



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DE SUELOS AGUAS
ABAJO DEL RELLENO SANITARIO DE LA TECNOLOGÍA
APROPIADA DE LA AUTORIDAD PARA EL MANEJO
SUSTENTABLE DEL LAGO DE AMATITLÁN (AMSA)**

Francisco Armando Morales Aquino

Asesorado por la Ing. Jorge Mario Estrada Asturias

Co Asesor Ing. Jaime Domingo Carranza González

Guatemala, Julio de 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DE SUELOS AGUAS ABAJO DEL
RELLENO SANITARIO DE LA TECNOLOGÍA APROPIADA DE LA AUTORIDAD
PARA EL MANEJO SUSTENTABLE DEL LAGO DE AMATITLÁN (AMSA)**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

FRANCISCO ARMANDO MORALES AQUINO

ASESORADO POR LA ING. JORGE MARIO ESTRADA ASTURIAS
CO ASESOR ING. JAIME DOMINGO CARRANZA GONZÁLEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, JULIO DE 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE LA JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Angel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jimenéz
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Otto Raúl de León de Paz
EXAMINADOR	Ing. Estuardo Edmundo Monroy Benítez
EXAMINADOR	Ing. Erwín Manuel Ortíz Castillo
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DE SUELOS AGUAS ABAJO DEL RELLENO SANITARIO DE LA TECNOLOGÍA APROPIADA DE LA AUTORIDAD PARA LE MANEJO SUSTENTABLE DEL LAGO DE AMATITLÁN (AMSA)

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 29 de Julio de 2010.



Francisco Armando Morales Aquino



Guatemala, 23 de Marzo del 2011

Ingeniero
WILLIAMS GUILLERMO ALVAREZ MEJIA
DIRECTOR DE ESCUELA
Escuela de Ingeniería Química

Señor Director:

Me dirijo a usted en relación al INFORME FINAL de trabajo de graduación titulado "**Evaluación de la Contaminación de Suelos aguas abajo del Relleno Sanitario de la Tecnología Apropiaada de la Autoridad para el Manejo Sustentable del lago de Amatitlán (AMSA)**" presentado por el estudiante Francisco Armando Morales Aquino, carné número 2005-17797.

Siendo que a la presente fecha he revisado su proyecto final y los aspectos metodológicos se ajustan al perfil requerido por nuestra Escuela, comunico a usted que no tengo objeción en aprobar dicho informe final para continuar con el trámite correspondiente.

Sin más por el momento, suscribo de usted

Deferentemente,

"Id y Enseñad a Todos"

JORGE MARIO ESTRADA ASTURIAS
INGENIERO Químico, colegiado 685
PROFESOR TITULAR I.

Copias:

Archivo.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Guatemala, 26 de mayo de 2011
Ref.EIQ.TG.131.2011

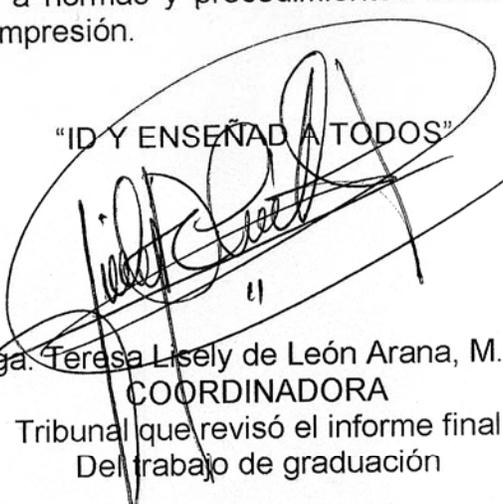
Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente.

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el **Acta TG-1632011-B-IF** le informo que reunidos los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del informe final del trabajo de graduación, para optar al título de **INGENIERO QUÍMICO** al estudiante universitario, **Francisco Armando Morales Aquino**, identificado con carné No. **2005-17797**, titulado: **"EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DE SUELOS AGUAS ABAJO DEL RELLENO SANITARIO DE LA TECNOLOGÍA APROPIADA DE LA AUTORIDAD PARA EL MANEJO SUSTENTABLE DEL LAGO DE AMATITLÁN (AMSA)"**, el cual ha sido asesorado por el Ingeniero Químico **Jorge Mario Estrada Asturias**.

Habiendo encontrado el referido informe final **satisfactorio**, se procede a recomendarle autorice al estudiante **Morales Aquino**, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAR A TODOS"


Inga. Teresa Lisely de León Arana, M.Sc.
COORDINADORA
Tribunal que revisó el informe final
Del trabajo de graduación



ESCUELA DE
INGENIERIA QUIMICA

C.c.: archivo



El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación del estudiante, **FRANCISCO ARMANDO MORALES AQUINO** titulado: **"EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DE SUELOS AGUAS ABAJO DEL RELLENO SANITARIO DE LA TECNOLOGÍA APROPIADA DE LA AUTORIDAD PARA EL MANEJO SUSTENTABLE DEL LAGO DE AMATILÁN (AMSA)"**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

Ing. Cesar Alfonso García Guerra
 Director a.i.
 Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, junio de 2011

Cc: Archivo
 CAGG/ale





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DE SUELOS AGUAS ABAJO DEL RELLENO SANITARIO DE LA TECNOLOGÍA APROPIADA DE LA AUTORIDAD PARA EL MANEJO SUSTENTABLE DEL LAGO DE AMATITLÁN (AMSA)**, presentado por el estudiante universitario **Francisco Armando Morales Aquino**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
DECANO



Guatemala, julio de 2011

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

MIS PADRES

Armando Morales Montenegro y Luz Rosana Aquino Morales, por ser la columna que inspiro todos mis sueños y que el día de hoy se ven alcanzados, y que el triunfo no es solo mío también es de ellos.

MIS HERMANAS

Dayan e Ivonne, por su comprensión y sobre todo su cariño especial.

MIS ABUELOS

Francisca Montenegro y Elías Morales, (q.e.p.d.), por sus consejos y cariño que siempre los guardare en mi corazón y siempre los recordare.

En especial agradecimientos a mis abuelos Francisco Aquino Toledo y Luz Morales, por ser un eje primordial y vital para lograr la culminación de una de mis metas.

MIS TÍOS Y TÍAS

Por sus sabios consejos a lo largo de mi vida y por su afecto personal.

MIS PRIMOS

Por su cariño especial.

MIS AMIGOS

Por esa amistad sincera, por compartir momentos inolvidables, y esos momentos que aunque pasen los años perdurarán por siempre, porque recordar es vivir en especial a Gladys Samayoa, Oliver Rodríguez, José Ortiz, Alejandra Baldetti, Verónica Espinal, Yesenia Arana, Gustavo Estrada, María Fernanda Peña, Jaime Dardòn, Nancy Díaz Fulgan, y muchos más, y a todos mis amigos les digo gracias a todos por su amistad.

AGRADECIMIENTOS A:

DIOS

Por fortalecer mi fe, brindarme sabiduría y entendimiento, para llegar a la cúspide de mi carrera profesional.

INGENIERÍA

Por todos los conocimientos brindados durante toda mi carrera universitaria.

LA USAC

Por abrirme las puertas de esta gloriosa universidad, donde se respira la ciencia y el conocimiento, para ejercerlo en la vida laboral.

PERSONAS

Que de una u otra forma colaboraron para la realización de esta tesis.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	III
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XVII
OBJETIVOS	XIX
HIPÓTESIS	XXI
INTRODUCCIÓN	XXIII
1. ANTECEDENTES	1
1.1. Antecedentes importantes del Plomo	3
1.2. Antecedentes importantes del Arsénico	5
1.3. Antecedentes importantes del Cadmio	6
1.4. Antecedentes importantes del Cromo (VI)	7
1.5. Antecedentes de contaminación en el área de lixiviados	9
1.6. Antecedentes del manejo de sólidos	10
2. MARCO TEÓRICO	13
2.1. El plomo	14
2.1.1. Población en peligro	19
2.2. Ciclo de vida del material informático	22
2.2.1. Efectos del cromo sobre la salud	25
2.3. El pH	27
2.3.1. Medidas del pH	28
2.4. Residuos sólidos y su clasificación	30
2.4.1. Tipos de residuos más importantes	31

2.4.2.	Clasificación por tipo de manejo	32
2.4.3.	Manejo de residuos sólidos	33
2.4.4.	Disposición final de residuos	36
2.5.	Rellenos sanitarios	36
2.5.1.	Tipos de rellenos sanitarios	38
2.5.2.	Clasificación de rellenos sanitarios	39
2.6.	Lixiviados o líquidos percolados	40
2.6.1.	Tratamiento de lixiviados	41
2.7.	Medidas de mitigación	43
3.	DISEÑO METODOLÓGICO	47
3.1.	Variables	47
3.2.	Delimitación del campo de estudio	48
3.3.	Recursos humanos disponibles	48
3.4.	Recursos materiales disponibles	48
3.5.	Técnica cuantitativa	49
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información	50
3.7.	Tabulación y ordenamiento de la información	51
3.8.	Análisis estadístico	64
4.	RESULTADOS	71
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	79
	CONCLUSIONES	89
	RECOMENDACIONES	93
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95
	APÉNDICE	99
	ANEXOS	105

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Niveles de plomo considerados elevados	4
2.	Margen de variabilidad y toxicidad en lo suelos	21
3.	Ciclo de vida del material informático	23
4.	Fuentes de exposición ambiental del cromo	26
5.	Fuentes de exposición ocupacional al cromo	26
6.	Otras fuentes de exposición al cromo	27
7.	Relleno sanitario con manejo inadecuado	35
8.	Desembocadura de la basura	45
9.	Selección de la basura	45
10.	Concentración de metal vrs profundidad dique 1	51
11.	Índice de pH vrs profundidad dique 1	52
12.	Concentración de metal vrs profundidad dique 2	53
13.	Índice de pH vrs profundidad dique 2	54
14.	Concentración de metal vrs profundidad dique 3	55
15.	Índice de pH vrs profundidad dique 3	56
16.	Concentración de metal vrs profundidad dique 4	57
17.	Índice de pH vrs profundidad dique 4	58
18.	Concentración de metal vrs profundidad dique 5	59
19.	Índice de pH vrs profundidad dique 5	60
20.	Concentración de arsénico vrs distancia entre diques	61
21.	Concentración de cadmio vrs distancia entre diques	62
22.	Concentración de plomo vrs distancia entre diques	62
23.	Concentración de cromo (VI) vrs distancia entre diques	63

24.	Índice de pH vrs distancia entre diques	63
-----	---	----

TABLAS

I.	Resultados pozo 1, a 25 metros distancia área de lixiviados	9
II.	Resultados pozo 2, a 125 metros distancia área de lixiviados	9
III.	Resultados pozo 3, a 300 metros distancia área de lixiviados	10
IV.	Efectos del plomo en la sangre de los niños	17
V.	Concentración del plomo en la sangre y acciones a tomar	18
VI.	Valores de suelos normales y anomalías geoquímicas	20
VII.	Concentraciones en seres vivos y medios ecológicos	22
VIII.	Concentraciones de metales en el suelo con distinto pH	22
IX.	Definición operacional de las variables	47
X.	Tabla modelo de recolección de resultados	50
XI.	Media aritmética para cada metal y dique	65
XII.	Desviación estándar para cada metal y dique	66
XIII.	Modelos matemáticos, coeficiente variación y correlación de los metales contaminantes figura 10, dique 1	67
XIV.	Modelo matemático, coeficiente de variación y correlación para el pH, figura 11, dique 1	67
XV.	Modelos matemáticos, coeficiente variación y correlación de los metales contaminantes figura 12, dique 2	67
XVI.	Modelo matemático, coeficiente de variación y correlación para el pH, figura 13, dique 2	68
XVII.	Modelos matemáticos, coeficiente variación y correlación de los metales contaminantes figura 14, dique 3	68
XVIII.	Modelo matemático, coeficiente de variación y correlación para el pH, figura 15, dique 3	68

XIX.	Modelos matemáticos, coeficiente variación y correlación de los metales contaminantes figura 16,dique 4	69
XX.	Modelo matemático, coeficiente de variación y correlación para el pH, figura 17, dique 4	69
XXI.	Modelos matemáticos, coeficiente variación y correlación de los metales contaminantes figura 18,dique 5	69
XXII.	Modelo matemático, coeficiente de variación y correlación para el pH, figura 19, dique 5	70
XXIII.	Concentraciones de metales en bancos de materiales	76

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
As	Arsénico
AMSA	Autoridad para el Manejo Sustentable del lago de Amatitlán
Cd	Cadmio
CDC	<i>Center for Disease Control and prevention</i> (Centro de Control y prevención de Enfermedades)
Cr⁺⁶ (VI)	Cromo hexavalente
ug/dL	Microgramo por decilitro
mg/kg	Miligramo sobre kilogramo
Pb	Plomo
pH	Potencial de hidrógeno
EPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i> (Agencia de los Estados Unidos para la Protección del Medio Ambiente)

GLOSARIO

Alícuota

Es una parte que se toma de un volumen (alícuota líquida) o de una masa (alícuota sólida) iniciales, para ser usada en una prueba industrial o de laboratorio, cuyas propiedades físicas y químicas, así como su composición, representan las de la sustancia original.

Arsénico

Elemento químico de número atómico No. 33. Escaso en la corteza terrestre, se encuentra nativo o combinado con azufre en el oropimente y el rejalgar, y presenta varias formas alotrópicas. Su color, brillo y densidad son muy semejantes a los del hierro colado, y muchos de sus derivados sirven como plaguicidas o germicidas por su toxicidad. Se utiliza en medicina y en la industria electrónica y del vidrio.

Bioacumulación

Es el proceso de acumulación de sustancias químicas en organismos vivos de forma que estos alcanzan concentraciones más elevadas que las concentraciones en el medio ambiente o en los alimentos.

Bioflavonoides

Compuestos químicos de color brillante localizados en la pulpa y piel de los cítricos, pimientos verdes, albaricoques, cerezas, uvas, papaya, tomates, brócoli, y otros alimentos provenientes de las plantas. Los bioflavonoides pueden actuar como antioxidantes.

Biomacromoléculas

Son moléculas que tienen una masa molecular elevada, formadas por un gran número de átomos.

Cadmio

Elemento químico de número atómico No. 48. Metal escaso en la corteza terrestre, se encuentra en forma de sulfuro junto a minerales de cinc. De color blanco azulado, brillante, dúctil y maleable. Se usa como recubrimiento electrolítico de metales, en baterías y acumuladores, fotografía e industria nuclear.

Cardiopatías

Se refiere a la enfermedad cardíaca producida por asma o colesterol.

Confinamiento

Efecto de excluir muestras de suelos, de las demás debido al exceso de contaminación en el suelo fuera de los límites establecidos por normas nacionales como internacionales.

Cromo hexavalente

El Cromo (VI) es un peligro para la salud de los humanos, mayoritariamente para la gente que trabaja en la industria del acero y textil. La gente que fuma tabaco también puede tener un alto grado de exposición al Cromo. El Cromo (VI) es conocido porque causa varios efectos sobre la salud.

Electrodeposición

Es un proceso electroquímico en el que se usa una corriente eléctrica para reducir cationes en una solución acuosa que los contiene para propiciar la precipitación de estos, que suelen ser metales, sobre un objeto conductivo que será el cátodo de la celda, creando un fino recubrimiento alrededor de este con el material reducido

Enfisema pulmonar

Tumefacción producida por aire o gas en el tejido pulmonar, en el celular o en la piel.

Fenolftaleína

Compuesto químico que se utiliza como indicador para la determinación cualitativa y cuantitativa del pH en las volumetrías de neutralización se prepara disuelta en alcohol al 70%. El intervalo de viraje de la fenolftaleína, es decir, el intervalo de pH dentro del cual tiene lugar el cambio de color del indicador, no sufre variaciones entre 0 y 100 °C y está comprendido entre 8,0 y 9,8. El

cambio de color de este indicador está acompañado de un cambio de su estructura; su color en medio básico es rojo-violeta y en medio ácido es incoloro.

Laxitud

Cualidad de lo que está flojo o no tiene la tensión adecuada.

Lixiviación

Tratar una sustancia compleja, como un mineral, con un disolvente adecuado para separar sus partes solubles de las insolubles.

Lluvia ácida

Dícese de la precipitación, normalmente en forma de lluvia, pero también en forma de nieve, niebla o rocío, que presenta un pH del agua inferior a 5,65. Ésta implica la deposición de sustancias desde la atmósfera durante la precipitación. Las sustancias acidificantes pueden presentar un carácter directamente ácido o pueden adquirir dicha condición por transformación química posterior. Las principales fuentes emisoras de estos contaminantes son las centrales térmicas.

Longevidad

Dícese de algo de larga edad, o muy anciano.

Metales pesados

Grupo de elementos químicos que presentan una densidad relativamente alta y cierta toxicidad para los seres humanos.

Naranja de metilo

Es un indicador que presenta un cambio de color de rojo a naranja-amarillo entre pH 3,1 y 4,4. El nombre del compuesto químico del indicador es sal sódica de ácido sulfónico.

pH

Índice que expresa el grado de acidez o alcalinidad de una disolución. Entre 0 y 7 la disolución es ácida, y de 7 a 14, básica.

Plomo

Elemento químico de núm. Atómico No. 82. Metal escaso en la corteza terrestre, se encuentra en la galena, la anglesita y la cerusita. De color gris azulado, dúctil, pesado, maleable, resistente a la corrosión y muy blando, funde a bajas temperaturas y da lugar a intoxicaciones peculiares. Se usa en la fabricación de canalizaciones, como antidetonante en las gasolinas, en la industria química y de armamento y como blindaje contra radiaciones.

Potenciómetro

Instrumento que mide las diferencias de potencial eléctrico.

Pozo de control

Se utilizan para determinar la dirección de escurrimiento del agua subterránea como asimismo para la obtención de muestras representativas de las mismas, como metales contaminantes etc.

Quelante

Sustancia que se une con iones metálicos formando un “quelato”. Sustancias químicas que provocan que partículas pequeñas se unan entre sí para formar una mayor que precipita con más facilidad. También suelen llamarse “floculantes”.

Rellenos sanitarios

Lugares destinados a la disposición final de desechos o basura, en el cual se pretenden tomar múltiples medidas para reducir los problemas generados por otro método de tratamiento de la basura como son los tiraderos. Dichas medidas son, por ejemplo, el estudio meticoloso de impacto ambiental, económico y social desde la planeación y elección del lugar hasta la vigilancia y estudio del lugar en toda la vida del vertedero.

Sistema endocrino

Conjunto de órganos y tejidos del organismo que liberan un tipo de sustancias llamado hormonas. Los órganos endocrinos también se denominan glándulas sin conducto o glándulas endocrinas, debido a que sus

secreciones se liberan directamente en el torrente sanguíneo, mientras que las glándulas exocrinas liberan sus secreciones sobre la superficie interna o externa de los tejidos cutáneos, la mucosa del estómago o el revestimiento de los conductos pancreáticos. Las hormonas secretadas por las glándulas endocrinas regulan el crecimiento, el desarrollo y las funciones de muchos tejidos, y coordinan los procesos metabólicos del organismo

RESUMEN

En el proyecto de investigación “Evaluación de la contaminación de suelos aguas abajo del Relleno Sanitario de la Tecnología Apropriada de la Autoridad para el manejo sustentable del lago de Amatitlán (AMSA)” se realizó el monitoreo de 20 pozos iniciando en el dique 1 al 5, con profundidades de 0 a 3 metros y dos muestras adicionales en los bancos de materiales (arena y lodos). Para determinar la concentración de los metales contaminantes (Pb, Cr⁺⁶, Cd, As), además del índice de pH en el suelo. Los gráficos de control proporcionaron modelos matemáticos en relación a la profundidad del pozo con respecto a la concentración de cada metal en cada dique.

Se utilizaron herramientas estadísticas como el coeficiente de correlación, variación y un plano cartográfico del área de estudio. Los gráficos proporcionaron una relación directamente proporcional de concentración vrs. distancia y profundidad para cada metal en cada dique. Los resultados se compararon con parámetros de regulación internacional como las normas EPA, y el Acuerdo Gubernativo 236-2006.

OBJETIVOS

GENERAL

Evaluar la contaminación de suelos, por los metales contaminantes Cromo hexavalente, plomo, arsénico y cadmio (Cr^{+6} , As, Cd, Pb), y niveles de pH, aguas abajo, del Relleno Sanitario de la Autoridad para el Manejo Sustentable del lago de Amatitlán (AMSA) a diferentes distancias y profundidades en base a cada dique, por medio de pozos de control.

ESPECÍFICOS

1. Evaluar el cumplimiento adecuado de las normas de la EPA y el Acuerdo Gubernativo 236-2006, de cada uno de los contaminantes en el área de estudio.
2. Para cada dique, establecer la correlación entre concentración del contaminante en función de la distancia y profundidad.
3. Determinar los coeficientes de variación para cada uno de los metales contaminantes en función de su distancia y profundidad.
4. Realizar gráficos comparativos, para conocer el comportamiento y distribución de los contaminantes en el área de estudio.

HIPÓTESIS

HIPÓTESIS ESTADÍSTICA

Existe diferencia significativa en la concentración de cada uno de los metales contaminantes, aguas abajo del relleno sanitario de la tecnología apropiada de la autoridad para el manejo sustentable del lago de Amatitlán (AMSA), en función a su distancia y profundidad en los puntos de observación, con un 5% de error y un 95 % de confianza.

HIPÓTESIS DESCRIPTIVA

Con base a las normas de la EPA y el Acuerdo Gubernativo 236-2006, es posible determinar la correlación de la variación de la concentración de cada metal contaminante, aguas abajo del relleno sanitario para la tecnología apropiada para el manejo sustentable del lago de Amatitlán (AMSA), con base a gráficos de control para cada metal contaminante en el área de estudio.

INTRODUCCIÓN

Dentro de los objetivos principales de los proyectos de suelos contaminados, es importante el estudio y el conocimiento detallado de los metales contaminantes en los suelos. Precisamente por ello es necesario llevar un estudio adecuado de análisis por medio de un pozo de control.

El pozo de control se construye por fases, siendo todas estas importantes y se toman alícuotas de distintas zonas del pozo (fases), a las cuales se les deben de realizar una serie de operaciones tras la ejecución de un pozo de control que permita obtener muestras representativas de los metales contaminantes en el área de estudio.

Uno de los grandes problemas en el país es el manejo de los suelos, ya que el suelo es un recurso natural indispensable y por ende se le debe de dar un uso racional y adecuado. Por ello es que se deben de controlar los niveles de contaminación que se generan en los suelos, ya que los niveles de contaminación que se alcancen dependen precisamente del uso que le proporcionemos.

Es causa razonable cualquier merito encaminado a examinar y estudiar detalladamente los suelos, es vital y de suma importancia, puesto que contribuye en gran medida a la resolución de problemas a causa de la proliferación de contaminantes en los suelos.

Es importante un saneamiento adecuado en los suelos especialmente en áreas donde existen poblaciones aledañas y se vean afectadas por metales contaminantes.

