

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA E INGENIERIA DE ALIMENTOS



**EVALUACION DE CONTAMINACION POR METALES  
PESADOS EN LA CUENCA BAJA DEL RIO SAN ANTONIO,  
MUNICIPIO DE NEJAPA**

PRESENTADO POR:

**HENRY EDWIN DARIO QUINTEROS ESCALANTE**

**BESSY JASMYLETH GUADALUPE RAMÍREZ MORATAYA**

**JUAN ALFREDO RAMOS ORANTES**

PARA OPTAR AL TITULO DE:

**INGENIERO QUÍMICO**

CIUDAD UNIVERSITARIA, SEPTIEMBRE DE 2013

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTOR :

**ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO**

SECRETARIA GENERAL :

**DRA. ANA LETICIA ZA VALETA DE AMAYA**

**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**

DECANO :

**ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL**

SECRETARIO :

**ING. JULIO ALBERTO PORTILLO**

**ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA E INGENIERIA DE ALIMENTOS**

DIRECTOR :

**INGRA. TANIA TORRES RIVERA**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA E INGENIERIA DE ALIMENTOS

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**INGENIERO QUÍMICO**

Título :

**EVALUACION DE CONTAMINACION POR METALES  
PESADOS EN LA CUENCA BAJA DEL RIO SAN ANTONIO,  
MUNICIPIO DE NEJAPA**

Presentado por :

**HENRY EDWIN DARIO QUINTEROS ESCALANTE**

**BESSY JASMYLETH GUADALUPE RAMÍREZ MORATAYA**

**JUAN ALFREDO RAMOS ORANTES**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores :

**INGRA. ANA CECILIA DÍAZ DE FLAMENCO**

**ING. LUIS RAMON PORTILLO TRUJILLO**

San Salvador, Septiembre de 2013

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores :

**INGRA. ANA CECILIA DÍAZ DE FLAMENCO**

**ING. LUIS RAMON PORTILLO TRUJILLO**

## Resumen

La zona del acuífero de Nejapa, delimitada por la cuenca del río San Antonio fue estudiada con el objetivo de determinar las concentraciones de los metales pesados Níquel (Ni), Plomo (Pb), Cadmio (Cd), Zinc (Zn). Las concentraciones de los metales pesados se midieron con la técnica de análisis hidroquímica Fluorescencia de Rayos X por Reflexión Total.

La cuenca del Río San Antonio es la fuente principal de abastecimiento de agua para los pobladores del municipio de Nejapa y otros municipios de AMSS, y está catalogada como muy vulnerable a la contaminación por sustancias químicas metales pesados y otros componentes provenientes de las potenciales fuentes de contaminación puntuales y difusas identificadas en la cuenca, bajo las cuales subyace el acuífero del cual se proveen los pobladores.

La zona de estudio se dividió en tres áreas que son parte de la Cuenca del Río San Antonio, así se definieron: el área de Aguas Arriba donde el Río San Antonio inicia su recorrido, el área de Aguas intermedia, asociadas a la parte media de la recorrido del río y por último, el área de la desembocadura del río, a la cual se le llamó Aguas Abajo. Se hizo un levantamiento de distintos tipos de muestras que podrían estar afectadas por la presencia de los elementos Níquel (Ni), Plomo (Pb), Cadmio (Cd), Zinc (Zn). Las muestras seleccionadas para el análisis fueron Agua Superficial, Agua Subterránea, Suelo, Sedimento de río y Biomasa, para esta última se consideraron tres vegetales de alta producción en los cultivos de la zona (Maíz, Caña de Azúcar, Pipián).

Las concentraciones de los metales en Níquel, Plomo y Zinc para las matrices de agua superficial y suelo presentaron un incremento en las zonas seleccionadas como aguas abajo e intermedias del área de estudio, por lo cual probablemente exista una posible influencia de las fuentes potenciales de contaminación identificadas en la zona de estudio. Para el caso de la matriz agua subterránea el comportamiento de las concentraciones de las muestras analizadas presentan mayor concentración en la zona de aguas arriba del Río San Antonio, debido posiblemente a las actividades antropogénicas industria, agricultura, disposición de los desechos comunes provenientes del casco urbano.

Los valores de concentraciones de Plomo en las muestras de las matrices Biomasa (caña de azúcar, maíz y pipián), agua superficial y agua subterránea nos indican que de acuerdo al CODEX alimenticio y la normativa de agua potable de la EPA respectivamente, ninguna de estas muestras analizadas es apta para el consumo humano.

Finalmente, los valores de coeficientes de absorción propuestos representan la posible cantidad de metal que una biomasa (cultivo) absorbe de dicho suelo, y para todos los puntos muestreados y todos los metales analizados, la biomasa que presentó los valores más altos de coeficiente de absorción aparente es el pipián, seguido a continuación por el maíz y dejando en último lugar a la caña de azúcar.

## **Agradecimientos**

A Dios todopoderoso por su amor y acompañamiento en esta nueva etapa de nuestras vidas... como siempre lo ha hecho.

A nuestras familias, por su apoyo incondicional, solidaridad, amor, paciencia y confianza depositada en todo este proceso hasta culminar de manera satisfactoria.

A nuestros asesores, Ing. Luis Ramón Portillo Trujillo e Ingra. Ana Cecilia Díaz de Flamenco por todo el apoyo, paciencia y transferencia de conocimientos para lograr todos los objetivos propuestos en este trabajo de graduación.

A la Ing. Aura Cristina Canacas y al Lic. Julio Payés por su entrega y colaboración en el trabajo de campo específicamente en la recolección de muestras, también en el área de trabajo de laboratorio, que fue de suma importancia para poder realizar el análisis de las muestras recolectadas.

A la Alcaldía de Nejapa, por su colaboración y total apoyo en el acompañamiento en la colección de los datos, obtención de información, por el recorrido del Río San Antonio.

A la Unidad Ambiental de la Alcaldía Municipal de Nejapa por su confianza, dirigida por la Ingra. Cecilia Perla quien nos presentó a una persona de mucha importancia para la presente investigación como lo fue Don Chanito, el cual nos acompañó y apoyó en el inventario de fuentes y colección de muestras para la realización de la investigación.

Al Ing. Sergio Maravilla de la Facultad de Química y Farmacia, quien nos ayudó a la obtención de los distintos reactivos químicos necesarios para realizar los análisis químicos.

Al Laboratorio del Centro de Investigaciones Aplicaciones Nucleares, CIAN, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador, por la oportunidad de utilizar sus instalaciones, equipo de análisis y de adquirir nuevos conocimientos con un objetivo en común, la realización de esta primera investigación para dejar un precedente y generar los antecedentes para futuras investigaciones en la cuenca del Río San Antonio relacionadas con los niveles de concentración de metales pesados.

A la Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de Alimentos de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador, por su apoyo y guía en este camino, resultando en la finalización exitosa del presente trabajo de graduación.

Al Ing. Agr. Miguel Hernández, de la Facultad de Ciencias Agronómicas de La Universidad de El Salvador, quien nos colaboró en la realización de los distintos mapas temáticos, ya que sin su ayuda no habría sido posible presentar los mapas que nos ayudaron a analizar, comprender e interpretar los distintos resultados obtenidos de las concentraciones de metales pesados encontrados.

A todas las personas de las comunidades visitadas que amablemente accedieron a brindar información y acompañar el trabajo, depositando la confianza en el estudio.

A todos aquellos que aunque no mencione específicamente en los párrafos anteriores, son igualmente importantes y colaboraron para el feliz término de este esfuerzo.

## Contenido

Resumen.....	1
Agradecimientos.....	2
1. Alcance y Planteamiento del Problema .....	10
1.1 Contexto.....	10
1.2 Planteamiento del problema .....	13
1.3 Preguntas de Investigación e Hipótesis del Trabajo.....	16
1.4 Hipótesis del trabajo .....	16
1.5 Objetivos.....	17
1.5.1 Objetivo General.....	17
1.5.2 Objetivos Específicos .....	17
1.6 Justificación.....	17
1.7 Alcance y Limitaciones de la Investigación.....	20
1.7.1 Alcances .....	20
1.7.2 Limitaciones .....	21
1.8 Antecedentes .....	21
1.9 Clima .....	24
1.10 Hidrología .....	24
1.11 Geología .....	24
1.11.1 Morfología.....	25
1.11.2 Usos del Suelo.....	25
1.12 Dirección del flujo de agua subterránea .....	25
2. Marco Teórico .....	27
2.1 Procesos de contaminación en acuíferos por fuentes potenciales de contaminación difusa y puntual (Rivera y Osmany, 2010). .....	27
2.2 Impacto ambiental al recurso hídrico por los rellenos sanitarios (Rivera y Osmany, 2010). .....	30
2.3 Residuos sólidos característicos presentes en los desechos generados por los hogares (Alvarado, Amador y Cuellar, 2012) .....	31

2.4	Experiencias en El Salvador en disposición de residuos sólidos en botaderos a cielo abierto y rellenos sanitarios (Rivera y Osmany, 2010) .....	34
2.5	Contaminación de suelos por metales pesados (Huertos, E. G. y Baena, A. R., 2008) .....	35
2.6	Absorción y traslocación de metales pesados en las plantas (SolisDufflocq, 20 de mayo de 2005) .....	39
2.7	Metodología para la recolección de muestras de biomasa y suelo.....	43
2.8	Digestión de muestras para el análisis de fluorescencia por reflexión total	44
2.9	Análisis de Metales Pesados por Fluorescencia de rayos X Totales.....	45
2.10	Cálculo de áreas de espectros.....	46
2.11	Fundamento del método de Análisis de Metales Pesados por la Técnica de Fluorescencia de Rayos X .....	46
2.12	Parámetros característicos .....	47
2.12.1	Ángulo Crítico.....	47
2.12.2	Reflectividad.....	49
2.12.3	Profundidad de penetración.....	49
2.13	Características del sustrato y de la muestra .....	51
2.13.1	Característica del sustrato .....	51
2.13.2	Características de la Muestra.....	51
2.14	Esquema y descripción del equipo .....	52
2.15	Fluorescencia de Rayos X por Reflexión Total (Nacimiento, 1999).....	54
2.15.1	Fundamento de la Fluorescencia de Rayos X por Reflexión Total .....	55
2.15.2	Excitación de los elementos .....	56
2.15.3	Fundamento de Fluorescencia de Rayos X por Reflexión Total. ....	57
2.15.4	Análisis Cualitativo y Cuantitativo.....	59
2.16	Métodos de análisis .....	61
2.16.1	Comparación directa de tasa de conteo .....	61
2.16.2	Regresión de tasa de conteo versus concentración.....	62
2.16.3	Mapas de zonificación de presencia de metales.....	62
3	Metodología de la investigación.....	63
	Introducción .....	63

3.1	Selección de Puntos de muestreo.....	64
3.2	Recolección de las muestras .....	67
3.3	Tratamiento de las matrices investigadas para la obtención de los espectros. ....	68
3.3.1	Etapa I: preparación previa al proceso de digestión.....	68
3.3.2	Etapa II: Digestión de las muestras.....	70
3.3.3	Etapa III. Preparación de las diluciones de las muestras digeridas para la generación de los espectros por la técnica de fluorescencia de Rayos X por reflexión total.....	71
3.3.4	Etapa IV. Preparación de los estándares para la obtención de curva de calibración para la técnica de fluorescencia de Rayos Xreflexión total.....	72
3.4	Cálculo de las concentraciones de los elementos metales pesados en las muestras analizadas con la técnica de fluorescencia de Rayos X por reflexión total.....	74
3.5	Análisis de los niveles de concentración de los metales pesados encontrados.....	76
4	Resultados.....	78
4.1	Espectros de matrices .....	78
4.2	Cálculo de concentraciones, factor de dilución y límite de detección.....	79
4.3	Cálculo de límite de detección de cadmio .....	87
4.4	Presentación de Resultados.....	88
4.5	Mapas de Niveles de Concentración de Metales en cada Matriz.....	95
5	Conclusiones y Recomendaciones .....	105
5.1	Conclusiones.....	105
5.2	Recomendaciones.....	107
	BIBLIOGRAFÍA.....	108
	SIGLAS .....	112
	GLOSARIO.....	113
	ANEXOS.....	117
	ANEXO 1 Flujograma Resumen de la Investigación.....	118
	ANEXO 2 Fichas de Campo para Muestreo .....	119
	ANEXO 3 Flujogramas de las metodologías utilizadas para la recolección de las muestras.....	162

ANEXO 4 Metodologías de recolección usadas en la investigación.....	168
ANEXO 5 Metodologías de la digestión según lo específica el Manual de Digestión EthosOne de Milestone .....	174
ANEXO 6 Metodologías de la preparación de las diluciones de las muestras digeridas para la generación de los espectros por la técnica de fluorescencia de Rayos X por Reflexión Total.....	192
ANEXO 7 Certificado de Estándar de Galio 1000mg/l Merck 1.02620.0100, utilizado como estándar interno a 2ppm en solución de muestra final.....	193
ANEXO 8 Metodología de preparación de concentraciones del estándar multielemento (1, 2, 5 ppm).....	194
ANEXO 9 Certificado Estándar MultielementoSolution IV CertiPUR Merck 1.11355.0100 .....	197
ANEXO 10 Normativas para metales pesados en diferentes matrices. ....	198
ANEXO 11 Espectros de Energías Características para Matrices Biomasa, Agua Subterránea, Agua Superficial, Suelo y Sedimentos.....	201
ANEXO 12 Tabla de áreas bajo las líneas espectrales para cada metal en matriz sedimento .....	204

## Índice de Figuras

Figura 1.1 Mapa de Ubicación de la Zona de Estudio.....	11
Figura 1.2 Dirección del flujo de agua subterránea en la cuenca del río San Antonio.	26
Figura 2.1 Procesos contaminantes de las aguas subterráneas.....	28
Figura 2.2 Vías de contaminación de aguas subterráneas .....	29
Figura 2.3 Vías de contaminación de aguas subterráneas .....	29
Figura 2.4 Fases del suelo: Sólido-Aire- Agua .....	37
Figura 2.5 Rutas y procesos biogeoquímicos de los metales que se pueden llevar acabo en el suelo (Sparks, 2005).....	37
Figura 2.6 Reflectividad en función del ángulo de incidencia para Si y GaAs con rayos X de 17.5KeV (M. Dekker 1993).....	49
Figura 2.7 Profundidad de penetración en función del ángulo de incidencia calculada para GaAs con una energía incidente de 8 keV (a) y 17.5 keV (b) (M. Dekker 1993). .....	50
Figura 2.8 Esquema general del análisis por fluorescencia de rayos-X. Transición de los electrones en diferentes niveles.....	53
Figura 2.9 Esquema simplificado del origen de algunas transiciones de fluorescencia que aparecen tras la expulsión de un electrón de una capa interna del átomo... 56	
Figura 2.10 Representación esquemática de la refracción y reflexión de un haz de radiación mono-energético en función del ángulo de incidencia.....	58
Figura 3.1 Ubicación de puntos de muestreo en la zona de estudio .....	65
Figura 3.2 Metodologías utilizadas para la recolección de las muestras de las matrices estudiadas en la presente investigación. ....	67
Figura 3.3 Digestor EthosOne, Milestone.....	70
Figura 3.4 Diagrama de preparación de diluciones de las muestras digeridas. Adición de Estándar Interno.....	71
Figura 3.5 Diagrama de preparación de Estándar Multielemento a 2 ppm.....	72
Figura 3.6 Equipo de fluorescencia de rayos X.....	73
Figura 3.7 Diagrama de Obtención de Espectros de las Soluciones de Estándar Multielemental con el software AXIL-QXAS .....	73

