: Proyección de las variables.

Este gráfico muestra que las variables medidas no tienen grado de asociación alguno por lo que se comprueba que cada una de ellas aporta información propia y relevante para el análisis.

Finalmente, para verificar que los grupos identificados en la etapa del análisis de agrupamientos se distinguen bien entre sí se utilizaron dos técnicas de clasificación sobre los grupos obtenidos. Las técnicas usadas son el método de los k vecinos más próximos (kNN), con $k = 1$, y el análisis discriminante lineal (LDA). Los resultados de la clasificación se muestran a continuación:

Con el método kNN se obtuvo la siguiente matriz de clasificación:

CLASES 2	7	7	0	0
	1.0	0.0	0.0	
CLASES 1	4	0	4	0
	0.0	1.0	0.0	
CLASE 3	4	0	1	3
	0.0	0.25	0.75	

Cross-validated Error Rate: 0.0667 (6.67%)

Cross-validated Risk: 0.0667 (6.67%)

La capacidad de clasificación con la técnica kNN es de 93.33%, esto es 14 objetos bien clasificados de los 15 disponibles en el set de datos. El riesgo de cometer un error de clasificación al usar este método es del 6.67%.

El gráfico asociado con la clasificación de kNN aparece a continuación.

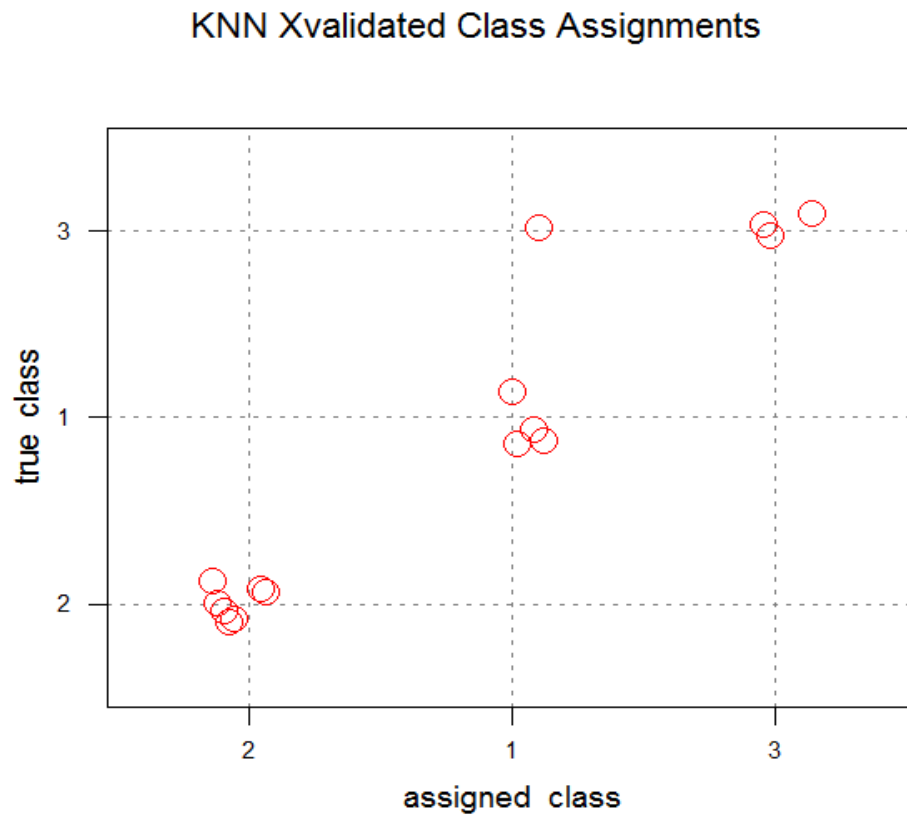


Figura 7. Gráfico de la asignación de clases efectuada por kNN

Con el método LDA se obtiene la siguiente matriz de clasificación:

Clase 2	7	7	0	0
		1.0	0.0	0.0
Clase 1	4	3	1	0
		0.75	0.25	0.0
Clase 3	4	0	1	3
		0.0	0.25	0.75

Cross-validated Error Rate: 0.2667 (26.67%)

Cross-validated Risk: 0.2667 (26.67%)

La capacidad de clasificación con la técnica LDA es de 73.33%, esto es 11 objetos bien clasificados de los 15 disponibles en el set de datos. El riesgo de cometer un error de clasificación al usar este método es del 26.67%.

El gráfico asociado con la clasificación de LDA aparece a continuación.

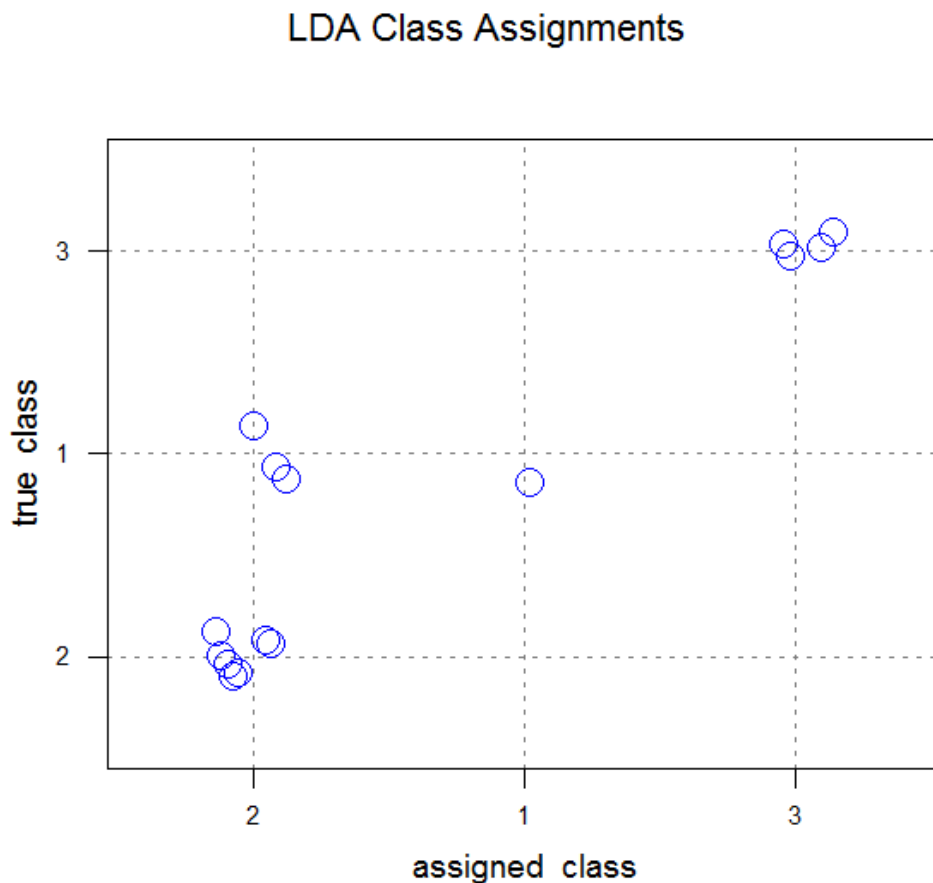


Figura 8. Gráfico de la asignación de clases efectuada por LDA

De estos resultados se recomienda usar la técnica kNN como la más apropiada para efectuar la clasificación de los grupos detectados en las operaciones de exploración del conjunto de datos.

3.2. Cálculo de la cantidad de cadmio (Cd) en el agua contaminada por PVC con una irradiación de tiempo cero.

La siguiente tabla muestra los datos obtenidos después de someter a las muestras de PVC en ácido para calcular que cantidad de ellas desprende cadmio durante este experimento, con sus respectivas repeticiones.

TABLA XVI:
Datos de cadmio en mg/L en las muestras de cada fabricante con sus respectivas repeticiones

Cd (T0)									
Muestra (mg/L)	F1			F2			F3		
1	0,021	0,016	0,023	0,041	0,038	0,036	0,019	0,023	0,017
2	0,019	0,017	0,024	0,023	0,020	0,017	0,015	0,019	0,026
3	0,017	0,021	0,018	0,019	0,024	0,022	0,016	0,018	0,022

Se calcula a través de quimiometría y por el diseño anteriormente mencionado, los promedios de cada una de las muestras por fabricante y tipo de muestra obteniendo los siguientes datos:

TABLA XVII:
Promedios de los datos obtenidos de Cd

Muestra (mg/L)	F1	F2	F3	Yi.
1	0,020	0,038	0,020	0,078
2	0,020	0,020	0,019	0,059
3	0,019	0,022	0,019	0,059
Y.j	0,058	0,080	0,058	0,195

Se calcula la sumatoria de los cuadrados tanto de los fabricantes como de las muestras, obteniendo:

TABLA XVIII:
Sumatoria de cuadrados para Cd

SCT	0,000315
SCTr	0,000106
SCB	0,000077
SCE	0,000131

Se realiza la tabla de análisis de varianza teniendo:

TABLA XIX:
ANOVA (Cd)

FV	GL	SC	CM	RV	F
tratamientos	2	0,0001063	0,00005	1,62	6,94
Bloques	2	0,0000774	0,00004	1,18	6,94
Error	4	0,00013147	0,00003		
Total	8	0,00031518	0,00004		

Obteniendo esta tabla concluimos que: como el **F** de tablas es mayor al calculado (**RV**), significa que no existe significancia en mis datos por lo que no es necesario realizar la prueba de comparación múltiple TUKEY.