El presente trabajo de investigación es un estudio descriptivo y detallado de ciertos metales contaminantes y niveles de pH, a diferentes distancias y profundidades por medio de pozos de control, en los suelos aguas abajo del relleno sanitario de la tecnología apropiada de la autoridad para el manejo sustentable del agua de Amatlán (AMSA), con fines de saber el índice de contaminación en dicha área de estudio, tomando como base los criterios de la EPA (*United States Environmental Protection Agency*), y el Acuerdo Gubernativo 236-2006, decreto ley de aguas residuales y lodos artículo 42.

1. ANTECEDENTES

La acumulación de metales pesados en sólidos y sedimentos puede acarrear, a la larga, consecuencias negativas para el entorno ecológico, ya que se facilita la lixiviación de cantidades significativamente elevadas de elementos tóxicos que, posteriormente, se hacen accesibles a los sistemas acuosos y seres vivos, por lo que es importante conocer su concentración presente en los suelos estudiados.

Entre los efectos ambientales que causa el cadmio de forma natural, es cuando en grandes cantidades es liberado 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, también es liberado al aire a través de incendios forestales y volcanes. El resto es liberado por las actividades humanas, como es la manufacturación.

Las aguas residuales con Cadmio procedentes de las industrias mayoritariamente terminan en suelos. Las causas de estas corrientes de residuos son, por ejemplo, la producción de Zinc, minerales de fosfato y las bioindustrias del estiércol. El Cadmio de las corrientes residuales puede también entrar en el aire a través de la quema de residuos urbanos.

El plomo puede entrar en el agua potable a través de la corrosión de las tuberías. Esto es más común que ocurra cuando el agua es ligeramente ácida o cuando posee azufre (por ejemplo aguas termales).

Esta es la razón por la que a los sistemas de tratamiento de aguas públicas ahora se les requiere llevar a cabo un ajuste de pH en agua que sirve para el uso del agua potable. Con respecto a su incidencia en el medio ambiente, el Plomo se encuentra de forma natural en el ambiente, pero las mayores concentraciones encontradas en el ambiente son el resultado de las actividades humanas.

Las sales de plomo entran en el medio ambiente a través de los escapes de los carros, camiones, motos, aviones y casi todos los tipos de vehículos motorizados que utilizan derivados del petróleo, siendo las partículas de mayor tamaño las que quedan retenidas en el suelo y en las aguas superficiales, provocando su acumulación en organismos acuáticos y terrestres, y con la posibilidad de llegar hasta el hombre a través de la cadena alimenticia.

Las pequeñas partículas quedan suspendidas en la atmósfera, pudiendo llegar al suelo y al agua a través de la lluvia ácida, se examinará la tendencia de éste a diferentes distancias y profundidades.

En el caso del arsénico (As), es muy tóxico y causa daños al sistema neurológico, al sistema cardiovascular y está ligado a diversos tipos de cáncer como el de la piel. La intoxicación crónica por arsénico puede manifestarse por la aparición de llagas y un aspecto leproso. Inhalar arsénico aumenta las posibilidades de desarrollar cáncer pulmonar. Una dosis superior a los 65 miligramos suele provocar una muerte violenta. Las fuentes principales de contaminación arsenical son las fundidoras, el agua de algunas regiones, el humo de tabaco y algunos plaguicidas.

En el caso del cromo hexavalente (Cr^{+6}). La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) ha determinado que los compuestos de cromo (VI) son carcinogénicos en seres humanos. En seres humanos expuestos al

cromo por medio del agua potable se ha observado un aumento de tumores del estómago. Ocasionalmente se detecto cromo en muestras de agua subterránea, agua potable o de suelo.

La exposición al cromo puede ocurrir: ingiriendo agua que contiene cromo o bañándose en agua que contiene cromo, además se puede exponerse al cromo al respirar aire o tomar agua que contiene cromo. El cromo se puede liberar al aire desde: industrias que usan o manufacturan cromo, sitios de desechos peligrosos que contiene cromo y el humo de los cigarrillos.

1.1. Antecedentes importantes del Plomo (Pb)

Los efectos de la intoxicación por plomo fueron descritos por Hipócrates en la antigua Grecia. Benjamín Franklin también describió el efecto de la ingesta de este metal entre los trabajadores de su imprenta, especialmente los que fabricaban y manipulaban los linotipos hechos de plomo. A pesar de tener referencias tan antiguas, el problema del plomo no se ha atendido como se debiera. Sino hasta hace unos treinta años es que ha interesado a la toxicología y a las instituciones de salud.

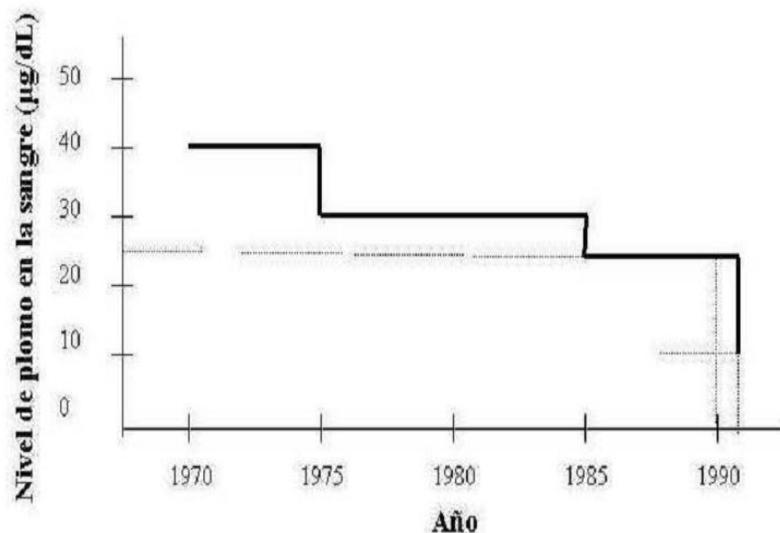
Desde mediados de los años setenta, las autoridades de salud de los Estados Unidos reconocieron al envenenamiento por plomo en niños como un problema grave al que llamaron una epidemia silenciosa.

Una vez reconocido el problema, el creciente cuerpo de información sobre el daño del plomo a la salud llevó a las autoridades de salud a emitir normas cada vez más estrictas sobre los niveles de este metal en la sangre, mientras que las autoridades del medio ambiente prohibieron el uso de las pinturas basadas en plomo en 1978 y se empezó a sustituir paulatinamente el plomo en las gasolinas a partir de la década de los setenta.

Al mismo tiempo, la Ley del Aire Limpio (*Clean Air Act*) señalaba límites máximos para la concentración del plomo en el aire. Los Centros para el Control y la Prevención de las Enfermedades (CDC) han ido variando esta cota máxima como se muestra en la figura siguiente.

Figura 1. **Niveles de Plomo considerados elevados por los CDC y los servicios de salud pública (Ref. 5)**

Abreviatura: CDC= Centro de control y prevención de enfermedades



Fuente: Centers for Disease Control and Prevention, "Preventing lead poisoning in young children", 1991.

El problema general del envenenamiento por plomo, así como el caso de Torreón en particular. En su revisión del problema, la Dra. Lilia A. Albert señalaba a los grupos de mexicanos en riesgo como: la población que usa utensilios de cocina de barro vidriado. La población en ciudades donde la contaminación atmosférica es intensa, especialmente la provocada por el uso de combustibles con aditivos basados en plomo.

Los trabajadores de diversas industrias, como las fábricas de baterías y pigmentos. Los consumidores de alimentos enlatados, especialmente chiles y productos derivados de las frutas. La población que vive en la cercanía de las fundidoras y otras industrias que procesan el plomo.

Más recientemente Díaz-Barriga y sus colaboradores han descubierto el papel que juegan el plomo, el cadmio y el arsénico en la placenta como indicadores de un deterioro ambiental (Ref. No.6). El problema de la contaminación por metales pesados y sus efectos en la salud tiene su origen en el funcionamiento en el centro de la ciudad de Torreón, del cuarto complejo fundidor más grande del mundo. Este complejo es propiedad de la compañía Met-Mex Peñoles.

1.2. Antecedentes importantes del Arsénico (As)

El arsénico se encuentra en dos formas comunes: una gris y de aspecto metálico y otra no metálica y amarillenta. Se usa para librar al vidrio de los tonos verdosos y se agrega al plomo para volverlo más duro. También se le emplea en la elaboración de diversos insecticidas. Antes del advenimiento de los antibióticos se le empleaba como medicamento en dosis sumamente pequeñas para tratar padecimientos como la sífilis. El arsénico es muy tóxico y causa daños al sistema neurológico, al sistema cardiovascular y está ligado a diversos tipos de cáncer como el de la piel.

La intoxicación crónica por arsénico puede manifestarse por la aparición de llagas y un aspecto leproso. Inhalar arsénico aumenta las posibilidades de desarrollar cáncer pulmonar. Una dosis superior a los 65 miligramos suele provocar una muerte violenta.

Los síntomas de la intoxicación por arsénico incluyen la fatiga, los dolores musculares, la pérdida del cabello, el zumbido de los oídos, la cicatrización difícil, la depresión, la laxitud, las alucinaciones visuales y la disminución de la producción de glóbulos rojos y blancos. La intoxicación crónica puede causar la muerte. La pintura verde del papel tapiz de la casa donde estuvo cautivo Napoleón en la isla de Santa Helena -la pintura llamada “verde de París”, con alto contenido de arsénico- fue el veneno que terminó con su vida.

Las fuentes principales de la contaminación arsenical son las fundidoras, el agua de ciertas regiones, el humo de tabaco, algunos plaguicidas, los huevos de gallinas criadas en régimen industrial (se les da arsénico para combatir los parásitos) y los mariscos. Para protegerse de los daños se pueden tomar dosis de yodo orgánico, megadosis de vitamina C y comer diversos germinados.

1.3. Antecedentes importantes del Cadmio (Cd)

El cuerpo humano no necesita cadmio en ninguna forma. El cadmio es dañino en dosis muy pequeñas. El envenenamiento por cadmio produce osteoporosis, enfisema pulmonar, cáncer de pulmón, cáncer de próstata, hipertensión, diversas cardiopatías y retraso en la habilidad verbal de los niños.

El cadmio está presente en suelos contaminados, en algunas tuberías antiguas, en algunas pinturas (sobre todo de color rojo, amarillo y naranja) y en algunos plásticos. El cadmio puede ser adquirido por comer polvo contaminado, por el uso de utensilios de plástico en la alimentación, por inhalar humo de tabaco y por ingerir agua contaminada.

Las medidas preventivas contra el envenenamiento por cadmio giran en torno a evitar su ingesta. Incrementar los hábitos de higiene en las zonas

donde exista este metal en el polvo; no fumar; beber preferentemente agua purificada y usarla para cocinar y lavarse los dientes; no usar utensilios de plástico para preparar, guardar o servir alimentos; evitar que los niños mordisqueen juguetes de plástico, bolígrafos, etc.; evitar los mariscos y las vísceras pues acumulan el cadmio.

También ayuda tomar megadosis de vitamina C (varios gramos al día); tomar alimentos ricos en bioflavonoides (centeno germinado, polen de abeja, por ejemplo); tomar levadura de cerveza que contiene el complejo B y selenio. Solo cabe hablar de contaminación por metales pesado cuando el contenido en los mismos excede considerablemente de los valores habituales en el tipo de suelo que se está considerando. Estas anomalías geoquímicas pueden alcanzar valores que suponen un grave peligro para las plantas y animales que habitan el suelo, y para los consumidores de la vegetación que se inicia en los herbívoros.

1.4. Antecedentes importantes del Cromo Hexavalente (Cr^{+6})

Fuentes

El cromo se genera de forma natural, se encuentra en rocas, tierra y polvo y gases volcánicos y puede producirse en diversos estados de oxidación. Mientras que las formas trivalentes predominan en organismos vivos, el cromo hexavalente (VI) y el cromo (Cr^0), son formas producidas normalmente por procesos industriales. El cromo trivalente (Cr^{+3}) es un elemento residual necesario para mantener un buen estado de salud, ya que ayuda al cuerpo a utilizar el azúcar, la grasa y las proteínas.

El cromo hexavalente se convierte en cromo trivalente dentro del cuerpo. El cromo hexavalente del medio ambiente suele ser el resultado de aplicaciones como la fabricación de productos químicos, textiles y de cuero, además de la pintura para electrodeposición.

Usos Industriales

El cromo hexavalente se utiliza en el cromado, la fabricación de colorantes y pigmentos, el curtido del cuero y la conservación de la madera. El cromo hexavalente también se puede encontrar en algunos componentes de equipos eléctricos, como piezas recubiertas de cinc, placas de circuitos y tubos de rayos catódicos.

Exposición y efectos potencialmente puede producirse a través de la inhalación, el contacto con la piel o la ingestión. Para la gente en general, la comida es la principal fuente de exposición, así como el humo del tabaco.

La exposición también puede producirse en la industria textil y del acero al respirar el aire contaminado del lugar de trabajo. Las reacciones alérgicas y lesiones cutáneas se han producido en función de la exposición de la piel y la inhalación de altas concentraciones de cromo hexavalente ha causado una grave irritación del tracto respiratorio superior.

El cáncer de tracto respiratorio también se ha relacionado con la sobreexposición al cromo hexavalente por inhalación. Otros efectos potenciales para la salud son las lesiones hepáticas y renales. Los efectos potenciales del cromo hexavalente varían principalmente según las especies y la cantidad absorbida en la sangre, la duración y los factores de exposición.

1.5. Antecedentes de metales contaminantes en el área de lixiviados del relleno sanitario para el manejo del lago de Amatitlán, donde se realizaron pozos de monitoreo a diferentes distancias (25, 125,300metros) y diferentes profundidades (0, 1, 2,3 metros) del área de estudio

Tabla I. Resultados obtenidos de metales contaminantes, en el pozo 1, a 25 metros de distancia del área de lixiviados de AMSA

Fecha	Muestra	As (mg/Kg)	Cd (mg/Kg)	Pb (mg/Kg)	Cr (mg/Kg)
08/09/08	Pozo superficial sólido Km22	26,45	0,11	13,91	27,43
	Pozo (1 metro de profundidad)	19,79	0,10	14,44	19,61
	Pozo (2 metros de profundidad)	27,18	0,15	44,78	33,98
	Pozo (3 metros de profundidad)	28,06	0,09	9,61	23,06
	Escorrentilla	23,95	0,09	9,62	18,86

Fuente: División Control Calidad Ambiental y Manejo de Lagos AMSA.

Tabla II. Resultados obtenidos de metales contaminantes, en el pozo 2, a 125 metros de distancia del área de lixiviados de AMSA

Fecha	Muestra	Cd (mg/Kg)	Pb (mg/Kg)
06/01/09	Suelo (25 m de PTlix a 0 m)	0,10	15,86
	Suelo (125 m de PTlix a 0 m)	0,04	11,59
	Pozo (1 metro de profundidad)	0,10	3,46
	Pozo (2 metros de profundidad)	0,10	2,36
	Pozo (3 metros de profundidad)	0,05	3,29
	% de error	16,33	10,02

Fuente: División Control Calidad Ambiental y Manejo de Lagos AMSA.

Tabla III. **Resultados obtenidos de metales contaminantes, en el pozo 3, a 300 metros de distancia del área de lixiviados de AMSA**

Fecha	Muestra	As (mg/Kg)	Cd (mg/Kg)	Pb (mg/Kg)
21/04/09	Pozo (1 metro de profundidad)	84,77	3,85	19,26
	Pozo (2 metros de profundidad)	120,59	3,85	13,61
	Pozo (3 metros de profundidad)	118,65	3,89	17,50

Fuente: División Control Calidad Ambiental y Manejo de Lagos AMSA.

1.6 Antecedentes históricos del manejo de sólidos

Desde el inicio del primer relleno sanitario en el área metropolitana de Santiago, Pozo La Feria, han pasado más de veinte años en los cuales esta actividad ha tenido un significativo progreso, en especial, en aquellos aspectos vinculados al medio ambiente y que tienen relación con el manejo de los líquidos percolados y el biogás.

Aun cuando los resultados obtenidos son satisfactorios, desde el punto de vista sanitario, ambiental y económico, esto no ha sido suficiente como para evitar que esta actividad encuentre oposición en la comunidad.

La forma en que se ha manejado la disposición final de residuos sólidos urbanos en el área metropolitana de Santiago de Chile, ha sido la resultante de un proceso lógico en el cual se han tratado de concentrar dentro del marco legal vigente, los recursos económicos y la tecnología disponible.

Es así como el primer paso dado fue pasar de basureros clandestinos ubicados al interior o en las inmediaciones del radio urbano a rellenos sanitarios. Este logro puede considerarse importante si se tiene en cuenta que a la fecha de estos cambios (1977 - 1979) las municipalidades no tenían dentro

de su presupuesto un *ítem* para la disposición final adecuada a sus residuos sólidos.

Durante la década de los años ochenta los rellenos sanitarios experimentan substanciales mejoras en relación con la protección del medio ambiente. Se realizan estudios que permiten un manejo técnico de los líquidos percolados y el biogás y se comienza a desarrollar programas de uso de los suelos ya recuperados, que dan inicio a la creación de áreas verdes para el sector urbano.

2. MARCO TEÓRICO

Los metales pesados se han convertido en un tema actual tanto en el campo ambiental como en el de salud pública. Los daños que causan son tan severos y en ocasiones tan ausentes de síntomas, que las autoridades ambientales y de salud de todo el mundo ponen mucha atención en minimizar la exposición de la población, en particular de la población infantil, a estos elementos tóxicos (Ref.7). Recientemente, han llamado la atención de la prensa internacional y nacional, el caso del envenenamiento por metales pesados entre la población infantil de Torreón, Coahuila, en el Norte-Centro de México.

Este problema había sido estudiado y denunciado desde hace veinte años por diversas instituciones y grupos ambientalistas .El problema en la ciudad de Torreón es provocado por el plomo, el cadmio y el arsénico, tres elementos altamente dañinos para los humanos. Sin embargo, los estudios, las denuncias y ahora las acciones que se han realizado en torno a este problema tienen como actor principal al plomo.

Esto no significa que el plomo sea el más tóxico de los tres elementos, de hecho ocurre lo contrario, este ha sido utilizado por la humanidad más ampliamente y por ende es el que causa más problemas y más preocupación en todo el mundo. Valdría la pena estar conscientes de este hecho y no tener la impresión que es el plomo el único contaminante que nos preocupa.

El envenenamiento por metales pesados se debe al funcionamiento de la cuarta fundidora más importante del mundo, propiedad de la compañía Peñoles,

situada en el centro de la ciudad de Torreón. El envenenamiento por plomo no es un problema exclusivo de Torreón.

En otros lugares puede presentarse la contaminación por plomo pero las fuentes emisoras pueden ser distintas, como en el caso reciente que afecta a los vecinos de la empresa Pigmentos y Óxidos S.A. en el área metropolitana de Monterrey, Nuevo León. A continuación se describen los tres elementos, sus efectos sobre la salud y algunas medidas de prevención que pueden tomarse en el ámbito personal y familiar. Es claro que un problema de contaminación requiere de medidas en otro nivel (industrial, social), pero también es cierto que en el ámbito inmediato y personal es donde el individuo tiene mayor influencia.

2.1. El Plomo (Pb)

El plomo es un metal pesado, azulado, suave y maleable, usado en varios procesos industriales. El plomo existe naturalmente en la corteza terrestre, de donde es extraído y procesado para usos diversos. Cuando el plomo es ingerido, inhalado o absorbido por la piel, resulta ser altamente tóxico para los seres vivos en general y para los humanos en particular. Se sospecha que es tóxico para los sistemas endócrino, cardiovascular, respiratorio, inmunológico, neurológico, y gastrointestinal además de poder afectar la piel y los riñones. (Ref. 5).

El plomo no es biodegradable y persiste en el suelo, en el aire, en el agua y en los hogares. Nunca desaparece sino que se acumula en los sitios en los que se deposita y puede llegar a envenenar a generaciones de niños y adultos a menos que sea retirado. La exposición al plomo, aún a niveles bajos, afecta a niños y a adultos. En cantidades muy pequeñas, el plomo interfiere con el

desarrollo del sistema neurológico, causa crecimiento retardado y problemas digestivos.

En casos extremos causa convulsiones, colapsos e incluso la muerte. La exposición a cantidades sumamente pequeñas de plomo puede causar a largo plazo daños medibles e irreversibles en niños aún cuando éstos no muestren síntomas particulares. Se ha encontrado que una concentración de 7 microgramos de plomo por decilitro de sangre ($\mu\text{g}/\text{dL}$) causa daños irreversibles en el sistema neurológico de los infantes. (Ref. 8) El plomo en la sangre de los niños puede provocar que un genio en potencia solo llegue a un nivel de aprovechamiento promedio o que un niño que hubiera tenido habilidades promedio quede discapacitado de por vida.

Hay estudios que han relacionado una baja de 5.8 puntos en las pruebas de cociente intelectual (donde 100 sería la habilidad de la mayoría de los niños), por cada diez microgramos por decilitro en la sangre de un niño. Para poner estos datos en perspectiva, debemos especificar que un microgramo es una millonésima parte de un gramo y un decilitro es la décima parte de un litro.

El límite máximo permisible de plomo en la sangre de un niño según la Norma Oficial Mexicana promulgada en junio de este año, es de $10 \mu\text{g}/\text{dL}$, (Ref. 8) sin embargo es importante resaltar que este nivel no es seguro ni es normal, ni es deseable. Las autoridades médicas reconocen que no se ha identificado un umbral a partir del cual se presenten los efectos dañinos del plomo. La Academia Americana de Pediatría recomienda como nivel deseable de plomo en la sangre de los niños la cantidad de cero. Es importante recalcar que tampoco existe un nivel de plomo en sangre que pueda ser considerado normal. (Ref. 9)

El plomo causa anemia en los niños y en los adultos al impedir la formación de moléculas que transportan el oxígeno. En los adultos, la exposición a niveles sumamente bajos de plomo causa incrementos pequeños pero significativos en la presión arterial y no existe evidencia de que haya un umbral para este efecto. También en los adultos, el plomo causa enfermedades renales y afecta la fertilidad. La alta presión arterial (hipertensión) causada por la exposición al plomo, contribuye a que mueran miles de personas cada año, especialmente personas entre las edades de 35 y 50 años.

La tabla IV muestra los cambios fisiológicos causados por el plomo en niños. Se cree que el uso generalizado que le daban en la antigua Roma (en recipientes, tubería, etc.) tuvo que ver con la decadencia de su civilización. Los romanos usaban incluso el acetato de plomo, por su dulzura, como edulcorante del vino, agudizando la intoxicación quien lo bebía. Las fuentes de contaminación por plomo son múltiples e incluyen a las fundidoras, las fábricas de baterías, algunas pinturas, la loza de barro vidriado cocida a baja temperatura y las gasolinas con tetraetilo de plomo (que se dejaron de usar en México en 1997).

En nueve sistemas de clasificación de riesgo citados por el Fondo para la Defensa Ambiental o *Environmental Defense Fund* el plomo aparece como un material que es más peligroso que la mayoría de los productos químicos. Se le considera dentro del 10% de los materiales más peligrosos para la salud humana.