Figura 3.8 Diagrama resumido para la Obtención de Espectros y Cálculo de Área para las Muestras Analizadas con el software AXIL-QXAS .....	74
Figura 3.9 Diagrama de Cálculo de concentraciones de los elementos en el espectro con el software AXIL-QXAS. Método de análisis Regresión de tasa de conteo versus concentración.....	75
Figura 4.1 Espectro de Energías Característica de Metales para Matriz Agua Subterránea .....	78
Figura 4.2 Esquema de de muestras liquidas.....	81
Figura 4.3 Esquema de dilución de muestras solidas suelo .....	83
Figura 4.4 Esquema de dilución de muestras solidas biomasa.....	84
Figura 4.5Gráfico de la concentración de los metales Ni, Cd, Zn, Pb y los límites máximos permitidos para la Matriz Suelo .....	90
Figura 4.6Gráfico de la concentración de los metales Ni, Cd, Zn, Pb y los límites máximos permitidos para la Matriz Agua Superficial .....	91
Figura 4.7Gráfico de la concentración de los metales Ni, Cd, Zn, Pb y los límites máximos permitidos para la Matriz Agua Subterránea .....	92
Figura 4.8 Mapa de Concentración de Níquel en Suelo .....	96
Figura 4.9 Mapa de Concentración de Zinc en Suelo .....	97
Figura 4.10 Mapa de Concentración de Plomo en Suelo .....	98
Figura 4.11 Mapa de Concentración de Níquel en Agua Superficial .....	99
Figura 4.12 Mapa de Concentración de Zinc en Agua Superficial .....	100
Figura 4.13 Mapa de Concentración de Plomo en Agua Superficial .....	101
Figura 4.14 Mapa de Concentración de Níquel en Agua Subterránea.....	102
Figura 4.15 Mapa de Concentración de Zinc en Agua Subterránea.....	103
Figura 4.16 Mapa de Concentración de Plomo en Agua Subterránea .....	104

## Índice de Tablas

Tabla 2.1 Comparación de características típicas de los lixiviados de rellenos sanitarios. .....	30
Tabla 2.2 Listado de desechos sólidos generados por los hogares .....	31
Tabla 2.3 Áreas de aplicación de las pilas primarias y secundarias .....	32
Tabla 2.4 Principales sustancias contenidas en las pilas .....	33
Tabla 2.5 Resumen cronológico .....	35
Tabla 3.1 Límites máximos permitidos de metales para cada matriz y su respectiva referencia .....	77
Tabla 4.1 Concentraciones de los metales en muestras diluidas y valores del factor de dilución por matriz .....	85
Tabla 4.2 Resumen de concentraciones de metales pesados por matriz en las muestras originales.....	88
Tabla 4.3 División de puntos por áreas muestreadas .....	89
Tabla 4.4 Límites máximos permitidos de metales para cada matriz .....	89
Tabla 4.5 Coeficiente de absorción aparente propuesto de metales para cada tipo de biomasa.....	93
Tabla 4.6 Tabla Resumen de Mapa de Concentraciones.....	95

## 1. Alcance y Planteamiento del Problema

### 1.1 Contexto

La cuenca del río San Antonio se encuentra en el municipio de Nejapa, el cual forma parte del Área Metropolitana de San Salvador (AMSS 2001). Este municipio consta de 83 km<sup>2</sup> y es bañado por el río San Antonio. El municipio tiene como primera parte la planicie que rodea la localidad del norte, llegando al escarpe de origen tectónico que limita en el cantón del Bonete y de allí hasta su desembocadura en el río Acelhuate, donde presenta una morfología diferente. La cuenca del río San Antonio tiene un drenaje con una longitud de 15.7 km, siendo de tipo radial con quebradas profundas como la Honda, Los Amates, Los Limones y La Calera y teniendo una superficie de 58 km<sup>2</sup>, representando esto el 61% del territorio municipal.

La cuenca está comprendida dentro del área definida aproximadamente por las siguientes coordenadas:

N 13° 55' 30" N 13° 55' 30" N 13° 44' 00" N 13° 44' 00"  
W 89° 17' 00" W 89° 10' 30" W 89° 10' 30" W 89° 17' 00"

El municipio de Nejapa donde se ubica la cuenca, está dividido en cuatro zonas principales las cuales son: Zona Norte: la cual se conforma a través de los cantones: Tutultepeque y El Bonete, Zona Intermedia: por los cantones: Galera Quemada y Camotepeque, Zona del Casco Urbano: por los cantones Nejapa y Aldea Mercedes y la Zona Sur, formada por los cantones: El Conacaste, El Salitre y San Jerónimo los Planes (DMN 2001). La zona de estudio de la presente investigación puede verse en la figura 1.1.

La zona sur presenta la peculiaridad de ser la zona identificada como de mayor recarga de los mantos acuíferos, razón por la cual se convierte en una zona ambientalmente frágil. Sus mantos acuíferos, son fuente de agua para una parte del AMSS mediante 12 pozos de extracción pertenecientes a ANDA. La abundante presencia actual del recurso agua en el municipio ha abierto paso a un acelerado proceso de demanda de suelos por parte de las industrias ubicadas en otros municipios del AMSS. Actualmente dentro del municipio se ubican las industrias EMBOSALVA, MECAFE y el relleno sanitario de MIDES.

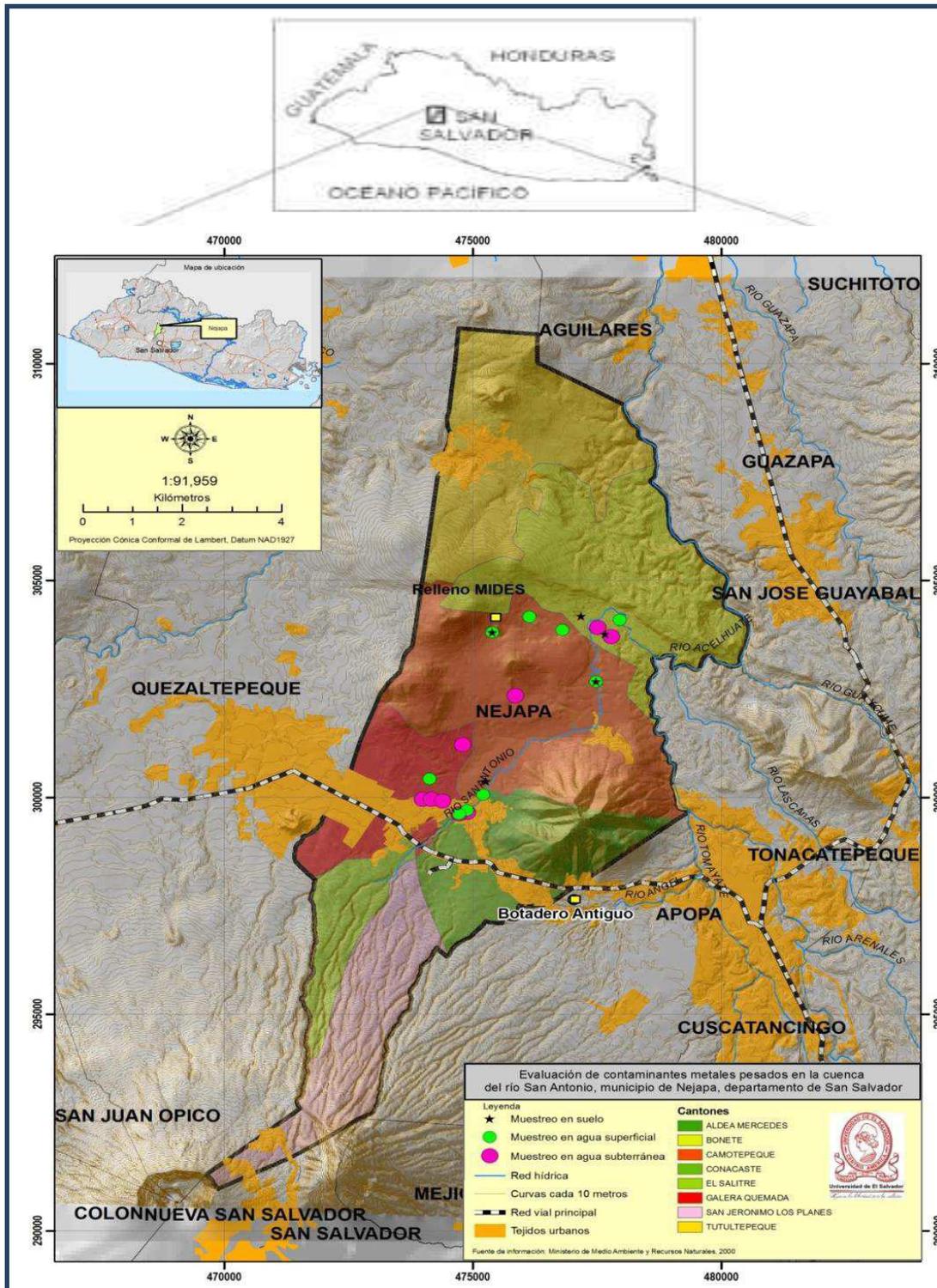


Figura 1.1 Mapa de Ubicación de la Zona de Estudio

El relleno sanitario MIDES, recibe un volumen de desechos sólidos de 2000 ton/día (MIDES 2010), este relleno está ubicado, como ya se mencionó, dentro de la sub-cuenca del Río San Antonio, donde se localiza el acuífero de productividad media (ANDA-COSUDE, 1998), el cual es explotado para fines industriales, agrícolas y fines domésticos, por asentamientos rurales. Además en la zona, existe un área de cultivos de carácter comercial importante, la presencia de estas actividades representan potenciales fuentes de contaminación de metales pesados plomo, níquel, cadmio, y zinc, delimitados en la investigación, lo que vuelve a esta zona de alta vulnerabilidad alta muy susceptible contaminación de sus recursos.

Otro elemento bonancible para el municipio es la riqueza de sus suelos, lo que le otorga un lugar privilegiado en lo que a actividades agrícolas se refiere. Sin embargo, la combinación del abuso del suelo para actividades agrícolas con los acelerados procesos de urbanización, han dado paso a una rápida disminución de la capa arbórea del municipio y a evidentes procesos de deforestación, lo que obviamente puede repercutir en la disminución del recurso agua y en el deterioro de la calidad de ésta. En la cuenca del río San Antonio, las principales áreas de riesgo son todas aquellas que se encuentran en las riberas de los ríos San Antonio y Acelhuate y en las quebradas que atraviesan el municipio.

Bajo la cuenca del río San Antonio, subyace el acuífero de San Salvador, el cual está conformado por dos unidades hidrogeológicas identificadas como Unidad Acuífero Volcánico Fisurado de Gran Extensión y Posiblemente Alta Producción y Unidad Acuífero Poroso de Gran Extensión y Productividad Media (ANDA, 2008), las cuales abastecen parcialmente la demanda de agua del Área Metropolitana de San Salvador, AMSS; el resto del suministro se provee por medio de la incorporación de dos principales plantas de extracción y tratamiento de agua: Sistema Zona Norte y Sistema Planta Potabilizadora Las Pavas (Calderón, M., 2010).

Siendo entonces el municipio de Nejapa parte del AMSS, la cual es la región política, económica y financiera más importante del país y dada la importancia de sus aguas subterráneas, se ha dispuesto desarrollar un estudio en esta zona, para caracterizar los niveles de concentración de metales pesados plomo, níquel, cadmio, zinc que están presentes en las aguas subterráneas, aguas superficiales, sedimento de río y matrices de biomasa de cultivos representativos de la cuenca. del río San Antonio aplicando la técnica analítica de fluorescencia de rayos X por reflexión total en colaboración con los Laboratorios del Centro de

Investigaciones y Aplicaciones Nucleares, CIAN, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador.

## **1.2 Planteamiento del problema**

En El Salvador la cantidad de desechos sólidos que se generaron en el 2009, fue de 3400 ton/día a nivel nacional (MARN, 2010). Sólo una fracción del 75% de la generación total de basura es destinada a un relleno sanitario y el resto es depositado en botaderos a cielo abierto, donde no se realiza una disposición segura de éstos. Uno de los componentes de los residuos sólidos urbanos (RSU) que son dispuestos en el relleno lo constituyen las baterías simples y compuestas, las cuales tienen aplicaciones en una serie de productos que se consumen masivamente por los hogares salvadoreños y por su composición son fuente potencial de metales pesados, la cual se concentra en los lixiviados producidos por los RSU y al no haber un manejo adecuado de los RSU, al entrar en contacto con el suelo, estos se infiltran contaminando el suelo, agua y biomasa de la zona. Actualmente, sólo existen cuatro empresas en todo el país dedicadas a recolectar desechos de baterías; sin embargo, la cobertura de este servicio es de un 69% (MARN 2010), y todas están localizadas cerca o dentro del Área Metropolitana de San Salvador (Rodríguez, 2011), de lo que se infiere que en el interior del país no se controla la disposición de estos desechos.

Una de las empresas dedicada a la disposición final de desechos sólidos más fuerte reporta para el año 2010 una recolección de 2000 Ton/día recibidos en el relleno de Nejapa, este relleno está localizado en el departamento de San Salvador, Municipio de Nejapa, ubicado específicamente dentro de la subcuenca del Río San Antonio, donde se localiza un acuífero de productividad media (ANDA-COSUDE, 1998), tal como ya se había mencionado, el cual es explotado para fines industriales y fines domésticos, por asentamientos rurales; además, existe un área de cultivos de carácter comercial importante. También en la misma cuenca, hay actividad industrial, concentración de población en el casco urbano y otras actividades antropogénicas desarrolladas en las riberas del río, cerca de manantiales, zonas de recarga y pozos, lo que la hace a esta zona muy vulnerable a la contaminación por metales pesados.

Se sabe que en las últimas décadas se ha dado una proliferación de nuevos tipos de pilas y baterías domésticas, de distintas clases y tamaños, así como diferentes tensiones eléctricas. La fuerza motivadora de este crecimiento ha sido la

miniaturización de los equipos eléctricos y electrónicos, y por tanto, la disminución de la potencia consumida por éstos. Las pilas alcalinas compuestas de Zinc y de Óxido de Manganeso, resultan ser una de las opciones más empleadas en El Salvador en cuanto a prestaciones de alto rendimiento. Por otra parte, la mayor proporción de materiales contenidos en las pilas son solubles en los lixiviados que se producen en los rellenos sanitarios, dando lugar a una potencial contaminación de los acuíferos, tanto superficiales como subterráneos.

También en El Salvador actualmente no existe una política de reciclaje de pilas usadas, a pesar de que éstas representan un porcentaje considerable dentro de los desechos sólidos urbanos y dada la toxicidad que representan, es necesario realizar investigaciones que permitan conocer los niveles de concentración de contaminantes provenientes de rellenos sanitarios, botaderos a cielo abierto

En la cuenca del río San Antonio, también se identificaron otras fuentes de contaminación potencial por metales pesados, nos referimos específicamente , a la práctica de uso de plaguicidas y fertilizantes en las actividades agrícolas que se desarrollan en la cuenca, lo que aumentan la vulnerabilidad a la contaminación de la zona.

Por todo lo anteriormente planteado, podemos asociar a la zona de estudio un riesgo potencial de contaminación por metales pesados, debido a la posibilidad de que se presenten las siguientes situaciones, las cuales se plantean en función de las fuentes potenciales de contaminación puntuales y difusas existentes en la cuenca del río San Antonio:

- a) ruptura de la membrana del relleno sanitario
- b) aportación de contaminación difusa debido a la acumulación de RSU en botaderos a cielo abierto
- c) aportación de contaminación difusa por el uso de plaguicidas y fertilizantes en las actividades agrícolas
- d) aportación de contaminación difusa debido a asentamientos irregulares en barrancas y quebradas
- e) infiltración de lixiviados provenientes de sitios ilegales de disposición de residuos sólidos municipales
- f) Infiltración de lixiviados provenientes de las lagunas que se forman en los alrededores del relleno sanitario, por la acumulación de los camiones recolectores de RSU mientras esperan a ser atendidos para la disposición de los RSU en el relleno.