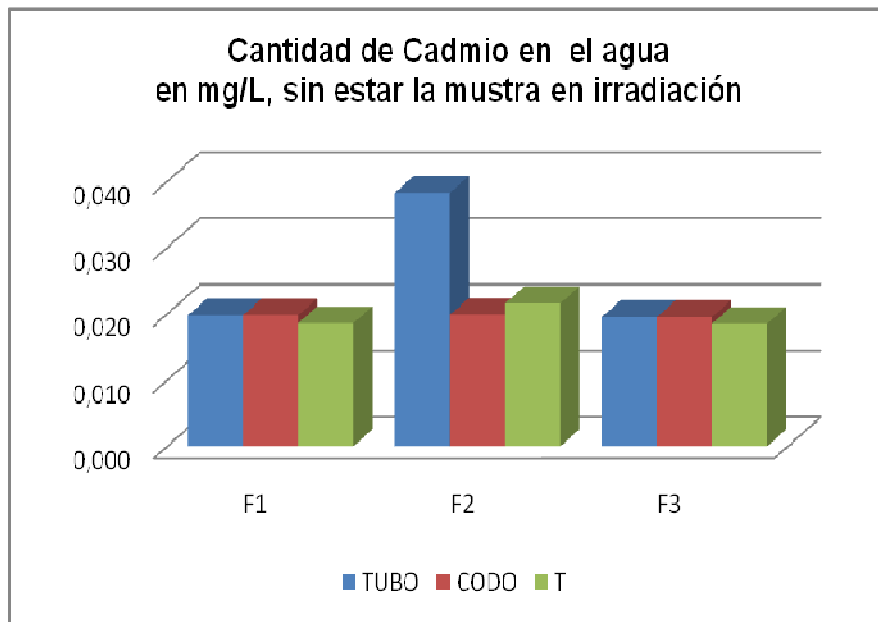


Gráfico #1. Representación gráfica, del cadmio presente en las muestras de agua contaminadas por PVC con tiempo de irradiación cero (T0)

La gráfica anterior muestra las diferentes concentraciones de cadmio en los diferentes productos o muestras de cada fabricante, sin ser la muestra puesta a irradiación.

3.3. Cálculo de la cantidad de plomo (Pb) en el agua contaminada por PVC con una irradiación de tiempo cero.

TABLA XX:
Datos de plomo en mg/L en las muestras de cada fabricante con sus respectivas repeticiones

Pb (T0)									
Muestra (mg/L)	F1			F2			F3		
1	0,055	0,068	0,087	0,072	0,060	0,078	0,069	0,073	0,065
2	0,063	0,070	0,065	0,055	0,075	0,080	0,084	0,064	0,062
3	0,067	0,070	0,070	0,070	0,063	0,074	0,070	0,067	0,068

La tabla XV, muestra la cantidad de plomo en las diferentes muestras de PVC obtenidas luego de someter a cada muestra a la técnica ya descrita anteriormente.

**TABLA XXI:
Promedios de los datos obtenidos de Pb**

Muestra (mg/L)	F1	F2	F3	Yi.
1	0,069	0,070	0,069	0,207
2	0,066	0,069	0,069	0,204
3	0,069	0,069	0,068	0,206
Y.j	0,204	0,208	0,207	0,618

La Tabla anterior indica los promedios obtenido de las repeticiones de cada muestra de PVC con su respectivo fabricante, una vez obtenida esta tabla se procede a calcular la sumatoria de los cuadrados, obteniendo los siguientes datos:

**TABLA XXII:
Sumatoria de cuadrados para Pb**

SCT	0,000009
SCTr	0,000003
SCB	0,000001
SCE	0,000005

Con estos resultados podemos calcular la tabla de análisis de varianzas para poder concluir este análisis y saber si existe o no significancia entre los datos expuestos en las anteriores tablas.

TABLA XXIII:
ANOVA (Pb)

FV	GL	SC	CM	RV	F
tratamientos	2	0,0000030	0,0000015	1,20	6,94
Bloques	2	0,0000010	0,0000005	0,40	6,94
Error	4	0,000005	0,0000013		
Total	8	0,000009	0,0000011		

Una vez obtenido estos datos podemos concluir que no existe significancia en nuestros datos puesto que **F** de tablas es mayor a **RV**.

La siguiente gráfica resume los datos de la cantidad de plomo existentes en las diferentes muestras de PVC y resumiendo así todo lo expuesto en las anteriores tablas.

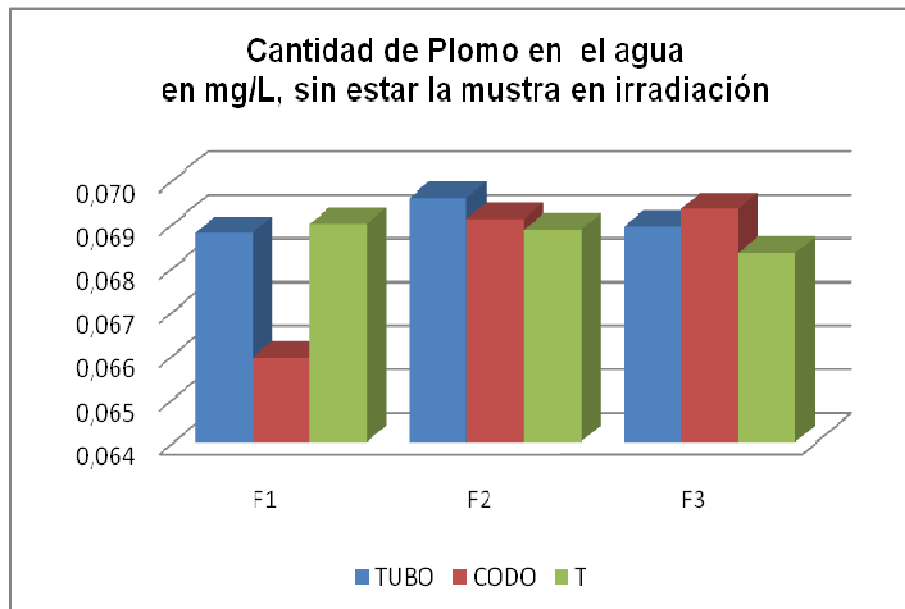


Gráfico #2. Representación gráfica, del plomo presente en las muestras de agua contaminadas por PVC con tiempo de irradiación cero (T0)

3.4. Cálculo de la cantidad de cadmio (Cd) en el agua contaminada por PVC con una irradiación de tiempo un mes (T1).

La siguiente tabla indica los datos de cadmio presente en el agua contaminada por PVC, obtenidos en laboratorio a través del equipo de Absorción Atómica, con sus respectivas repeticiones.

TABLA XXIV:
Datos de cadmio en mg/L en las muestras de cada fabricante con sus respectivas repeticiones en tiempo de irradiación un mes (T1).

Cd (T1)									
Muestra (mg/L)	F1			F2			F3		
1	0,022	0,019	0,024	0,044	0,040	0,042	0,022	0,026	0,021
2	0,021	0,018	0,025	0,026	0,028	0,026	0,020	0,024	0,027
3	0,019	0,023	0,020	0,023	0,027	0,025	0,021	0,024	0,027

Los siguientes datos son los promedios de las repeticiones de cada muestra y por cada fabricante.

TABLA XXV:
Promedios de los datos obtenidos de Cd en tiempo un mes (T1)

Muestra (mg/L)	F1	F2	F3	Yi.
1	0,022	0,042	0,023	0,086
2	0,021	0,027	0,023	0,071
3	0,021	0,025	0,024	0,069
Y.j	0,063	0,094	0,070	0,227

TABLA XXVI:
Sumatoria de cuadrados para Cd

SCT	0,000344
SCTr	0,000167
SCB	0,000058
SCE	0,000119

Una vez obtenidos la suma de cuadrados, se realizó la tabla de análisis de varianza para determinar la significancia en los datos y realizar la prueba de comparación múltiple de TUKEY

TABLA XXVII:
ANOVA (Cd)

FV	GL	SC	CM	RV	F
tratamientos	2	0,0001670	0,00008	2,81	6,94
bloques	2	0,0000580	0,00003	0,97	6,94
error	4	0,000119	0,00003		
total	8	0,000344	0,00004		

Para mis dos casos de tratamiento (Fabricante) y bloques (muestras) el **F** de tablas es mayor el **F** calculado (**RV**), no existe significancia tanto para mis tratamientos como para mis bloques, por lo tanto podemos utilizar cualquier muestra de cualquier fabricante.