TABLA IV. Efectos del plomo en la sangre en la salud de los niños (Ref. 8)

Síntomas	Nivel de Plomo en la Sangre
Parto prematuro, bajo peso al nacer, problemas de desarrollo y aprendizaje	10 a 15 µg/dL
Cocientes intelectuales (IQ) reducidos	25 µg/dL
Reflejos más lentos	30 µg/dL
Menos glóbulos rojos en la sangre	40 µg/dL
Problemas nerviosos, anemia, cólicos	70 µg/dL
Problemas estomacales y renales	90 µg/dL
Problemas cerebrales	100 µg/dL
Estos efectos sobre la salud empiezan a los niveles indicados pero no todos los niños los sufren.	

Fuente: Departamento de salud del estado de Texas, control del plomo, referencia 4.

Es recomendable vigilar los niveles del plomo en la sangre para valorar la exposición a este peligroso metal. Se recomienda tener hábitos de higiene estrictos, sobre todo en los niños para evitar que el plomo entre por la boca. Puede uno protegerse evitando fumar, reduciendo la ingestión de bebidas alcohólicas (el alcohol favorece la absorción del plomo) y consumiendo cereales, frutas y hortalizas de cultivo orgánico.

Se debe evitar el uso de loza de barro vidriado, sobre todo para cocinar o guardar alimentos con alta acidez. Ingerir vitamina D es una buena idea así como tomar alimentos ricos en calcio y hierro (leche, yoghurt, frijoles, tortillas, etc.). Si la persona afectada vive cerca de una fuente emisora de ese metal como fundidoras, fábricas de pigmentos o de baterías, es recomendable cambiar de domicilio.

Además de que las clases tienen cotas diferentes en uno y otro caso, existe un cambio sumamente grave en cuanto a la respuesta al caso de los niños que se ubican en la clase o categoría IV. (Ref. 5) Mientras la norma

norteamericana indica el tratamiento con quelantes aún cuando el niño no presente síntomas, la norma mexicana ordena el tratamiento solamente si estos síntomas se presentan.

El envenenamiento por plomo ha sido llamado “la epidemia silenciosa” precisamente por la ausencia de síntomas. Los síntomas claros de este envenenamiento son las convulsiones, el estado de coma y la muerte. Esta omisión es particularmente grave y requiere ser modificada.

TABLA V. Concentración del plomo en la sangre del niño y acciones a tomar (Ref. 5)

Clase	Concentración de plomo en la sangre (µg/dL)	Acciones a tomar
I	Menor o igual a 9	Si el niño está en un ambiente de bajo riesgo, volver a analizar a los 24 meses Si el niño está en un ambiente de alto riesgo, volver a analizar a los 6 meses
IIA	10-14	Iniciar actividades preventivas
IIB	15-19	Tomar historia clínica para encontrar las fuentes de las altas dosis de plomo. Educar a los padres sobre dieta, limpieza, etc. Analizar probable deficiencia de hierro. Considerar una investigación ambiental y un programa de abatimiento de plomo si persisten estos niveles.
III	20-44	Llevar a cabo una evaluación médica completa. Identificar y eliminar las fuentes de plomo ambiental.
IV	45-69	Iniciar tratamiento médico y una evaluación ambiental y un programa de remediación dentro de las 48 horas siguientes. Iniciar tratamiento con quelantes aún cuando sea un niño que no presente síntomas.
V	Mayor o igual a 70	Iniciar tratamiento médico y una evaluación ambiental y un programa de remediación INMEDIATAMENTE (mayúsculas en el original). Iniciar tratamiento con quelantes aún cuando el niño no tenga síntomas de envenenamiento. Representa una emergencia médica aguda.

Fuente: Center for disease control and prevention (Centro de control y prevención de enfermedades).

2.1.1. Población en peligro

Los niños en edad pre-escolar y los fetos son los grupos más vulnerables a la exposición al plomo (Ref. 5). Esta mayor vulnerabilidad resulta de una serie de factores propios del organismo de los niños y los fetos. Estos factores incluyen: La susceptibilidad elevada del sistema nervioso del feto y del neonato aún en desarrollo a los efectos neurotóxicos del plomo. Los niños pequeños tienden a jugar en el polvo y a llevarse sus manos y otros objetos a la boca. Es común que los niños de todas las condiciones sociales y todas las culturas jueguen en el piso, acaricien sus mascotas, se chupen el pulgar, coman con las manos, etc., incrementando la probabilidad de ingestión de polvo.

Muchos niños tienen la costumbre de comer o lamer escamas de pintura por su sabor dulce. Este sabor proviene de los compuestos de plomo existentes en las pinturas. Una escama de pintura del tamaño de una uña puede contener entre cuarenta y doscientos microgramos de plomo.

Esta costumbre de comer polvo y otros elementos no alimenticios se le conoce como pica y ocurre con más frecuencia en los niños que en los adultos. En un niño el plomo se absorbe por su tracto gastrointestinal con mayor eficiencia que en los adultos, absorbiendo aproximadamente el cuarenta por ciento del plomo que ingieren.

Esta absorción aumentada se presenta desde el nacimiento hasta la edad de seis años cuando el cerebro se está desarrollando. El plomo interfiere con este desarrollo. Las deficiencias de hierro y calcio, que son comunes en los niños, facilitan la absorción del plomo y exacerbaban sus efectos tóxicos (Ref. 5). El envenenamiento por plomo es más severo en países en desarrollo por las emisiones industriales incontroladas, el funcionamiento de pequeñas industrias

sin ninguna reglamentación y algunas prácticas populares como el uso de medicinas tradicionales que contienen plomo.

La Organización Mundial de la Salud estima que entre quince y dieciocho millones de niños en países en desarrollo sufren de daño cerebral permanente por culpa del envenenamiento por plomo. (Ref. 10).

Cientos de millones de niños y de mujeres embarazadas están expuestos a niveles elevados del plomo en estos países. Entre los niños, aquellos que tienen dos y tres años de edad son los que están en un mayor riesgo por estar expuestos al suelo contaminado por plomo. Se ha reportado a niños de estas edades con los niveles de plomo en sangre más elevados, donde la pica es más común.

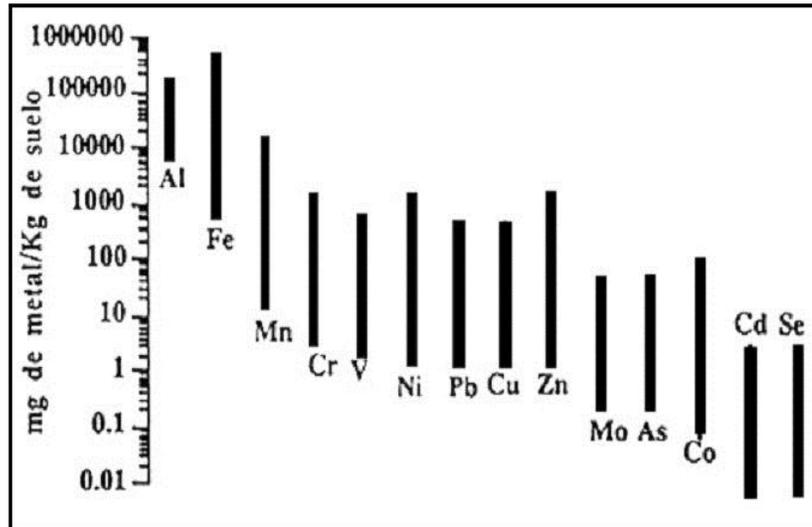
TABLA VI. Valores de suelos considerados normales y los afectados por anomalías geoquímicas

Elemento	Rango normal mg/kg	Valores anormalmente elevado mg/kg
As	<5 – 40	>2500
Cd	<1 – 2	>30
Mo	<1 – 5	10 – 100
Ni	2 – 100	>8000
Pb	10 – 150	10 000

Fuente: (Ref. 10)

De este modo una concentración de Pb en el suelo de 1000 mg/kg puede ser el fruto de una contaminación externa o de un nivel geoquímico muy alto.

Figura 2. **Márgenes de variabilidad de diferentes elementos en los suelos, que no presentan problemas de toxicidad**



Fuente: (Ref. 7)

Ello lleva a considerar las concentraciones existentes en los seres vivos y en otros medios ecológicos como las aguas o el aire.

La variación en la composición media entre plantas y mamíferos hay que atribuirla a las diferentes funciones en los mismos en el caso de tratarse de micronutrientes, cuando se trata de elementos sin función biológica conocida las diferencias estriban en la posibilidad de existir una bioacumulación en el caso de los animales, de mayor longevidad. Algo similar ocurre con las diferencias encontradas entre peces y aguas marinas.

TABLA VII. Concentraciones existentes en los seres vivos y otros medios ecológicos

Elemento	Plantas mg/kg	Mamíferos mg/kg	Peces mg/kg	Aire (Polo Sur) Mg/kg	Agua marina Mg/kg	Agua cont. mg/kg	Lluvia mg/kg
Cd	0,10-2,40	0,10-3,20	0,1-3,00	<0,40	<0,02	0,10	0,02-0,06
Cr	May-15	Ene-26	0,7-15	0,51	0,01	3,00	0,01-15
Pb	Ene-13	0,2-30	0,01-2,0	3,60	<0,02	3,00	-

Fuente: (Ref. 7), Abreviatura: mg/kg = miligramo por cada kilogramo.

TABLA VIII. Concentraciones de metales pesados en el suelo a distintos valores de pH

Concentraciones de metales en (mg/kg) a distintos valores de Ph				
pH	Cd	As	Cr	Pb
6,00	0,80	17,70	1,90	193
7,00	0,60	16,80	0,80	342
7,70	0,40	16,00	0,80	370

Fuente: (Ref. 11)

2.2. Ciclo de vida del material informático y su relación con el Cromo (Cr⁺⁶)

Desde que en la década de los años noventa el precio de los ordenadores cayó en picada, mucho disponen de algún ordenador en casa y en el trabajo. Aunque la vida útil de estos equipos se estima en diez años, al cabo de unos tres o cuatro ya han quedado obsoletos debido a los requerimientos de los

nuevos programas y las nuevas versiones de los sistemas operativos. Adquirir un nuevo equipo informático es tan barato que abandonamos o almacenamos un ordenador cuando todavía no ha llegado al final de su vida útil, para comprar otro nuevo, desconociendo el enorme coste ecológico que comporta tanto la producción como el vertido de ordenadores.

Figura 3. **Ciclo de vida del material informático (Ref. 13)**



Los residuos electrónicos de los equipos informáticos generan una serie de problemas específicos:

- Son tóxicos. Los componentes tóxicos más comunes son el plomo, el mercurio, y el cadmio. También llevan selenio y arsénico. Al ser fundidos liberan toxinas al aire, tierra y agua. (Ref. 13)
- Se suelen llevar a países del tercer mundo. Es rentable hacerlo, así que la basura informática que se produce, se envía a países del tercer mundo, o en vías de desarrollo como Guatemala, que se convierten en receptores de nuestra contaminación. En estos países puede haber muchas personas empleadas en extraer los componentes valiosos de un ordenador.

¿Dónde y para qué se usa esos elementos encontrados en la basura electrónica?

Plomo: en soldaduras, Monitores CRT (Plomo en el cristal), en los tubos de rayos catódicos y Baterías *lead-acid*. (*plomo-acido*)

Estaño: soldaduras

Cobre: cables de cobre, en circuitos impresos

Aluminio: en las carcasas y como disipadores de calor

Hierro: acero, carcasas

Silicio: en cristales, transistores, tableros de circuitos impresos

Níquel: en baterías recargables de níquel-cadmio

Cadmio en tableros de circuitos y semiconductores, en baterías recargables de níquel-cadmio

Litio: baterías de litio

Zinc: en galvanoplastia de piezas de acero

Oro: recubriendo conectores

Germanio: en los años 50 y 60 se lo encontraba en transistores electrónicos.

Mercurio: en interruptores y cubiertas, tubos fluorescentes

Azufre: baterías *Lead-acid* (*plomo-acido*)

Carbono: acero, plásticos, resistores. En casi todo el equipo electrónico.

Arsénico en tubos de rayo catódico más antiguos

Antimonio: como tritóxido retardantes de fuego

Bromo: en cubiertas policromadas retardantes de flamas para cubiertas, cables y tableros de circuitos

Selenio en los tableros de circuitos como rectificador de suministro de energía

2.2.1. Efectos del cromo sobre la salud

El ser humano puede estar expuesto al cromo al respirarlo, comerlo o beberlo y a través del contacto con la piel con cromo o compuestos del cromo. El nivel de Cromo en el aire y el agua es generalmente bajo. La toma de mucho Cromo III puede causar efectos sobre la salud, por ejemplo erupciones cutáneas. Otros problemas de salud que son causados por el Cromo (VI) son:

- Erupciones cutáneas
- Malestar de estómago y úlceras
- Problemas respiratorios
- Debilitamiento del sistema inmune
- Daño en los riñones e hígado
- Alteración del material genético
- Cáncer de pulmón
- Muerte

Figura 4. Fuentes principales de exposición ambiental al cromo

- **Emissiones a la atmósfera de:**
 - ◊ **Industria química**
 - ◊ **Incineradores**
- **Efluentes de la industria química**
- **Rellenos sanitarios contaminados**
- **Polvo de cemento**
- **Polvo en los caminos procedente de:**
 - ◊ **Desgaste de los convertidores catalíticos**
 - ◊ **Desgaste de las balatas (forros) de los frenos**
- **Humo de tabaco**

Fuente: (Ref. 13)

Figura 5. Fuentes principales de exposición ocupacional al cromo

A. Cromo (III)	Producción de cromatos
	Cromado
Curtido de pieles	
B. Cromo (VI)	C. Cromo (III) y Cromo (VI)
	Industria del ferrocromo
Soldado de acero inoxidable	Pigmentos del cromo

Fuente: (Ref. 13)

Figura 6. Otras fuentes de exposición al cromo

- Rellenos sanitarios y confinamientos industriales en los que se hayan depositados desechos que contengan cromo.
- Fábricas de cemento.
- Torres industriales de enfriamiento en las que se haya usado el cromo como inhibidor de la corrosión.
- Corrientes de aguas superficiales que reciban efluentes de las industrias de galvanizado, curtido y textiles.

Fuente: (Ref. 13)

2.3. pH

El pH es una medida de la acidez o alcalinidad de una solución. El pH es la concentración de iones hidronio $[H_3O^+]$ presentes en determinadas sustancias.

La sigla significa "potencial de hidrógeno" (*pondus Hydrogenii o potentia Hydrogenii*; del latín *pondus*, n. = peso; *potentia*, f. = potencia; *hydrogenium*, n. = hidrógeno). Este término fue acuñado por el químico danés Sørensen, quien lo definió como el logaritmo negativo de base 10 de la actividad de los iones hidrógeno. Esto es:

$$pH = -\log_{10} [a_{H_3O^+}]$$

Desde entonces, el término "pH" se ha utilizado universalmente por lo práctico que resulta para evitar el manejo de cifras largas y complejas. En disoluciones diluidas, en lugar de utilizar la actividad del ion hidrógeno, se le puede aproximar empleando la concentración molar del ion hidrógeno.

Por ejemplo, una concentración de $[H_3O^+] = 1 \times 10^{-7} \text{ M}$ (0,0000001) es simplemente un pH de 7 ya que: $\text{pH} = -\log[10^{-7}] = 7$

El pH típicamente va de 0 a 14 en disolución acuosa, siendo ácidas las disoluciones con pH menores a 7 (el valor del exponente de la concentración es mayor, por que hay más protones en la disolución), y alcalinas las que tienen pH mayores a 7. El pH = 7 indica la neutralidad de la disolución (donde el disolvente es agua).

Se considera que p es un operador logarítmico sobre la concentración de una solución: $p = -\log[\dots]$, también se define el pOH, que mide la concentración de iones OH^- .

$$\log K_w = \log [H_3O^+] + \log [OH^-]$$

$$-14 = \log [H_3O^+] + \log [OH^-]$$

$$14 = -\log [H_3O^+] - \log [OH^-]$$

$$\text{pH} + \text{pOH} = 14$$

Por lo que se puede relacionar directamente el valor del pH con el del pOH.

En disoluciones no acuosas, o fuera de condiciones normales de presión y temperatura, un pH de 7 puede no ser el neutro. El pH al cual la disolución es neutra estará relacionado con la constante de disociación del disolvente en el que se trabaje.

2.3.1. Medida del pH

El valor del pH se puede medir de forma precisa mediante un potenciómetro, también conocido como pH-metro, un instrumento que mide la diferencia de potencial entre dos electrodos: un electrodo de referencia

(generalmente de plata/cloruro de plata) y un electrodo de vidrio que es sensible al ión hidrógeno.(Ref. 12)

También se puede medir de forma aproximada el pH de una disolución empleando indicadores, ácidos o bases débiles que presentan diferente color según el pH. Generalmente se emplea papel indicador, que se trata de papel impregnado de una mezcla de indicadores cualitativos para la determinación del pH. El papel de litmus o papel tornasol es el indicador mejor conocido. Otros indicadores usuales son la fenolftaleína y el naranja de metilo, es importante tomar en cuenta las siguientes recomendaciones para medir el pH:

- A pesar de que muchos potenciómetros tienen escalas con valores que van desde 1 hasta 14, los valores de pH pueden ser menores que 1 y mayores que 14. Por ejemplo el ácido de batería de automóviles tiene valores cercanos de pH menores que uno, mientras que el hidróxido de sodio 1 M varía de 13,5 a 14.
- Un pH igual a 7 es neutro, menor que 7 es ácido y mayor que 7 es básico a 25 °C. A distintas temperaturas, el valor de pH neutro puede variar debido a la constante de equilibrio del agua (K_w).

La determinación del pH es uno de los procedimientos analíticos más importantes y más usados en ciencias tales como química, bioquímica y la química de suelos. El pH determina muchas características notables de la estructura y actividad de las biomacromoléculas y, por tanto, del comportamiento de células y organismos.

En 1909, el químico danés Sorensen definió el potencial hidrógeno como el logaritmo negativo de la concentración molar (más exactamente de la actividad molar) de los iones hidrógeno.

$$pH = -\log[H^+]$$

2.4. Residuos sólidos y su clasificación

Material que no representa una utilidad o un valor económico para el dueño, el dueño se convierte por ende en generador de residuos. Desde el punto de vista legislativo lo más complicado respecto a la gestión de residuos, es que se trata intrínsecamente de un término subjetivo, que depende del punto de vista de los actores involucrados (esencialmente generador y fiscalizador)

El residuo se puede clasificar de varias formas, tanto por estado, origen o característica

Clasificación por estado

Un residuo es definido por estado según el estado físico en que se encuentre. Existe por lo tanto tres tipos de residuos desde este punto de vista sólidos, líquidos y gaseosos, es importante notar que el alcance real de esta clasificación puede fijarse en términos puramente descriptivos o, como es realizado en la práctica, según la forma de manejo asociado : por ejemplo un tambor con aceite usado y que es considerado residuo, es intrínsecamente un líquido, pero su manejo será como un sólido, debido a que será transportado en camiones y no por un sistema de conducción hidráulica.

En general un residuo también puede ser caracterizado por sus características de composición y generación.

Clasificación por origen

Se puede definir el residuo por la actividad que lo origine, esencialmente es una clasificación sectorial.

Esta definición no tiene en la práctica límites en cuanto al nivel de detalle en que se puede llegar en ella.

2.4.1. Tipos de residuos más importantes

- **Residuos municipales**

La generación de residuos municipales varía en función de factores culturales asociados a los niveles de ingreso, hábitos de consumo, desarrollo tecnológico y estándares de calidad de vida de la población. El creciente desarrollo de la economía chilena ha traído consigo un considerable aumento en la generación de estos residuos. En la década de los 60, la generación de residuos domiciliarios alcanzaba los 0,2 a 0,5 Kg/habitante/día; hoy en cambio, esta cifra se sitúa entre los 0,8 y 1,4 Kg/habitante/día.

Los sectores de más altos ingresos generan mayores volúmenes per cápita de los residuos, y estos residuos tienen un mayor valor incorporado que los provenientes de sectores más pobres de la población.

- **Residuos industriales**

La cantidad de residuos que genera una industria es función de la tecnología del proceso productivo, calidad de las materias primas o productos intermedios, propiedades físicas y químicas de las materias auxiliares empleadas, combustibles utilizados y los envases y embalajes del proceso.

- **Residuos mineros**

Los residuos mineros incluyen los materiales que son removidos para ganar acceso a los minerales y todos los residuos provenientes de los procesos mineros. En Chile y en el mundo las estadísticas de producción son bastante limitadas. Actualmente la industria del cobre se encuentra empeñada en la implementación de un manejo apropiado de estos residuos, por lo cual se espera en un futuro próximo contar con estadísticas apropiadas.

- **Residuos hospitalarios**

Actualmente el manejo de los residuos hospitalarios no es el más apropiado, al no existir un reglamento claro al respecto. El manejo de estos residuos es realizado a nivel de generador y no bajo un sistema descentralizado. A nivel de hospital los residuos son generalmente esterilizados.

La composición de los residuos hospitalarios varia desde el residuo tipo residencial y comercial a residuos de tipo medico conteniendo sustancias peligrosas.

Según el *Integrated Waste Management Board* de California USA se entiende por residuo médico como aquel que esta compuesto por residuos que es generado como resultado de:

- a) Tratamiento, diagnóstico o inmunización de humanos o animales
- b) Investigación conducente a la producción o prueba de preparaciones medicas hechas de organismos vivos y sus productos

2.4.2. Clasificación por tipo de manejo

Se puede clasificar un residuo por presentar algunas características asociadas al manejo que debe ser realizado:

Desde este punto de vista se pueden definir tres grandes grupos:

- a) Residuo peligroso: residuos que por su naturaleza son inherentemente peligrosos de manejar y/o disponer y pueden causar muerte, enfermedad; o que son peligrosos para la salud o el medio ambiente cuando son manejados en forma inapropiada.

- b) Residuo inerte: residuo estable en el tiempo, el cual no producirá efectos ambientales apreciables al interactuar en el medio ambiente.
- c) Residuo no peligroso: ninguno de los anteriores

2.4.3. Manejo de residuos sólidos

Es el conjunto de procedimientos y políticas que conforman el sistema de manejo de los residuos sólidos.

Sistema de manejo de residuos sólidos

Básicamente el sistema de manejo de los residuos se compone de cuatro sub sistemas:

- a) Generación: cualquier persona u organización cuya acción cause la transformación de un material en un residuo. Una organización usualmente se vuelve generadora cuando su proceso genera un residuo, o cuando lo derrama o cuando no utiliza más un material.
- b) Transporte: es aquel que lleva el residuo. El transportista puede transformarse en generador si el vehículo que transporta derrama su carga, o si cruza los límites internacionales (en el caso de residuos peligrosos), o si acumula lodos u otros residuos del material transportado.
- c) Tratamiento y disposición: el tratamiento incluye la selección y aplicación de tecnologías apropiadas para el control y tratamiento de los residuos peligrosos o de sus constituyentes. Respecto a la disposición la alternativa comúnmente más utilizada es el relleno sanitario.
- d) Centro de control y supervisión: este sub sistema se relaciona fundamentalmente con el control efectivo de los otros tres sub sistemas.