La falta de caracterización de los niveles de concentración de los metales pesados dada la vulnerabilidad de la cuenca y la importancia social, económica, ambiental y de salud por los usos que tienen los recursos naturales de la misma, limita el conocimiento de la calidad de estos recursos naturales de la cuenca e impide identificar las potenciales acciones de mejora en cuanto a la forma de explotación actual que se hace de los recursos, y con ello poder contribuir a lograr el uso de forma racional y sostenible.

De lo anterior, es necesario conocer si la dinámica de las fracciones móviles de los metales pesados posiblemente infiltrados en suelo, producen alteración de los niveles de concentraciones de Níquel, Plomo, Zinc y Cadmio en los componentes ambientales de la cuenca del río San Antonio, de tal forma que pudieran estar deteriorando la calidad de los recursos naturales, esta afectación será determinada a través de la medición de las concentraciones de metales pesados Níquel, Plomo, Zinc y Cadmio en diferentes muestras de los componentes ambientales de la cuenca, agua superficial y subterránea, sedimento de río, suelo y biomasa representativa de la zona utilizando la técnica de fluorescencia de rayos X por reflexión total, y luego establecer cómo es la variación de los contaminantes a medida que avanzan en la cuenca para la evaluar la posible influencia de las fuentes potenciales de contaminación en las variaciones en los niveles de concentración de los metales pesados que se puedan encontrar a lo largo de la cuenca.

Para el análisis de las concentraciones de metales pesados, Níquel, Plomo, Zinc y Cadmio, encontradas en la zona de estudio delimitada para la investigación, se dividió la zona de estudio en tres áreas, tomando como referencia la ubicación del relleno sanitario de Nejapa y la suposición de cómo se desplazaría una supuesta pluma de contaminación, estas zonas fueron: la zona aguas arriba (antes del relleno sanitario), la zona intermedia (más próxima al relleno) y la zona después del relleno (aguas abajo, después de haber pasado por el relleno), planteado así por la suposición del movimiento de los contaminantes en la misma dirección del flujo de agua superficial y subterránea.

El estudio supone la existencia y el desplazamiento de una potencial pluma de contaminación, generada a partir de la acumulación de los elementos metales pesados Níquel, Plomo, Zinc y Cadmio, provenientes de las diferentes fuentes potenciales de contaminación identificadas en la zona, y supone también, que ésta se movería en dirección del flujo de agua, pudiéndose identificar cualitativamente y cuantitativamente la presencia o no, de estos metales pesados en todos los componentes de la cuenca que entren en contacto con la pluma, es

decir, suelo, agua subterránea, agua superficial, sedimento de río, biomasa presente en la zona, ya que el agua de la cuenca es utilizada en las actividades agrícolas.

### **1.3 Preguntas de Investigación e Hipótesis del Trabajo**

Las preguntas que surgen del planteamiento del problema son las siguientes:

¿Cuáles son los niveles de concentración de metales pesados Níquel, Cadmio, Plomo y Zinc en la cuenca del río San Antonio?

¿Cuáles son los niveles de concentración naturales de metales pesados Níquel, Cadmio, Plomo y Zinc en la cuenca del río San Antonio?

¿Cómo es la variación de la concentración de los metales pesados Níquel, Cadmio, Plomo y Zinc en la dirección del flujo de agua en las zonas de influencia de las fuentes potenciales de contaminación de la cuenca del río San Antonio?

¿Cómo es la disposición de los RSU en la cuenca del río San Antonio?

¿Cuáles son las fuentes potenciales de contaminación puntual y difusa de metales pesados en la cuenca y donde se ubican?

¿En qué proporción se absorben los metales pesados Níquel, Cadmio, Plomo y Zinc por los cultivos representativos de la cuenca del río San Antonio?

### **1.4 Hipótesis del trabajo**

Los niveles de concentración de metales pesados Níquel, Cadmio, Plomo y Zinc en la cuenca del río San Antonio sobrepasan los valores permitidos por la normativa ambiental para las muestras de agua superficial, agua subterránea, suelo, sedimento de río y biomasa representativa de la zona.

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo General**

Evaluar y analizar los niveles de concentración de metales pesados Plomo, Níquel, Cadmio y Zinc en la cuenca del río San Antonio del municipio de Nejapa.

### **1.5.2 Objetivos Específicos**

- a. Medir los niveles de concentración de metales pesados Níquel, Cadmio, Plomo y Zinc utilizando la técnica de fluorescencia de rayos X por reflexión total en matrices de suelo, sedimento de río, agua superficial y agua subterránea de la cuenca del río San Antonio para evaluar el grado de afectación de la presencia de fuentes potenciales de contaminación
- b. Generar una línea base de las concentraciones de metales pesados Níquel, Cadmio, Plomo y Zinc en matrices de suelo, sedimento de río, agua superficial y agua subterránea en la cuenca del Río San Antonio
- c. Medir los niveles de concentración de metales pesados Níquel, Cadmio, Plomo y Zinc utilizando la técnica de fluorescencia de rayos X por reflexión total, en matrices de biomasa de cultivos posiblemente afectados y representativos de la cuenca del Río San Antonio.
- d. Medir un coeficiente de absorción aparente de metales pesados Níquel, Cadmio, Plomo y Zinc en las matrices de biomasa de cultivos representativos de la cuenca del Río San Antonio.

## **1.6 Justificación**

La cuenca del río San Antonio se ubica en el municipio de Nejapa, departamento de San Salvador, posee un área de 57,6 km<sup>2</sup>, en ella se ubica el relleno sanitario de Nejapa que recibe los desechos sólidos de 22 municipios de El Salvador, llegando a una recolección de 1,388.65 toneladas al día de residuos sólidos, los cuales dentro de su composición incluyen baterías y pilas conteniendo metales pesados que son de alta peligrosidad para los seres vivos en el caso de que filtren en el suelo y debido a su movilidad contaminen los recursos de la cuenca (OMS 2005).

El relleno sanitario de Nejapa posee la mayor demanda de la disposición de desechos sólidos del AMSS, y se encuentra localizado en la cuenca del río San Antonio. Esta cuenca es de vital importancia en muchos de los aspectos sociales, económicos y ambientales del municipio de Nejapa y el resto de los municipios del AMSS. Su acuífero sirve de abastecimiento a muchas de las plantas industriales ubicadas en este sector, quienes lo explotan para sus procesos productivos.

Sólo en el 2005 las baterías automotrices generadas fueron de 152,937 unidades anuales aproximadamente (VMT, 2005), si éstas no fueron descartadas de manera segura son consideradas un grave problema, se debe considerar también las de teléfonos móviles y computadoras.

En la zona de estudio se identificaron varias fuentes potenciales de contaminación por metales pesados, la presencia del relleno sanitario, el uso de plaguicidas y fertilizantes para las actividades agrícolas, la presencia de asentamientos irregulares en barrancas y quebradas, la infiltración de lixiviados provenientes de sitios ilegales de disposición de residuos sólidos urbanos y la infiltración de lixiviados en los alrededores del relleno sanitario donde se observó la acumulación de lixiviados en forma de lagunas que “chorrean” de los camiones recolectores que se acumulan y esperan a ser atendidos en las afueras de las instalaciones.

Vemos entonces que la cuenca del río San Antonio es importante por su uso para el desarrollo de actividades socio económicas y de desarrollo del municipio, en actividades industriales, en actividades de siembras agrícolas y riego de cultivos. Entre los cultivos más importantes se identificaron, caña de azúcar, café, maíz, pipián y grandes plantaciones frutales, y es fuente de abastecimiento de agua para el AMSS, ya que cuenta con pozos que abastecen las redes de ANDA y también posee pozos artesanales para uso de los lugareños, por lo que es imperante que se realicen investigaciones para caracterizar cuantitativamente la condición actual de la calidad los recursos que ya está explotando y se puedan tomar las acciones pertinentes para su protección, remediación y uso sostenible de los recursos de la cuenca.

Ahora bien, si la cuenca es tan importante para el desarrollo del municipio, vale la pena plantearse la siguiente cuestión, ¿qué se está haciendo para el uso racional de los recursos naturales de la cuenca del río San Antonio?, ¿cómo se sabe la condición actual de la calidad de los recursos de la cuenca frente a los

potenciales fuentes de contaminación que ya están presentes en ella ?, para tratar de contribuir a responder a esta cuestión, en lo que respecta a la caracterización hidrogeoquímica de la cuenca del río San Antonio, no se han hecho investigaciones al respecto. Se encontraron algunas investigaciones relacionadas, pero para otras zonas ubicadas en los alrededores de la zona de estudio, por ejemplo, se han realizado investigaciones hidrogeológicas relacionados con la potencial contaminación de lixiviados provenientes de botaderos a cielo abierto, pero desde el punto de vista geofísico y vulnerabilidad de acuíferos, sin embargo, específicamente en la zona de estudio, a la fecha no se han realizado estudios desde el punto de vista hidrogeoquímico que contribuyan a una investigación profunda y detallada de los niveles de concentración de contaminantes metales pesados Níquel, Cadmio, Plomo y Zinc, que permitirían conocer los niveles naturales de las concentraciones de estos elementos y saber si existe un incremento en la concentración de estos debido a las influencia de las fuentes potenciales de contaminación que se ubican en la cuenca del río San Antonio, principalmente por mala disposición de los residuos sólidos urbanos, fuga de lixiviados provenientes de los alrededores del relleno sanitario, uso de plaguicidas y fertilizantes en la agricultura y otras actividades antropogénicas características e identificadas en la zona de estudio.

La hidrogeoquímica al proveer información sobre la distribución de los elementos y su evolución espacial y temporal en el sistema hídrico, ayuda a caracterizar los acuíferos y definir problemas ambientales y planes de remediación. Las técnicas de análisis hidrogeoquímicas aportan contribuciones importantes a los estudios hidrogeológicos.

Y siendo que los Laboratorios del Centro de Investigaciones y Aplicaciones Nucleares, CIAN, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador posee la instrumentación para realizar investigaciones hidrogeoquímicas se optó por realizar este estudio en la cuenca del río San Antonio. La técnica hidrogeoquímica aplicada en esta investigación, fue la fluorescencia de rayos X por reflexión total, que permitió generar información cuantitativa altamente confiable de los niveles de concentración de metales pesados que estaban presentes en las muestras seleccionadas para este estudio: matrices de suelo, sedimento de río, agua superficial y agua subterránea y en matrices de biomasa de cultivos posiblemente afectados y representativos de la cuenca del Río San Antonio.

Los resultados obtenidos de la medición de concentración de metales pesados medidos con la técnica analítica hidrogeoquímica de fluorescencia de rayos X por

reflexión total en la cuenca del río San Antonio, generarán una línea base de los niveles de concentración de los contaminantes metales pesados Níquel, Cadmio, Plomo y Zinc en agua, suelo y sedimento de río y también se realizarán cálculos de los coeficientes de absorción de metales pesados Níquel, Cadmio, Plomo y Zinc en los cultivos muestreados representativos de la zona, datos que servirán de insumo para otros estudios relacionados similares, poder monitorear el comportamiento de la presencia de estos metales pesados en la cuenca y realizar otras investigaciones relacionadas, como evaluación de dispersión de contaminantes y pluma de contaminación para luego poder generar estrategias de mejora a la actual gestión de los residuos sólidos urbanos y fuentes potenciales puntuales y difusas.

## **1.7 Alcance y Limitaciones de la Investigación**

### **1.7.1 Alcances**

El desarrollo de esta investigación, cuantificó la presencia de los metales pesados plomo, níquel, cadmio, zinc en la zona de la cuenca del río San Antonio, dado que en la zona existen fuentes potenciales de contaminación puntual y difusa que podrían estar generando la presencia de estos metales pesados y posiblemente contaminación del acuífero que subyace bajo la zona, que es donde están ubicadas las fuentes de contaminación. Además, se realizó una comparación entre los resultados obtenidos en la zona intermedia (cerca al relleno sanitario municipal) y la zona aguas abajo (después del relleno sanitario) y una zona de referencia (ubicada aguas arriba, antes de pasar por el relleno sanitario), para analizar la variación y el comportamiento de los niveles de concentración de los metales pesados provenientes de las fuentes de contaminación puntual y difusa identificadas en la zona de estudio. Los muestreos se realizaron para la época lluviosa, y los análisis se hicieron utilizando la técnica de fluorescencia de rayos X por reflexión total. Las muestras analizadas fueron sedimentos de río, cuerpos de agua, superficiales y subterráneos, suelos y biomasa de cultivos de las zonas posiblemente afectadas, para conocer concentraciones puntuales de los contaminantes que ayuden a establecer hipótesis de la dispersión de los mismos. Finalmente se generaron gráficos y mapas con los datos obtenidos de las concentraciones para la interpretación de los resultados.

### **1.7.2 Limitaciones**

Dentro de las principales limitaciones observadas para realizar la investigación pueden citarse las siguientes:

- a) La etapa de digestión de las muestras para el análisis de las concentraciones de los metales pesados en las diferentes muestras analizadas en la investigación requirió de la reparación del digestor durante la realización de la etapa experimental, lo que requirió de un tiempo considerable.
- b) Los sitios de muestreo han sido seleccionados de forma tal que se encuentren distribuidos espacialmente en la cuenca, en función de su ubicación en relación a las fuentes potenciales de contaminación puntual y difusa identificadas en la cuenca del río San Antonio y el grado de accesibilidad para la toma de muestras, no se ha considerado un número muestral estadístico.
- c) Debido al corto período del desarrollo de la investigación no se podrá apreciar la variabilidad temporal para un año hidrológico completo en los sitios de muestreo, por lo tanto no se considera dicha variabilidad en el análisis de resultados, el análisis solo se hizo para la época lluviosa.
- d) El secado de las muestras de sedimento de río obtenidas por el método de digestión al vacío, no se pudo lograr para su análisis por la técnica de fluorescencia de rayos X por reflexión total, por lo que hubo necesidad de aplicar otra metodología para el tratamiento previo de las muestras de sedimento y analizarlas por otra técnica, la de emisión-transmisión, lo que generó atrasos y debido al corto tiempo que se tenía para finalizar la investigación, solo se logró llegar al cálculo de áreas de los picos característicos de los elementos analizados y se incluyen estos datos en el anexo 12 para que se complemente su análisis en futuras investigaciones.

### **1.8 Antecedentes**

Se han desarrollado diversos estudios relacionados con la contaminación de acuíferos y la vulnerabilidad de acuíferos en los alrededores de la zona de estudio, entre ellos se puede citar los siguientes:

**1. “Modelo conceptual y vulnerabilidad intrínseca del acuífero Quezaltepeque-Nejapa”**, por César Alvarado; tesis desarrollada por estudiante de la carrera Licenciatura en Física, de la Universidad de El Salvador (UES) en el 2007, en la cual se presenta información teórica sobre relieve nacional, geología, prospección geofísica, infiltración del agua en el suelo y vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos. La metodología usada para la tesis fue una investigación de los parámetros físicos de la zona (geología, litología, precipitación, evapotranspiración, hidrogeología, etc.) y posteriormente una medición de otros parámetros in situ (nivel freático, pruebas de infiltración, entre otros).

**2. “Evaluación Geoeléctrica del Antiguo Botadero de Residuos Sólidos Urbanos de Mariona”**, investigación realizada por Francisco Paul Rivera Acosta y Osmany René José Aparicio Monjaras, estudiantes de la Licenciatura en Física, de la Universidad de El Salvador (UES) en el 2009.

Esta investigación estudió el ex botadero de Mariona el cual se encuentra ubicado en el límite divisorio de los municipios de Apopa y Nejapa, en el departamento de San Salvador, debido a que este no posee una membrana impermeable en la parte inferior, constituye un grave problema ambiental al ser un foco de contaminación para los recursos hídricos de la zona. El método de evaluación de este ex botadero de Mariona consistió en prospecciones geoeléctricas, pruebas de infiltración, y la obtención de las líneas de flujo del agua subterránea.