La gráfica siguiente sintetiza los datos obtenidos de cadmio en tiempo T1, de las muestras de agua contaminadas por PVC.

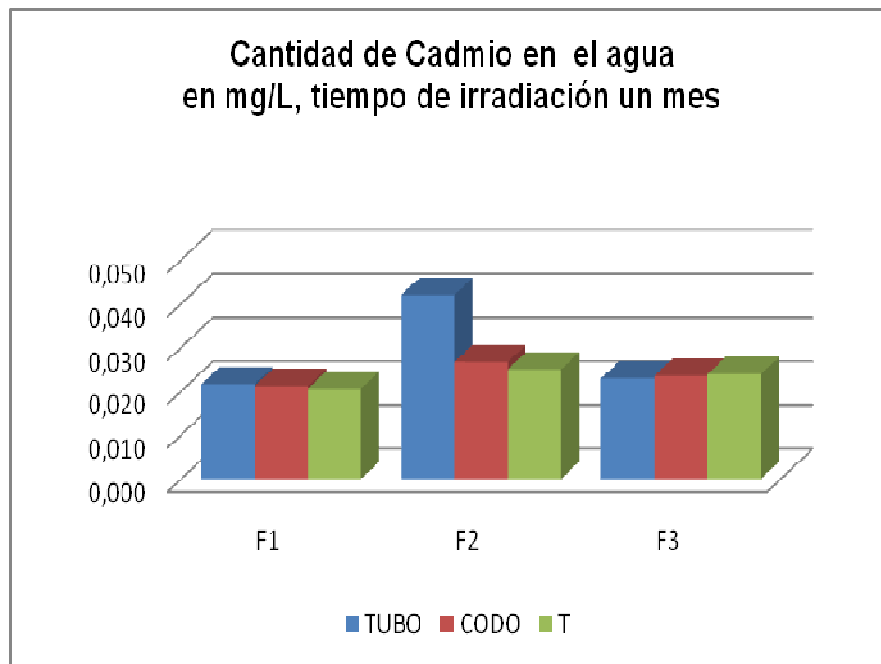


Gráfico #3. Representación gráfica, del cadmio presente en las muestras de agua contaminada por PVC con tiempo de irradiación de un mes (T1)

3.5. Cálculo de la cantidad de plomo (Pb) en el agua contaminada por PVC con una irradiación de tiempo un mes (T1).

La siguiente tabla muestra los datos obtenidos después de someter a las muestras de PVC en ácido para calcular que cantidad de ellas desprende plomo durante este experimento, con sus respectivas repeticiones, tiempo de irradiación un mes.

TABLA XXVIII:
Datos de plomo en mg/L en las muestras de cada fabricante con sus respectivas repeticiones en tiempo de irradiación un mes (T1).

Pb (T1)									
Muestra (mg/L)	F1			F2			F3		
1	0,057	0,071	0,089	0,074	0,064	0,078	0,071	0,073	0,069
2	0,065	0,072	0,067	0,061	0,075	0,078	0,080	0,066	0,066
3	0,069	0,072	0,072	0,072	0,067	0,074	0,070	0,069	0,071

Una vez obtenidos los datos usamos el diseño experimental, obteniendo los siguientes promedios:

TABLA XXIX:
Promedios de los datos obtenidos de Pb en tiempo un mes (T1)

Muestra (mg/L)	F1	F2	F3	Yi.
1	0,071	0,072	0,071	0,214
2	0,068	0,071	0,070	0,209
3	0,071	0,071	0,070	0,212
Y.j	0,210	0,214	0,211	0,635

Con los promedios obtenidos son la base para calcular la suma de los diferentes cuadrados tanto para fabricantes como para muestras, y son:

TABLA XXX:
Sumatoria de cuadrados para Pb

SCT	0,000010
SCTr	0,000002
SCB	0,000004
SCE	0,000004

Se calcula la tabla de análisis de varianzas para poder concluir:

**TABLA XXXI:
ANOVA (Pb)**

FV	GL	SC	CM	RV	F
tratamientos	2	0,0000020	0,0000010	1,00	6,94
bloques	2	0,0000040	0,0000020	2,00	6,94
error	4	0,000004	0,0000010		
total	8	0,00001	0,0000013		

Podemos concluir que no existe significancia en nuestros datos puesto que **F** de tablas es mayor a **RV**.

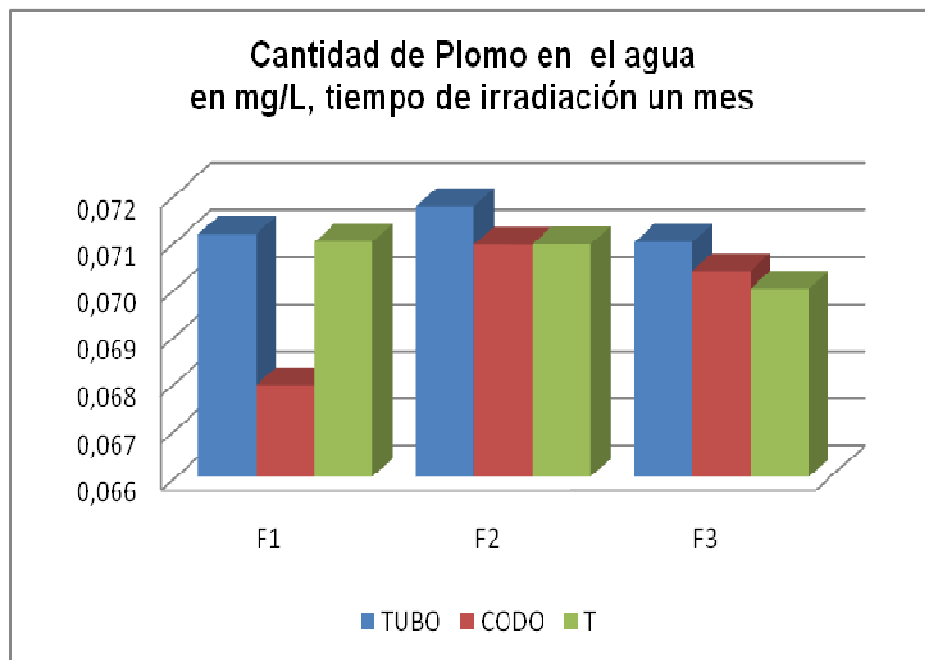


Gráfico #4. Representación gráfica, del plomo presente en las muestras de agua contaminadas por PVC con tiempo de irradiación de un mes (T1)

El gráfico anterior indica las concentraciones de plomo en las diferentes muestras de agua contaminadas por diferentes productos fabricados a base de PVC, muestras irradiadas un mes.

3.6. Cálculo de la cantidad de cadmio (Cd) en el agua contaminada por PVC con una irradiación de tiempo dos meses (T2).

TABLA XXXII:
Datos de cadmio en mg/L en las muestras de cada fabricante con sus respectivas repeticiones en tiempo de irradiación dos meses (T2).

Cd (T2)									
Muestra (mg/L)	F1			F2			F3		
1	0,022	0,025	0,024	0,044	0,043	0,041	0,023	0,026	0,025
2	0,021	0,020	0,025	0,026	0,028	0,026	0,020	0,024	0,027
3	0,022	0,023	0,020	0,023	0,027	0,025	0,021	0,024	0,027

La tabla que se muestra anteriormente, indica los datos obtenidos en el análisis de EAA de cadmio en las muestras de agua luego de irradiar los trozos de PVC dos meses.

La siguiente tabla señala los promedios de los análisis de los datos en sus diferentes repeticiones, usando el diseño de Bloques Balanceados.

TABLA XXXIII:
Promedios de los datos obtenidos de Pb en tiempo dos meses (T2)

Muestra (mg/L)	F1	F2	F3	Yi.
1	0,024	0,043	0,025	0,091
2	0,022	0,027	0,023	0,072
3	0,022	0,025	0,024	0,070
Y.j	0,067	0,094	0,072	0,233

Se calcula la sumatoria de cada uno de los cuadrados para poder elaborar la tabla de análisis de varianza y saber si existe o no concordancia en nuestros datos.

TABLA XXXIV:
Sumatoria de cuadrados para Cd

SCT	0,000333
SCTr	0,000139
SCB	0,000086
SCE	0,000107

Entonces tenemos la siguiente tabla:

TABLA XXXV:
ANOVA (Cd)

FV	GL	SC	CM	RV	F
tratamientos	2	0,0001390	0,00007	2,60	6,94
bloques	2	0,0000860	0,00004	1,61	6,94
error	4	0,000107	0,00003		
total	8	0,0003330	0,00004		

Como nuestra razón de variante tanto del tratamiento (fabricante) como de los bloques (muestras) son menores a **F**, se concluye que no hay significancia entre los datos puesto que no se realiza las pruebas de comparación múltiple.