Riesgo asociado al manejo de los residuos sólidos

Gestión negativa:

- a) Enfermedades provocadas por vectores sanitarios: existen varios vectores sanitarios de gran importancia epidemiológica cuya aparición y permanencia pueden estar relacionados en forma directa con la ejecución inadecuada de alguna de las etapas en el manejo de los residuos sólidos.
- b) Contaminación de aguas: la disposición no apropiada de residuos puede provocar la contaminación de los cursos superficiales y subterráneos de agua, además de contaminar la población que habita en estos medios.
- c) Contaminación atmosférica: el material particulado, el ruido y el olor representan las principales causas de contaminación atmosférica
- d) Contaminación de suelos: los suelos pueden ser alterados en su estructura debido a la acción de los líquidos percolados dejándolos inutilizables por largos periodos de tiempo.
- e) Problemas paisajísticos y riesgo: la acumulación en lugares no aptos de residuos trae consigo un impacto paisajístico negativo, además de tener en algunos casos asociados un importante riesgo ambiental, pudiéndose producir accidentes, tales como explosiones o derrumbes.
- f) Salud mental: existen numerosos estudios que confirman el deterioro anímico y mental de las personas directamente afectadas.

Figura 7. **Relleno Sanitario con manejo inadecuado**



Fuente: Ref. 11

Gestión positiva:

- a) Conservación de recursos : el manejo apropiado de las materias primas, la minimización de residuos, las políticas de reciclaje y el manejo apropiado de residuos traen como uno de sus beneficios principales la conservación y en algunos casos la recuperación de los recursos naturales. Por ejemplo puede recuperarse el material orgánico a través del compostaje.
- b) Reciclaje: un beneficio directo de una buena gestión lo constituye la recuperación de recursos a través del reciclaje o reutilización de residuos que pueden ser convertidos en materia prima o ser utilizados nuevamente.
- c) Recuperación de áreas: otros de los beneficios de disponer los residuos en forma apropiada un relleno sanitario es la opción de recuperar áreas de escaso valor y convertirlas en parques y áreas de esparcimiento, acompañado de una posibilidad real de obtención de beneficios energéticos (biogás).

2.4.4. Disposición final de residuos

Una vez el residuo ha sido tratado este, se encuentra listo para su disposición. La forma y tipo del residuo determina en gran parte donde la disposición será permitida. Un limitado grupo de residuos puede ser dispuesto por inyección a pozos profundos y en descargas submarinas a océanos, muchos residuos gaseosos y particulados son dispuestos en la atmósfera.

Los residuos sólidos comúnmente son depositados en:

- Basureros
- Botaderos
- Botaderos controlados
- Vertederos
- Rellenos sanitarios
- Depósitos de seguridad

2.5. Rellenos Sanitarios

Un relleno sanitario es una obra de ingeniería destinada a la disposición final de los residuos sólidos domésticos, los cuales se disponen en el suelo, en condiciones controladas que minimizan los efectos adversos sobre el medio ambiente y el riesgo para la salud de la población.

La obra de ingeniería consiste en preparar un terreno, colocar los residuos extenderlos en capas delgadas, compactarlos para reducir su volumen y cubrirlos al final de cada día de trabajo con una capa de tierra de espesor adecuado.

Un relleno sanitario planificado y ambiental de las basuras domesticas ofrece, una vez terminada su vida útil, excelentes perspectivas de una nueva

puesta en valor del sitio gracias a su eventual utilización en usos distintos al relleno sanitario; como ser actividades silvoagropecuarias en el largo plazo.

El relleno sanitario es un sistema de tratamiento y, a la vez disposición final de residuos sólidos en donde se establecen condiciones para que la actividad microbiana sea de tipo anaeróbico (ausencia de oxígeno). Este tipo de método es el más recomendado para realizar la disposición final en países tercermundistas como Guatemala, pues se adapta muy bien a la composición y cantidad de residuos sólidos urbanos producidos.

La definición más aceptada de relleno sanitario es la dada por la sociedad de ingenieros civiles (ASCE) ; Relleno sanitario es una técnica para la disposición de residuos sólidos en el suelo sin causar perjuicio al medio ambiente y sin causar molestias o peligro para la salud y seguridad pública, método este, que utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en un área lo menor posible, reduciendo su volumen al mínimo practicable, para cubrir los residuos así depositados con una capa de tierra con la frecuencia necesaria, por lo menos al final de cada jornada.

Requerimientos generales de los rellenos sanitarios

- El sitio debe tener espacio necesario para almacenar los residuos generados por el área en el plazo definido por el diseño.
- El sitio es diseñado, localizado y propuesto para ser operado de forma que la salud, las condiciones ambientales y el bienestar sea garantizado.
- El sitio es localizado de manera de minimizar la incompatibilidad con las características de los alrededores y de minimizar el efecto en los avalúos de estos terrenos.
- El plan de operación del sitio se diseña para minimizar el riesgo de fuego, derrames y otros accidentes operacionales en los alrededores.

- El diseño del plan de acceso al sitio se debe hacer de forma de minimizar el impacto en los flujos.

2.5.1. Tipos de rellenos

El parámetro básico de diseño de un relleno es el volumen. Este depende del área cubierta, la profundidad a la cual los residuos son depositados, y el radio de material de cobertura y residuo. Debido a que la tasa de generación de residuos es usualmente definida en unidades másicas un parámetro adicional que influencia la capacidad del relleno es la densidad *in situ* de la basura y el material de cobertura.

Generalmente todo diseño de relleno incluye algunas obras comunes. Zonas *buffer* y pantallas perimetrales son necesarias para aislar el relleno de los vecinos y el sitio. Son necesarios cercos perimetrales para evitar el acceso no autorizado al sitio, se requiere un cuidadoso mantenimiento del frente de trabajo. Durante tiempos inclementes podría ser necesario contar con tractores para asistir a los camiones. El barro y suciedad que se adhieren al camión por su operación en el sitio debe ser retirado del mismo antes que abandone el recinto del relleno.

Método de trinchera o zanja

Este método se utiliza en regiones planas y consiste en excavar periódicamente zanjas de dos a tres metros de profundidad, con el apoyo de una retroexcavadora o tractor oruga. Incluso existen experiencias de excavación de trincheras de hasta 7 metros de profundidad para relleno sanitario. La tierra se extrae se coloca a un lado de la zanja para utilizarla como material de cobertura. Los desechos sólidos se depositan y acomodan dentro de la trinchera para luego compactarlos y cubrirlos con tierra.

La excavación de zanjas exige condiciones favorables tanto en lo que respecta a la profundidad del nivel freático como al tipo de suelo. Los terrenos con nivel freático alto o muy próximo a la superficie no son apropiados por el riesgo de contaminar el acuífero. Los terrenos rocosos tampoco lo son debido a las dificultades de excavación.

2.5.2. Clasificación de rellenos sanitarios

Clasificación según clase de residuo depositado

- Tradicional con residuos sólidos urbanos seleccionados: no acepta ningún tipo de residuo de origen industrial, ni tampoco lodos.
- Tradicional con residuos sólidos urbanos no seleccionados: acepta además de los residuos típicos urbanos, industriales no peligrosos y lodos previamente acondicionados
- Rellenos para residuos triturados: recibe exclusivamente residuos triturados, aumenta vida útil del relleno y disminuye el material de cobertura.

Clasificación según las características del terreno utilizado

- En áreas planas o llanuras: más que rellenamiento es una depositación en una superficie. Las celdas no tienen una pared o una ladera donde apoyarse, es conveniente construir pendientes adecuadas utilizando pretilas de apoyo para evitar deslizamientos. No es conveniente hacer este tipo de relleno en zonas con alto riesgo de inundación.
- En quebrada: se debe acondicionar el terreno estableciendo niveles aterrizados, de manera de brindar una base adecuada que sustente las celdas. Se deben realizar las obras necesarias para captar las aguas que normalmente escurren por la quebrada y entregarlas a su cauce aguas abajo del relleno.

- En depresiones: se debe cuidar el ingreso de aguas a la depresión, tanto provenientes de la superficie o de las paredes por agua infiltrada. La acumulación normal del relleno. La forma de construir el relleno dependerá del manejo que se de al biogás o a los líquidos percolados.
- En laderas de cerros: normalmente se hacen partiendo de la base del cerro y se va ganando altura apoyándose en las laderas del cerro. Es similar al relleno de quebrada. Se deben aterrazar las laderas del cerro aprovechando la tierra sacada para la cobertura y tener cuidado de captar aguas lluvias para que no ingresen al relleno.
- En ciénagas, pantanos o marismas: método muy poco usado por lo difícil de llevar a cabo la operación, sin generar condiciones insalubres. Es necesario aislar un sector, drenar el agua y una vez seco proceder al relleno. Se requiere equipamiento especializado y mano de obra.

2.6. Lixiviados o líquidos percolados

Los residuos, especialmente los orgánicos, al ser compactados por maquinaria pasada liberan agua y líquidos orgánicos, contenidos en su interior, el que escurre preferencialmente hacia la base de la celda. La basura, que actúa en cierta medida como una esponja, recupera lentamente parte de estos líquidos al cesar la presión de la maquinaria, pero parte de él permanece en la base de la celda. Por otra parte, la descomposición anaeróbica rápidamente comienza actuar en un relleno sanitario, produciendo cambios en la materia orgánica, primero de sólidos a líquido y luego de líquido a gas, pero es la fase de licuefacción la que ayuda a incrementar el contenido de líquido en el relleno, y a la vez su potencial contaminante.

En este momento se puede considerar que los basureros están completamente saturados y cualquier agua, ya sea subterránea o superficial, que se infiltre en el relleno, lixiviara a través de los desechos arrastrando

consigo sólidos en suspensión, y compuestos orgánicos en solución. Esta mezcla heterogénea, de un elevado potencial contaminante, es lo que se denomina lixiviados o líquidos percolados.

Control de los lixiviados o percolados

Como consecuencia de la impermeabilización del relleno sanitario, se acumulan en este una gran cantidad de líquidos percolados, los cuales deben ser manejados en forma apropiada. Es importante tener en el relleno sanitario los elementos necesarios para mantener un control total de los lixiviados, estos pueden ir desde almacenamientos en lagunas para luego recircularlos con equipos de bombeo, hasta sistemas de drenaje al interior del relleno, depósitos de almacenamiento y tratamiento químico y/o biológico.

Es importante establecer un sistema de monitoreo rutinario que permita detectar y anticipar un eventual paso de líquidos percolados a través del terreno y subsecuentemente adoptar las medidas preventivas y correctivas que corresponda para evitar riesgos a la población, por consumo de agua de mala calidad.

2.6.1. Tratamiento del lixiviado

El tipo de instalaciones de tratamiento dependerá de las características del lixiviado, y en segundo lugar, de la localización geográfica y física del relleno sanitario. Las características más preocupantes del lixiviado influyen: DBO(demanda bioquímica de oxígeno), DQO(demanda química de oxígeno), sólidos totales disueltos (STD), metales pesados y constituyentes tóxicos sin especificar.

El lixiviado contiene concentraciones extremadamente altas de STD, por ejemplo sobre 50 000 (mg/l), puede ser difícil tratar biológicamente. Con valores

altos de DBO es preferible emplear procesos de tratamientos anaeróbicos, porque los procesos de tratamientos aeróbicos son caros. Concentraciones altas de sulfato pueden limitar el uso de procesos de tratamientos anaeróbicos, debido a la producción de olores procedentes de la reducción biológica de sulfatos a sulfuros. La toxicidad producida por los metales pesados también es un problema para muchos procesos de tratamiento biológico.

Otra cuestión importante es: ¿Cuál debería ser el tamaño de las instalaciones de tratamiento? La capacidad de las instalaciones de tratamiento dependerá del tamaño del relleno sanitario y la vida útil esperada. Una investigación realizada en la sección de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Universidad de Chile acerca del tratamiento físico-químico de los lixiviados a fines de la década de los años ochenta y principios de los años noventa, realizó las siguientes conclusiones:

- El tratamiento físico-químico de percolados, consistentes en coagulación con Sulfato de Aluminio o Cloruro Férrico a pH elevado o en precipitación con Cal o Hidróxidos de Sodio, produce en los percolados modificaciones de olor y remoción de color, turbiedad, materia orgánica y metales, lo que facilita su manejo y disposición.

Las remociones de materia orgánica alcanzada, esta en el rango de 35% en términos de DQO y en el caso de los metales: 99.3% de Fe. 98.8% Mn y 63.9% de Cu.

- El tratamiento físico-químico de percolados, produce una gran cantidad de lodos y consume una alta cantidad de reactivos. Estos lodos pueden ser depositados en el mismo relleno sanitario. La disposición final de los líquidos tratados debe ser evaluada considerando el impacto ambiental que producirán.

- Para situaciones en las cuales los líquidos percolados generados por un relleno sanitario presenten problemas de manejo solo algunos meses al año, el tratamiento físico-químico aun cuando tiene un alto costo, resulta recomendable porque permite reducir a niveles aceptables los problemas de olor y facilita el manejo de los líquidos.

2.7. Medidas de mitigación

Las medidas de mitigación empleadas para reducir los impactos ambientales negativos de un relleno sanitario dependen de una serie de factores, entre los cuales destacan: las características del proyecto, tecnología usada, localización, condiciones de operación (tamaño, clima), etc., no obstante es posible identificar los impactos mas frecuentes generado por este tipo de faena y las medidas que normalmente se emplean para su mitigación.

Olores:

- Utilización de pantallas vegetales, (árboles, arbustos)
- Tratamiento de los líquidos percolados
- Quema del biogás cuando hay metano suficiente

Ruidos:

- Pantallas vegetales
- Utilizar equipos de baja emisión de ruidos

Alteración del suelo:

- Adecuada impermeabilización del relleno sanitario, para evitar filtraciones
- Vegetación para evitar erosión rellenamiento para evitar nivelar zonas con asentamiento diferencial o pendientes fuertes.

Diseminación de materiales:

- Configurar barreras para evitar que el viento incida sobre el frente de trabajo
- Utilizar mallas interceptoras
- Desprender residuos de camiones antes que abandonen el relleno

Material particulado:

- Riego de camino y de la tierra acumulada para el recubrimiento
- Pantallas vegetales en el perímetro del relleno

Control de vectores:

- Mantener aislado sanitariamente el recinto mediante la formación de un cordón sanitario que impida la infestación del relleno por roedores y el paso de especies animales desde y hacia el recinto.
- Realizar fumigaciones y desratizaciones como mínimo, cada 6 meses. Los elementos químicos que se empleen en esta actividad, deben estar acordes con la legislación.

Incremento movimiento vehicular

- Tratar de que la recolección se haga en horas diferidas
- En caso de vehículos de estaciones de transferencia tratar que estos lleguen en forma secuencial.

Figura 8. Desembocadura de la basura



Fuente: Ref.11

Figura 9. Selección de la basura



Fuente: Ref. 11

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

Tabla IX. Definición operacional de las variables

N.	Variables	Dimensional	Factor Potencial de diseño		Factores Perturbadores	
			Constantes	Variables	Controlables	de Ruido
	Análisis de las muestras					
1	pH	Unidades de Ph		X		
2	Metales	mg/kg				
	Contaminantes (As,Cd,Pb,Cr ⁺⁶)			X		

Fuente: Armando Morales, Abreviatura: mg/kg = miligramo por cada kilogramo.

No hay variables controladas ya que el diseño es experimental exploratorio cuantitativo, el trabajo está enfocado a la evaluación de un proceso natural, que es la migración de un contaminante en el suelo. Se realizaron gráficas a diferentes distancias y profundidades según sea el caso en cada pozo de control.

3.2. Delimitación del campo de estudio

La presente investigación, se limita únicamente a la obtención y determinación de concentraciones de los metales contaminantes Cromo Hexavalente (Cr^{+6}), Arsénico (As), Cadmio (Cd) y Plomo (Pb), además niveles de pH los cuales se obtendrán conforme la ubicación de cada dique y profundidad de cada pozo de control, aguas abajo del relleno sanitario de tecnología apropiada de la Autoridad para el Manejo Sustentable del lago de Amatitlán.

3.3. Recursos humanos disponibles

Personal para el trabajo de recolección de las muestras 3 personas, 1 Asesor, 3 Revisores, 3 laboratoristas.

3.4. Recursos materiales disponibles

Instrumentación del equipo para la recolección de datos:

- Potenciómetro digital para medir el pH
- Un equipo de absorción atómica, el cual es un equipo primordial para la obtención de los resultados y determinación de las concentraciones de As, Cd, Pb y Cromo Hexavalente.

Insumos:

- Frascos para la toma de las muestras, guantes, mascarillas, metro, un sistema de GPS etc.
- Equipos como palas, bolsas, azadones, piochas etc.

3.5. Técnica cuantitativa

El estudio será del tipo “experimental exploratorio cuantitativo”, ya que se pretende obtener un muestreo de datos fisicoquímicos de los suelos a partir de diferentes distancias aguas abajo y a distintas profundidades en cada pozo de monitoreo en el respectivo suelo, se utilizó el método de aleatorización con cada uno de los experimentos realizados en el suelo para un control estadístico y obtención de datos para un mejor manejo y control de posibles errores.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

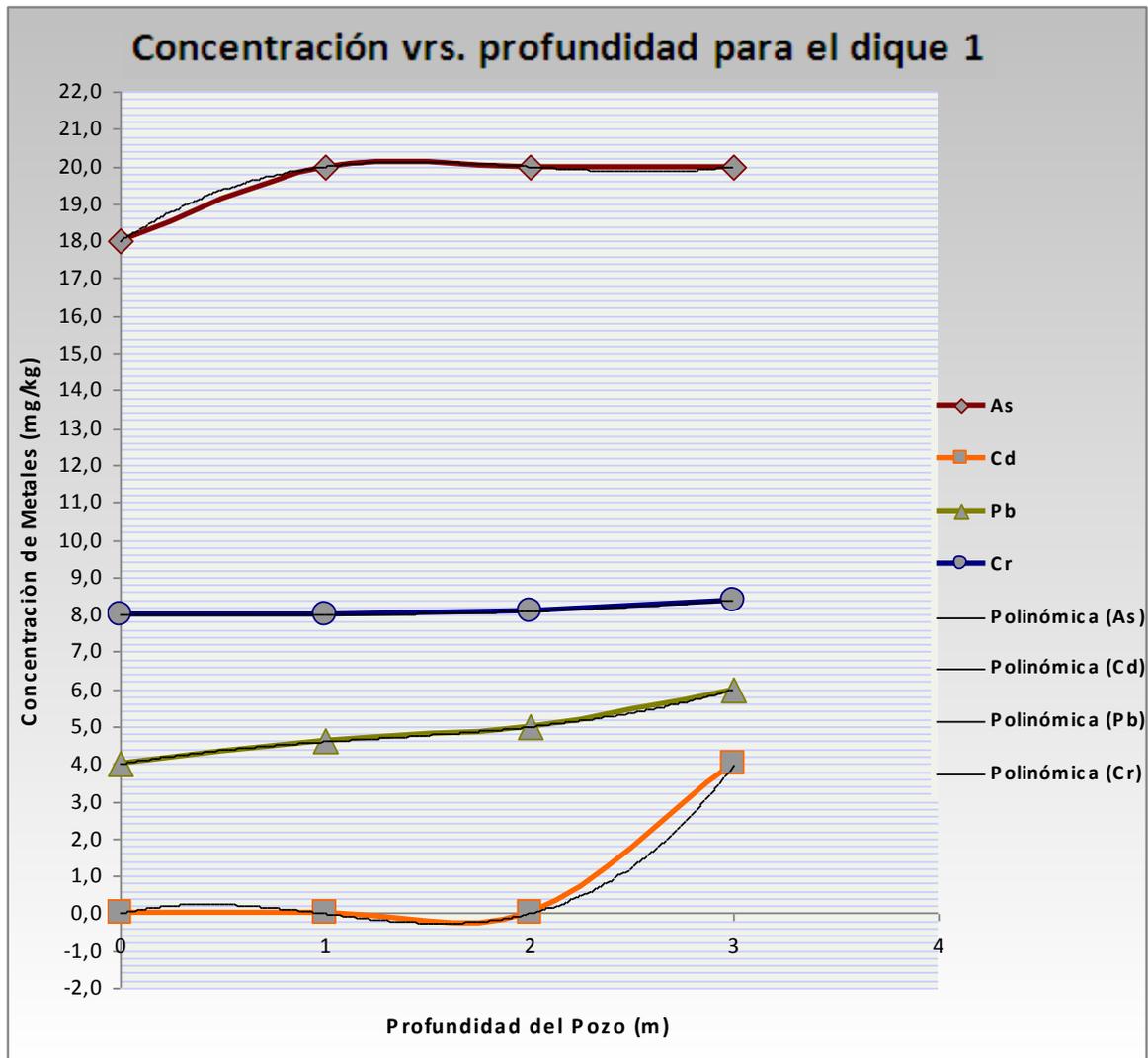
TABLA X. Tabla modelo de recolección de resultados obtenidos en el muestreo, en todos los diques y bancos de materiales

Pozo	Dique	Distancia	Profundidad(m)	As(mg/kg)	Cd(mg/kg)	Pb(mg/kg)	Cr(mg/kg)	pH
1	1	50m abajo del área de lixiviados de AMSA	0	18,00	3,40	4,00	8,00	6,0
			1	20,00	3,40	4,60	8,00	6,1
			2	20,00	3,80	5,00	8,10	6,3
			3	20,00	4,00	6,00	8,40	6,5
2	2	150m de distancia del Dique 1	0	30,00	4,00	7,00	5,00	7,1
			1	32,00	4,00	7,10	5,10	7,3
			2	32,60	4,20	7,30	6,00	7,5
			3	33,00	5,00	8,00	6,10	7,5
3	3	240 m de distancia del Dique 1	0	40,00	8,00	10,00	8,00	8,0
			1	44,00	8,60	12,00	12,00	8,0
			2	50,00	8,90	14,00	13,00	8,0
			3	60,00	9,30	16,00	14,00	8,0
4	4	335m de distancia del Dique 1	0	90,00	2,00	15,00	6,00	8,3
			1	90,60	4,00	13,00	7,00	8,3
			2	94,00	6,00	16,00	5,00	8,3
			3	100,00	8,00	18,00	5,40	8,4
5	5	480m de distancia del Dique 1	0	120,00	1,00	20,00	8,00	6,1
			1	130,00	2,00	30,00	8,00	6,2
			2	138,60	2,40	31,00	3,00	7,1
			3	150,00	4,00	35,00	7,00	7,3
1	Banco de Arena(Lodos)	850m de Dique 1	Mezcla	40,00	5,00	10,00	6,00	6,2
2	Banco de Arena	875m de Dique 1	Mezcla	50,00	7,00	15,00	8,00	7,2

Fuente: Laboratorio de Físicoquímica del Ministerio de Energía y Minas.