En esta investigación se realizaron 3 sondeos eléctricos verticales con el arreglo Schlumberger y el arreglo Dipolo-Dipolo, con los cuales a partir su análisis se encontraron los siguientes resultados, se logró evidenciar la presencia de lixiviados con valores de resistividades aparentes de 4  $\Omega$ -m a 8  $\Omega$ -m, a profundidades de 10 a 18 metros, lo cual representa un alto riesgo al acuífero que se encuentra a una profundidad que oscila entre los 5 hasta los 30 m. El promedio de infiltración en esta zona es de 1.4 mm/h.

Se obtuvieron los valores de infiltración de 0.6 mm/h sobre el botadero debido a la capa de arcilla que fue colocada durante el cierre técnico llevado a cabo por la empresa MIDES en el año de 2001, mientras que los alrededores del botadero presentaron una velocidad de infiltración de 2.1 mm/h, debido a que el botadero está ubicado sobre el miembro geológico s4. Piroclastitas ácidas y epiclastitas volcánicas subordinadas (*Tierra blanca*), lo cual representa un alto riesgo a los recursos hídricos de la zona. Con la ubicación de nivel freático de los pozos cercanos al botadero se determinó el gradiente hidráulico el cual tiene un valor de

0.019 con una dirección Sur – Este, lo que representa un alto riesgo para el recurso hídrico que se encuentra en dicha dirección.

Dados los resultados obtenidos, los investigadores recomendaron que se realizaran a corto plazo medidas de remediación en la zona para la protección de los recursos hídricos de la zona, sobretodo en el nacimiento del río Chacalapa, el cual es un abastecedor de agua potable a ciertas poblaciones a sus alrededores.

**3. “Evaluación de la Vulnerabilidad de las Aguas Subterráneas Aplicada al Antiguo Botadero de Desechos Sólidos de Mariona, Departamento de San Salvador”**, presentado por Gonzalo de Jesús Mena López y Juan Orlando Montes García, estudiantes de Ingeniería Civil de la Universidad de El Salvador (UES) en el 2010, quienes en la investigación aplicaron los métodos GOD y DRASTIC para evaluar la vulnerabilidad de las agua subterránea en el sector donde se localiza el antiguo botadero de desechos sólidos de Mariona que tuvo por objetivos:

- a) Crear mapas de vulnerabilidad de las aguas subterráneas, a través de la aplicación del método GOD y del método DRASTIC
- b) Comparar los resultados obtenidos de la evaluación de la vulnerabilidad

Entre las conclusiones más importantes de esta investigación encontraron que según los resultados de vulnerabilidad obtenidos se puede determinar que este lugar no era el adecuado para establecer un botadero a cielo abierto, ya que la zona presenta vulnerabilidades altas y la condición actual de este antiguo botadero no es la adecuada, ya que las medidas que se hicieron en el cierre técnico están dañadas y algunas han desaparecidos totalmente y que, el mapa de vulnerabilidad generado de las aguas subterráneas a la contaminación de la zona donde se ubica el antiguo botadero de Mariona es una herramienta importante, que permitirá al complementarse con un estudio de la contaminación actual, determinar el riesgo que se tiene por la presencia de este antiguo botadero en el lugar.

**4. “Muestreo de la calidad del agua superficial del Río San Antonio”** Realizado por la alcaldía de Nejapa en el marco del Proyecto de Ordenamiento Territorial de su municipio, para evaluar la calidad de agua del río San Antonio con apoyo del Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz y de la Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas”, en el cual se generaron algunos modelos teóricos de algunos parámetros fisicoquímicos de calidad de agua que se midieron en la investigación: Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda bioquímica de oxígeno (DBO), Potencial de Hidrógeno (pH), Oxígeno Disuelto

(OD), Sólidos Totales (ST), Sólidos Suspendidos (SS), Tal como puede verse, este estudio no incluyo el contenido de metales pesados,

**5. “Caracterización de los riesgos geológicos y dimensionamiento de los recursos hidrogeológicos”**, que generó las directrices para la ordenación territorial del Municipio de Nejapa, con apoyo del Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz y de la Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas”, 2003.

## **1.9 Clima**

Según Ponce de León, 2003 el clima de la región tiene dos zonas marcadas la estación seca que comprende 157 días del 14 noviembre al 19 de abril y una estación lluviosa de 149 días del 21 de mayo hasta 16 de octubre, aparte entre estas dos etapas existen dos períodos de transición a la estación siguiente en la cual solo se presentan lluvias copiosas y aisladas. Otra característica importante del clima es que en la región predominan los vientos con rumbos aproximados de NE y del Norte. Se tiene una precipitación anual promedio de 1800 mm

## **1.10 Hidrología**

El río San Antonio tiene un área de 57.6Km<sup>2</sup> y sus límites son: al norte con cerro Ojo de Agua y loma el Quebracho, al oeste con loma Las Mesas, al sur con el volcán de San Salvador, y al este con el cerro de Nejapa, teniendo una elevación mayor en el volcán de San Salvador (1960 m s.n.m.) y la menor a 350 m s.n.m. en la desembocadura del río San Antonio se encuentra el río Acelhuate. El río San Antonio nace a una elevación de 450 m s.n.m. en la falda norte del volcán San Salvador (Urrutia-Arias 2007)

## **1.11 Geología**

La zona tiene una diversidad de materiales volcánicos como: lavas, tobas (talpetate), materiales piroclásticos (cenizas volcánicas o tierra blanca y lapilli) y depósitos sedimentarios. Estos materiales se distribuyen en tres formaciones geológicas:

1. Formación San Salvador (acuífero de Nejapa)
2. Formación Cuscatlán
3. Formación Bálsamo (cerro e Nejapa).

### **1.11.1 Morfología**

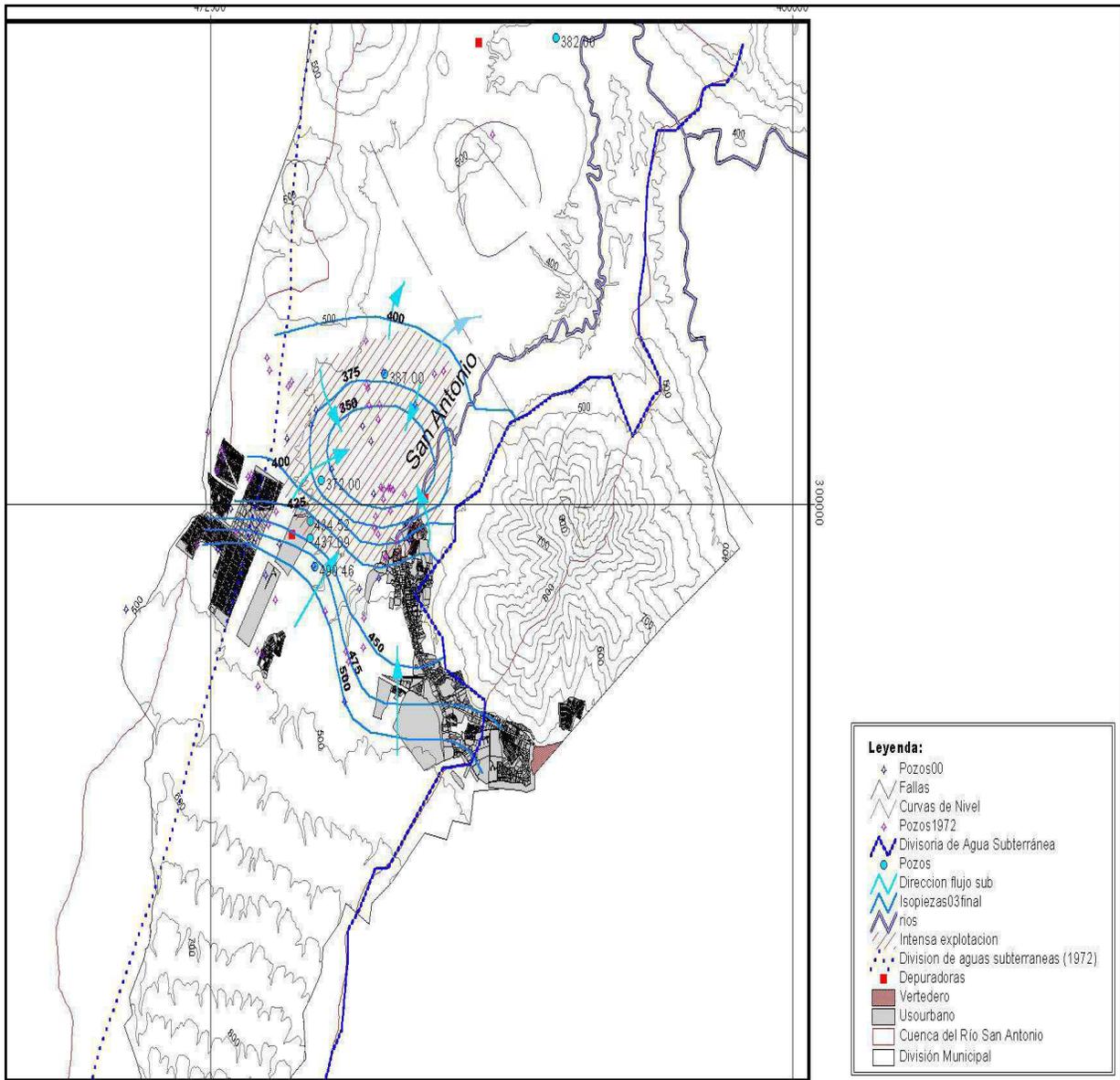
La topografía de este presenta algunos accidentes que se constituyen en grandes mojones del territorio: Cerro de Nejapa, Volcán de San Salvador, Cerro El Picudo, Cerro El Bonete, Cerro La Tabla (DMN 2001).

### **1.11.2 Usos del Suelo**

Los suelos en esta región tienen muchos usos entre los cuales se pueden mencionar las actividades agrícolas los principales cultivos son: caña de azúcar (9%), granos básicos (57%), café (23%) (POTN 2004).

### **1.12 Dirección del flujo de agua subterránea**

En el mapa de la figura 1.2, se puede ver la dirección del flujo de agua subterránea en la cuenca del río San Antonio.



**Figura 1.2 Dirección del flujo de agua subterránea en la cuenca del río San Antonio**

Tomado de Caracterización de los riesgos geológicos y dimensionamiento de los recursos hidrogeológicos, directrices para la ordenación territorial del Municipio de Nejapa, 2003

## **2. Marco Teórico**

### **2.1 Procesos de contaminación en acuíferos por fuentes potenciales de contaminación difusa y puntual (Rivera y Osmany, 2010).**

#### **a) Aguas superficiales**

Se suelen distinguir dos tipos de procesos contaminantes de las aguas superficiales: las fuentes puntuales y las fuentes no puntuales.

- Las fuentes puntuales descargan contaminantes en localizaciones específicas a través de tuberías y alcantarillas: en el caso de que se realicen descargas de lixiviados a cuerpos de agua desde rellenos sanitarios o espacios destinados al almacenamiento temporal de RSU.
- Las fuentes no puntuales son grandes áreas de terreno que descargan contaminantes al agua sobre una región extensa: promontorios de basura que contaminan aguas superficiales cuando es época lluviosa y los promontorios de basura en las cuencas de ríos, a los alrededores de lagos, que generan una contaminación directa a los cuerpos de agua.

#### **b) Aguas subterráneas**

Se suelen distinguir dos tipos de procesos contaminantes de las aguas subterráneas: los puntuales que afectan a zonas muy localizadas, y los difusos que provocan contaminación dispersa en zonas amplias, en las que no es fácil identificar un foco de contaminación principal. (Ver Figura 2.1)

Las actividades que suelen provocar contaminación puntual son:

- Lixiviados de vertederos de residuos urbanos y fugas de aguas residuales que se infiltran en el terreno.
- Lixiviados de vertederos industriales, depósitos de residuos radiactivos o tóxicos mal aislados, gasolineras con fugas en sus depósitos de combustible, etc.
- Pozos sépticos y acumulaciones de purines procedentes de las granjas.

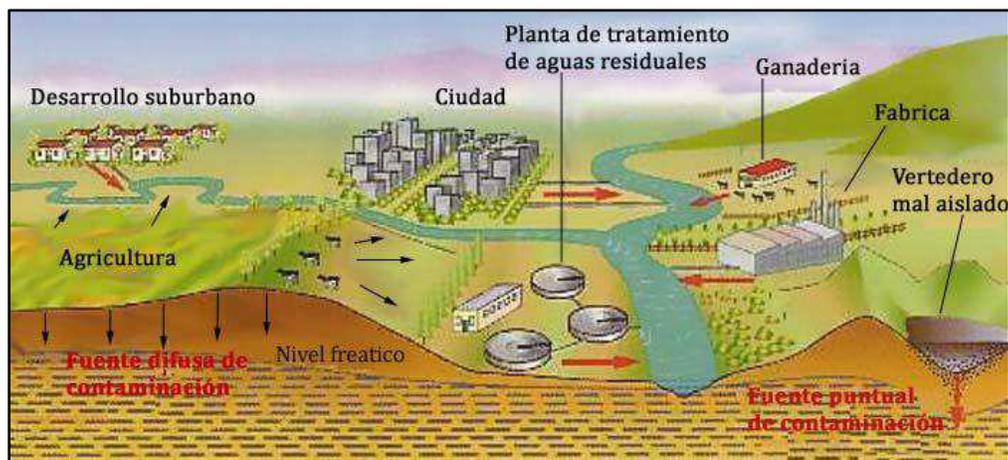
Este tipo de contaminación suele ser más intensa junto al lugar de origen y se va diluyendo al alejarse. La dirección que sigue el flujo del agua del subsuelo influye de forma muy importante en determinar en qué lugares los pozos tendrán agua contaminada y en cuáles no. Puede suceder que un lugar relativamente cercano al

foco contaminante tenga agua limpia, porque la corriente subterránea aleja el contaminante de ese lugar, y viceversa. (Ver Figura 2.2, 2.3, 2.4).

La contaminación difusa suele estar provocada por:

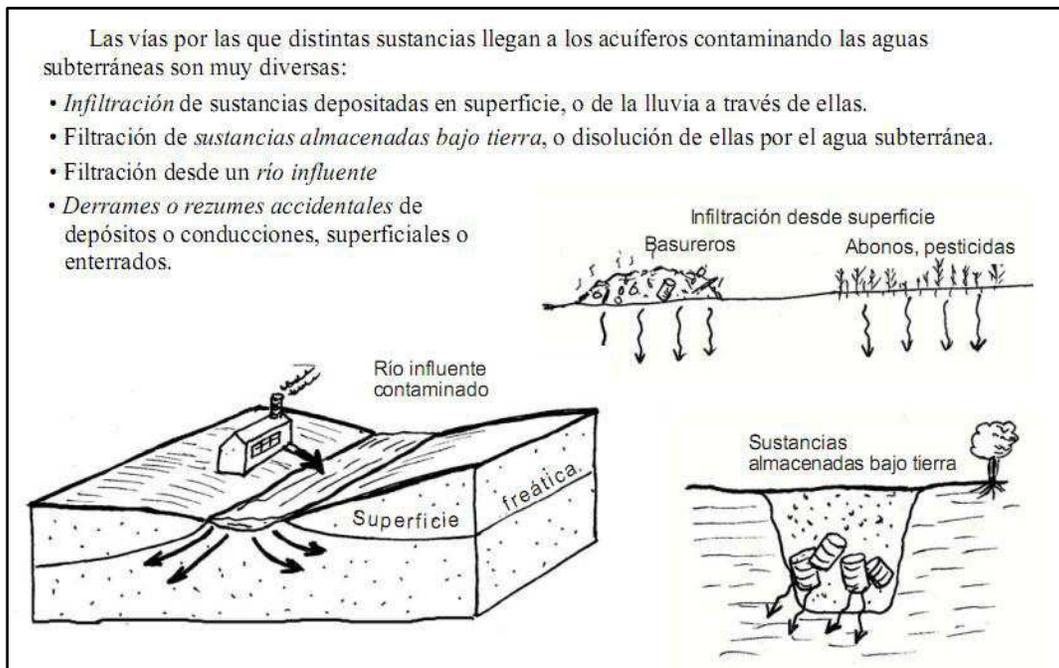
- Uso excesivo de fertilizantes y pesticidas en la agricultura o en las prácticas forestales.
- Explotación excesiva de los acuíferos que facilita el que las aguas salinas invadan la zona de aguas dulces, por desplazamiento de la interfase entre los dos tipos de aguas.