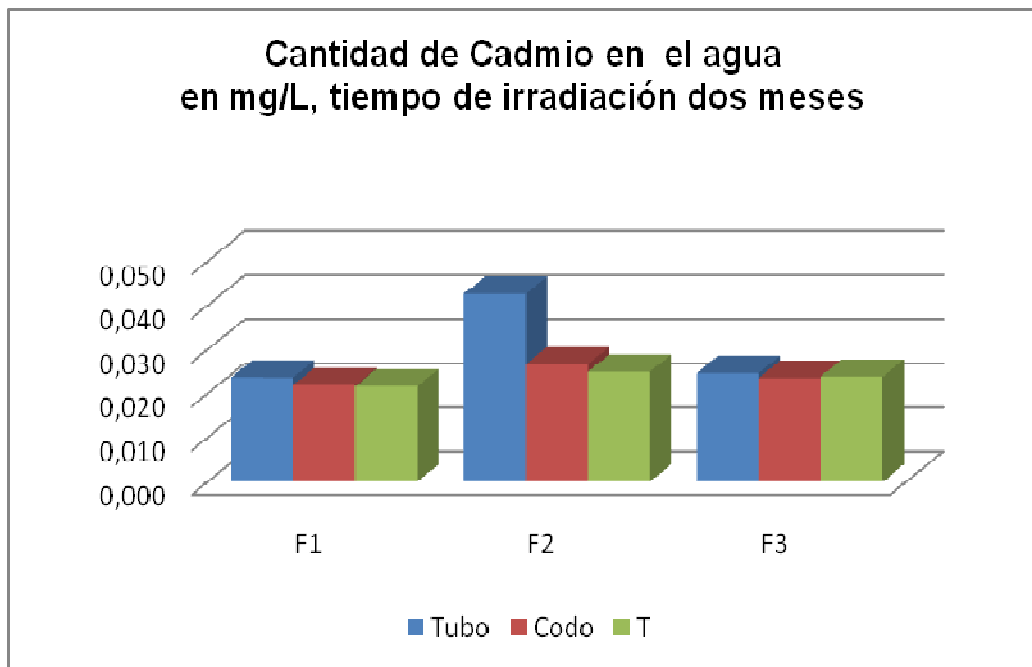


Gráfico #5. Representación gráfica, del cadmio presente en las muestras de agua contaminadas por PVC con tiempo de irradiación de dos meses (T2)

El gráfico muestra los datos obtenidos de cadmio en las muestras de agua, cuando los pedazos de PVC fueron expuestos a irradiación por dos meses.

3.7. Cálculo de la cantidad de plomo (Pb) en el agua contaminada por PVC con una irradiación de tiempo dos meses (T2).

La tabla que se indica a continuación muestra los datos de plomo obtenidos en laboratorio en muestras de agua contaminada por PVC.

TABLA XXXVI:
Datos de plomo en mg/L en las muestras de cada fabricante con sus respectivas repeticiones en tiempo de irradiación dos meses (T2).

Pb (T2)									
Muestra (mg/L)	F1			F2			F3		
1	0,060	0,071	0,089	0,075	0,068	0,077	0,072	0,073	0,070
2	0,069	0,072	0,067	0,061	0,075	0,078	0,076	0,066	0,070
3	0,069	0,072	0,072	0,072	0,067	0,074	0,070	0,069	0,071

Se calcula los promedios de los datos y se obtiene:

TABLA XXXVII:
Promedios de los datos obtenidos de Cd en tiempo dos meses (T2)

Muestra (mg/L)	F1	F2	F3	Yi.
1	0,072	0,072	0,072	0,217
2	0,069	0,071	0,071	0,211
3	0,071	0,071	0,070	0,212
Y.j	0,213	0,215	0,212	0,640

Se calcula la sumatoria de cuadrados.

TABLA XXXVIII:
Sumatoria de cuadrados para Pb

SCT	0,000011
SCTr	0,000002
SCB	0,000008
SCE	0,000002

Con la sumatoria de cada cuadrado se calcula la tabla de análisis de varianza de los datos en este tiempo de irradiación dándonos:

**TABLA XXXIX:
ANOVA (Pb)**

FV	GL	SC	CM	RV	F
tratamientos	2	0,0000020	0,0000010	2,00	6,94
bloques	2	0,0000080	0,0000040	8,00	6,94
error	4	0,000002	0,0000005		
total	8	0,000011	0,0000014		

Los análisis demuestran que: Como **RV** de los tratamientos (Fabricante) es menor a **F** no existe significancia en nuestros datos, pero como **RV** de los bloques (muestras) es mayor al **F** indica que si existe significancia en nuestros datos y procedemos a calcular las pruebas de comparación múltiple Tukey entonces:

**Tabla XXXX:
Cuadro de medias para TUKEY**

Y.j	media	
0,213	0,0709	A
0,215	0,0717	B
0,212	0,0707	C

Se toma los datos de **Y.j** y se saca las medias, como muestra la tabla anterior se coloca letras mayúsculas.

Se resta los datos de cada una de las letras entre ellas así:

A-B -0,0008
A-C 0,0002
B-C 0,0010

Se forma la tabla de Tukey para poder elegir la mejor muestra y se calcula

Tukey:

$$Tukey = q_{\alpha, rm, GLE} \sqrt{\frac{CME}{n}}$$

Donde:

n: GLT

rm: radio mayor

q α : grado de confiabilidad.

$$Tukey = 0,005,3,4 \sqrt{\frac{0,0000005}{2}}$$

$$Tukey = 5,04 \sqrt{\frac{5 \times 10^{-7}}{2}}$$

$$Tukey = 0,00252$$

Entonces:

**Tabla XXXXI:
Comparación de los datos con Tukey**

	C	A	B	Tukey
C	xx	0,0002	0,001	0,00252
A	xx	xx	0,0008	0,00252
B	xx	xx	xx	0,00252

a

a

Una vez terminada la prueba de comparación podemos decir que no existe mucha significancia puesto que los datos obtenidos están por debajo de los datos de Tukey como lo demuestra la tabla anterior.

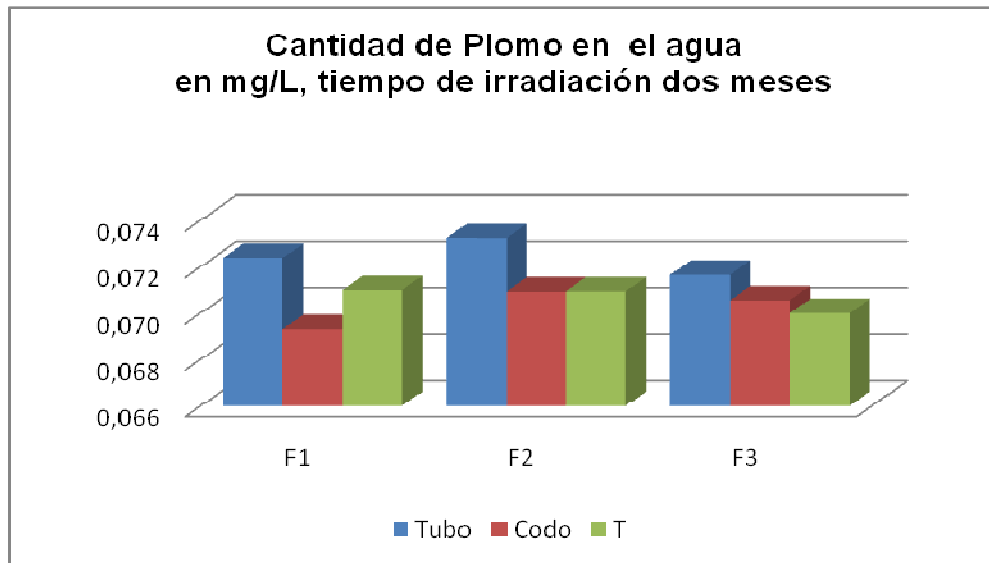


Gráfico #6. Representación gráfica, del plomo presente en las muestras de agua contaminadas por PVC con tiempo de irradiación de dos meses (T2)

3.8 Comparación de los datos obtenidos con límites máximos permisibles según el TULAS.

El Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS) en su libro VI anexo I (Normas de Calidad Ambiental y de Descarga de efluentes: Recurso agua), establece los límites máximos permisibles de cadmio y plomo para distintos tipos y usos de agua entre los que enfatizo los siguientes:

Tabla XXXII:
Límites máximos de cadmio y plomo

Agua	Límite máx. Cadmio	Límite máx. Plomo	Unidad mg/L	Abreviatura para Cadmio	Abreviatura para Plomo
Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce	0,02	0,02	mg/L	A1	B1
Límites de descarga a un cuerpo de agua marina	0,05	0,01	mg/L	A2	B2
Agua subterránea	0,0032	0,045	mg/L	A3	B3
Agua de uso agrícola	0,01	0,05	mg/L	A4	B4
Agua de uso pecuario	0,05	0,05	mg/L	A5	B5