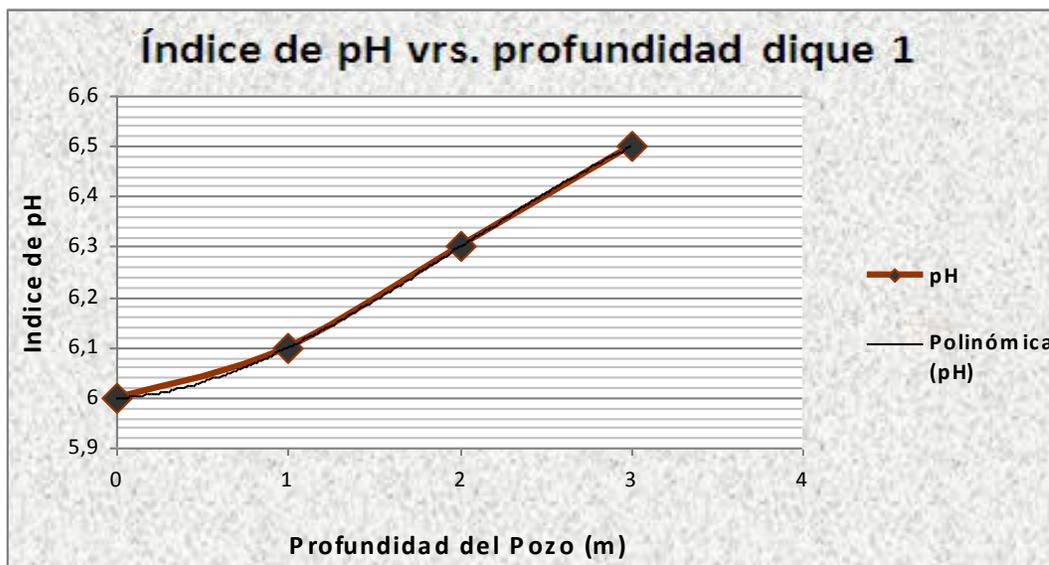
3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Figura 10. Concentración de metales vrs. profundidad del pozo en el dique 1



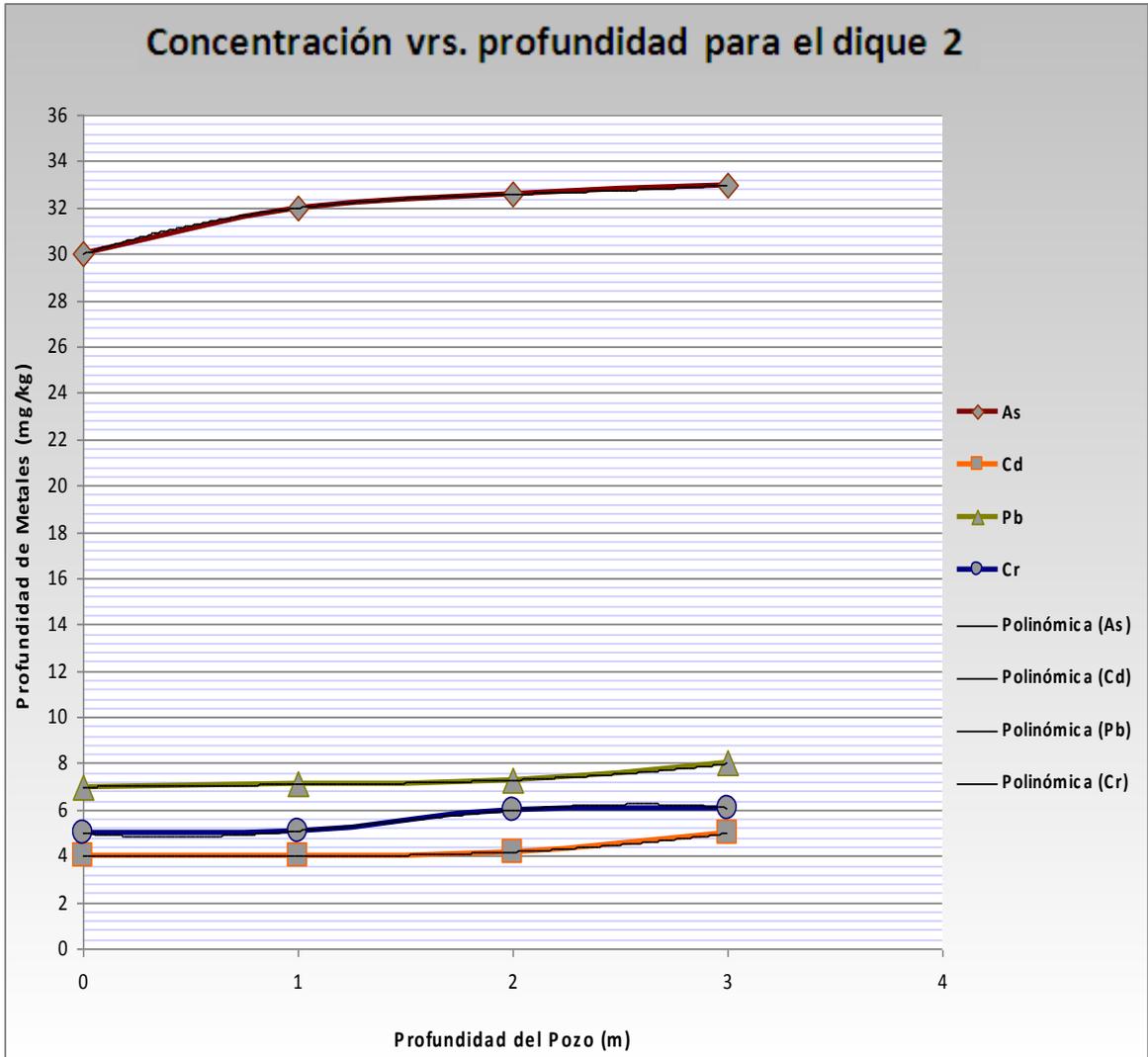
Fuente: tabla de resultados tabla X; abreviaturas: mg/kg = miligramo sobre kilogramo;
m= metros.

Figura 11. Índice de pH vrs. profundidad del pozo en el dique 1



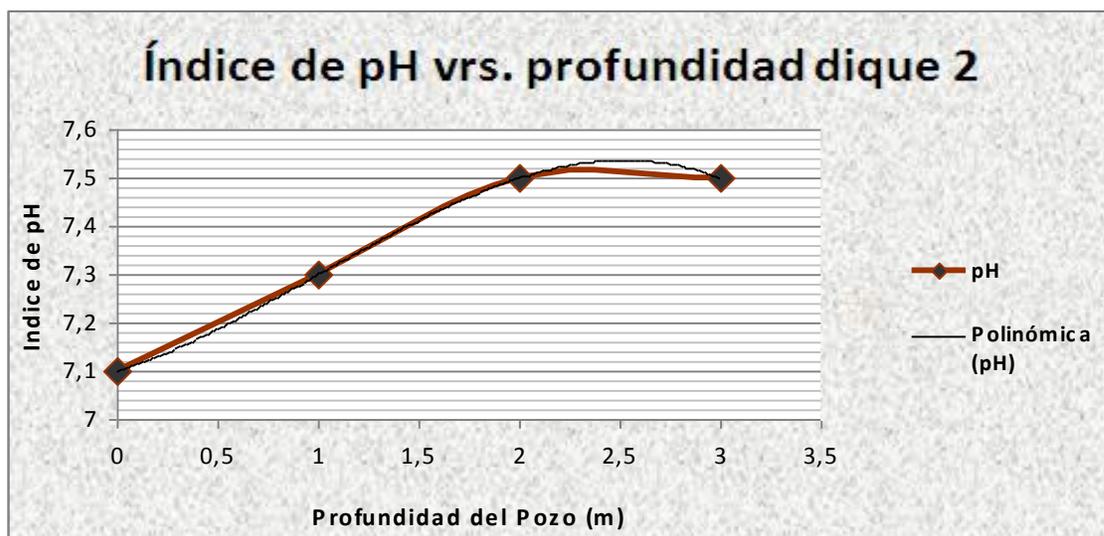
Fuente: tabla de resultados tabla X.

Figura 12. Concentración de metales vrs. profundidad del pozo en el dique 2



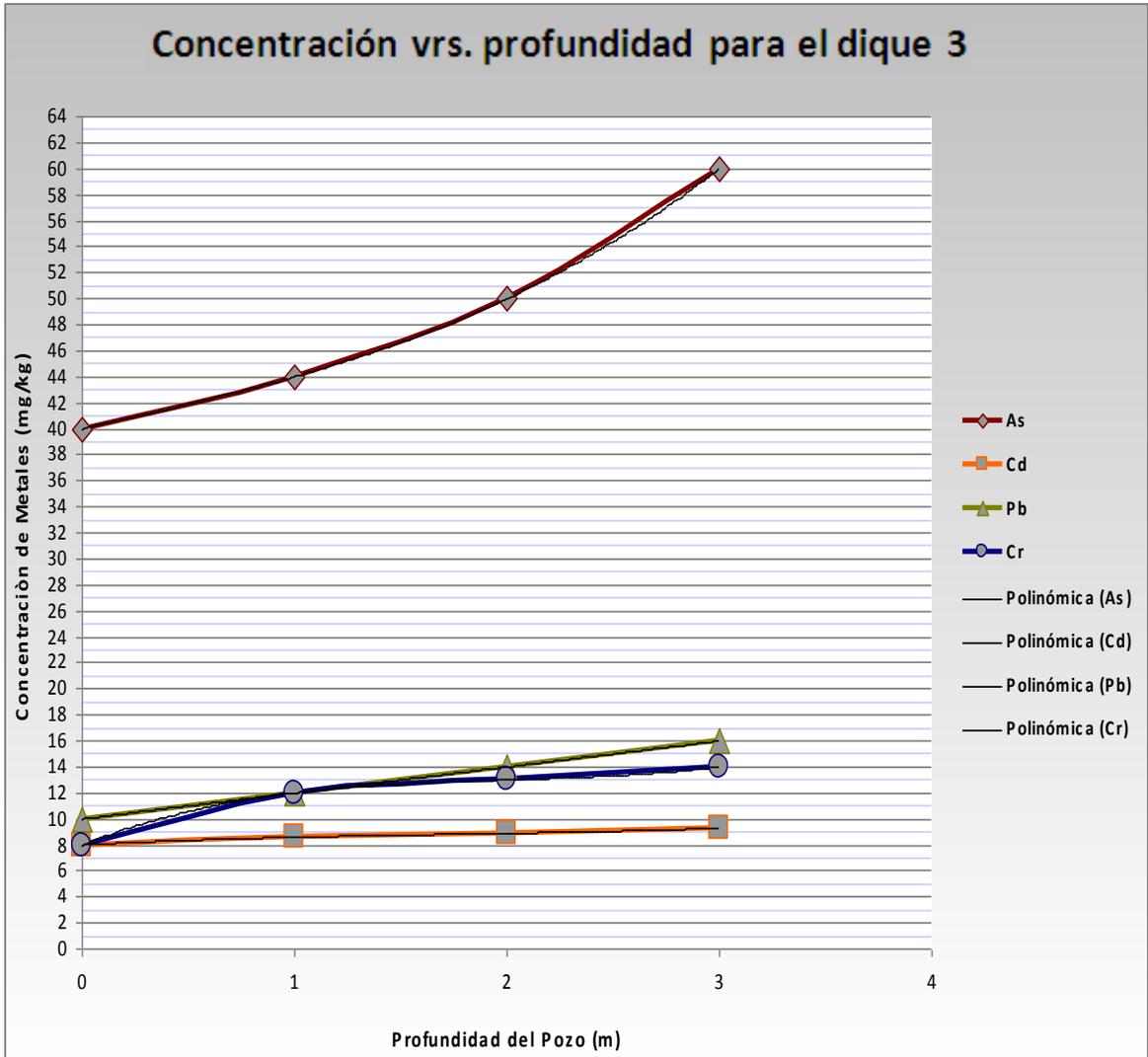
Fuente: tabla de resultados tabla X; abreviaturas: mg/kg = miligramo sobre kilogramo; m= metros.

Figura 13. Índice de pH vrs. profundidad del pozo en el dique 2



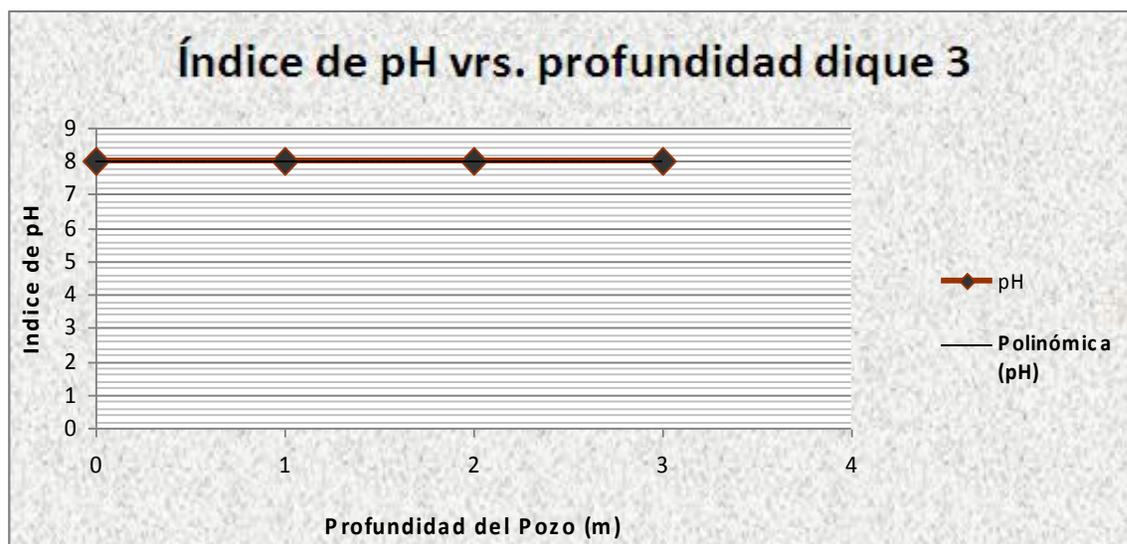
Fuente: tabla de resultados tabla X.

Figura 14. Concentración de metales vrs. profundidad del pozo en el dique 3



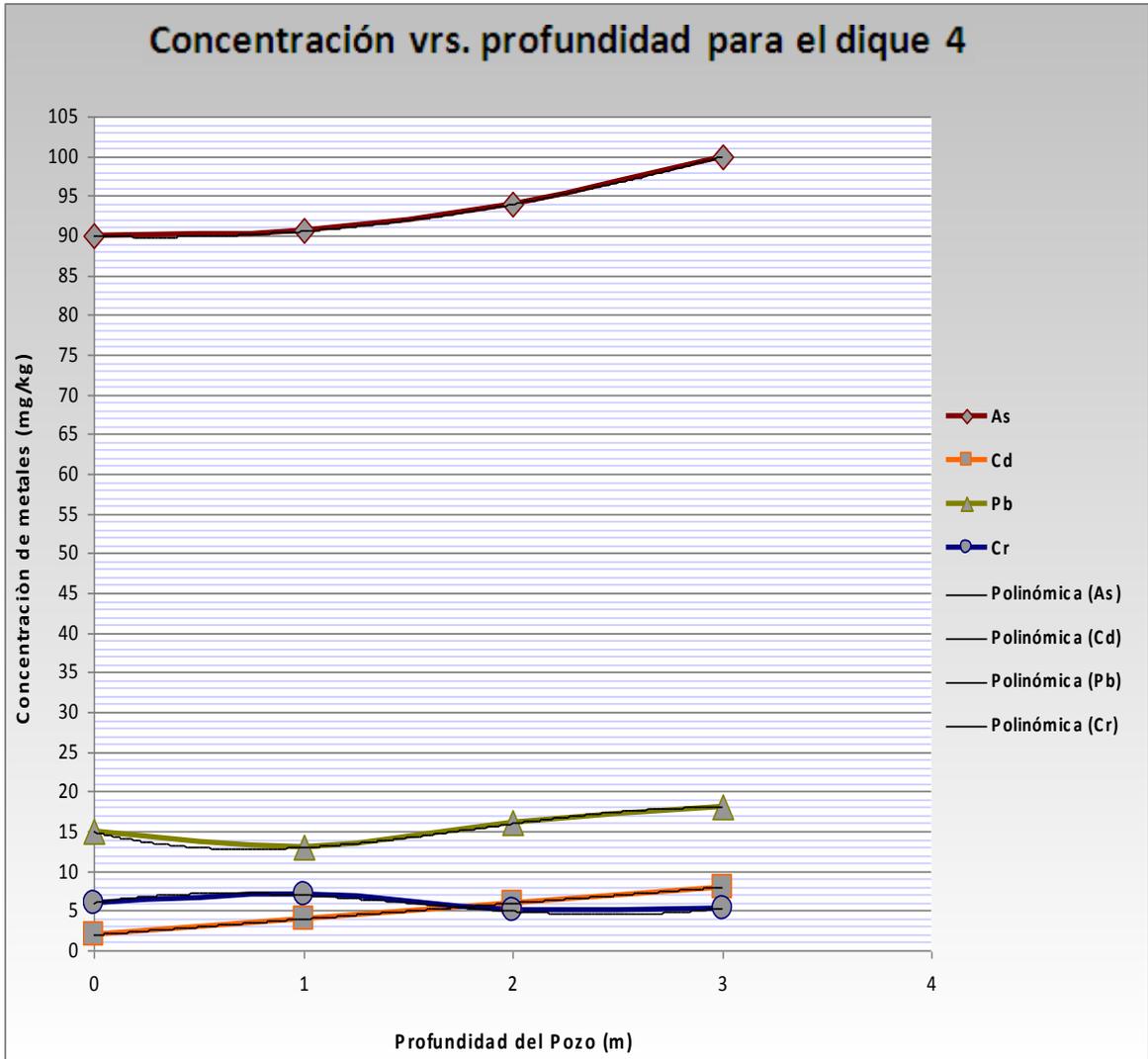
Fuente: tabla de resultados tabla X; abreviaturas: mg/kg = miligramo sobre kilogramo; m= metros.

Figura 15. Índice de pH vrs. profundidad del pozo en el dique 3



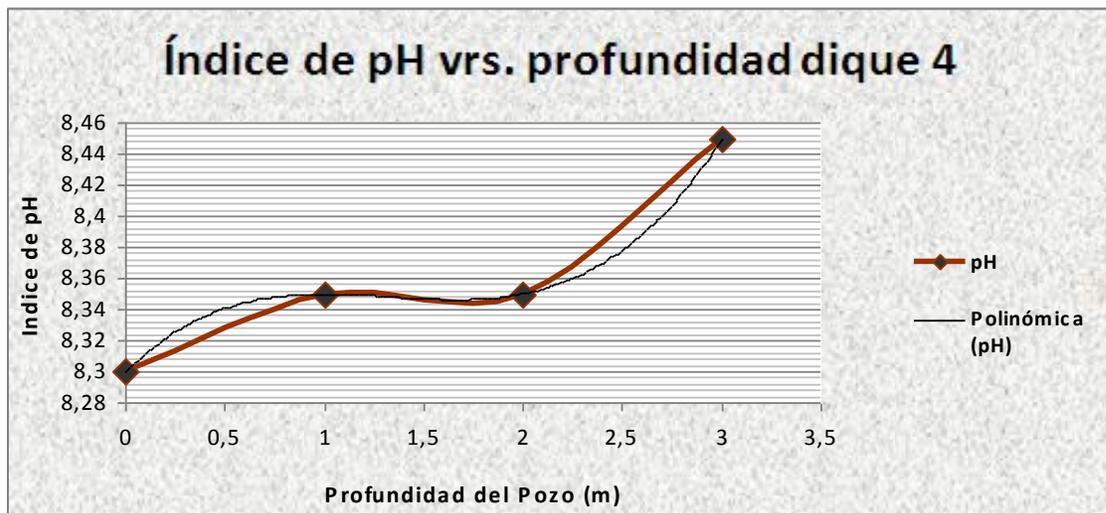
Fuente: tabla de resultados tabla X.

Figura 16. Concentración de metales vrs. profundidad del pozo en el dique 4



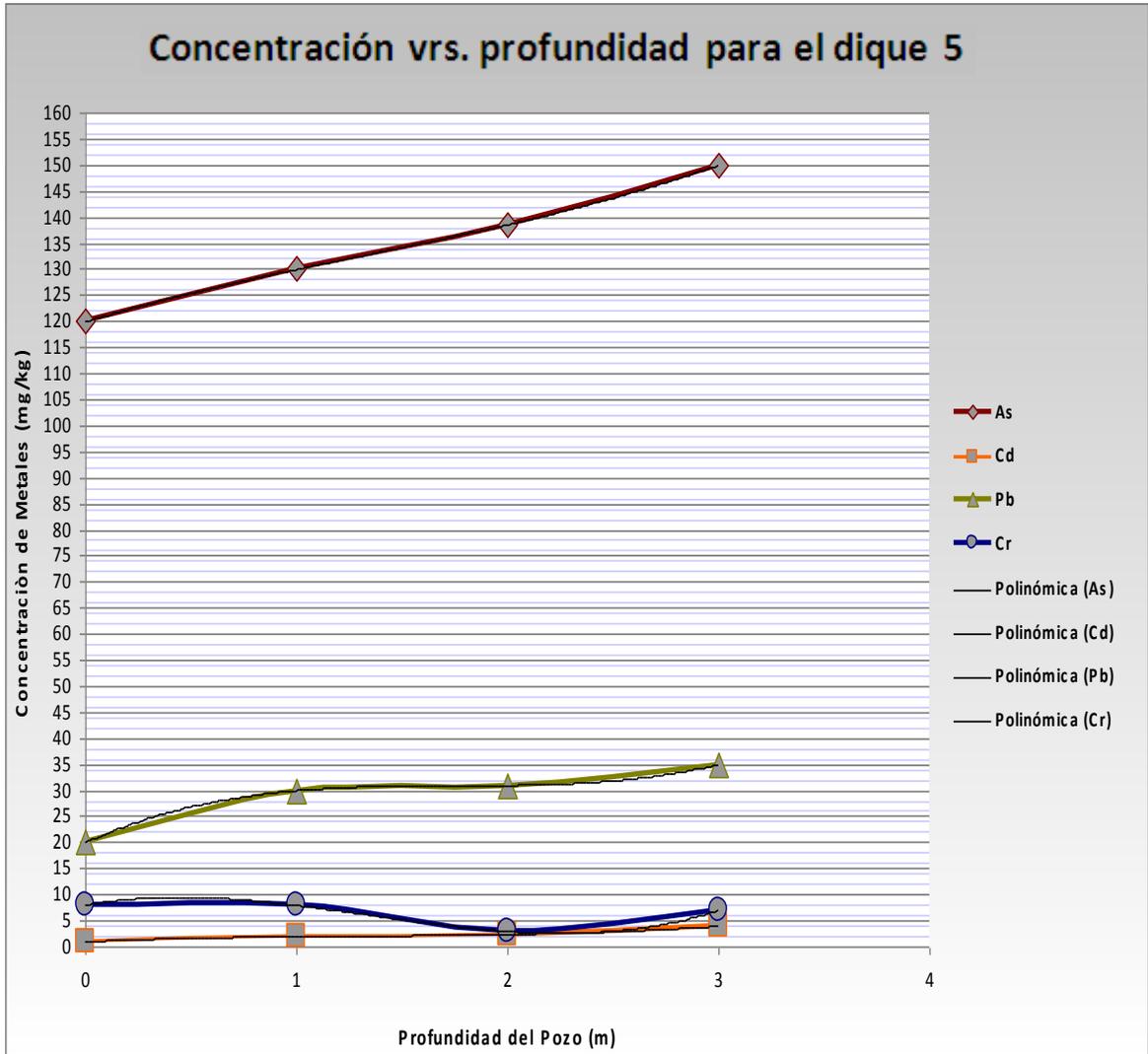
Fuente: tabla de resultados tabla X; abreviaturas: mg/kg = miligramo sobre kilogramo; m= metros.