Este tipo de contaminación puede provocar situaciones especialmente preocupantes con el paso del tiempo, al ir cargándose de contaminación, lenta pero continuamente, zonas muy extensas.

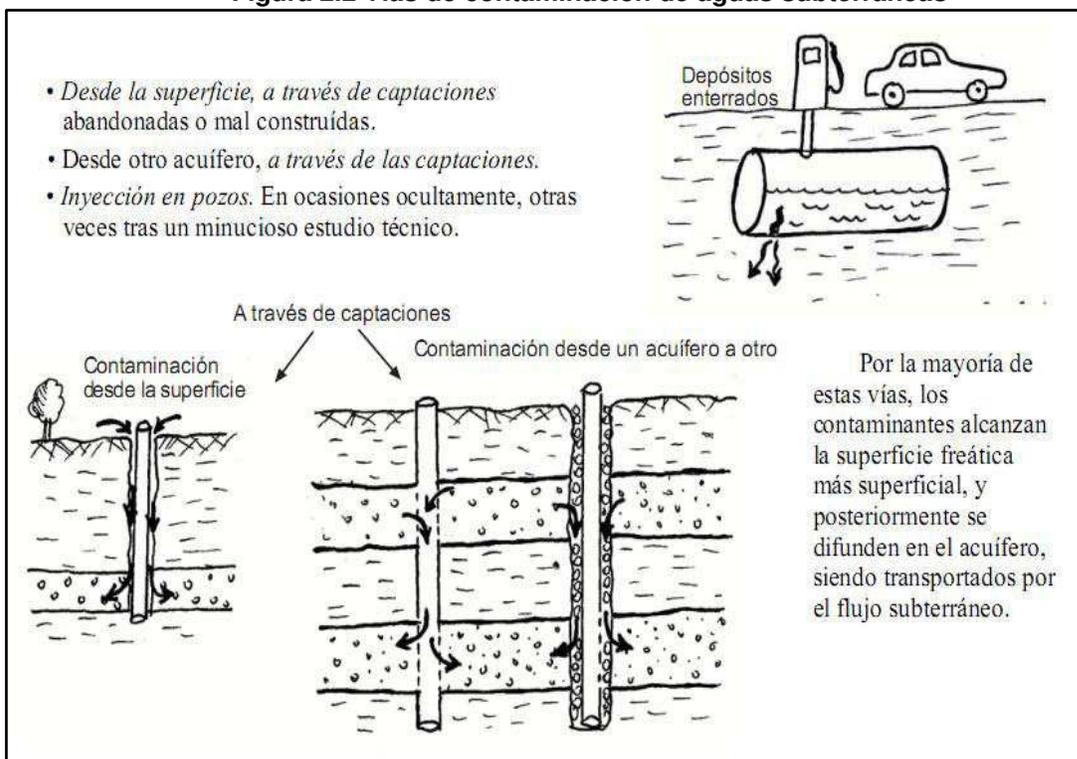


**Figura 2.1 Procesos contaminantes de las aguas subterráneas**

Fuentes puntuales y difusas de contaminación de las aguas subterráneas



**Figura 2.2 Vías de contaminación de aguas subterráneas**



**Figura 2.3 Vías de contaminación de aguas subterráneas**

## 2.2 Impacto ambiental al recurso hídrico por los rellenos sanitarios (Rivera y Osmany, 2010).

La contaminación del agua puede darse en rellenos sanitarios que no han sido diseñados siguiendo las normas técnicas adecuadas, de esa manera puede haber contaminación de aguas subterráneas o de cuerpos de agua superficiales por agua de escorrentía. De igual manera puede existir contaminación en el agua en el caso específico de la quema de basura, si las partículas producidas llegan hasta los cuerpos de agua.

La disposición no apropiada de residuos puede provocar la contaminación de los cursos superficiales y subterráneos de agua.

- Aguas Superficiales: los ríos, lagos, lagunas, quebradas, océanos.
- Aguas subterráneas: pozos, manantiales.

La contaminación de las aguas subterráneas ocurre debido a la filtración de lixiviados a través del suelo, ya que este absorbe los lixiviados y los lleva hasta donde se encuentran las fuentes de agua. El tratamiento de estas fuentes de agua es altamente costoso y puede llegar a afectar comunidades que dependen únicamente de este recurso.

**Lixiviados:** Son los líquidos producidos cuando el agua percola a través de cualquier material permeable. Puede contener tanto materia en suspensión como disuelta, generalmente se da en ambos casos.

La calidad de los lixiviados en un relleno sanitario varía grandemente en el tiempo, al igual que con el tipo de relleno sanitario que se tenga (ver Tabla 2.1)

**Tabla 2.1 Comparación de características típicas de los lixiviados de rellenos sanitarios**

Característica	Lixiviado Joven	Lixiviado Viejo
DBO	Muy alto	Bajo
DQO	Muy alto	Alto
Amoniaco	Muy alto	Alto
Fósforo	Usualmente deficiente	Suficiente
Ph	Muy alto	Bajo
Detergentes	Muy alto	Bajos

<b>Sales disueltas</b>	Muy alto	Bajos
<b>Agentes Incrustantes (Fe, Ca, Mg)</b>	Muy alto	Bajos
<b>Metales Pesados</b>	Muy alto	Bajos

Fuente: Giraldo E. (1997)

### **2.3 Residuos sólidos característicos presentes en los desechos generados por los hogares (Alvarado, Amador y Cuellar, 2012)**

En tabla 2.2 se muestra la lista de algunos materiales que no deben ser dispuestos en la basura común y que son generados en los hogares, es decir. La que se lleva en los camiones recolectores de basura en el Salvador

**Tabla 2.2 Listado de desechos sólidos generados por los hogares**

Pinturas	Pañales desechables (daipers)
Baterías alcalinas y de automotor	Chicles colillas de cigarro
Aceite de automóviles	Ropa botones zippers
Aceites y grasas comestibles	Materiales elaborados con durapax
Llantas	Materiales multilaminados
Electrodomésticos	Discos compactos (CD's)
Recipientes, contenedores de germicidas fungicidas, etc.	Lámpara fluorescentes, incandescentes, ahorradoras
Medicinas vencidas y sus contenedores	Recipientes de artículos de higiene personal
Recipiente contenedores de medicamentos	Materiales plásticos sucio o con residuos orgánicos o inorgánicos
Juguetes	Vidrio
Dispositivos electrónicos	Cables eléctricos
Teléfonos y teléfonos móviles	Materiales de construcción
Computadoras y sus partes	Cartuchos de tinta de impresora

Fuente: Tomado de Tesis Alvarado, Amador y Cuellar, 2012

En la tabla 2.3 se muestra las áreas de aplicación las pilas primarias y secundarias, las cuales son fuentes de contaminación de metales pesados y forma parte de los desechos sólidos generados por los hogares.

**Tabla 2.3 Áreas de aplicación de las pilas primarias y secundarias**

<b>Tipos De Pilas</b>	<b>Ejemplos De Áreas De Aplicación</b>
<b>Pilas primarias</b>	
Al/Mn	Grabadoras, linternas
Zn/C	Relojes de cocina, relojes despertadores
Litio	Cámaras
Pilas redondas R9	Juguetes, relojes, audífonos
<b>Pilas secundarias</b>	
Ni/Cd	Taladros, cepillos de dientes eléctricos
NiMH/Li-ion	Celulares, computadoras portátiles
Pilas redondas R9	Calculadoras, computadoras

**Fuente: Tomado de Tesis Alvarado, González y Mendoza, 2010**

Dependiendo del sistema electroquímico, algunas pilas contienen sustancias peligrosas como el Mercurio, el Cadmio y el Plomo. La Tabla 2.4 muestra un resumen de las principales sustancias contenidas en pilas y acumuladores portátiles en porcentaje peso. (La composición del material varía significativamente dependiendo del tamaño de la pila, el tipo y composición; todas promedios)

**Tabla 2.4 Principales sustancias contenidas en las pilas**

Sistema	METAL									ELECTROLITOS					NO MET
	Pb	Ni	Cd	Zn	Mn	Ag	Hg	Li	Fe	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	KOH	NH <sub>4</sub> Cl, ZnCl <sub>2</sub>	Electr organ	H <sub>2</sub> O	Plásticos
Pb/ PbO <sub>2</sub>	65									8				17	10
NiCd		20	15						45		5			10	5
Acidos				20	25				20				5		
Alcalinas				20	30				20					10	20
Zn/AgO <sub>2</sub>				10		30	1	40		3				10	15
Zn/HgO				10			30		40		3	6		10	
Zn/O <sub>2</sub>				30			2		45		4			6	11
Li/MnO <sub>2</sub>					30				50			8		8	12

Fuente: Tomado de Tesis Alvarado, González y Mendoza, 2010

## **2.4 Experiencias en El Salvador en disposición de residuos sólidos en botaderos a cielo abierto y rellenos sanitarios (Rivera y Osmany, 2010)**

Para resolver el uso de botaderos de desechos sólidos a cielo abierto se han propuesto muchas soluciones, una de ellas consiste en crear rellenos sanitarios, donde se aplican medidas ingenieriles sencillas tales como: separación de los residuos en plantas de transferencias, la compactación de estos en estratos que son cubiertos con tierra, instalación en su base de geomembranas para no permitir la percolación de lixiviados, y el uso de capas de arcillas para controlar la permeabilidad, entre otras medidas para mejorar el tratamiento de los desechos. Este método, denominado relleno sanitario, fue usado por primera vez en California en 1934, mientras que la primera experiencia en El Salvador en este ámbito se remonta al año 2001 con la apertura del relleno sanitario MIDES, ubicado en el municipio de Nejapa, San Salvador.

En nuestro país la disposición de residuos sólidos en botaderos a cielo abiertos ha sido en algunas partes una práctica habitual, pero por decreto presidencial # 42, se ha optado por sustituir los botaderos de desechos sólidos a cielo abierto por rellenos sanitarios.

En El Salvador, después de clausurado el botadero de la finca las Margaritas en el municipio de Soyapango en el año de 1991, con una acumulación de promedio de 1, 262,967 Toneladas de residuos (Nottingham, Márquez 1998), la entonces administración de la Alcaldía de San Salvador a cargo del Dr. Armando Calderón Sol, toma la decisión de habilitar un terreno propiedad privada y otra parte del ingenio el Ángel para convertirlo en el botadero del área metropolitana de San Salvador. Teniendo este una vida útil hasta el año 2001-2002, año en que se realizó el cierre técnico. El antiguo botadero recibía los desechos recolectados de 23 municipios, más el de las empresas privadas, generando aproximadamente 1,700 toneladas de desechos diarias, que representa el 41% de la generación de todo el país. Acumulando al final aproximadamente 2, 300,000 Toneladas métricas. En el año de 1998, cuando el botadero estaba llegando al límite de su capacidad se realizó un estudio en que se encuentran elementos contaminantes en el agua subterránea y superficial del antiguo botadero (Nottingham, Márquez 1998). En los análisis realizados a las aguas superficiales se encontraron una alta concentración de metales pesados, concentraciones de aluminio 31 veces el criterio de la norma establecida, coliformes (23 veces), boro (420 veces), DQO (282 veces), nitrógeno total (10 veces), fosfatos (720% el límite), etc. Para los análisis de aguas subterráneas se tomaron muestras de cuatro nacimientos de la zona y

de siete pozos artesanales y un pozo perforado. Se encontraron concentraciones elevadas de metales pesados como Plomo, Manganeso, Cadmio, Níquel, Aluminio, Boro, Nitritos, entre otros. Estos niveles de contaminación representan un grave riesgo para las comunidades que viven en los alrededores del ex botadero de Mariona. (Nottingham, Márquez 1998).

**Tabla 2.5 Resumen cronológico**

Evento	Fecha
La administración de la Alcaldía de San Salvador habilita el sitio donde funciono el ex botadero de Mariona que fue asignado para el depósito de los desechos producidos por el área metropolitana de San Salvador	1991
Realización de estudio de la capacidad del antiguo botadero de mariona, realizado por la Universidad Luterana, encontrando contaminantes en el recurso hídrico de la zona	1998
La administración de la Alcaldía de San Salvador realiza el cierre técnico del Antiguo Botadero de Mariona conjuntamente con la OPAMSS y la empresa MIDES y comenzar así el uso del Relleno Sanitario administrado por la empresa MIDES en el municipio de Nejapa.	2001

**Fuente: Tomado de Tesis Rivera y Osmany, 2010**

## **2.5 Contaminación de suelos por metales pesados (Huertos, E. G. y Baena, A. R., 2008)**

Los metales pesados, y en general los elementos traza, están presentes en relativamente bajas concentraciones ( $< \text{mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ ) en la corteza terrestre, los suelos y las plantas. La presencia de concentraciones nocivas (anomalías) en los suelos es una degradación especial denominada contaminación. Los elementos traza en los suelos pueden ser de origen geogénico o antropogénicas. Los elementos de origen geogénico proceden de la roca madre, de actividad volcánica, o de la lixiviación de mineralizaciones. Los metales pesados antropogénicas derivan de residuos peligrosos, procedentes de actividades industriales, minería e industria agrícola, y residuos sólidos urbanos (RSU). Legalmente, se entiende por contaminación la producida por estos contaminantes. La contaminación del suelo es hoy en día una de los temas ambientales más importantes para la Sociedad y la Administración. La caracterización, evaluación y remediación de un suelo contaminado es uno de los principales retos ambientales por abordar en los próximos años. La peligrosidad de los contaminantes en los suelos viene dada no sólo por su concentración total, sino especialmente por su disponibilidad. La movilidad de

los elementos traza depende de su especiación, y también está afectada por diversos parámetros geoedáficos. En los últimos años se han obtenido diferentes aproximaciones a la especiación de elementos traza usando métodos directos e indirectos. La biodisponibilidad de los metales desde los suelos a las plantas y otros organismos y el riesgo para la salud siguen siendo cuestiones por resolver.

- **Movilidad y sorción de metales en el ambiente**

Los metales y metaloides obedecen procesos dinámicos de biogeoquímica en zonas de interés donde se llevan a cabo la mayor parte de interacciones químicas y físicas con el suelo. La heterogeneidad del sustrato y la cercanía del ambiente a la superficie, donde las interacciones de complejación tienen lugar e involucran a la roca, tipo suelo, agua, aire y organismos biológicos presentes, son los que regulan el hábitat natural y determinan la disponibilidad de recursos indispensables para la vida (National Research Council 2001).

Los procesos biogeoquímicos afectan el estado de oxidación de los metales, controlando su solubilidad, movilidad, biodisponibilidad y toxicidad.

Los metales ingresan en forma de iones a la solución del suelo (fase líquida-acuosa) (Figura 2.4) y junto a todas demás especies disueltas en ella, comienzan una competencia de reacción a seguir. La sorción de metales, incluyendo a algunos compuestos alcalinos (como el potasio y el calcio), a metales de transición (como el cadmio y el níquel) en minerales inorgánicos (arcillas minerales, óxidos metálicos y oxihidróxidos) y sustancias orgánicas húmicas son de los mecanismos más importantes que controlan el destino, transporte y biodisponibilidad de los metales en los ambientes de suelo y agua. Por lo que el suelo puede contener metales como iones libres, complejos ligados a materia orgánica o a inorgánica.