3.8.1 Comparación de los datos de cadmio en tiempo cero (T0) con los límites máximos permisibles

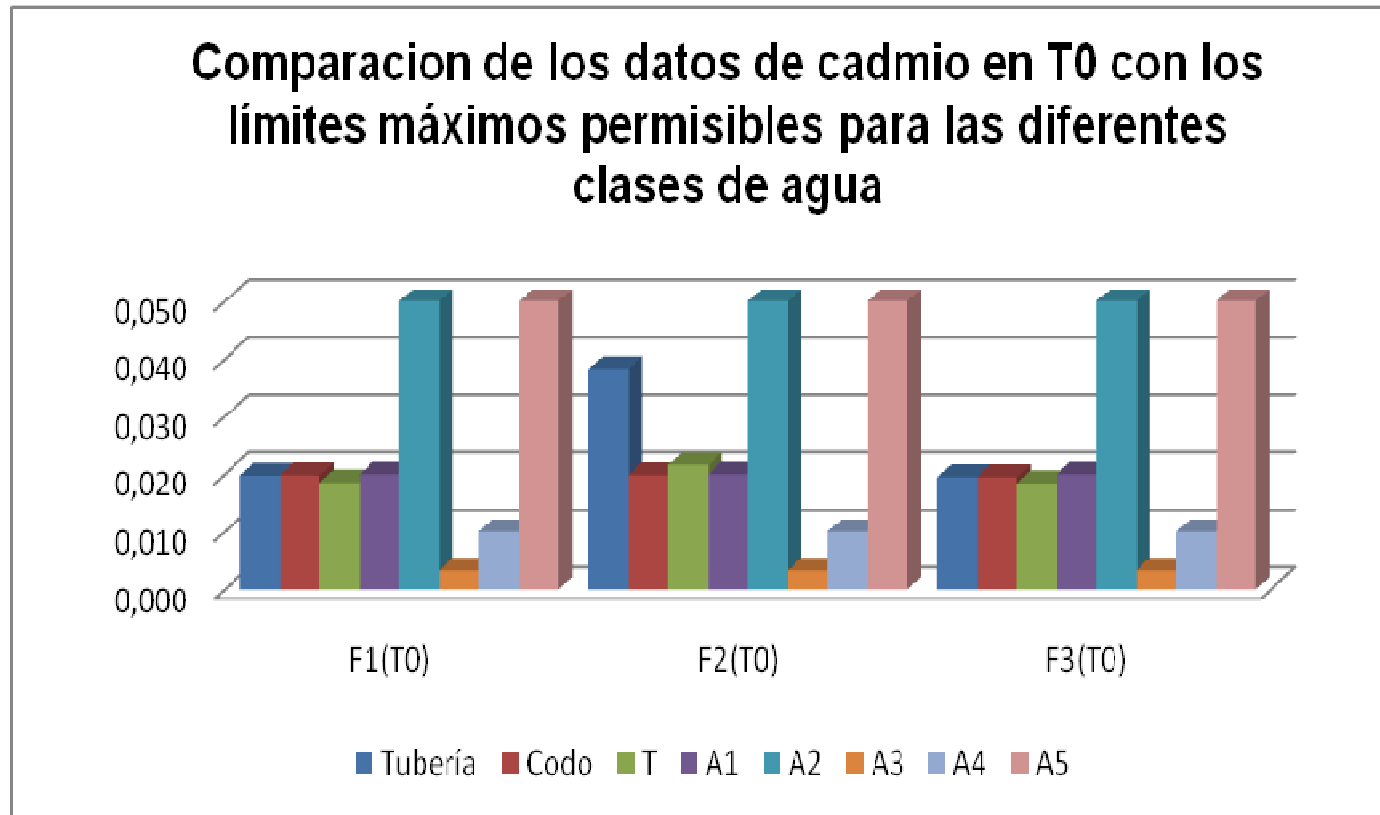


Gráfico #7. Representación gráfica de la comparación de los datos en T0 de los límites máximos permisibles de cadmio en diferentes clases de agua según el TULAS.

3.8.2 Comparación de los datos de cadmio en tiempo un mes (T1) con los límites máximos permisibles

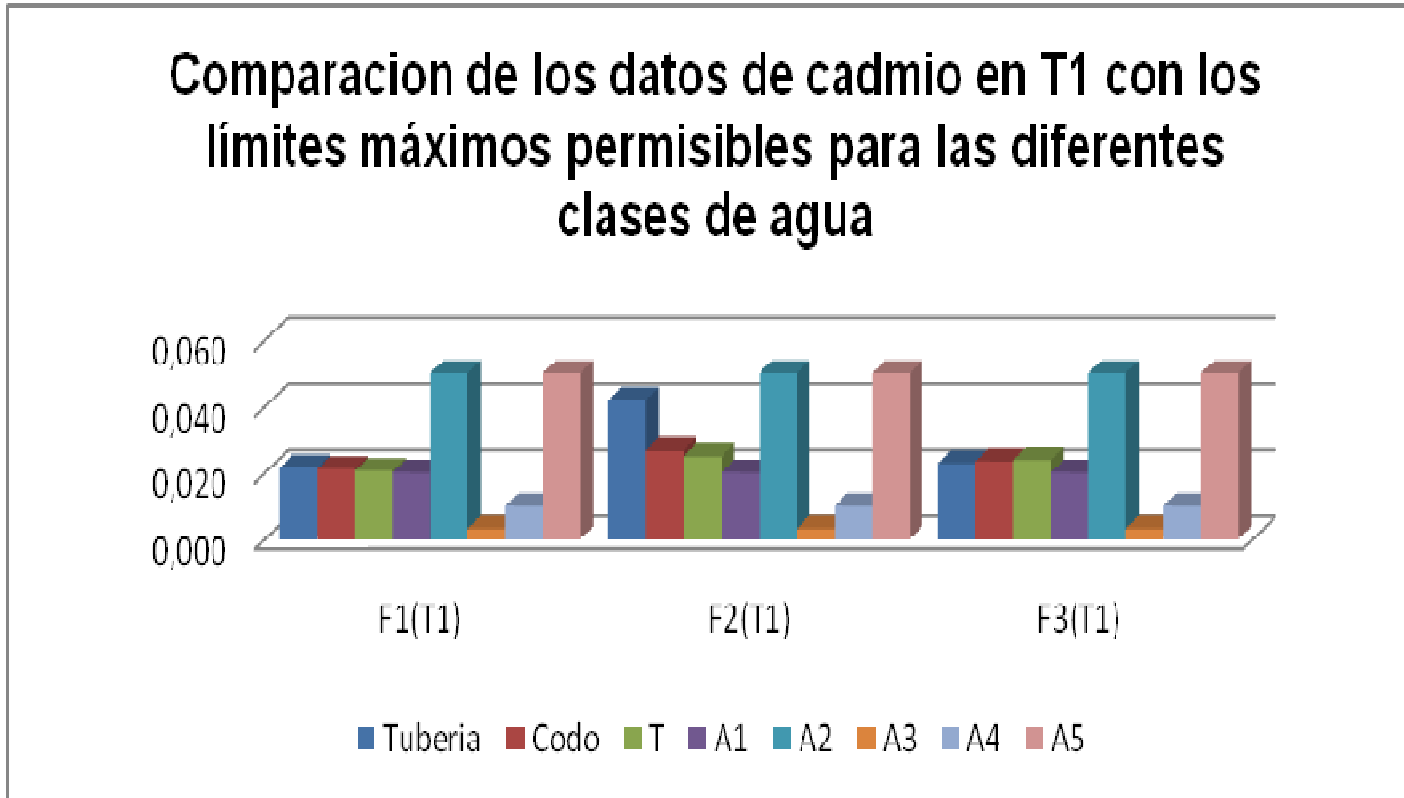


Gráfico #8. Representación gráfica de la comparación de los datos en T1 de los límites máximos permisibles de cadmio en diferentes clases de agua según el TULAS.