Figura 17. Índice de pH vrs. profundidad del pozo en el dique 4



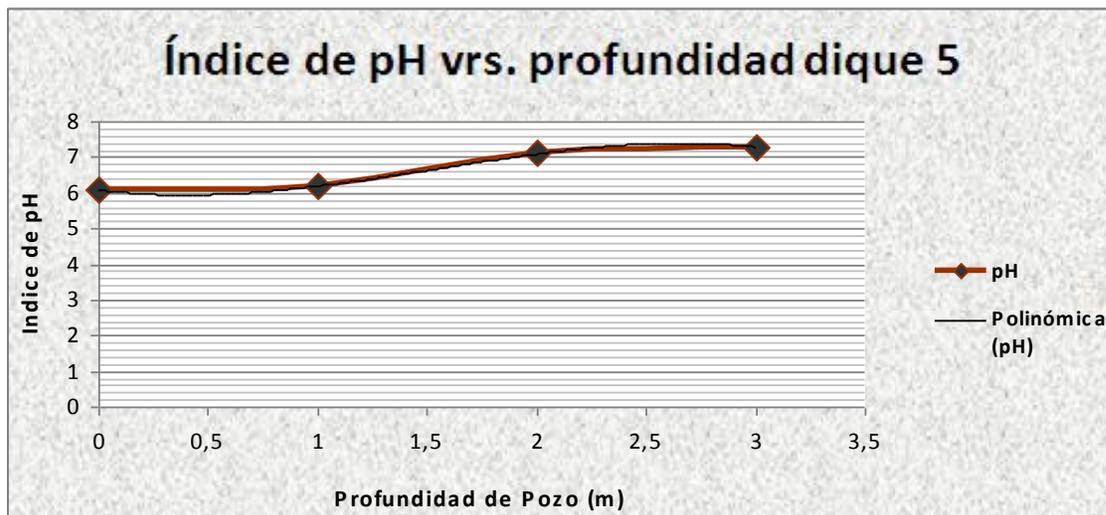
Fuente: tabla de resultados tabla X.

Figura 18. Concentración de metales vrs. profundidad del pozo en el dique 5



Fuente: tabla de resultados tabla X; abreviaturas: mg/kg = miligramo sobre kilogramo; m= metros.

Figura 19. Índice de pH vrs. profundidad del pozo en el dique 5



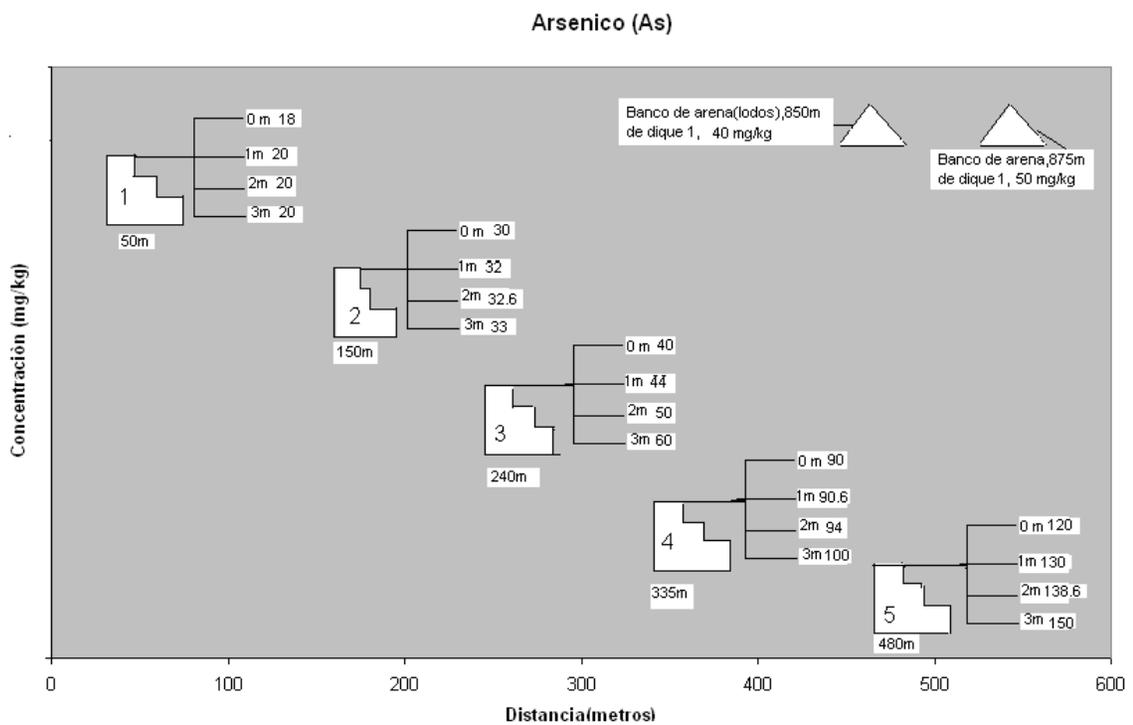
Fuente: tabla de resultados tabla X.

Se realizó un pozo de control, el cual se identificó como el pozo 1 ubicado en el plano cartográfico respectivo, en el dique 1, aguas abajo del área de AMSA, se tomó una muestra del suelo en la superficie (0 metros), luego con una profundidad de 1 metro, el cual se tomaron 5 muestras del suelo a razón de minimizar errores de precisión y exactitud, de igual forma se ejecutaron para 2 y 3 metros de profundidad, además se tomaron muestras extras en los bancos de materiales, tanto el de arena como el de lodos.

Luego se depositaron las muestras en frascos previamente identificados para sus respectivos análisis el cual fue realizado en el laboratorio del ministerio de energía y minas, para identificar los metales contaminantes (As, Cd, Pb y Cr^{+6}) y los niveles de pH contenidos en los suelos a diferentes profundidades y distancias para cada dique. Para dicha identificación se utilizó el método de absorción atómica. De igual forma se realizó para los demás pozos 2, 3, 4 y 5 variando únicamente la ubicación de cada dique, aguas abajo de AMSA,

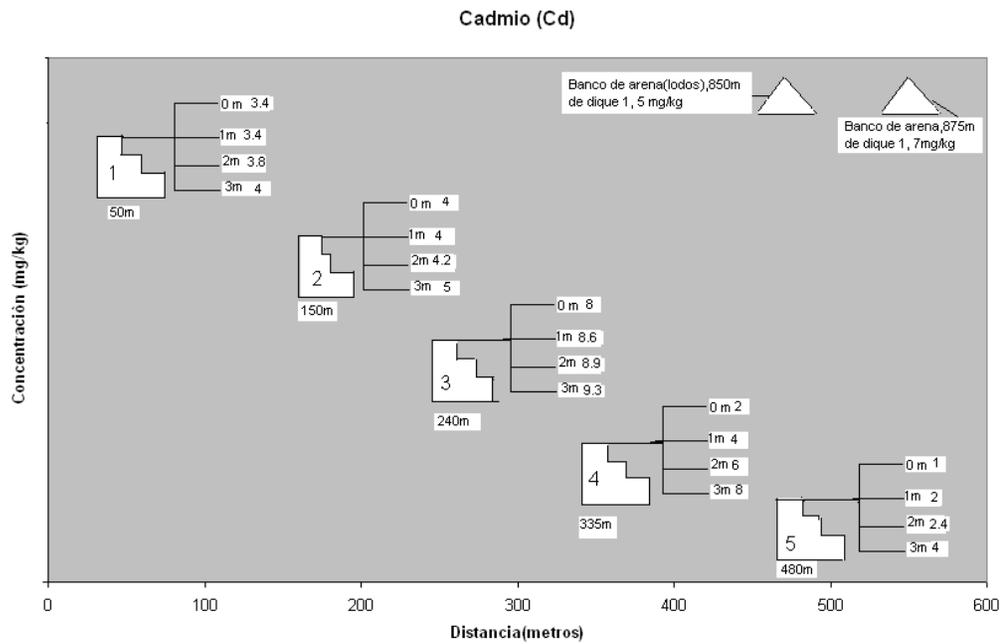
aplicando el mismo mecanismo anteriormente mencionado. Luego se procedió a realizar gráficos por cada pozo de control en relación a cada dique, para establecer una tendencia del comportamiento entre la ubicación de cada dique y profundidad de cada pozo en relación a cada metal (As, Cd, Pb, Cr⁺⁶), y niveles de pH por cada pozo de control.

Figura 20. **Concentración del arsénico vrs. distancia entre diques**



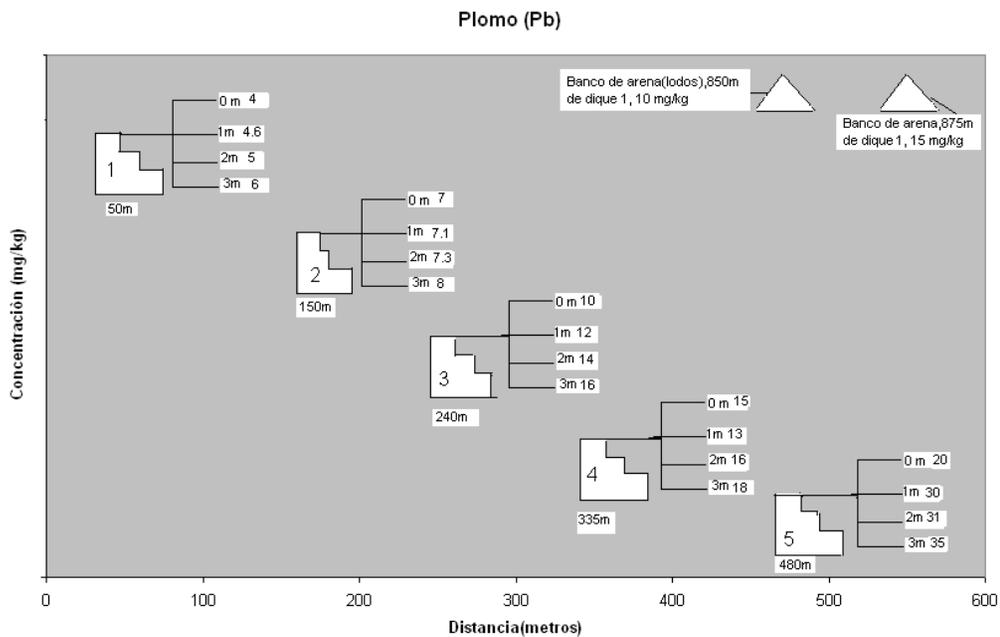
Fuente: tabla de resultados tabla X.

Figura 21. Concentración del cadmio vrs. distancia entre diques



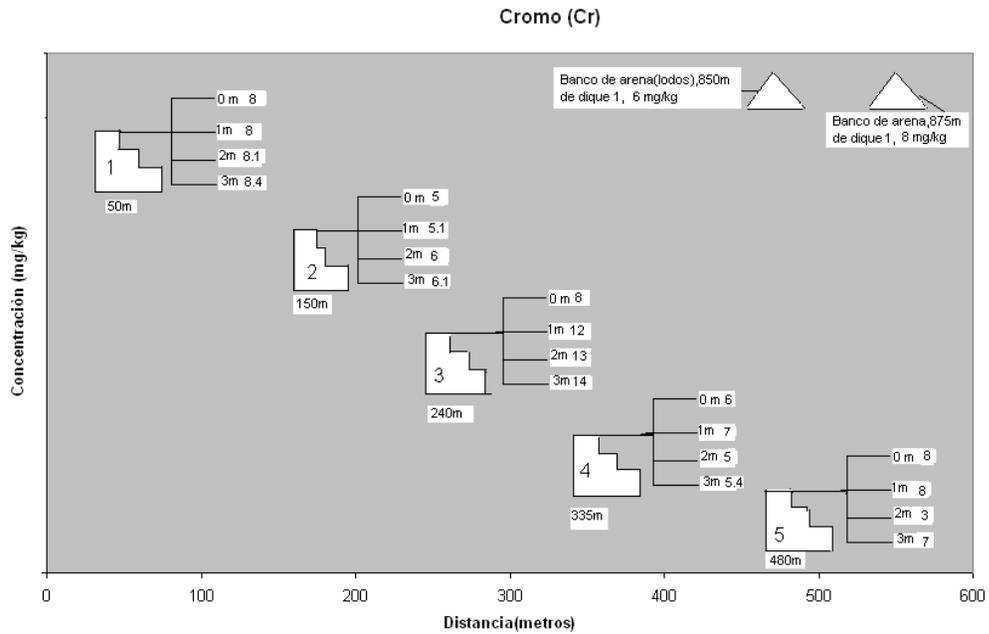
Fuente: tabla de resultados tabla X.

Figura 22. Concentración del plomo vrs. distancia entre diques



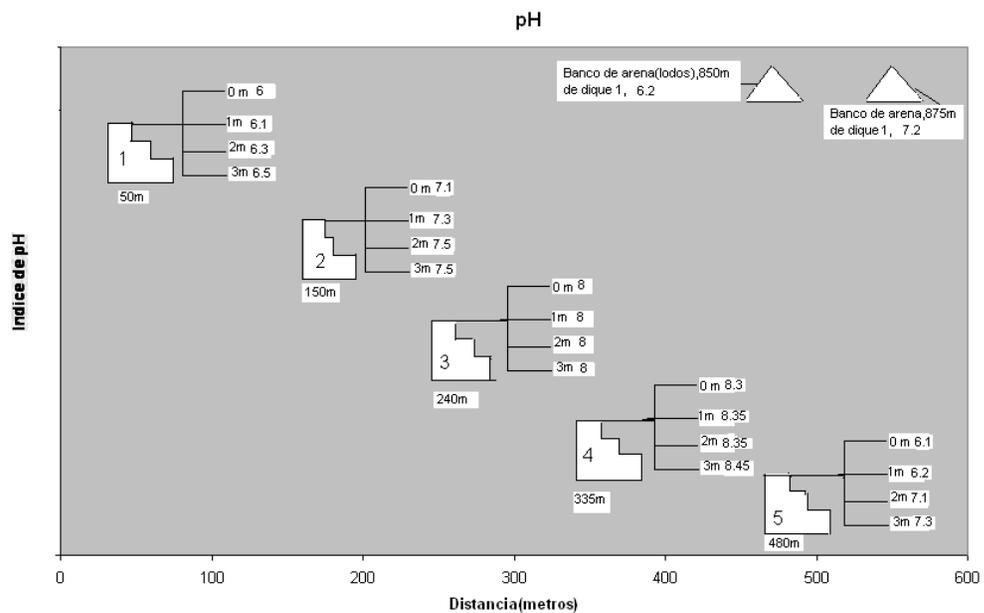
Fuente: tabla de resultados tabla X.

Figura 23. **Concentración del cromo (VI) vrs. distancia entre diques**



Fuente: tabla de resultados tabla X.

Figura 24. **Índice de pH vrs. distancia entre diques**



Fuente: tabla de resultados tabla X.

3.8. Análisis estadístico

Diseño para el control de errores

Al ser un experimento en el cual se tomaron varias muestras, se tomaron en cuenta errores estadísticos, como la media aritmética y la desviación estándar, para valores de $N < 120$, ya que en el experimento se tomaron 110 muestras:

Para la media aritmética se utilizó la siguiente fórmula:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + X_4}{N} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

\bar{X} = Media Aritmética

$x_{1,2,3,4}$ = Valores de superficie en cada pozo

N = Número de muestras

Ejemplo: Para el caso del arsénico en el Dique 1:

$$\bar{X} = \frac{18+20+20+20}{4} = 19,5$$

Nota: De igual forma se realizó el cálculo para los demás metales variando únicamente los diques, y se encuentran en la siguiente tabla:

Tabla XI. **Media aritmética calculada para cada metal contaminante, con su respectivo dique**

DIQUE 1				
Media As	Media Cd	Media Pb	Media Cr ⁺⁶	Media pH
19,5	3,6	4,9	8,1	5,8
DIQUE 2				
Media As	Media Cd	Media Pb	Media Cr ⁺⁶	Media pH
31,9	4,3	7,3	5,5	7,3
DIQUE 3				
Media As	Media Cd	Media Pb	Media Cr ⁺⁶	Media pH
48,5	8,7	13,0	11,7	8,0
DIQUE 4				
Media As	Media Cd	Media Pb	Media Cr ⁺⁶	Media pH
93,6	5,0	15,5	5,8	8,3
DIQUE 5				
Media As	Media Cd	Media Pb	Media Cr ⁺⁶	Media pH
134,6	2,3	29,0	6,5	6,6

Fuente: ecuación 1, abreviaturas: pH= Potencial de Hidrogeno; As= Arsénico; Cd= Cadmio; Pb= Plomo Cr⁺⁶=Cromo Hexavalente.

Para la desviación Estándar se utilizó la siguiente fórmula:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

Ecuación 2

Donde:

α = Desviación Estándar

\bar{x} = Media Aritmética

x_i = Valores de superficie en cada pozo

N = Número de muestras

Ejemplo: Para el caso del arsénico en el Dique 1:

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{4-1} \sum_{i=1}^4 (18 - 19.5)^2}$$

$$\alpha = 0,8660$$

Nota: De igual forma se realizó el cálculo para los demás metales variando únicamente los diques, y se encuentran en la siguiente tabla:

Tabla XII. **Desviación estándar calculada para cada metal contaminante, con su respectivo dique**

DIQUE 1				
Desviación As	Desviación Cd	Desviación Pb	Desviación Cr⁺⁶	Desviación pH
0,86	0,25	0,72	0,16	0,45
DIQUE 2				
Desviación As	Desviación Cd	Desviación Pb	Desviación Cr⁺⁶	Desviación pH
11,50	0,41	0,50	0,50	0,16
DIQUE 3				
Desviación As	Desviación Cd	Desviación Pb	Desviación Cr⁺⁶	Desviación pH
7,53	0,47	2,36	2,23	0,0
DIQUE 4				
Desviación As	Desviación Cd	Desviación Pb	Desviación Cr⁺⁶	Desviación pH
3,97	2,23	1,80	0,75	0,05
DIQUE 5				
Desviación As	Desviación Cd	Desviación Pb	Desviación Cr⁺⁶	Desviación pH
11,04	1,08	5,52	2,06	0,05

Fuente: ecuación 2, abreviaturas: pH= Potencial de Hidrogeno; As= Arsénico; Cd= Cadmio; Pb= Plomo Cr⁺⁶=Cromo Hexavalente.

TABLA XIII. Modelos matemáticos, coeficiente de variación y correlaciones para los metales contaminantes en la figura 10, dique 1

	METALES			
	As	Cd	Pb	Cr ⁺⁶
Modelo Matemático	$Y=0,3333x^3 - 2x^2 + 3,66667x + 18$	$Y=0,6667x^3 - 2x^2 + 1,3333x - 2E-13$	$Y=0,13333x^3 - 0,5x^2 + 0,9667x + 14$	$Y=0,0167x^3 - 2E-13x^2 - 0,016x + 8$
R²	1	1	1	1
Coeficiente de Variación	0,04441	0,07117	0,148571	0,0201783

Fuente: figura 10, abreviaturas: As= Arsénico; Cd= Cadmio; Pb= Plomo Cr⁺⁶=Cromo Hexavalente.

TABLA XIV. Modelo matemático, coeficiente de variación y correlación para el pH en la figura 11, dique 1

	pH
	Modelo Matemático
R²	1
Coeficiente de Variación	0,0777108

Fuente: figura 11, abreviaturas: pH= Potencial de Hidrógeno.

TABLA XV. Modelos matemáticos, coeficiente de variación y correlaciones para los metales contaminantes en la figura 12, dique 2

	METALES			
	As	Cd	Pb	Cr ⁺⁶
Modelo Matemático	$Y=0,2x^3 - 1,3x^2 + 3,1x + 30$	$Y=0,0667x^3 - 0,1x^2 + 0,0333x + 4$	$Y=0,0662x^3 - 0,15x^2 + 0,1833x + 7$	$Y=-0,2667x^3 + 1,2x^2 - 0,8333x + 5$
R²	1	1	1	1
Coeficiente de Variación	0,36150	0,09588	0,68027	0,09054

Fuente: figura 12, abreviaturas: As= Arsénico; Cd= Cadmio; Pb= Plomo Cr⁺⁶=Cromo Hexavalente.

TABLA XVI. Modelo matemático, coeficiente de variación y correlación para el pH en la figura 13, dique 2

Modelo Matemático	pH
	$Y = -0,0333x^3 + 0,1x^2 + 0,1333x + 7,1$
R²	1
Coeficiente de Variación	0,02255

Fuente: figura 13, abreviaturas: pH= Potencial de Hidrógeno.

TABLA XVII. Modelos matemáticos, coeficiente de variación y correlaciones para los metales contaminantes en la figura 14, dique 3

	METALES			
	As	Cd	Pb	Cr⁺⁶
Modelo Matemático	$Y = 0,3333x^3 + 3,667x + 40$	$Y = 0,0667x^3 - 0,35x^2 + 0,8833x + 8$	$Y = -6E-14x^3 - 2E-13x^2 + 2x + 10$	$Y = 0,5x^3 - 3x^2 + 6,05x + 8$
R²	1	1	1	1
Coeficiente de Variación	0,15525	0,05451	0,172	0,19029

Fuente: figura 14, abreviaturas: As= Arsénico; Cd= Cadmio; Pb= Plomo Cr⁺⁶=Cromo Hexavalente.

TABLA XVIII. Modelo matemático, coeficiente de variación y correlación para el pH en la figura 15, dique 3

Modelo Matemático	pH
	Y = 8
R²	0
Coeficiente de Variación	0

Fuente: figura 15, abreviaturas: pH= Potencial de Hidrógeno.

TABLA XIX. Modelos matemáticos, coeficiente de variación y correlaciones para los metales contaminantes en la figura 16, dique 4

	METALES			
	As	Cd	Pb	Cr ⁺⁶
Modelo Matemático	$Y = -0,033x^3 + 1,5x^2 - 0,8667x + 90$	$Y = -2E - 13x^2 + 2x + 2$	$Y = -x^3 + 5,5x^2 - 6,5x + 15$	$Y = 0,9x^3 - 4,2x^2 + 4,3 + 6$
R ²	1	1	1	1
Coeficiente de Variación	0,04240	0,4472	0,11632	0,12871

Fuente: figura 16, abreviaturas: As= Arsénico; Cd= Cadmio; Pb= Plomo Cr⁺⁶=Cromo Hexavalente.

TABLA XX. Modelo matemático, coeficiente de variación y correlación para el pH en la figura 17, dique 4

	pH
	Modelo Matemático
R ²	1
Coeficiente de Variación	0,00059

Fuente: figura 17, abreviaturas: pH= Potencial de Hidrógeno.

TABLA XXI. Modelos matemáticos, coeficiente de variación y correlaciones para los metales contaminantes en la figura 18, dique 5

	METALES			
	As	Cd	Pb	Cr ⁺⁶
Modelo Matemático	$Y = 0,7x^3 - 2,8x^2 + 12,1x + 120$	$Y = 0,3x^3 - 1,2x^2 + 1,9x + 1$	$Y = 2x^3 - 10,5x^2 + 18,5x + 20$	$Y = 2,3333x^3 - 9,5x^2 + 7,16667x + 8$
R ²	1	1	1	1
Coeficiente de Variación	0,08119	0,45957	0,19041	0,33846

Fuente: figura 18, abreviaturas: As= Arsénico; Cd= Cadmio; Pb= Plomo Cr⁺⁶=Cromo Hexavalente.