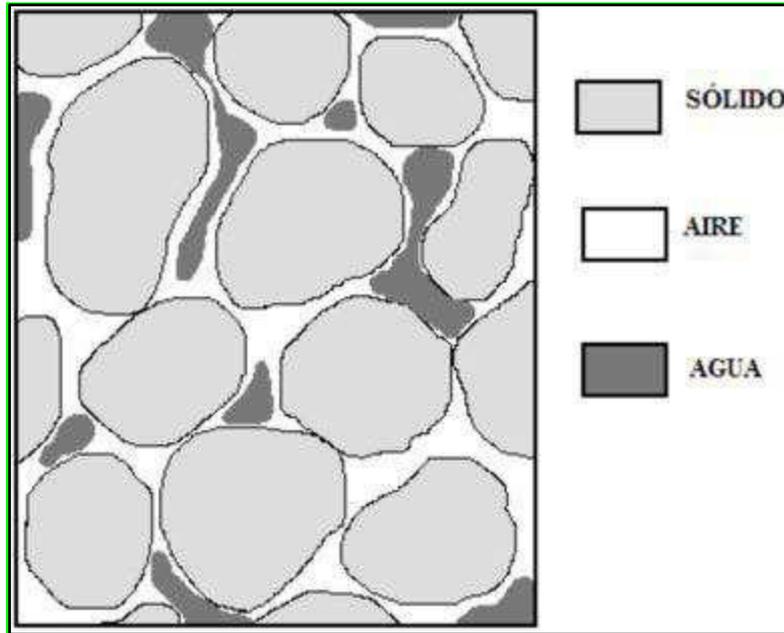


Figura 2.4 Fases del suelo: Sólido-Aire- Agua



Figura 2.5 Rutas y procesos biogeoquímicos de los metales que se pueden llevar a cabo en el suelo (Sparks, 2005).

En la Figura 2.5 se ilustra cómo los resultantes de estas reacciones de complejación y los iones libres pueden ser tomados por las plantas, ser retenidos en superficies minerales, en la materia orgánica natural del suelo y microbiota, o ser transportados al subsuelo por lixiviación o por transporte

facilitado por coloides, precipitar como sólidos y quedar como partículas ocupando la fase porosa del suelo. Las raíces y microorganismos afectan el transporte y solubilidad de metales en el suelo. Algunos microorganismos pueden metabolizar ciertos metales como el mercurio, selenio, estaño, arsénico y cromo a través de reacciones de oxidación-reducción y de metilación (Adriano, 2001; Sparks, 2005; Morris; 1992). Por ejemplo, el caso del mercurio sus formas metiladas (orgánicas) son mucho más tóxicas que sus inorgánicas, además de su bioacumulación por cadenas tróficas en los organismos. La metilación del Hg puede darse de forma anaerobia (en la que se ven involucradas las bacterias llamadas pseudomonas) o aerobia (en presencia de oxígeno). Ambos procesos dan como resultado metilmercurio, sin embargo el que se presenta en el ambiente se produce mayormente por procesos aerobios, donde el sulfuro de mercurio se combina con el oxígeno formando sulfatos y sulfitos, dejando libre el  $Hg^{2+}$  en forma soluble. Cuando estos compuestos potencialmente tóxicos son movilizados, generan graves problemas de salud a la población ya sea a través de la inhalación por partículas en el aire o por consumo de agua de fuentes contaminadas por lixiviación. Los elementos principales como el arsénico (As), el cadmio (Cd), el cobre (Cu), el mercurio (Hg) y el plomo (Pb), y recientemente el antimonio, han estado históricamente y actualmente en la mira de la salud pública.

La toxicidad del antimonio y su interacción biológica dependen de su forma química. El organoantimonio y las especies metiladas del metal están presentes en el ambiente; sin embargo, sus concentraciones tan bajas y la falta de una adecuada metodología para la determinación de estas bajas concentraciones hacen muy difícil su detección por medios analíticos.

Varios mecanismos de retención de metales están relacionados con el sólido (sorbente) con el que interactúan. Para los sistemas naturales en suelos y sedimentos, están las arcillas minerales, los óxidos metálicos y los oxihidróxidos, así como las sustancias húmicas asociadas a la materia orgánica. Estos sorbentes se caracterizan por una gran carga superficial y alta superficie de carga, las cuales juegan un rol primordial en la porción de metales. La superficie de carga puede ser negativa y no cambiar con respecto al pH en el caso de minerales arcillosos de carga constante como lo son la montmorillonita y la vermiculita. Esta carga constante resulta de la sustitución iónica en la estructura de la arcilla (sustitución isomórfica). Sin embargo, esta superficie de carga puede ser variable dependiendo de los cambios de pH debido a los grupos funcionales en la superficie de los sorbentes. Arcillas minerales como la caolinita presentan esta variabilidad (Sparks, 2005). Fuerzas químicas y físicas son involucradas en la sorción de metales de una solución. Las físicas son relacionadas a las fuerzas de van der Waals y a electrostáticas de complejación de esfera interna y externa. Las fuerzas

químicas resultan de interacciones más cercanas, las cuales incluyen complejación de esfera interna involucrando mecanismos de intercambio, enlaces covalentes y puentes de hidrogeno (Stumm, 1992; Sparks, 2005). La sorción de metales (retención), incluyendo a algunos compuestos alcalinos (como el potasio y el calcio), a metales de transición (como el cadmio y el níquel) son retenidos en mineral esinorgánicos (arcillas minerales, óxidos metálicos y oxihidróxidos) y las sustancias orgánicas húmicas son de los mecanismos más importantes que controlan el destino, transporte y biodisponibilidad de los metales en los ambientes de suelo y agua. De esta manera, el suelo puede contener metales como iones libres, complejos ligados a materia orgánica o a inorgánica. Así, los efluentes de procesos de minería fluyen hacia sedimentos y ríos llevan consigo una carga importante de metales pesados. Un buen ejemplo de este caso, es la extracción de oro con amalgama de mercurio. En estos procesos, el Hg es liberado a las aguas de los ríos y se convierte en parte de la carga de sedimentos del efluente. El oro adherido al mercurio es extraído quemando el Hg para eliminarlo y se emite a la atmósfera. Eventualmente el Hg regresa al suelo y a los sistemas de agua por deposición, incorporándose a los ecosistemas provocando amenazas a las especies que componen por medio de la cadena alimenticia, absorbiéndose y/o biocumulándose (Siegel, 2002).

## **2.6 Absorción y traslocación de metales pesados en las plantas (SolisDufflocq, 20 de mayo de 2005)**

Las plantas han desarrollado mecanismos altamente específicos para absorber, traslocar y acumular nutrientes (Lasat, 2000), sin embargo, algunos metales y metaloides no esenciales para los vegetales son absorbidos, traslocados y acumulados en la planta debido a que presentan un comportamiento electroquímico similar a los elementos nutritivos requeridos.

La absorción de metales pesados por las plantas es generalmente el primer paso de su entrada en la cadena alimentaria. La absorción y posterior acumulación dependen de (1) el movimiento de los metales desde la solución suelo a la raíz de la planta, (2) el paso de los metales por las membranas de las células corticales de la raíz, (3) el transporte de los metales desde las células corticales al xilema desde donde la solución con metales se transporta de la raíz a los tallos, y (4) la posible movilización de los metales desde las hojas hacia tejidos de almacenamiento usados como alimento (semillas, tubérculos y frutos) por el floema. Después de la absorción por los vegetales

los metales están disponibles para los herbívoros y humanos directamente o a través de la cadena alimentaria (John y Leventhal, 1995).

Otro mecanismo de ingreso de sustancias potencialmente tóxicas a las plantas, como los metales pesados, es mediante la absorción foliar. La disponibilidad a través de las hojas de algunos elementos traza provenientes de fuentes aéreas puede tener un impacto significativo en la contaminación de las plantas y también es de particular importancia en la aplicación de fertilizantes foliares (Kabata – Pendias, 2000). La absorción foliar es mediada por una fase de penetración cuticular y un mecanismo de carácter metabólico que considera la acumulación de los elementos contra un gradiente de concentración.

Las especies vegetales, incluidos algunos cultivos, tienen la capacidad de acumular metales en sus tejidos. Las plantas capaces de absorber y acumular metales por sobre lo establecido como normal para otras especies en los mismos suelos se llaman hiperacumuladoras y se encuentran principalmente en suelos que son ricos en metales por condiciones geoquímicas naturales o contaminación antropogénica. Las plantas hiperacumuladoras generalmente tienen poca biomasa debido a que ellas utilizan más energía en los mecanismos necesarios para adaptarse a las altas concentraciones de metal en sus tejidos (Kabata –Pendias, 2000).

La capacidad de las plantas para bioacumular metales y otros posibles contaminantes varía según la especie vegetal y la naturaleza de los contaminantes. Los tallos de arveja (*pisumsativum*) acumulan más cadmio que plomo en suelos tratados con dosis crecientes de metales. Estas diferencias en la absorción de metales puede ser atribuida a la capacidad de retención del metal por el suelo y a la interacción planta-raíz-metal (Naidu et al. 2003). El comportamiento de la planta frente a los metales pesados depende de cada metal

- **Absorción de Níquel en las plantas**

El Ni es un elemento esencial para el metabolismo de las plantas, aun cuando éstas requieren menos de 0,001 mg kg<sup>-1</sup> de peso seco (Mahler, 2003). En la corteza terrestre existe una similitud entre la distribución de Ni, Co y Fe. El Ni presenta afinidad con Fe y S, pero también con carbonatos, fosfatos, silicatos y óxidos de Fe y Mn. En los horizontes superficiales del suelo, el Ni aparece ligado a formas orgánicas, parte de las cuales pueden encontrarse en quelatos fácilmente solubles. Sin embargo, la fracción más soluble a las plantas parece ser la asociada a los óxidos de Fe y Mn. Generalmente, la solubilidad del Ni se encuentra inversamente relacionada con el pH del suelo. El Ni varía en el suelo

en un amplio rango de 0,2 a 450 mg kg<sup>-1</sup>, pero los valores típicos totales en los suelos del mundo varían entre 5 y 22 mg kg<sup>-1</sup>. El Ni es un elemento móvil en la planta, y se acumula preferentemente en hojas y semillas (Halstead et al., 1969). Aun cuando los síntomas de la exposición a altas concentraciones de Ni varían entre especies, es común que se produzca clorosis.

- **Absorción de Zinc en las plantas**

El Zn es un elemento esencial a las plantas, participa en varios procesos metabólicos y es un componente de varias enzimas. El contenido medio de Zn en la superficie de los suelos de diferentes países varía de 17 a 125 mg kg<sup>-1</sup>. La adsorción y desorción de Zn en el suelo se encuentra vinculada a los coloides orgánicos e inorgánicos. Existen dos mecanismos en la adsorción de Zn, uno en medio ácido relacionado con los sitios de intercambio catiónico, y otro, en medio alcalino asociado con la quimisorción que es influenciada por ligandos orgánicos. La movilización y lixiviación del Zn es mayor en suelos ligeramente ácidos al aumentar la competencia con otros cationes por los sitios de intercambio. La solubilidad y disponibilidad de Zn se correlaciona negativamente con la saturación de Ca y compuestos fosforados presentes en el suelo. El mecanismo mediante el cual el Zn es absorbido por las raíces no ha sido definido con precisión. Sin embargo, el ingreso predominante es como Zn hidratado y Zn<sup>+2</sup>, aun cuando pueden ser absorbidos como complejos y quelatos orgánicos. En la planta es frecuente que las raíces contengan mucho más Zn que la parte aérea. En condiciones de exceso, el Zn se puede acumular en la canopia.

- **Absorción de Cadmio en las plantas**

El Cd es un elemento de naturaleza química muy similar al Zn, ambos pertenecen al Grupo II de la Tabla Periódica y es sustituto de éste en forma de impureza en los minerales de Zn, por esto el Cd es un subproducto de las fundiciones de Zn y otros metales. El Cd también se presenta como sustituto del Ca en la apatita y la calcita, pudiendo aumentar sus impurezas en los fertilizantes fosfatados. El hecho que el Cd sea un metal pesado tóxico y Zn sea un elemento esencial hace que de esta asociación se puedan prevenir los posibles efectos tóxicos del Cd mediante un tratamiento preventivo con Zn (Das et al., 1998).

El Cd es uno de los metales traza del suelo más solubles (Jansson, 2002) y peligrosos, debido a su alta movilidad y que a en pequeñas concentraciones

tiene efectos nocivos en las plantas. Es soluble en estados oxidados. Bajo condiciones de reducción precipita como sulfuro de cadmio, por ello, el contenido de Cd en arroz es mayor si el cultivo se establece en suelos no anegados. Aunque el arroz se cultiva generalmente en suelos mal drenados, no hay una relación directa entre la concentración de Cd en el suelo y el arroz cosechado (Chen, 2000). La concentración de Cd en cereales, papas y verduras no es alta al compararla con la que hay en otros productos alimenticios como las semillas de maravilla, linaza, riñones e hígado de mamíferos y el hepatopáncreas de los mariscos (Jorhem y Sundström, 1993). Sin embargo, debido a que el consumo de cereales, papas y verduras es alto, el consumo total de Cd desde esas fuentes es considerable. Según la FAO y la OMS (1993), el valor límite sugerido para cereales y leguminosas de grano es de 0,1 mg kg<sup>-1</sup> de Cd. Se ha observado que las plantas de lechuga traslocan mucho más Cd a hojas y tallos que otros cultivos como ballico y pasto ovillo (*Dactylis glomerata* L.) (Jarvis et al., 1976). Las hojas nuevas de lechuga y espinaca tienen mayor acumulación de Cd que las hojas viejas (McKenna et al., 1993). En plantas de tomate el Cd se trasloca fácilmente a las partes aéreas, sin embargo, en los frutos se encuentra a niveles no detectables (Moral et al., 1994).

- **Absorción de plomo en las plantas**

El plomo varía en los horizontes superficiales del suelo en un rango de 3 a 189 mg kg<sup>-1</sup>, mientras que los valores medios para tipos de suelo varían entre 10 a 67 mg kg<sup>-1</sup> con un promedio de 32 mg kg<sup>-1</sup>. Se han informado valores altos de Pb (sobre 100 mg kg<sup>-1</sup>) para suelos de Dinamarca, Japón, Gran Bretaña e Irlanda, los que probablemente reflejan el impacto de la contaminación. Davies (1977) estableció que el límite superior para el contenido de Pb de un suelo normal podría ser 70 mg kg<sup>-1</sup>. La solubilidad del Pb puede disminuir mediante el encalado. En condiciones alcalinas el Pb precipita como hidróxido, fosfato o carbonato, y también se promueve la formación de complejos orgánicos estables de Pb. La acidez creciente del suelo puede aumentar la solubilidad de Pb, pero su movilización generalmente es más lenta que su acumulación en las capas de suelo ricas en materia orgánica. La localización característica del Pb cerca de la superficie del suelo, se relaciona principalmente con la acumulación superficial de materia orgánica.

En suelos contaminados con Pb, éste se encuentra comúnmente asociado a Cd y Zn (Hettiarachchi y Pierzynski, 2002). La barrera suelo-planta limita la transmisión de Pb a la cadena alimenticia, ya sea por procesos de inmovilización química en el suelo (Laperche et al., 1997), o limitando el crecimiento de las

plantas antes que el Pb absorbido alcance niveles que pueden ser dañinos para el ser humano. La absorción y traslocación de Pb por depositación atmosférica en las hojas puede llegar a ser un 73 a 95% del contenido de Pb total en plantas de hoja (como espinacas) y cereales (Kabata –Pendias, 2000).