3.8.3 Comparación de los datos de cadmio en tiempo dos meses (T2) con los límites máximos permisibles

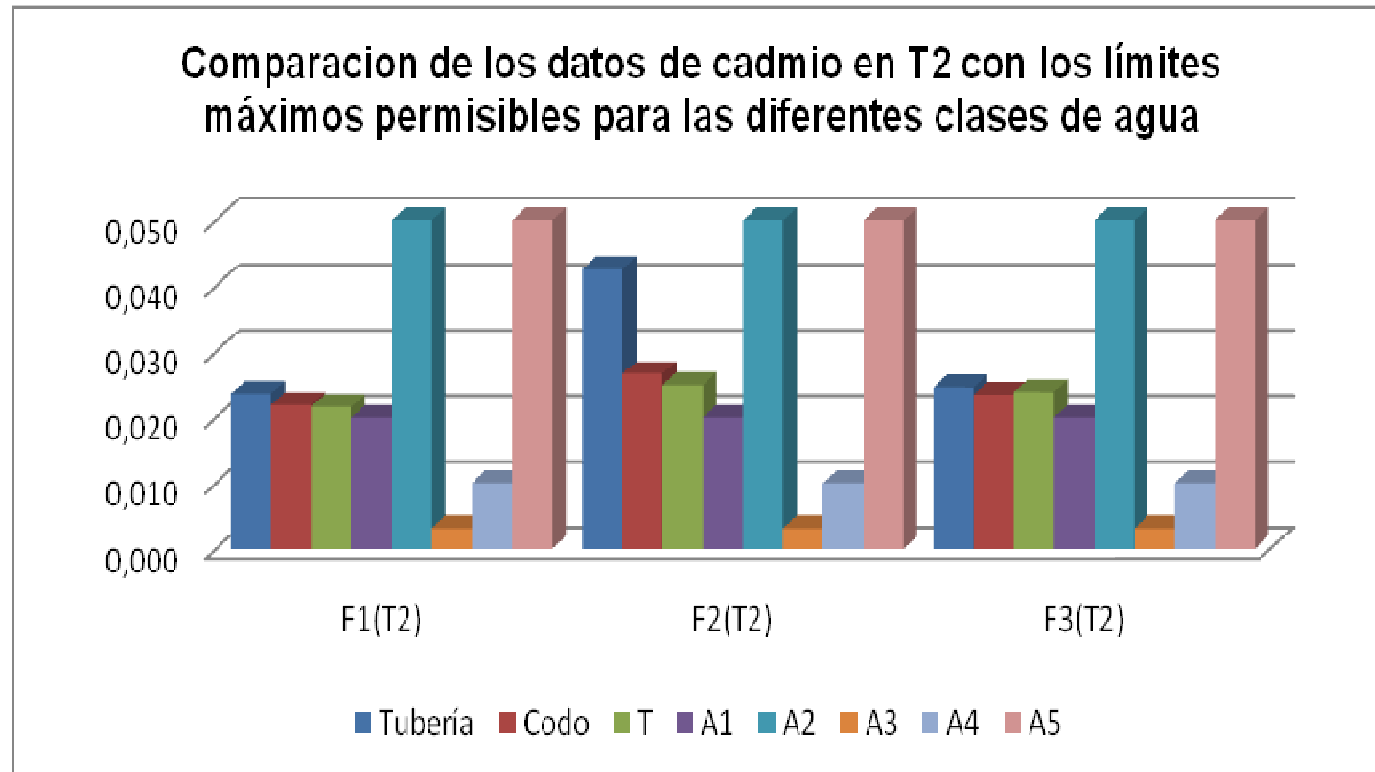


Gráfico #9. Representación gráfica de la comparación de los datos en T2 de los límites máximos permisibles de cadmio en diferentes clases de agua según el TULAS.

3.8.4 Comparación de los datos de plomo en tiempo cero (T0) con los límites máximos permisibles

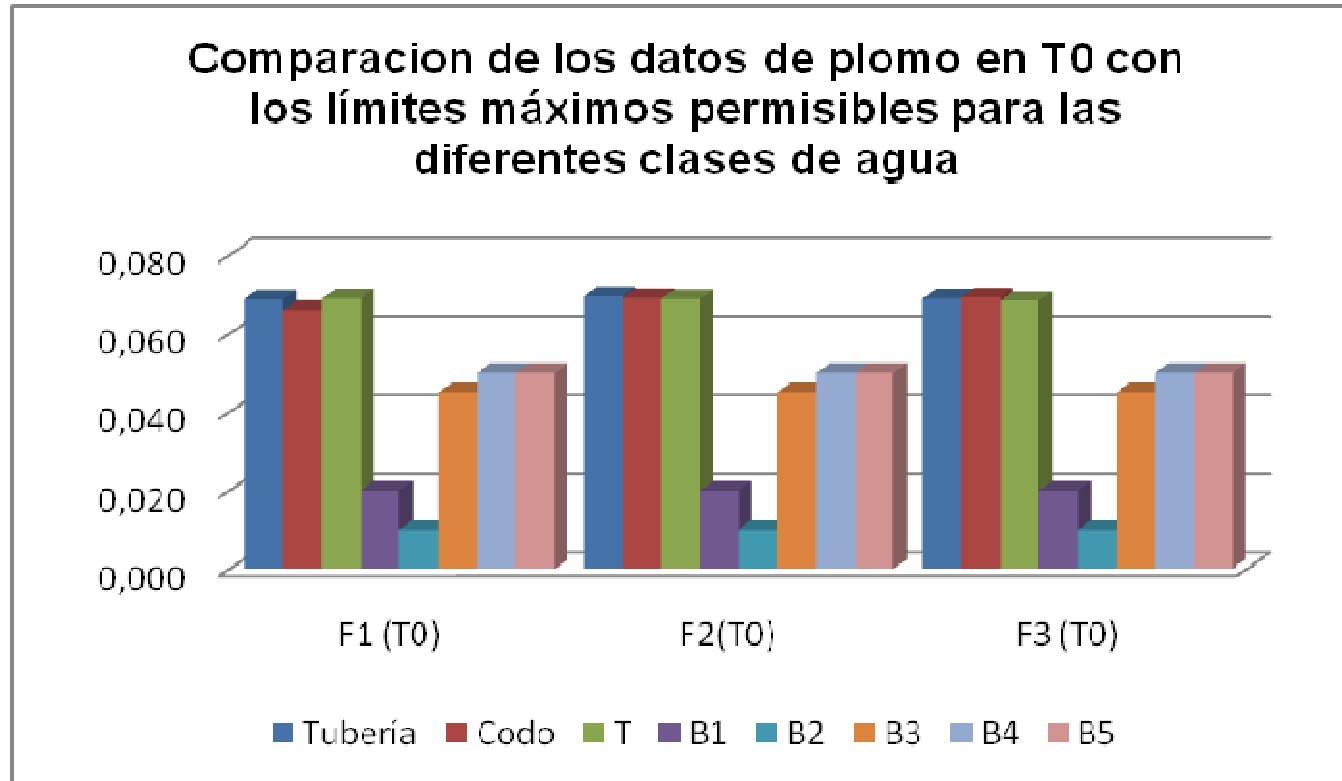


Gráfico #10. Representación gráfica de la comparación de los datos en T0 de los límites máximos permisibles de plomo en diferentes clases de agua según el TULAS.

3.8.5 Comparación de los datos de plomo en tiempo un mes (T1) con los límites máximos permisibles

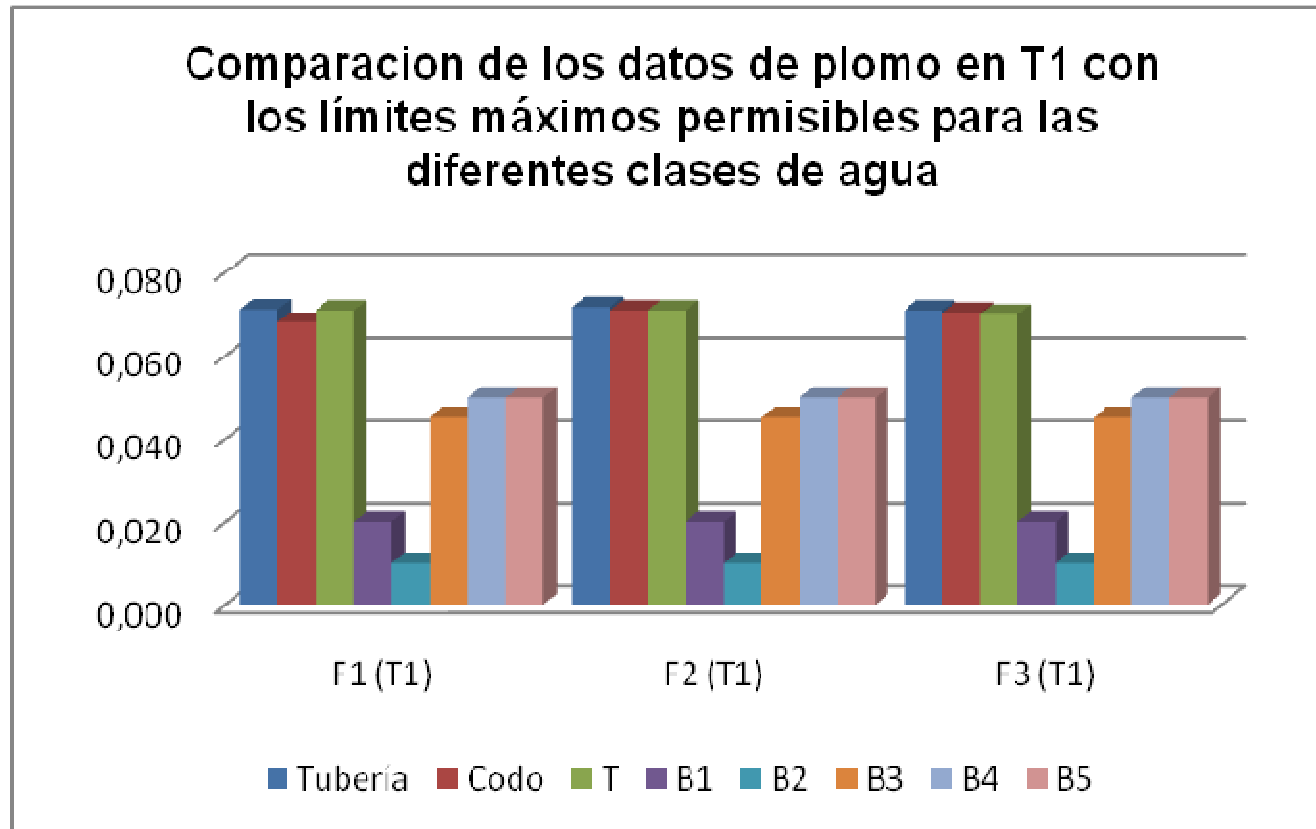


Gráfico #11. Representación gráfica de la comparación de los datos en T1 de los límites máximos permisibles de plomo en diferentes clases de agua según el TULAS.