TABLA XXII. Modelo matemático, coeficiente de variación y correlación para el pH en la figura 19, dique 5

Modelo Matemático	pH
	Y= -0,25x³ +1,15x² -0,8x +6,1
R²	1
Coeficiente de Variación	0,00794

Fuente: figura 19, abreviaturas: pH= Potencial de Hidrógeno.

No es procedente la aplicación de errores absolutos y relativos, ya que no existen estudios previos relacionados a la temática, para realizar las comparaciones con datos teóricos a partir de los datos reales obtenidos, debido a que simplemente se encuentran parámetros o rangos de aceptación de los metales contaminantes en la superficie de suelo, según las normas de la EPA (*United States Environmental Protection Agency*) (Agencia de Estados Unidos para la protección del medio ambiente) y el Acuerdo Gubernativo 236-2006, decreto ley de aguas residuales y lodos en el artículo 42.

4. RESULTADOS

DIQUE 1

Para el caso de la figura 10, cuyos datos están situados en la tabla XIII, se obtuvieron los siguientes modelos matemáticos para los metales contaminantes, todos siguieron un modelo polinomial de orden 3, con su respectivo coeficiente de correlación y de variación.

Para el arsénico (As), se obtuvo el siguiente modelo matemático polinómico de orden 3 $Y=0,3333x^3 -2x^2 + 3,6667x +18$, con un coeficiente de correlación de 1 y un coeficiente de variación de 0,04441.

Para el cadmio (Cd), se obtuvo el siguiente modelo matemático polinómico de orden 3, $Y=0,6667x^3 -2x^2 +1,3333x - 2E-13$, con un coeficiente de correlación de 1 y un coeficiente de variación de 0,07117.

Para el plomo (Pb), se obtuvo el siguiente modelo matemático polinómico de orden 3, $Y=0,13333x^3 -0,5x^2 +0,9667x +14$, con un coeficiente de correlación de 1 y un coeficiente de variación de 0,148571.

Para el cromo hexavalente (Cr^{+6}), se obtuvo el siguiente modelo matemático polinómico de orden 3, $Y=0,0167x^3 -2E-13x^2 -0,016x +8$, con un coeficiente de correlación de 1 y un coeficiente de variación de 0,0201783.

Para la figura 11, Índice de pH, cuyos datos se encuentran en la tabla XIV, se obtuvo el siguiente modelo matemático polinómico de orden 3, $Y = -0,0167x^3 + 0,1x^2 + 0,0167x + 6$, con un coeficiente de correlación de 1 y un coeficiente de variación de 0,0777108.

DIQUE 2

Para el caso de la figura 12, cuyos datos están situados en la tabla XV, se obtuvieron los siguientes modelos matemáticos para los metales contaminantes, todos siguieron un modelo polinomial de orden 3, con su respectivo coeficiente de correlación y de variación.

Para el arsénico (As), se obtuvo el siguiente modelo matemático polinómico de orden 3, $Y = 0,2x^3 - 1,3x^2 + 3,1x + 30$, con un coeficiente de correlación de 1 y un coeficiente de variación de 0,36150.

Para el cadmio (Cd), se obtuvo el siguiente modelo matemático polinómico de orden 3, $Y = 0,0667x^3 - 0,1x^2 + 0,0333x + 4$, con un coeficiente de correlación de 1 y un coeficiente de variación de 0,09588.

Para el plomo (Pb), se obtuvo el siguiente modelo matemático polinómico de orden 3, $Y = 0,0662x^3 - 0,15x^2 + 0,1833x + 7$, con un coeficiente de correlación de 1 y un coeficiente de variación de 0,68027.

Para el cromo hexavalente (Cr^{+6}), se obtuvo el siguiente modelo matemático polinómico de orden 3, $Y = -0,2667x^3 + 1,2x^2 - 0,8333x + 5$, con un coeficiente de correlación de 1 y un coeficiente de variación de 0,09054.

Para la figura 13, Índice de pH, cuyos datos se encuentran en la tabla XVI, se obtuvo el siguiente modelo matemático polinómico de orden 3, $Y = -0,0333x^3 + 0,1x^2 + 0,1333x + 7,1$, con un coeficiente de correlación de 1 y un coeficiente de variación de 0,02255.

DIQUE 3

Para el caso de la figura 14, cuyos datos están situados en la tabla XVII, se obtuvieron los siguientes modelos matemáticos para los metales contaminantes, todos siguieron un modelo polinomial de orden 3, con su respectivo coeficiente de correlación y de variación.

Para el arsénico (As), se obtuvo el siguiente modelo matemático polinómico de orden 3, $Y = 0,3333x^3 + 3,667x + 40$, con un coeficiente de correlación de 1 y un coeficiente de variación de 0,15525.

Para el cadmio (Cd), se obtuvo el siguiente modelo matemático polinómico de orden 3, $Y = 0,0667x^3 - 0,35x^2 + 0,8833x + 8$, con un coeficiente de correlación de 1 y un coeficiente de variación de 0,05451.

Para el plomo (Pb), se obtuvo el siguiente modelo matemático polinómico de orden 3, $Y = -6E-14x^3 - 2E-13x^2 + 2x + 10$, con un coeficiente de correlación de 1 y un coeficiente de variación de 0,172.

Para el cromo hexavalente (Cr^{+6}), se obtuvo el siguiente modelo matemático polinómico de orden 3, $Y = 0,5x^3 - 3x^2 + 6,05x + 8$, con un coeficiente de correlación de 1 y un coeficiente de variación de 0,19029.

Para la figura 15, Índice de pH, cuyos datos se encuentran en la tabla XVIII, se obtuvo el siguiente modelo matemático polinómico de orden 3, $Y = 8$, con un coeficiente de correlación de 0 y un coeficiente de variación de 0.

DIQUE 4

Para el caso de la figura 16, cuyos datos están situados en la tabla XIX, se obtuvieron los siguientes modelos matemáticos para los metales contaminantes, algunos siguieron un modelo polinomial de orden 3, excepto el cadmio que siguió un modelo matemático polinomial de orden 2, todos con su respectivo coeficiente de correlación y de variación.

Para el arsénico (As), se obtuvo el siguiente modelo matemático polinómico de orden 3, $Y = -0,033x^3 + 1,5x^2 - 0,8667x + 90$, con un coeficiente de correlación de 1 y un coeficiente de variación de 0,04240.

Para el cadmio (Cd), se obtuvo el siguiente modelo matemático polinómico de orden 2, $Y = -2E-13x^2 + 2x + 2$, con un coeficiente de correlación de 1 y un coeficiente de variación de 0,4472.

Para el plomo (Pb), se obtuvo el siguiente modelo matemático polinómico de orden 3, $Y = -x^3 + 5,5x^2 - 6,5x + 15$, con un coeficiente de correlación de 1 y un coeficiente de variación de 0,11632.

Para el cromo hexavalente (Cr^{+6}), se obtuvo el siguiente modelo matemático polinómico de orden 3, $Y = 0,9x^3 - 4,2x^2 + 4,3 + 6$, con un coeficiente de correlación de 1 y un coeficiente de variación de 0,12871.

Para la figura 17, Índice de pH, cuyos datos se encuentran en la tabla XX, se obtuvo el siguiente modelo matemático polinómico de orden 3, $Y= 0,025x^3 - 0,1x^2 +0,125x +8,3$, con un coeficiente de correlación de 1 y un coeficiente de variación de 0,00059.

DIQUE 5

Para el caso de la figura 18, cuyos datos están situados en la tabla XXI, se obtuvieron los siguientes modelos matemáticos para los metales contaminantes, todos siguieron un modelo polinomial de orden 3, con su respectivo coeficiente de correlación y de variación.

Para el arsénico (As), se obtuvo el siguiente modelo matemático polinómico de orden 3, $Y=0,7x^3 -2,8x^2 +12,1x +120$, con un coeficiente de correlación de 1 y un coeficiente de variación de 0,08119.

Para el cadmio (Cd), se obtuvo el siguiente modelo matemático polinómico de orden 2, $Y=0,3x^3 -1,2x^2 +1,9x +1$, con un coeficiente de correlación de 1 y un coeficiente de variación de 0,45957.

Para el plomo (Pb), se obtuvo el siguiente modelo matemático polinómico de orden 3, $Y=2x^3 -10,5x^2 +18,5x +20$, con un coeficiente de correlación de 1 y un coeficiente de variación de 0,19041.

Para el cromo hexavalente (Cr^{+6}), se obtuvo el siguiente modelo matemático polinómico de orden 3, $Y= 2,3333x^3 -9,5x^2 +7,16667x +8$, con un coeficiente de correlación de 1 y un coeficiente de variación de 0,33846.

Para la grafica 19, Índice de pH, cuyos datos se encuentran en la tabla XXII, se obtuvo el siguiente modelo matemático polinómico de orden 3, $Y = -0,25x^3 + 1,15x^2 - 0,8x + 6,1$, con un coeficiente de correlación de 1 y un coeficiente de variación de 0.00794.

En los bancos de materiales

Los resultados que se obtuvieron tanto en el banco de arena como el de lodos, se tomaron únicamente como muestras de referencia.

Tanto el banco de arena como el de lodos, cuyos datos se encuentran en la tabla XXII, se obtuvieron los siguientes valores puntuales como lo muestra la siguiente tabla:

TABLA XXIII. Concentraciones de metales en los bancos de materiales

METAL	BANCO DE LODOS	BANCO DE ARENA
	CONCENTRACIÓN (mg/kg)	CONCENTRACIÓN (mg/kg)
Arsénico (As)	40,00	50,00
Cadmio (Cd)	5,00	7,00
Plomo (Pb)	10,00	15,00
Cromo (Cr ⁺⁶)	6,00	8,00
pH	6,20	7,20

fuelle: tabla de resultados tabla X.

Abreviaturas: As= Arsénico; Cd= Cadmio; Pb= Plomo Cr⁺⁶=Cromo Hexavalente; pH= Potencial de Hidrógeno.

Concentraciones de los contaminantes vrs. distancia entre diques

Para el arsénico (As), figura 20, se obtuvo el siguiente modelo matemático polinómico de orden 6, $y = 3E-10x^6 - 4E-07x^5 + 0,0002x^4 - 0,0425x^3 + 4,787x^2 - 243,47x + 4502$, con un coeficiente de correlación de 0,99, para las profundidades de 0, 1, 2,3 metros.

Para el cadmio (Cd), figura 21, se obtuvo el siguiente modelo matemático polinómico de orden 6, $y = -3E-11x^6 + 4E-08x^5 - 2E-05x^4 + 0,0046x^3 - 0,5494x^2 + 30,312x - 611,56$, con un coeficiente de correlación de 0,98, para las profundidades de 0, 1, 2,3 metros.

Para el plomo (Pb), figura 22, se obtuvo el siguiente modelo matemático polinómico de orden 6, $y = 6E-11x^6 - 8E-08x^5 + 4E-05x^4 - 0,0093x^3 + 1,0508x^2 - 53,839x + 1005,8$, con un coeficiente de correlación de 0,96, para las profundidades de 0, 1, 2,3 metros.

Para el cromo hexavalente (Cr^{+6}), figura 23, se obtuvo el siguiente modelo matemático polinómico de orden 6, $y = -1E-11x^6 + 2E-08x^5 - 9E-06x^4 + 0,0021x^3 - 0,2495x^2 + 13,48x - 259,53$, con un coeficiente de correlación de 0,97, para las profundidades de 0, 1, 2,3 metros.

5. INTERPRETACION DE RESULTADOS

Los datos que se obtuvieron en los análisis fisicoquímicos de las muestras sólidas del pozo de monitoreo 1, ubicado en el dique 1, mostraron varias tendencias sobre los metales contaminantes, según la figura 10, en el caso del arsénico, presento un incremento de 0 a 1 metro de profundidad, mientras que de 1 a 3 metros de profundidad la concentración de arsénico se mantuvo constante, en el cadmio se mantuvo igual la concentración de 0 a 1 metro de profundidad, de 2 a 3 metros la concentración aumento, a medida que la profundidad aumento la concentración también lo hizo.

En el plomo incremento conforme aumento la profundidad, un aumento leve pero significativo de 1 mg/kg, en el caso de cromo hexavalente, se mantuvo constante de 0 a 1 metro de profundidad, mientras que de 2 a 3 metros incremento la concentración levemente, el pH incremento 0.2 unidades de pH desde la superficie hasta 3 metros de profundidad, por lo cual se considera un pH aceptable medio acido, el pH aumento a medida que el pozo se hizo más profundo.

El mayor coeficiente de variación lo presentó el plomo, con 0,148571 y el menor el cromo (VI) con 0,0201783, por lo cual el cromo presentó mayor grado de peligro, ya que su comportamiento es más minucioso debido a su poca variabilidad en el suelo, por lo cual puede migrar al suelo de manera constante y eficiente, ya que no tiende a variar demasiado. Todos los metales contaminantes en el dique 1, se encontraron en un rango adecuado de aceptación, según las normas de la EPA, (anexo 2). Todos los metales

contaminantes siguieron un modelo matemático polinomial de orden 3, y están relacionada directamente la concentración del metal con la profundidad.

Para el pozo 2, ubicado en el dique 2, por medio de la figura 12, mostró tendencias relevantes, el arsénico incremento a medida que la profundidad era mayor, por lo cual mientras la profundidad del pozo aumentaba de igual forma lo hacia la concentración en el suelo. El cadmio se mantuvo constante de 0 a 1 metro de profundidad, mientras que de 1 a 3 metros, la concentración aumento. El plomo se incremento de 0 a 2 metros de profundidad, elevándose la concentración en un incremento moderado de 0,1 a 0,2 mg/kg, en 3 metros de profundidad se incremento 0,7 mg/kg, por ende aumento su concentración a medida que la profundidad del pozo aumentaba.

El cromo (VI) incremento 0,1 mg/kg de 0 a 1 metro de profundidad, mientras que de 1 a 3 metros, incremento un poco la concentración, el contaminante aumento a medida que su profundidad del pozo descendía. El pH se mantuvo de 7 a 7,5, un pH considerado como neutro, por lo cual no se considera un suelo acido en este dique.

El metal que presentó mayor coeficiente de variación fue el plomo con 0,68027 y el menor fue el del cromo (VI) con 0,09054, por lo cual esté ultimo es más peligroso en el suelo, ya que puede penetrar la superficie del suelo de manera lenta y directa, el cadmio también se considera peligroso, ya que mostro un coeficiente de variación de 0,09588, muy cercano al del cromo, dicho metal también es peligros para el suelo, ya que no varia demasiado y no tiende a nivelarse directamente como lo hace el plomo y el arsénico.

Todos los metales contaminantes en este pozo de monitoreo, se encontraron en el rango de aceptación adecuado según normas de la EPA, (anexo 2) y también siguieron un modelo matemático polinómico de orden 3, por lo cual están directamente relacionados la concentración del metal con la profundidad del pozo, por su coeficiente de correlación igual a 1.

Para el pozo de monitoreo 3, ubicado en el dique 3, la tendencia que mostro la figura 14 fue la siguiente, en el arsénico mostró una tendencia de aumento, ya que a medida que aumentaba la profundidad del pozo su concentración también aumentaba, en el Cadmio fue moderado el aumento, un aumento en la concentración de 0,4 a 0,6 mg/kg por cada metro de profundidad del pozo.

El plomo, por cada metro de profundidad aumentaba la concentración 2 mg/kg, por lo cual presentó un aumento en relación a la distancia de perforación del pozo, siendo directamente proporcional, el Cromo (VI), el nivel en la superficie fue de 8 mg/kg, en el primer metro se incremento 4 mg/kg, mientras que en la profundidad de 1 a 3 metros de profundidad se incrementó 1mg/kg de concentración por cada metro perforado, siendo directamente proporcional la concentración a la profundidad de perforación del pozo.

El pH se mantuvo constante, siendo este de 8 sin importar su profundidad el pH siempre fue el mismo. El modelo matemático fue una ecuación polinómica de grado 3, relacionadas directamente con la profundidad del pozo, el metal contaminante que presentó mayor coeficiente de variación fue el cromo (VI), con un coeficiente de 0,19029 y el menor fue el cadmio con 0,05451, por lo cual el cadmio es considerado como un metal peligroso, por su poca variabilidad en la superficie del suelo, ya que puede migrar a una superficie más profunda sin variar su concentración.

El cromo hexavalente también se considera como peligroso, ya que sobrepasó por 6 mg/kg más el rango de aceptación adecuado según las normas de aceptación que plantea la EPA, (anexo 2), por lo cual se considera excesivo y nocivo para el suelo, debido a que su coeficiente de variación es elevado en este dique, se debe de controlar y reducir su incremento inmoderado, a niveles más bajos que se encuentren en un rango de aceptación adecuado, recomendado y sobre todo controlado, también en este dique la concentración esta directamente relacionada a la profundidad de perforación del pozo, por su coeficiente de correlación igual a 1.

Para el pozo de monitoreo 4, ubicado en el dique 4, la figura 16, mostró la siguiente tendencia, para el arsénico a medida que su profundidad aumentaba la concentración también lo hacia de 0 a 1 metro de profundidad, simplemente aumento 0,6 mg/kg, pero de 2 a 3 metros se incremento 6 mg/kg, creando así una relación directamente proporcional entre profundidad y concentración para dicho metal. Para el cadmio en la superficie presentó una concentración de 2 mg/kg, a medida que la profundidad de perforación del pozo aumentaba también incrementaba su concentración, tuvo un incremento de 2mg/kg por cada metro de profundidad, por lo cual existió una relación directamente proporcional a la profundidad del pozo de monitoreo, llegando muy cerca del limite permisible o rango de aceptación para dicho metal el cual es de 10mg/kg, (anexo 2).

En el plomo las características que mostro la figura 16, reveló una disminución de la superficie al primer metro de profundidad de 15 a 13mg/kg, no así de 1 a 3 metros de profundidad donde aumentó de 2 a 3mg/kg, incrementando su concentración a medida que su profundidad era mayor.

Para el cromo hexavalente de 0 a 1 metro de profundidad se incrementó 1mg/kg, pero de 1 a 2 metros disminuyó 2mg/kg, y de 2 a 3 metros incrementó levemente, por lo cual, presentó características variantes, y un coeficiente de variación mayor en comparación a los otros metales contaminantes, el pH se mantuvo en un rango aceptable de 6,1 a 7,3, lo cual no lo hace un suelo muy ácido ni muy alcalino.

El metal que se consideró peligroso fue el arsénico por su pequeño coeficiente de variación de 0,04240, lo que lo hace un metal con una migración contaminante muy peligrosa para el suelo. Un dato relevante es que el cadmio presentó un comportamiento o mejor dicho un modelo matemático polinómico de segundo orden, no así los demás metales contaminantes, que presentaron un modelo polinómico de tercer orden, todos los metales contaminantes estuvieron en el rango adecuado de aceptación, según la EPA, (anexo 2) y en todos los metales la concentración tiene una relación directamente proporcional a la profundidad de perforación.

Para el pozo 5, ubicado en el dique 5, la figura 18, mostró tendencias relevantes, en el caso del arsénico, aumentó su concentración a medida que la profundidad era mayor, aumentando 10mg/kg aproximadamente por cada metro de profundidad, para el cadmio la concentración aumentaba a medida que la profundidad de perforación del pozo era mayor, de 0 a 2 metros de profundidad, la concentración aumentaba un poco, no así en la profundidad de 3 metros donde la concentración aumento el doble.

En el plomo, al igual que el arsénico y el cadmio la concentración aumentaba a medida que la profundidad se incrementaba, en la superficie la concentración era de 20mg/kg, de 1 a 2 metros, solo se incremento en 1mg/kg, por lo cual en estos niveles de profundidad el suelo tiene características

similares de contaminación, en el cromo hexavalente de 0 a 1 metro de profundidad, la concentración no varió fue la misma siendo esta de 8mg/kg, se mantuvo constante, de 1 a 2 metros, se redujo 5mg/kg, y de 2 a 3 metros, se incremento a 4mg/kgm, lo cual refleja un margen de variabilidad muy alto, el coeficiente de variación para el cromo hexavalente fue de 0,33846, lo cual da la pauta de que así como subió en la superficie y en un metro de profundidad la concentración, también puede bajar considerablemente la concentración de dicho metal contaminante en el suelo.

El metal con mayor coeficiente de variación fue el cadmio, y el de menor y el cual debe considerarse como peligroso fue el arsénico, con un coeficiente de variación de 0,08119, lo cual lo hace poco variable durante su migración en la superficie del suelo, haciéndolo un contaminante nocivo para el suelo y altamente contaminante, ya que puede llegar al manto freático y contaminar el agua, que se utiliza para abastecer comunidades.

Una fuente que se puede considerar como causa de el aumento inmoderado del arsénico en el suelo, puede ser el uso indebido de algunos plaguicidas, algunas granjas de gallinas que puedan estar cerca, ya que utilizan plaguicidas con alto contenido de arsénico en el, ya que lo utilizan para matar parásitos en las gallina, sin darle un control adecuado a los recipientes que contiene los plaguicidas, debido a que en el dique 5 habían algunos frascos de plaguicidas tirados en el suelo.

Todos los metales contaminantes están en un rango adecuado de aceptación, según las normas de la EPA, (anexo 2). Todos siguieron un modelo matemático o ecuación polinómica de orden 3, y también la concentración esta directamente relacionada con la profundidad de perforación, el pH se mantuvo en un rango semiacido y después estableciéndose neutralmente de 6,1 a 7,3.

Los datos fisicoquímicos mostraron valores relevantes y definieron por medio de gráficos de control modelos matemáticos o ecuaciones empíricas, para saber que modelo presentaban los gráficos de concentración vrs. profundidad del pozo, dichas ecuaciones resultaron ser modelos polinomicos de tercer orden en la mayoría de los diques, excepto el dique 4, donde el cadmio presentó un modelo polinomial de segundo orden, los gráficos de control dan la tendencia de que la concentración esta ligada directamente a la profundidad de perforación de cada pozo, ya que todos los coeficientes de correlación en todos los diques fueron de 1.

El coeficiente de variación sirvió para saber cuál de los metales contaminantes varió más en función a la profundidad de perforación del pozo. En el dique 3, el metal que presento problema fue el cromo hexavalente, ya que su concentración fue de 12,14 y 16mg/kg, sobrepasando los niveles de aceptación de la tabla 3,1 de la EPA (Agencia de los Estados Unidos para la protección del medio ambiente), (anexo 2), cuyo rango establecido es de 3 a 10mg/kg, lo cual lo hace un punto donde se encuentra un exceso de cromo en dicho pozo de control.

Con los datos fisicoquímicos obtenidos en los bancos de materiales, tanto el de arena como el de lodos, se pudo corroborar que los niveles de aceptación no fueron rebasados, que se asemeja mucho a la concentración de los metales contaminantes en los diques 3 y 4, el nivel de pH en el banco de arena fue neutral de 7,2 y en el de lodos semiacido con un pH de 6,2. El exceso de cromo hexavalente en el dique No. 3, posiblemente es debido a la cantidad inmoderada de aparatos eléctricos tales como computadoras, baterías de celulares radios etc. Dichos aparatos eléctricos son promotores de cromo en su composición, por lo cual puede ser una causa fehaciente del exceso de cromo en el pozo de monitoreo 3, ubicado en el dique 3.