La estabilización del Pb en suelos contaminados puede lograrse mediante la aplicación de fósforo y óxido de manganeso. Sin embargo, estos tratamientos afectan la biodisponibilidad de otros metales (Cd y Zn) (Hettiarachchi y Pierzynski, 2002). Además, la continua remoción de P y otros elementos químicos inducidos por el crecimiento de las plantas puede afectar la biodisponibilidad de Pb en el suelo. En las plantas el Pb se almacena principalmente en las raíces, siendo mínimo su presencia en las estructuras reproductivas.

## **2.7 Metodología para la recolección de muestras de biomasa y suelo**

Para la recolección de la biomasa es necesario tener en cuenta algunos parámetros entre los cuales se puede mencionar, que a la hora de seleccionar el punto de toma de muestra en la zona cultivada se debe de buscar la parte central de toda la zona, tratando de adentrarse lo más posible, esto con el objetivo de alejarse de factores que puedan influir en los resultados esperados, y que sean ajenos al estudio pues tienen una influencia aleatoria y no cuantificable. Una vez seleccionado el punto de muestra es necesario recolectar al menos tres muestras del cultivo en un radio de 50cm al punto de muestra con esto garantizamos tener una muestra con un aporte general de la zona estudiada y no únicamente el de una planta de cultivo.

Para el caso de la recolección del pipián como muestra es necesario escoger los frutos que tengan un mayor tamaño, pues esto indicara una mayor captación de los nutrientes y contaminantes del suelo, este cultivo es de gran relevancia pues tiene un alto porcentaje de adsorción de agua del suelo y por tanto de metales en el caso en el que el suelo posea la presencia de los mismos.

Cuando se trata de recolectar muestras de mazorcas de maíz es importante seleccionar aquellas mazorcas que estén más debajo en las matas, es decir aquellas que se encuentren más cercanas al suelo, esto es con el objetivo de tener la mayor cantidad de presencia de metales adsorbidos del suelo pues en el caso específico para el maíz el mayor porcentaje se encontrara en el tallo de la mata.

Por último la recolección de la caña de azúcar tiene igual que los tipos de muestras antes mencionados sus criterios especiales para garantizar resultados más representativos, esto es que una vez seleccionado la planta de caña se debe cortar por completo la caña evitando dejar tallo enterrado, llevando la mayor parte posible esto con el propósito principal de obtener la captación total de metales en caso de que el suelo posea presencia de estos.

En el caso de la muestra de suelo es lógico identificar el punto a recolectar pues este dependerá del lugar del cultivo pues es esta porción de suelo la que más interesa para verificar que niveles de metales están presentes y cuanto de ello es transportado a los cultivos específicamente. Cuando el punto de recolección de cultivo se ha seleccionado es justo el suelo que se encuentra en la base de la planta del cultivo la que se tomara como muestra, en ese punto se debe de escavar hasta una profundidad de 50cm para garantizar que la presencia de metales que podrían existir se transportan más fácilmente a la planta y no ha tenido influencia de factores ajenos a los intervinientes con el estudio.

## **2.8 Digestión de muestras para el análisis de fluorescencia por reflexión total**

Las técnicas de digestión con ácidos se emplean para reducir la interferencia causada por la presencia de materia orgánica y convertir el metal asociado con el material particular a una forma que puede ser determinado por fluorescencia de rayos x por reflexión total.

- **Digestión de muestras por horno microondas**

La digestión por microondas es uno de los procedimientos estándar en la preparación de muestras para el análisis elemental en química analítica. La muestra es calentada en vasos cerrados junto con los ácidos recomendados. La temperatura máxima de trabajo normalmente está entre 180-220°C dependiendo del tipo de muestra. A esta temperatura se produce la degradación parcial o completa de la muestra. Los reactivos más utilizados para la mineralización de las muestras en el horno de microondas son: Ácido nítrico, ácido clorhídrico y agua oxigenada. Su elección depende del origen de la muestra. El resultado tras la digestión es una disolución acuosa ácida de la muestra, adecuada para su posterior análisis mediante técnicas espectroscópicas. La gran ventaja de la digestión con horno microondas frente a la digestión en vaso abierto convencional es la posibilidad de controlar de forma precisa parámetros como la presión o la temperatura, o la posibilidad de

digerir la muestra en tiempos muy reducidos, ya que la velocidad de calentamiento dentro del horno es muy alta.

Con la digestión de microondas se puede mineralizar todas aquellas muestras sólidas de las que se obtendrá información a nivel elemental mediante técnicas espectroscópicas.

Los requisitos que se deben de cumplir para la digestión de microondas es una cantidad mínima de muestra de 0.500g, la muestra se proporciona preferentemente seca, según la naturaleza de la muestra se elige el procedimiento de análisis adecuado.

La combinación del calentamiento por microondas con recipientes de alta presión permite alcanzar muy altas temperaturas, en pocos minutos y con mezclas simples.

## **2.9 Análisis de Metales Pesados por Fluorescencia de rayos X Totales**

### **Procedimiento previo**

Para garantizar resultados más confiables es necesario tomar en cuenta procedimientos previos a los análisis de cada una de las muestras. Deberá realizarse una limpieza de los recipientes de cuarzo para colocar la muestra, esta limpieza se efectuará con una solución de ácido nítrico al 10%, esto con el objetivo de garantizar que los recipientes no contengan ningún compuesto que pueda generar un error al momento de generar los espectros. Una vez terminada la limpieza se debe realizar el ajuste del ángulo de reflexión, este procedimiento se realiza incidiendo los rayos X en una solución de sulfuro de zinc que convierte los rayos X que son invisibles a los ojos de los seres humanos a un rayo de luz que si es capaz de ver el humano, siendo visible pueden ajustarse a el ángulo requerido de entre 1° y 1.5°.

Una vez que los procedimientos previos de limpieza y calibración están terminados se debe comenzar con el análisis de patrones que servirán como espectros referencias de cada uno de los metales estudiados el procedimiento de análisis es el siguiente:

Se colocara la alícuota de muestra en las placas de cuarzo tomando una cantidad de 10µlitros, cuando ya esté colocado en el cuarzo se deberá secar en el horno al vacío para remover todo el agua de la muestra y dejar únicamente los suspendidos en la solución este secado se realiza a una temperatura menor a los 60°C para evitar volatilizar sustancias como el mercurio, cuando el secado

esta completado en la placa de cuarzo quedara una mancha donde se hará incidir los rayos X, generalmente estas manchas presenta una características de aros de cebolla el cual generará ruido al momento de reportar los análisis dando espectros poco claros, esto se resuelve adicionando a la muestra un estándar de alta pureza en la misma proporción que la muestra.

Cuando la mancha este plasmada en el cuarzo se colocara en el equipo donde se hará incidir los rayos X con un ángulo aproximado de entre  $1^\circ$  y  $1.5^\circ$ , lo cual excitara los átomos de la capa K y L arrancándolos para moverlos de capa este fenómeno genera la emisión de líneas espectrales característica para cada metal el cual sirve para lograr identificarlo. El equipo cuenta con un filtro de molibdeno que elimina las bajas energías así como también las altas que podrían penetrar el cuarzo y generar energías características de sílice que aparecerían en el espectro. Además de ello el equipo cuenta con el enfriador a base de energía eléctrica que permite que las temperaturas estén por debajo de  $-70^\circ\text{C}$  garantizando no se funda.

## **2.10 Cálculo de áreas de espectros**

Una vez que se han generado los espectros característicos para cada una de las muestras se deben calcular las áreas bajo la curva del espectro esto con el objetivo de cuantificar la concentración de los metales en la alícuota de muestra, pues el área bajo la curva generada por el pico característica del metal tiene una relación directamente proporcional a la concentración del mismo. El procedimiento de cálculo de área se realizara en el programa AXIL para luego ser cuantificado mediante el software QXAS (QUANTITATIVE X RAY ANALYSIS SYSTEM).

## **2.11 Fundamento del método de Análisis de Metales Pesados por la Técnica de Fluorescencia de Rayos X**

La fluorescencia de rayos-X (FRX) es una técnica espectroscópica (Brouwer, 2006), que utiliza la emisión secundaria o fluorescente generada en una muestra cuando ésta se excita con una fuente de radiación X. Esta radiación incidente, denominada primaria, expulsa electrones de las capas internas del átomo. Los estados excitados son inestables, y el átomo tiende a volver a su estado fundamental, para lo cual se producen saltos de electrones de los niveles más externos para cubrir el hueco producido. En este proceso hay un desprendimiento de energía en forma de radiación cuya longitud de onda dependerá de la diferencia de energía entre los dos niveles involucrados en la

transición ( $K_{\alpha}$ ,  $K_{\beta}$ , ...), cuando la expulsión del electrón se produce de la capa K, como se puede ver en la figura 3.4. Si la vacante se produce en alguno de los subniveles de la capa L, las transiciones desde niveles superiores dan lugar a las radiaciones características ( $L_{\alpha}$ ,  $L_{\beta}$ , ...). Lo mismo puede decirse de la capa M.

La medida de la radiación emitida es la base de la técnica de fluorescencia de rayos-X. Además, la intensidad de dicha radiación está directamente relacionada con la concentración del elemento en la muestra problema. Aunque el número de radiaciones características posibles para cada elemento es grande. En la práctica, la intensidad de muchas de ellas es muy pequeña (probabilidad reducida de producirse la transición electrónica que los origina) y, por tanto, no se pueden registrar con los equipos de medida.

## 2.12 Parámetros característicos

El efecto de la excitación en FRX utilizando la reflexión total se puede caracterizar mediante tres parámetros que siguen los principios de la radiación electromagnética: el ángulo crítico, la reflectividad y la profundidad de penetración (M. Dekker 1993).

### 2.12.1 Ángulo Crítico

Al atravesar la interface que separa dos medios homogéneos distintos, los rayos X son refractados y reflejados así como lo hace la luz. La reflexión y la refracción están determinadas por el índice de refracción que en forma compleja es:

$$n = 1 - \delta - i\beta$$

**Ecuación 2.1**

Donde el término real  $\delta$  representa la dispersión y el término imaginario  $\beta$ , la atenuación en la materia,  $\delta$  depende principalmente de la densidad y  $\beta$  del coeficiente de absorción másico del medio; ambos parámetros dependen de la longitud de onda.

Estos parámetros están dados por:

$\beta = \frac{\mu\lambda}{4\pi}$ <b>Ecuación 2.2</b>	Siendo $\mu$ el coeficiente de absorción lineal y $\lambda$ la longitud de onda de la radiación
$\delta = \frac{ne^2\lambda^2}{2\pi mc^2}$ <b>Ecuación 2.3</b>	Siendo $n$ la densidad de electrones, $e$ la carga del electrón, $m$ la masa del electrón y $c$ la velocidad de la luz.

La densidad de electrones puede escribirse como

$$n = \frac{N_A \rho Z}{A}$$

**Ecuación 2.4**

Con  $N_A$  el número de Avogadro,  $\rho$  la densidad,  $Z$  el número atómico y  $A$  el peso atómico. Para los rayos X,  $\delta$  y  $\beta$  tienen valores muy pequeños,  $\delta$  es del orden de  $10^{-6}$  y  $\beta$  es aún menor. Por lo tanto, la parte real de  $n$  es siempre menor que 1 y, ya que los rayos X inciden desde el vacío (o aire) y sufrirán refracción al atravesar la interface.

El ángulo crítico se define según la ley de Snell como:

$$\cos \phi_c = 1 - \delta$$

**Ecuación 2.5**

Mediante un desarrollo en serie del coseno se obtiene para valores pequeños de  $\phi_c$  la siguiente expresión:

$$\phi_c = \sqrt{2\delta}$$

**Ecuación 2.6**

Combinando las ecuaciones anteriores y reemplazando la longitud de onda  $\lambda$  (en Angstroms) por  $12.4/E$  (en keV), el ángulo crítico puede escribirse como:

$$\phi_c = \frac{99.1}{E_c} \sqrt{\frac{Z\rho}{A}}$$

**Ecuación 2.7**

El ángulo crítico da un rango de ángulos de incidencia para los cuales se produce la reflexión total, esto es, solamente para ángulos menores al ángulo crítico. Según esta última definición, también establece un rango de energías: para energías mayores a  $E_c$  no hay reflexión total, el fenómeno tiene lugar para energías menores a  $E_c$ .

### 2.12.2 Reflectividad

La reflectividad se define como el cociente entre la intensidad reflejada y la intensidad incidente. La reflectividad de la superficie está dada aproximadamente por la expresión (M. Born, E. Wolf 1980):

$$R = \begin{cases} 1 & \text{si } \theta < \theta_c \\ \frac{\theta - (\theta^2 - \theta_c^2)^{1/2}}{\theta + (\theta^2 - \theta_c^2)^{1/2}} & \text{si } \theta > \theta_c \end{cases}$$

Ecuación 2.8

Esta expresión implica que para ángulos menores al ángulo crítico la energía es totalmente reflejada, aunque en el resultado exacto una pequeña parte es transmitida. Para ángulos mayores al ángulo crítico, la reflectividad tiende rápidamente a 0, por lo que la energía es mayormente transmitida.

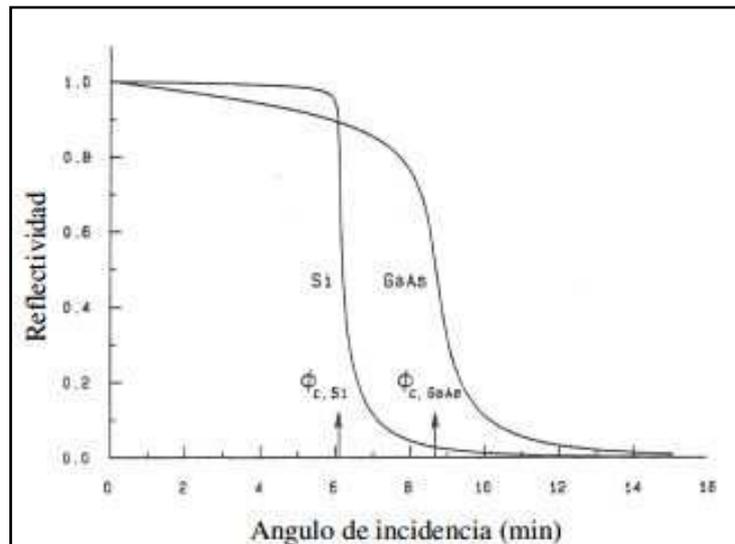


Figura 2.6 Reflectividad en función del ángulo de incidencia para Si y GaAs con rayos X de 17.5 KeV (M. Dekker 1993)

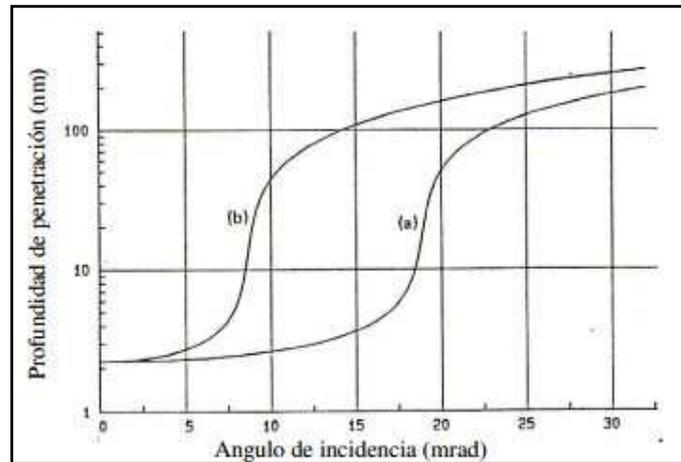
### 2.12.3 Profundidad de penetración

La profundidad de penetración se define como la distancia normal medida desde la interface para la cual la intensidad disminuye en un factor de 1/e y está dada por la siguiente fórmula (M. Dekker 1993):

$$z = \frac{\lambda}{4\pi\sqrt{\delta}\{[(x^2 - 1)^2 + y^2]^{1/2} - (x^2 - 1)\}^{1/2}}$$

**Ecuación 2.9**

Con  $X = \theta/\theta_c$ ,  $Y = \beta/\delta$



**Figura 2.7 Profundidad de penetración en función del ángulo de incidencia calculada para GaAs con una energía incidente de 8 keV (a) y 17.5 keV (b) (M. Dekker 1993).**

La reflectividad y la profundidad de penetración dependen del ángulo de incidencia, tal como se representa en anteriores. Para ángulos mayores al ángulo crítico la reflectividad cae y la profundidad de penetración crece rápidamente.