3.8.6 Comparación de los datos de plomo en tiempo dos meses (T2) con los límites máximos permisibles

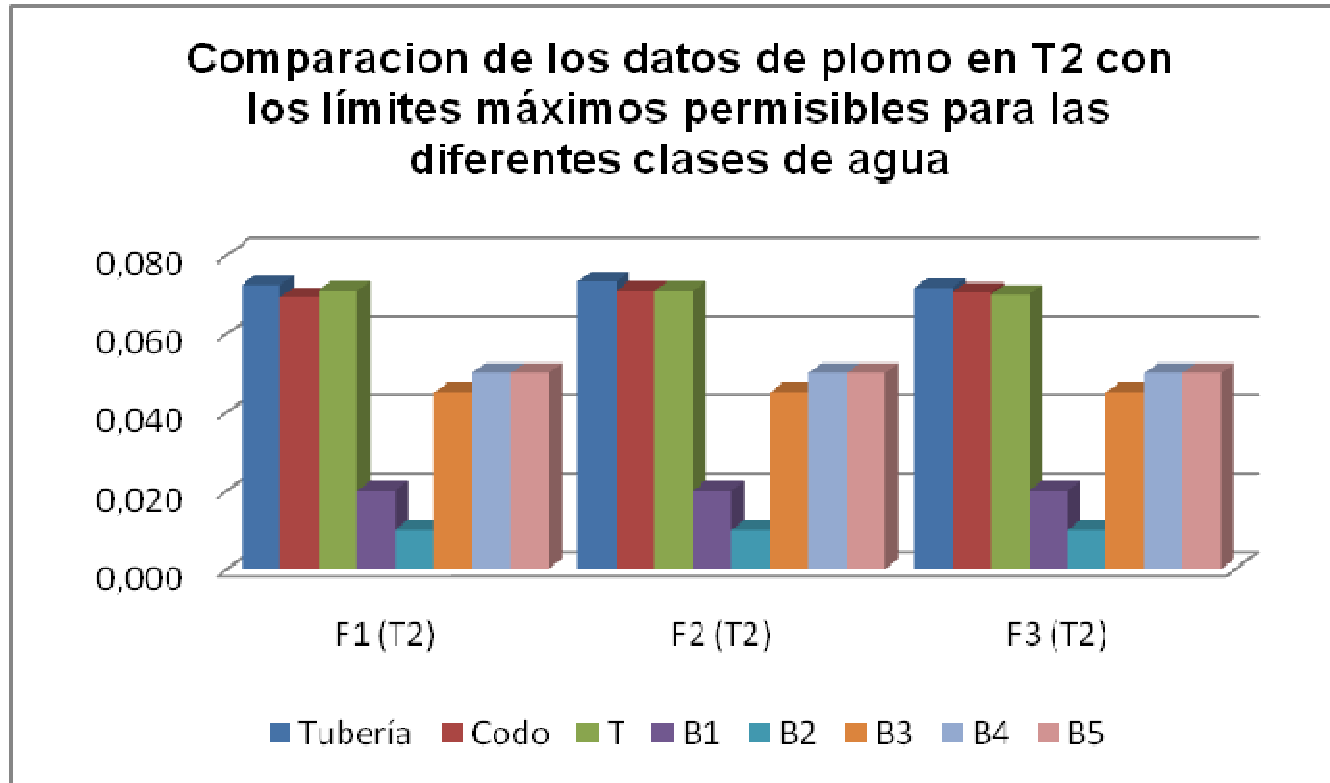


Gráfico #12. Representación gráfica de la comparación de los datos en T2 de los límites máximos permisibles de plomo en diferentes clases de agua según el TULAS

3.9 Estimación de la cantidad de metales pesados que se desprenden de los productos fabricados a base de PVC al agua contaminada por este.

En los análisis realizados a las diferentes muestras de PVC para calcular que cantidad de cadmio y plomo tienen en su formula se obtuvo los siguientes datos:

- De Cadmio:

F1 y F3: <0,1mg/kg; para todas las muestras:

F2: 100,4 mg/Kg en tubería, 56,2 en codos y T.

- De Plomo:

F1, F2, y F3: < 0,1mg/Kg para todas las muestras.

Estimación para el cadmio:

Como nuestro dato mayor de concentración de cadmio en agua contaminada es de 0,043 mg/L, pertenece al fabricante Hidro 3 **F2** y a la tubería **muestra 1**.

Calculamos:

Densidad del PVC: 1,37 – 1,42 Kg/dm³

Tenemos que:

$$0,043 \frac{mg}{L} \times \frac{1L}{1.42Kg} = 0,029 \approx 0,03 \frac{mg}{Kg} \text{ de Cadmio}$$

Entonces: La cantidad de cadmio que pasa del PVC al agua es de 0,03mg/Kg lo que equivale al 0,03% del metal presente en la muestra.

Estimación para el plomo:

La mayor concentración de plomo en agua contaminada según los análisis realizados es de: 0,072mg/L para tubería en los tres fabricantes.

Tenemos que:

$$0,072 \frac{mg}{L} \times \frac{1L}{1,42Kg} = 0,05 \frac{mg}{Kg} \text{ de Plomo}$$

Entonces: La cantidad de plomo que pasa del PVC al agua contaminada es de 0,05 mg/kg que equivale al 50% del metal presente en la muestra.

CAPÍTULO IV

CAPÍTULO IV

4.1 CONCLUSIONES

- Se determinó que las muestras tomadas de los productos fabricados de PVC para este estudio, contaminan en una pequeña proporción al agua con relación a los límites permisibles establecidos por el TULAS para los distintos usos de agua, los resultados se los tabulo a través de procesos de quimiometría.
- Se realizó el análisis de cadmio y plomo en el agua contaminada según la técnica descrita en el capítulo II, en diferentes tiempos de irradiación UV y en tres muestras de tres fabricantes distintos, dándonos como resultado que el fabricante F2 (Hidro 3) es el que mayor concentración de cadmio posee en sus diferentes artículos dándonos un promedio de concentración de cadmio en mg/L de 0,026 en un T0; 0,031 en T1 y 0,032 en T2 a diferencia de los otros fabricantes F1(Plastigama) y F3 (Makro) que el promedio de concentración es 0,024 mg/L.
- Para plomo los diferentes fabricantes tienen un promedio similar en los distintos tiempos no existe gran diferencia entre ellos ya que los datos obtenidos están entre el rango de 0,068mg/L – 0,072mg/L.

- La cantidad de cadmio que pasa del producto de PVC al agua contaminada por este, es del 0,03% del metal presente en dicho producto, el fabricante que mayor concentración de cadmio tiene en sus productos es **F2** que corresponde a Hidro 3 ya que, en los análisis realizados a sus tres productos que tomamos como muestra dieron como resultado: 100,4mg/kg en tubería y 56,2mg/Kg en codos y T a contradicción de los otros dos fabricantes **F1** y **F2** que tienen una concentración menor a 0,1mg/Kg.
- Para plomo según los datos obtenidos en el agua contaminada el valor máximo es de 0,072mg/L lo que equivale al 50% del metal presente en la muestra que pasa al agua contaminándola, para valorar el porcentaje de plomo que pasa al agua se tomo la concentración del metal en la muestra de PVC, 0,1mg/Kg de plomo.
- Las concentraciones obtenidas de los metales pesados objeto de nuestro estudio, se comparó con los límites máximos establecidos por el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS), se tomaron 5 clases de agua que fueron: para descarga de agua dulce, descarga de agua marina y estuarios, agua subterránea, agua para uso agrícola, y para uso pecuario. Estas al ser comparadas con los datos de metales pesados obtenidos, se determina que: la concentración de cadmio sobrepasa el límite máximos permisible con relación a: descarga de agua dulce, agua subterránea y agua para uso agrícola.

La concentración de plomo sobrepasa los límites máximos permisibles para todas las cinco clases de agua que se tomó como referencia.

- Se estimó que si existe riesgo para el recurso agua, cuando los desechos de PVC se los dispone en vertederos de basura y estos están junto a un cuerpo de agua superficial o subterránea ya que, los lixiviados generados por material orgánico presentes en dicho vertedero poseen un $\text{pH} < 2$ y con ayuda de la radiación UV deterioran los residuos de PVC, desprendiendo los metales pesados y así contaminando los cuerpos de agua cercanos. cabe recalcar que los análisis se hicieron en condiciones mínimas de $\text{pH} \geq 4.5$, y en un tiempo máximo de irradiación de 2 meses.