Según el Acuerdo Gubernativo 236-2006, Reglamento de descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos, (anexo 3) reflejo lo siguiente:

En el caso de los pozos de monitoreo del 1 al 3, las concentraciones de los metales contaminantes no rebasaron el límite máximo permisible para cada metal, la variación se produjo en el pozo de monitoreo 4, ubicado en el dique 4, en la profundidad de perforación de 3 metros, donde la concentración de arsénico llegó a su límite máximo permisible siendo este de 100 mg/kg, (anexo 3), pero reflejo que el pH o potencial de hidrogeno fue mayor que 7, siendo este de 8,45 donde según el artículo 42, apéndice 3 describe lo siguiente. “En los suelos donde el potencial de Hidrogeno sea igual o mayor a 7, se podrá disponer de lodos hasta un 50 por ciento más de los valores presentados como límites máximos permisible para cada metal”, por lo cual se considero aceptable.

Donde más se presentó problema fue en el pozo de monitoreo 5, ubicado en el dique 5, de 2 a 3 metros de profundidad las concentraciones de arsénico alcanzaron el límite máximo permisible llegando a un valor de 150mg/kg, (anexo 3) en la profundidad de 3 metros, donde el potencial de hidrogeno fue de 7,3, donde se pudo catalogar como zona de confinamiento o aislamiento, (anexo 3) ya que aumento considerablemente en la profundidad de 3 metros lo que puede ser de mucho peligro a medida que aumenta la profundidad, pudiendo contaminar el manto freático.

En los bancos de materiales tanto el de arena como el de lodos, se tomó una muestra para establecer valores de referencia, para comparar los niveles de contaminación con los del área de estudio (Diques).

En las figuras 20, 21, 22, 23, la concentración de los contaminantes en su mayoría aumentaba conforme descendía la ubicación de los diques, pero algo muy interesante y de carácter ambiental, es que en los bancos de materiales, la concentración de los contaminantes disminuía o se estabilizaba considerablemente, en donde es un buen método para estabilizar la contaminación en los suelos, mejor conocido como biorremediación de suelos.

CONCLUSIONES

1. Según el Acuerdo Gubernativo 236-2006, el metal que se considera en zona de confinamiento o aislamiento es el arsénico ubicado en el dique 5, en la profundidad de 3 metros.
2. En el pozo 5, ubicado en el dique 5, en la profundidad de 3 metros, el metal contaminante que presentó mayor concentración en el área de estudio fue el arsénico con una concentración de 150mg/Kg.
3. En el pozo de control 1, dique 1, el cromo hexavalente presentó el menor coeficiente de variación siendo este de 0,0201783. También en el dique 3, el cadmio alcanzó su máxima concentración, debido al exceso de plásticos y botes de pintura que se encontraban en dicho dique.
4. En el pozo 5, dique 5, en la superficie (0 metros), el metal contaminante que presentó menor concentración en el área de estudio, fue el cadmio con una concentración de 1mg/kg.
5. El cromo hexavalente sobrepasó su nivel de aceptación según las normas de la EPA, en el dique 3, en la profundidad de 1 a 3 metros de profundidad.
6. El cadmio fue el único metal contaminante que presentó un modelo matemático polinómico de orden 2, en el dique 3. De igual forma en el pozo de monitoreo 2, dique 2, el plomo presentó el mayor coeficiente de variación siendo este de 0,68027

7. En el pozo de monitoreo 1, ubicado en el dique 1, en la superficie (0 metros), se encontró que el plomo y el arsénico presentaron la menor concentración.
8. En el pozo 5, ubicado en el dique 5, el cadmio y el cromo hexavalente presentaron las concentraciones más bajas el cadmio en la superficie (0 metros) y el cromo en la profundidad de 2 metros.
9. En el dique 2, se consideró peligroso a los metales contaminantes cromo hexavalente y cadmio por su bajo coeficiente de variación, debido a que los metales contaminantes no tienden a variar demasiado en su concentración.
10. La ubicación de los diques, presentó una relación directamente proporcional, ya que del dique 1 al 5, la concentración de los metales contaminantes se incrementó a medida que la distancia era mayor, debido a la posición geológica y sobre todo inclinada del terreno.
11. En todos los gráficos de control, se observó un coeficiente de correlación de 1, en todos los metales contaminantes y en todos los diques, lo que significa que la concentración de los metales está relacionada directamente con la profundidad de perforación de los pozos de monitoreo.
12. El suelo más ácido fue en la superficie (0 metros), ubicado en el dique 1, con un pH de 6.
13. Los bancos de materiales, tanto el de arena como el de lodos presentaron características similares en las concentraciones de los metales

contaminantes, presentando así un buen método de biorremediación. La concentración en el banco de arena fue mayor que la del banco de lodos,

RECOMENDACIONES

1. Se debe de prestar atención y reducir la concentración del cromo hexavalente en el dique 3, ya que supera el rango de aceptación recomendado por las normas de la EPA, se debe procurar tener una limpieza y recolección adecuada del material eléctrico en este dique.
2. Es importante controlar a todos los metales contaminantes, en donde su coeficiente de variación fue muy pequeño, debido a que migran peligrosamente en el suelo, contaminando así el manto freático.
3. Se debe de disminuir la concentración de cromo hexavalente en el pozo 1, ubicado en el dique 1, ya que su coeficiente de variación fue el más pequeño de todos los metales contaminantes en el área, se debe de reducir la acumulación de materiales eléctricos en la zona, tales como piezas recubiertas de cinc, placas de circuitos etc.
4. Dar una separación adecuada de la basura, en especial en el dique 3, donde se sobrepasó el rango de aceptación de concentración de cromo hexavalente, por el exceso de material informático en el dique.
5. Es aconsejable tomar periódicamente muestras en los diferentes diques, a fin de controlar la concentración de los metales contaminantes en el área de estudio.

6. Es importante agregarle cal dolomítica, al pozo de control 1, ubicado en el dique 1, con un rango de pH de 6, y así elevar su pH, para hacerlo más aceptable y estable, ya que el suelo más ácido lo presentó este dique.
7. Capacitar al personal en dicha área, y un manejo adecuado de los desechos como recubrimiento de basura, y en el futuro algún sistema mecanizado de recolección de basura.
8. Se debe limpiar mecánicamente todos los diques, ya que algunos son poco visibles como el caso de los diques 1 y 4, debido a que están azolvados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Guatemala, Acuerdo Gubernativo 236-2006, *Reglamento de descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos*, publicado por el diario de Centroamérica, [11 de junio de 2006], y estudio del curso de química ambiental, sobre pozos de control en la planta de lixiviados a diferentes distancias. 6 de enero de 2009. [Ref. 21 de abril de 2009. 25p].
2. Agencia de Estados Unidos para la protección del medio ambiente (EPA). *Guía de sitios y suelos, descripción de peligros y caracterización de residuos*. [agosto de 2001] Disponible en la web: <http://www.guidesoildescriptionforhazardouswastesitecharacterization.pdf>.
3. BARRIGA DÍAZ, Estuardo, *documental y estudio de contaminación por medio de metales pesados en la fundidora, Peñoles*, ubicada en Torreón Coahuila, México. Editorial universitaria, 2005.85p. [20 de julio de 2000].
4. KERR JONES, Steven, *control y prevención de enfermedades en la niñez a causa del plomo* [Ref. 5 de octubre de 2005] disponible en web:<<http://www.centerfordiseasecontrolprevention/preventingleadpoisoninginyoungchildren.com>>.
5. SMITH, Robert, *instituto de control y prevención de enfermedades por metales contaminantes en los seres humanos*. [2 de noviembre de 2007], [Ref. 15 de diciembre de 2008]. Disponible en la web: <[http://www.Academia Americana de Pediatría \(AAP\)](http://www.Academia Americana de Pediatría (AAP))>.

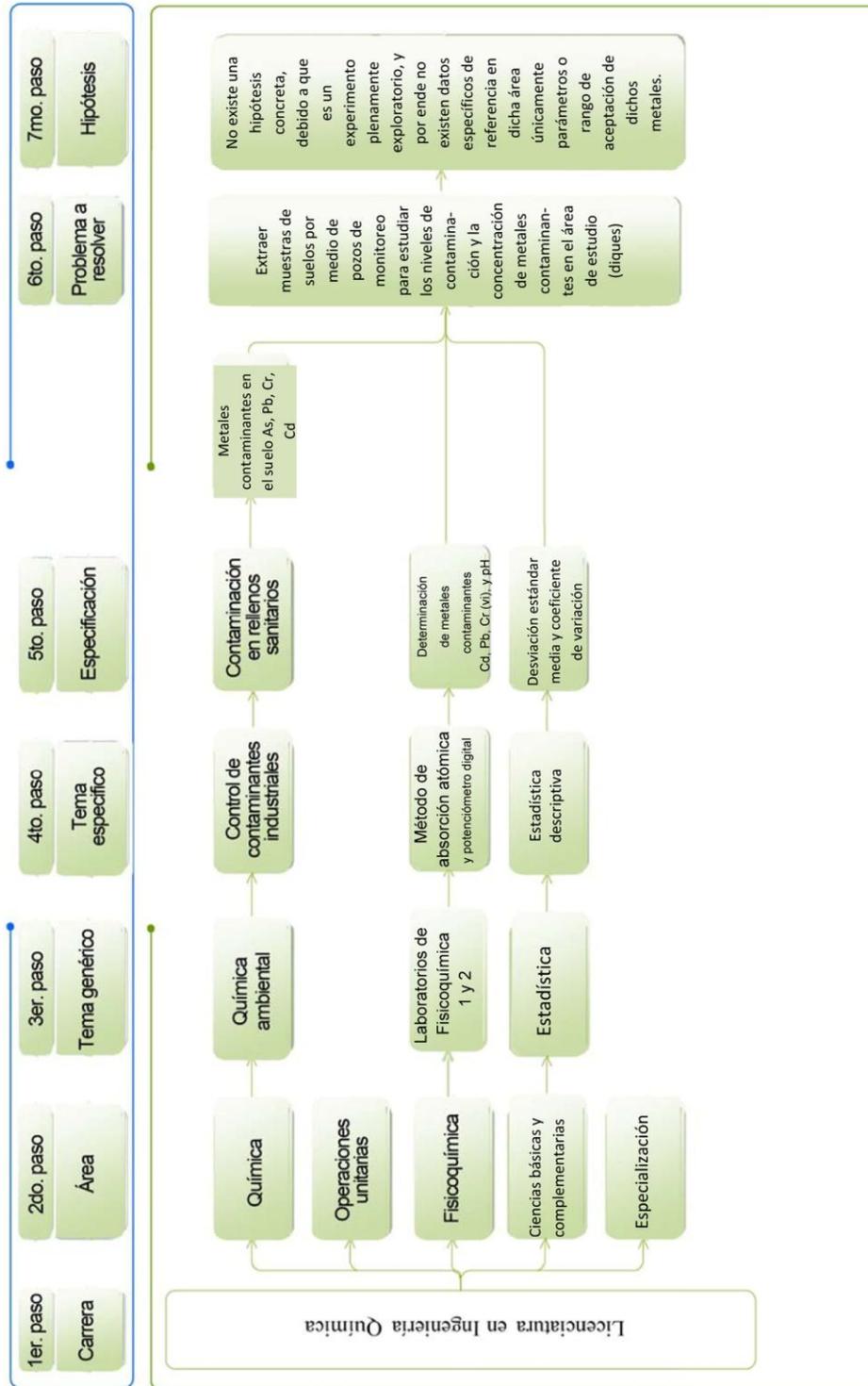
6. Efectos del plomo en la sangre de los niños. *Centro de Control de enfermedades producidas por el plomo*. 7 de abril de 2008. [Ref. 4 de junio de 2009]. Disponible en la web: <<http://www.tdh.state.tx.us/lead/chilbody.htm>>.
7. GONZÁLEZ HERRERA, Roger, “*Muestreado de lixiviados para sólidos disueltos que no cuentan con sistema de recolección*”, Universidad de Yucatán, Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Cancún, México. 21 de Enero de 2002. [Ref. 15 de abril de 2003.58p].
8. PÉREZ LÓPEZ, María y otros, “*influencia del Basurero municipal en la calidad del agua del acuífero en la Universidad Nacional Autónoma de Durango*”, México, México, 2002, Págs.: 11-116.
9. Organización mundial para la salud, *problemas ocasionados a la salud por metales pesados*. 2 de mayo de 1998 [Ref. 25 de julio de 2000]. Disponible en la web: <<http://www.organizaciònmundialsalud> (OMS)>.
10. Universidad Nacional Agraria, La Molina, lima Perú. “*Contaminación por metales pesados en el suelo, provocado por la industria minera*”. 16 de diciembre de 2004. [Ref. de 11 de diciembre de 2006]. Disponible en Web:<<http://www.deplegal2002-5474/biogiaplicada.pdf>>.
11. Wikipedia the free encyclopedia: *Soil contamination for metallic weigh*. 28 de enero de 2009 [Ref. 24 de mayo de 2009]. Disponible en la web: <<http://www.en.wikipedia.org/wiki/metallicweigh>>.

12. Wikipedia the free encyclopedia: "*pH*". 28 de enero de 2009. [Ref. 24 de mayo de 2009]. Disponible en la web: <<http://www.en.wikipedia.org/wiki/pH>>.
13. Wikipedia the free encyclopedia: "*Chromium*". 28 de enero de 2009. [Ref. 24 de mayo de 2009]. Disponible en la web: <<http://www.en.wikipedia.org/wiki/chromiumsix>>.

APÉNDICE

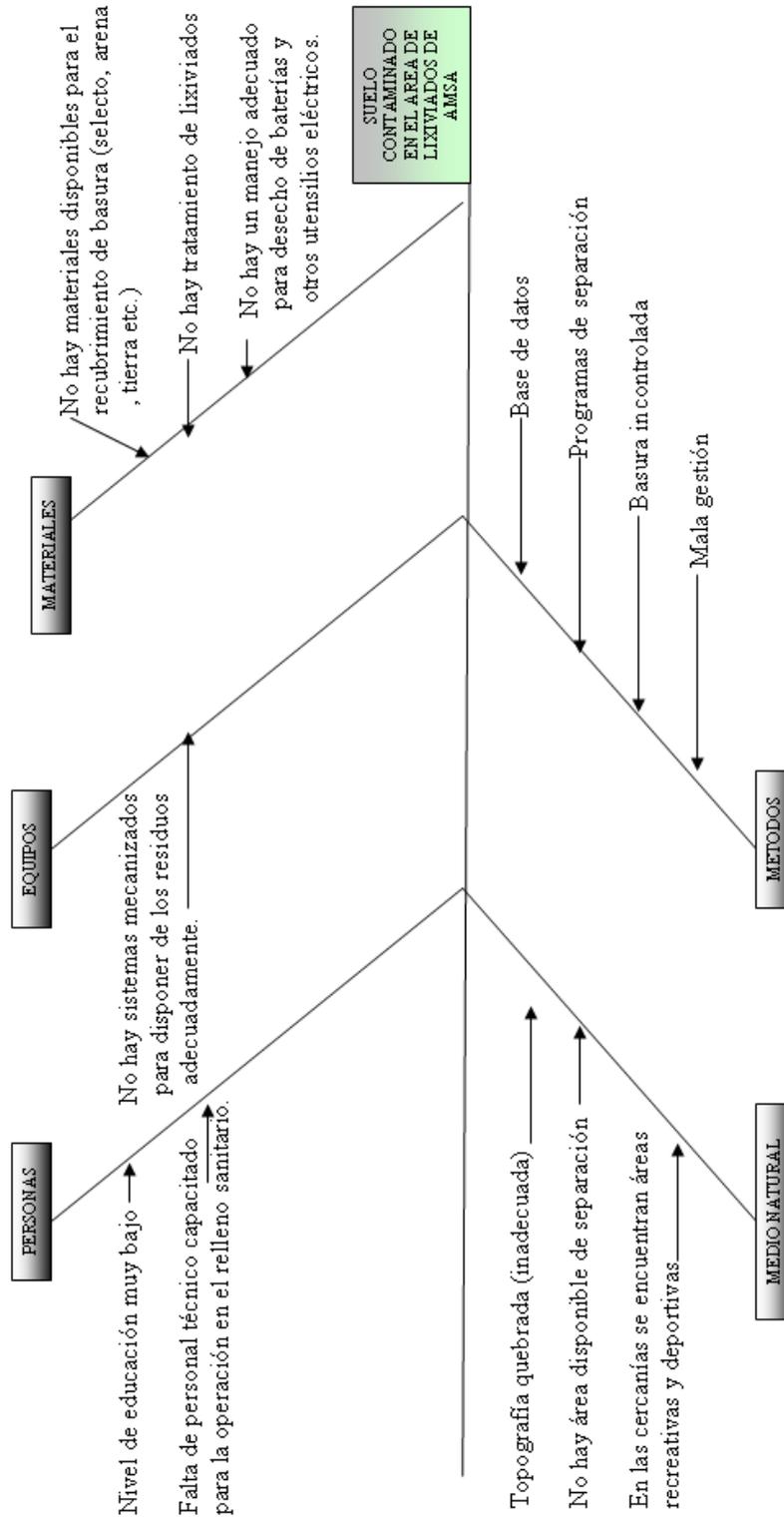
Apéndice 1 Tabla de requisitos académicos

Evaluación de la contaminación de suelos, aguas abajo del Relleno Sanitario de la Tecnología Apropriada de la Autoridad para el Manejo Sustentable del Lago de Amatitlán (AMSA)



Fuente: pensum de Ingeniería Química.

Apéndice 2 Diagrama de causa/efecto (ISHIKAWA)



Fuente: Armando Morales.

Apéndice 3 Plano Cartográfico de AMSA

Plano 1. Ubicación de AMSA

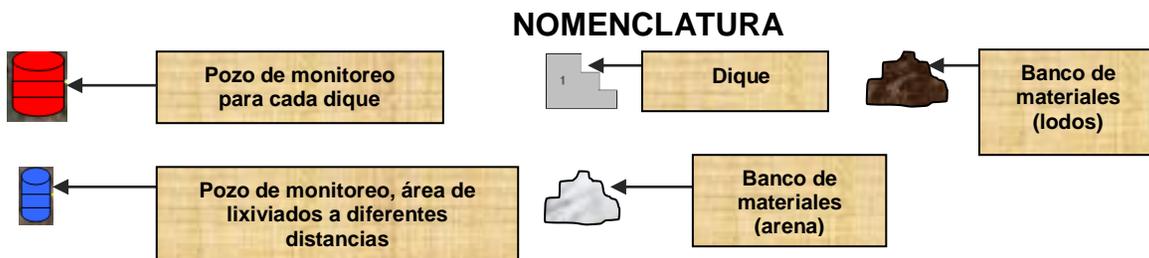


Fuente: Google Earth.

Plano 1.2. Área de localización de diques, aguas abajo de AMSA



Fuente: Google Earth.



ANEXOS

Anexo 1 Tabla 3-1. EPA (*United States Environmental Protection Agency*) (Agencia de Estados Unidos para la protección del medio ambiente) concentración de metales y no metales (elementos traza), considerados como excesivos, y niveles en la superficie de suelos y plantas diversas, en ppm aire peso en seco (10.000 ppm = 1% = mg/kg).

Table 3-1. Concentration of Metals and Nonmetals (Trace Elements)
Considered to be Phytotoxically Excessive
Levels in Surface Soils and Various Plants in ppm Air Dry Weight (10,000 ppm = 1 %).^a

Element	Surface Soil ^b Acid-Neutral	Plant ^c	Relatively Mobile ^d	Relatively Toxic ^e
Antimony (S b)	5-10	150	+	-
Arsenic (As)	100- 1000	5-20		
Beryllium (Be)	> 10	10-50		+
Boron (B)	30-100	>500	+	
Barium (Ba)	30-100	50-200		
Cadmium (Cd)	3-10	5-30	+	+
Cobalt (Co)	30-50	15-50		
Chromium (Cr)	2-10	5-30		
Copper (Cu)	20-100	30-100	+	
Mercury (Hg)	1-5	1-3	+	+
Manganese (Mn)	3000-8000	300-500	+	
Molybdenum (Mo)	5-10	10-50		
Nickel (Ni)	30-100	10-100	-	+
Lead (Pb)	50-100	30-300	-	+
Selenium (Se)	5-10	5-30	+	+
Silver (Ag)	> 2	5-10	-	-

Fuente: referencia 2.

TABLA 3-3 EPA niveles de toxicidad extraído de muestras de residuos peligrosos, que contienen metales, metaloides y orgánicos.

TABLE 3-3 EPA TOXICITY LEVELS OF EXTRACTED HAZARDOUS WASTE SAMPLES CONTAINING METALS, METALLOIDS AND ORGANICS^a

Compound	Maximum Concentration (mg/L)
Arsenic	5.0
Barium	100.0
Cadmium	1.0
Lead	5.0
Mercury	0.2
Selenium	1.0
Silver	5.0
Endrin	0.02
Lindane	0.4
Methoxychlor	10.0
Toxaphene	0.5
2,4-D (2,4-Dichloro-phenoxyacetic acid)	10.0
2,4,5-TP Silvex (2,4,5-Trichlorophenoxypropionic acid)	1.0

Fuente: referencia 2.

Anexo 2 Acuerdo Gubernativo No. 236-2006, Reglamento de descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos.

Artículo 42. PARÁMETROS Y LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LODOS.

Para poder efectuar la disposición final de lodos de acuerdo a las formas descritas en el artículo 41 del presente Reglamento, los valores de sus propiedades fisicoquímicas no deben exceder los límites máximos permisibles descritos en el siguiente cuadro:

Disposición Final	Dimensionales	Aplicación al suelo	Disposición en rellenos sanitarios	Confinamiento o aislamiento
Arsénico	Milligramos por kilogramo de materia seca a ciento cuatro grados Celsius	50	100	> 100
Cadmio	Milligramos por kilogramo de materia seca a ciento cuatro grados Celsius	50	100	> 100
Cromo	Milligramos por kilogramo de materia seca a ciento cuatro grados Celsius	1500	3000	> 3000
Mercurio	Milligramos por kilogramo de materia seca a ciento cuatro grados Celsius	25	50	> 50
Plomo	Milligramos por kilogramo de materia seca a ciento cuatro grados Celsius	500	1000	> 1000

Los expresados en el cuadro anterior son los límites máximos permisibles para suelos con potencial de hidrógeno menor que siete unidades. En los suelos que posean potencial de hidrógeno mayor o igual que siete unidades se podrán disponer lodos hasta un cincuenta por ciento más de los valores presentados como límites máximos permisibles.

Fuente: referencia 1.

Anexo 3 Fotografías del área de estudio, aguas abajo de AMSA (diques).

DIQUE 1



Fuente: Armado Morales, aguas abajo de AMSA.

DIQUE 2



Fuente: Armado Morales, aguas abajo de AMSA.

DIQUE 3



Fuente: Armado Morales, aguas abajo de AMSA.

DIQUE 4



Fuente: Armado Morales, aguas abajo de AMSA.

DIQUE 5



Fuente: Armado Morales, aguas abajo de AMSA.