4.2 RECOMENDACIONES

- Sabemos que el PVC es un plástico que se puede reprocesar, entonces para evitar su propagación en vertederos de basura y que estos sean expuestos a lixiviados y a radiación UV que aceleran su descomposición y por ende generan contaminación es necesario reciclarlo, pero requiriendo una buena clasificación desde su fuente para no ser mezclado con PEHD, PELD, PP o PET. Se recomendaría aplicar la técnica de las 6 R: rechazar, reducir, recuperar, reusar, reciclar y responsabilisarse.

Se puede llevar a cabo el reciclado de residuos de PVC para reconvertirlos en fibras textiles de aplicación en las prendas más comunes, también es utilizado para la elaboración de tubos de drenajes cloacales, en refuerzos para calzados, juntas de dilatación para concreto, perfiles, conos de señalización, suelas, laminados flexibles, mangueras para jardín, tarimas y pisos etc.

Ya que todas las actividades de reciclaje son autofinanciables.

- Crear una ordenanza municipal, para controlar la disposición de los residuos de PVC.
- Concienciación de la población quien debe recibir programas de formación, sensibilización y educación ambiental con el fin de despertar

la conciencia sobre su importante participación en la recogida selectiva de los residuos de PVC.

- Realizar charlas comunales en donde se les eduque a las personas de cuál es el destino final de los desechos de PVC luego de que son desechados. Explicarles cuáles son las repercusiones de un mal manejo de los desechos.
- No se recomienda su incineración ya que es altamente inflamable y puede explotar ya que contiene sustancias organoclorados produciendo así dioxinas, que aparte de ser una sustancia muy tóxica que el ser humano a sintetizado toman parte del procedo del efecto invernadero en la tierra además su degradación en el ambiente dura millones de años por su gran estabilidad en el ambiente.

RESUMEN

El objetivo de esta investigación es realizar el análisis de la contaminación del agua por productos fabricados a base de PVC usando espectroscopia de absorción atómica y quimiometría, para la determinar si existe o no desprendimiento de metales pesados hacia el agua, puesto que se niega que estos productos estén provocando contaminación.

Se tomó tres muestras de productos de PVC: tuberías, codos, Tes, fabricados por: Plastigama, Hidro 3, Makro, (industrias ecuatorianas).

Se determinó la concentración de cadmio y plomo utilizando el equipo de espectroscopia de absorción atómica (EAA) en cada una de las muestras de PVC, posteriormente fueron expuestas a radiación UV durante uno y dos meses, para luego someterlas a un pH ácido $\geq 4,5$ y a una agitación por 24 horas, se aforaron las muestras a 100 mL y se procedió a tomar lectura de las concentraciones de estos metales, los datos se tabularon en un software de quimiometría, proceso con el que se simula la contaminación. Obteniéndose las siguientes concentraciones: cadmio 0,032mg/mL, y plomo 0,072mg/mL que comparadas con el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS), el cadmio sobrepasa los límites máximos permisibles para: descarga de agua dulce, agua subterránea y agua de uso agrícola; las concentraciones de plomo sobrepasaron los límites máximos de: descarga de agua dulce, descarga de agua marina y estuarios, agua subterránea, agua de uso agrícola y agua para uso pecuario. De esta manera se comprueba que los productos fabricados con policloruro de vinilo (PVC) sí contamina el agua en perjuicio del ambiente.

SUMMARY

The objective of this investigation is carrying out the analysis of the water pollution by products manufactured base of PVC using spectroscopy of atomic adsorption and chimimetry to determined whether there is heavy metal detachment towards water, as the fact that these products are causing pollution is denied. Three samples of PVC products were taken: piping, elbows, T's, manufactured by Plastigama, Hidro 3 and Makro, (Ecuadorian Industries). The cadmium and plumb concentration was determined using the atomic adsorption spectroscopy (EAA) in each PVC sample; later, they were exposed to UV radiation during one or two months to, then, subject them an acid $\text{pH} \geq 4.5$ and to a 24h shaking. The samples were gauged at 100mL and the readings were performed of the concentration of these metals; the data were tabulated in a chimimetry software, a process with which pollution is simulated. The following concentrations were obtained: 0,032mg/mL cadmium and 0,072mg/mL plumb which compared to the Unified Text of Secondary Environmental Legislation (TULAS), cadmium surpasses the maximum permissible limits for: fresh water, underground water, agriculture water and cattle and livestock use water discharge; the plumb concentrations surpassed the maximum limits of: fresh water, marine and estuary water, underground water, agriculture water and cattle and livestock use water discharge. Thus it is tested that the products manufactured with vinyl poly-chloride (PVC) do contaminate water to the detriment of the environment.

BIBLIOGRAFÍA

LIBROS:

1. BALLESTER, A. La Extracción de los Metales: Generalidades y Evolución Histórica, Vol I. Ed. Síntesis, S.A, 2000, p 507.
2. BALLESTEROS, J. Sociedad y Medio Ambiente, s.ed. Madrid, Editorial Tecnos. 1995, p. 72.
3. FERGUSSON, J.F. Impacto en el Medio Ambiente: Efectos Tóxicos, Vol I. New York, MCGarry. 1990, p.(pp. 103 – 106).
4. LARA, R. Contaminación de las Aguas por Metales, 4ª ed. México, Editorial Limusa, 2002, p. 98, p. 103.
5. MASON, C.F. Contaminación del Agua, s.ed. Madrid, Editorial Alhambra. 1984, p. (pp. 74 – 82).
6. MANZANARO, R. Toxicidad y Efectos de Metales Pesados, Vol I. España, Editorial McGraw Hill. 2006, p. (pp. 38 – 47)
7. MILLAR, J, MILLAR, J. *Estadística y quimiometría para química analítica*, 4^{ta} edición, Editorial Prentice Hall. 2000, p. (pp. 152 – 163).

8. ORTIZ, M.J, LARA, R. Estudio y Evaluación de la Estabilización de los Metales Pesados, s.ed. México, Editorial Continental. 2004, p. 123, p. 145.
9. ROCHA, C. E. Principios Básicos De Espectroscopía, México, Editorial UCh. 2000, p. (pp. 123-203).

INTERNET

10. Alteraciones del agua.

<http://www1.ceit.es/asignaturas/ecologia/Hipertexto/11CAgu/100CoAcu.htm>

2008

11. POLICLORURO DE VINILO (**PVC**)

<http://www.solvaymartorell.com/static/wma/pdf/8/1/8/6/PVCAgua.pdf>

2006

12. Propiedades y producción del PVC

<http://www.anig.org.mx/provinilo/pvc.asp>

2007

13. El PVC y el reciclaje no hacen buena pareja

http://www.quanta.net.py/userweb/apocalipsis/Vida_Diaria/PVC/pvc.html

2007

14. Principales orígenes antropogénicos de los metales pesados

http://www.tesisenxarxa.net/TESIS_UPC/AVAILABLE/TDX-071210175103//02INTRODUCCION.pdf

2007

ANEXOS

ANEXO A

A1. Resultado de análisis de metales pesados en las muestras de PVC.

A2. Muestras de algunos análisis de metales pesados en las muestras de contaminación del agua contaminada por PVC.



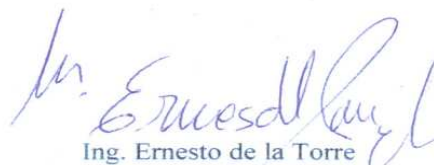
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA



RESULTADO DE ANALISIS

Solicitante: Sr. Franklin Quilumba
Atención: Suelen Realpe
Referencia ST - 4352
Fecha: 16-06-08
Muestra: Seis muestras de PVC
Método: Absorción Atómica

Muestra	Determinación	Resultados
A1 (tubo) Fabricante "A"	Cadmio Plomo	<0,1 mg/Kg <0,1 mg/Kg
A2 (codo) Fabricante "A"	Cadmio Plomo	<0,1 mg/Kg <0,1 mg/Kg
B1 (tubos) Fabricante "B"	Cadmio Plomo	100,4 mg/Kg <0,1 mg/Kg
B2 (codos) Fabricante "B"	Cadmio Plomo	56,2 mg/Kg <0,1 mg/Kg
C1 (tubo) Fabricante "C"	Cadmio Plomo	<0,1 mg/Kg <0,1 mg/Kg
C2 (codo) Fabricante "C"	Cadmio Plomo	<0,1 mg/Kg <0,1 mg/Kg


Ing. Ernesto de la Torre
Jefe de Departamento



ANEXO B.

B1. Preparación de las muestras.



B2. Equipo EAA



B3. Muestras listas para ser irradiadas



B4. Contaminación del agua por PVC.





B5. Agitación de muestras



B6. Lectura de los metales.