Otros de los parámetros característicos en el método de análisis son los siguientes:

- Condiciones de excitación
  - ✓ Energía de excitación primaria (keV)
  - ✓ Ángulo de incidencia (grados)
  - ✓ Ángulo de despegue/takeoff en grados
- Características del detector
  - ✓ Espesor de la ventana de berilio (micras)
  - ✓ Espesor de la capa de oro (micras)
  - ✓ Tipo de detector (Si (Li) o Ge (Li)): El utilizado en el estudio es el Si Pin
  - ✓ Espesor muestra-detector (micrones)
  - ✓ Profundidad activa del detector (mm o micrones)
  - ✓ Tiempo de resolución del pulso o tiempo de conformación (Shaping Time)
- Filtro adsorción
  - ✓ Espesor (g/cm<sup>2</sup>)

- ✓ Composición del filtro (Mo)
- ✓ Longitud de trayectoria muestra-detector
- ✓ Material existente entre la muestra y el detector (aire, helio o vacío)

## **2.13 Características del sustrato y de la muestra**

### **2.13.1 Característica del sustrato**

Entre las características que debe tener un sustrato reflector para análisis por TXRF pueden mencionarse:

- Superficie plana y suave
- Resistente a las agresiones por químicos y al estrés mecánico
- Libre de líneas fluorescentes dentro del rango de energías de interés
- Libre de contaminación
- Hidrofóbico
- Alta reflectividad
- Costo accesible

En realidad, no se conoce material que satisfaga todos estos requisitos. De acuerdo a la experiencia a desarrollar puede elegirse el más conveniente.

### **2.13.2 Características de la Muestra**

Los límites de detección en TXRF dependen considerablemente de las propiedades de la muestra: los límites de detección aumentan al aumentar la concentración de la matriz porque los átomos de la misma contribuyen al fondo de radiación (H.J. Sánchez, 1999). Si los espectros fluorescentes son adquiridos con una tasa máxima de conteo (que se logra, por ejemplo, ajustando la corriente del tubo) y si el conteo de los elementos traza se mantiene bajo en relación al conteo total, hay una relación lineal entre concentración de matriz y límite de detección (M. Dekker, 1993).

Mediante cálculos teóricos es posible determinar la intensidad fluorescente y de dispersión en función del espesor de la muestra, así como estudiar la intensidad de la radiación emitida por la muestra antes y después de la reflexión (H.J. Sánchez, 1999). Estos cálculos revelan la importancia de trabajar con muestras delgadas, ya que al aumentar el espesor de la muestra aumenta la contribución de la radiación de dispersión y la intensidad de radiación emitida luego de la reflexión decae. También permiten determinar, según el tipo y composición de la muestra, cuál es el espesor máximo conveniente.

Por lo tanto, la preparación de la muestra es un paso importante en el análisis por reflexión total. La forma de preparación dependerá de la muestra a analizar (Bohlen, 1989), por ejemplo:

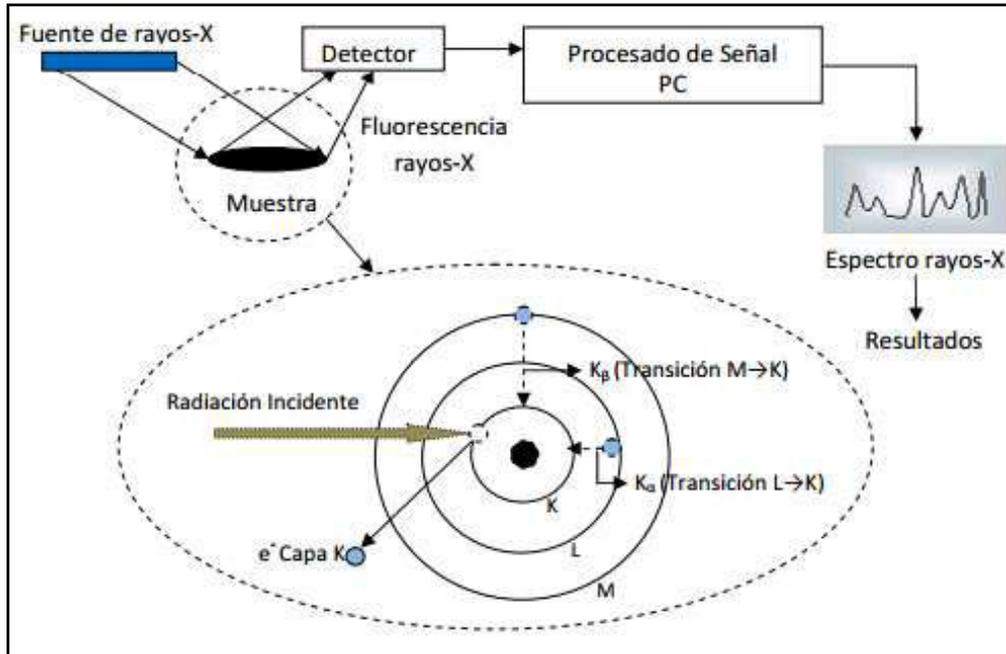
- Agua: el procedimiento consiste en coleccionar 1 litro y reducirlo a la décima parte por evaporación.
- Plantas: el método consiste en secar el material a 100 °C por dos horas y pulverizarlo; mezclar luego 250 mg con 2 ml de ácido nítrico y llevarlo a las condiciones de 260 °C y 13 MPa. Finalmente, la solución se diluye en 100 ml de agua destilada.

De esta manera, según la muestra a analizar, se tienen en cuenta las formas de preparación y las dimensiones de la misma. En el caso de soluciones líquidas una pequeña alícuota de un volumen del orden de los 20  $\mu\text{l}$  es suficiente; es importante recalcar que el tamaño de la muestra debe ser tal que toda el área de la misma sea abarcada por el detector, con un diámetro de entre 6 mm y 8 mm.

Por último, para realizar un análisis cuantitativo es necesario agregar un estándar, que es una cantidad conocida de un elemento dado. La concentración del mismo debe ser del orden de la de los elementos presentes en la muestra (no mayor, para que el pico del estándar no tenga más conteo) y lo que es importante, no debe ser ninguno de los elementos presentes en la muestra; por esta razón, Ga y Ge resultan convenientes.

## **2.14 Esquema y descripción del equipo**

El esquema general a la hora de efectuar la medida por fluorescencia, viene resumida en la figura siguiente.



**Figura 2.8 Esquema general del análisis por fluorescencia de rayos-X. Transición de los electrones en diferentes niveles**

Figura tomada de referencia 1

La secuencia de funcionamiento es la siguiente:

1. Se hace incidir radiación generada por una fuente de rayos-X sobre la muestra problema.
2. La radiación policromática emergente, es descompuesta en sus componentes monocromáticas en función de sus longitudes de onda, al difractarse en un cristal analizador de espaciado conocido.
3. El haz difractado para cada posición angular del cristal se recoge con un detector, generalmente de gas proporcional, el cual convierte los fotones en impulsos eléctricos.
4. A continuación se procesa la señal y se obtienen los espectros de rayos-X para ser analizados con el software informático adecuado, obteniéndose por último los resultados.

El diagrama anterior y su descripción son válidos para el análisis por dispersión de longitud de onda. En el que se utiliza un sistema mecánico (goniómetro), para ubicar las longitudes de onda y trabajando con detectores del tipo contador proporcional.

En el presente estudio se trabajo con un sistema de fluorescencia de rayos X por dispersión por energía que se describe a continuación:

## 2.15 Fluorescencia de Rayos X por Reflexión Total (Nacimiento, 1999).

El análisis multielemental instrumental por fluorescencia de rayos X (XRF) es basado en la medida de las intensidades de los rayos X característicos emitidos por los elementos químicos componentes de la muestra, cuando es debidamente excitada. Hasta el año 1966 la XRF era realizada únicamente por espectrómetros de dispersión por longitud de onda (WD-XRF, abreviación de *wave-length dispersive X-ray fluorescence*), basados en la ley de Bragg, los cuales necesitan de un movimiento sincronizado y preciso entre el cristal difractor y el detector.

Con el desenvolvimiento del detector semiconductor de Si (Li), capaz de discriminar rayos X de energías próximas, fue posible el surgimiento de Fluorescencia de Rayos X por Reflexión Total (TXRF).

Esta técnica se está desarrollando bastante en los últimos años y ha sido aplicada principalmente al análisis de elementos trazas en muestras líquidas (en orden de microlitros), en investigaciones ligadas a áreas como el Monitoreo Ambiental, Oceanografía, Biología, Medicina, Industria, Mineralogía. Específicamente en análisis de aguas superficiales y subterráneas, fluidos biológicos y control de calidad de productos de alta pureza. También puede ser aplicada para materiales sólidos (lodo, sedimento, materiales particulados).

La TXRF es capaz de analizar cualitativa y cuantitativamente elementos tanto a nivel de mayoritarios (% peso) como de elementos traza (ppm). Esta técnica es capaz de analizar muestras orgánicas y determinar los metales pesados que contiene, aplicando a la muestra secado, molienda y digestión ácida previa. Es una técnica microanalítica porque las cantidades de muestra necesarias para realizar un análisis cualitativo o cuantitativo se encuentran en el orden de unas pocas fracciones de gramos. Para un análisis cuantitativo convencional es necesaria una cantidad mínima de 0.1 g de muestra orgánica base seca (Bernasconi, 1995).

Las áreas de aplicación de la TXRF son descritas por Klockenkämper *et al* (*sin fecha*), enfatizando el análisis de agua en el Monitoreo Ambiental; sangre, fluidos corporales y tejidos en Medicina; plantas y alimentos en Biología. Dentro de estas aplicaciones se destaca el análisis de pescado, a través de la digestión de 150 a 350 mg en bomba de Teflón, con ácido nítrico y bajo la aplicación de presión.

El efecto matriz (reducción o aumento de la intensidad de las emisiones de energía características debido a la interacción entre los elementos componentes de la muestra) no ocurre en TXRF al utilizar cantidades muy

pequeñas de muestra (10  $\mu\text{L}$  de muestra líquida que luego es evaporada) depositadas en un soporte, para formar un filme fino. De esta forma, no hay necesidad de realizar correcciones por el efecto matriz y se puede utilizar en el análisis cuantitativo una regresión lineal simple entre las intensidades de los rayos X y las concentraciones de los elementos presentes en las muestras.

La técnica de TXRF ha sido muy utilizada en los últimos años, tanto para análisis cualitativo como cuantitativo, ganando importancia en análisis multielementales, debido a su simplicidad, velocidad y bajo costo analítico. Entre las ventajas de la fluorescencia de rayos X para el análisis químico de elementos se puede citar: (a) adaptabilidad para automatización, (b) análisis rápido multielemental, muy importante por la interdependencia entre los micronutrientes de los sistemas biológicos, (c) preparación simplificada de la muestra y (d) límite de detectabilidad dentro de lo exigido por las muestras biológicas.

#### **2.15.1 Fundamento de la Fluorescencia de Rayos X por Reflexión Total**

El análisis por fluorescencia de rayos X es un método cuali-cuantitativo basado en la medida de las intensidades (número de rayos X detectados por unidad de tiempo) de los rayos X característicos emitidos por los elementos que constituyen la muestra. Los rayos X emitidos por tubos de rayos X, excitan los elementos constituyentes, que a su vez, emiten líneas espectrales con energías características del elemento y cuyas intensidades están relacionadas con la concentración del elemento en la muestra.

Cuando un elemento de una muestra es excitado, tiende a expulsar los electrones de los niveles interiores de los átomos, y como consecuencia, los electrones de los niveles más externos realizan un salto cuántico para suplir la vacancia (Figura 2.4). Cada transición electrónica constituye una pérdida de energía al ser emitida en forma de un fotón de rayo X, de energía característica y bien definida para cada elemento.

De modo resumido, el análisis por fluorescencia de rayos X consiste de tres fases: excitación de los elementos que constituyen la muestra, emisión de los rayos X característicos emitidos por la muestra y la detección de estos rayos X.

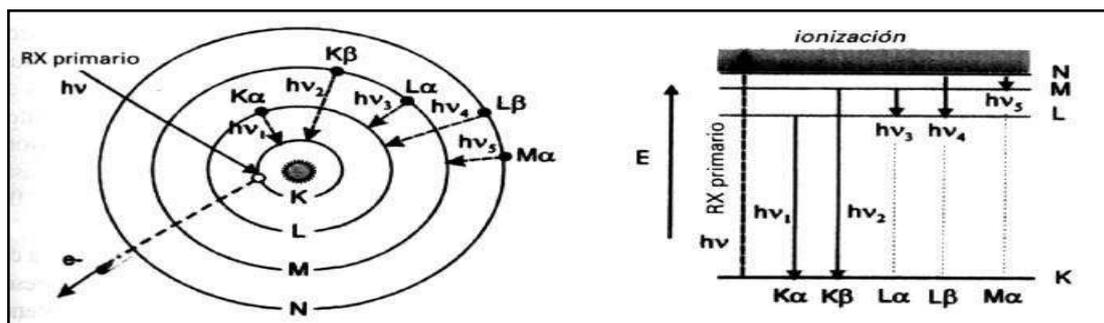


Figura 2.9 Esquema simplificado del origen de algunas transiciones de fluorescencia que aparecen tras la expulsión de un electrón de una capa interna del átomo

### 2.15.2 Excitación de los elementos

Para provocar una emisión de rayos X característicos de los elementos que constituyen la muestra, una excitación puede realizarse de varias maneras: excitación por partículas aceleradas como electrones, protones o iones; excitación por rayos X, partículas alfa, partículas beta negativas o rayos gama emitidos por radionúclidos. El proceso más utilizado recientemente, es a través de rayos X generados en tubos.

Los procesos en que se utilizan máquinas generadoras de electrones, protones o iones, y rayos X, necesitan instrumentación electrónica capaz de producir altas diferencias de potencial eléctrico (alta tensión), extremadamente estable, y por tanto sofisticada y cara. Cuando se emplea fuentes radioactivas, emisoras de partículas alfa, beta negativas, rayos X o gama de baja energía, no hay necesidad de equipamiento electrónico, son baratas y extremadamente compactas. Pero tienen como desventaja requerir blindaje radiológico debido a la exposición continua y tener intensidades relativamente inferiores a las máquinas generadoras de rayos X.

Para lograr la emisión de los rayos X característicos es necesario retirar electrones localizados en las capas más internas de los átomos, por ejemplo la capa K, y para esto la energía mínima debe ser superior a la energía de afinidad del electrón a esa capa, denominada energía de afinidad electrónica o también de corte de absorción.

Esta energía de afinidad electrónica puede ser calculada de modo aproximado, aplicándose la teoría atómica de Bohr para un átomo de hidrógeno y átomos hidrogenoides, y posteriormente, basándose en algunas consideraciones sobre las experiencias de Moseley. De ese modo, la siguiente ecuación para el Sistema Internacional permite el cálculo aproximado de esa energía para los electrones de las capas K y L de los átomos de un elemento.

$$E = 2.18e^{-18} * \frac{(Z - b)^2}{n^2}$$

**Ecuación 2.10**

Dónde:

E: energía de afinidad electrónica (joules)

Z: número atómico del elemento emisor de rayos X

b: constante de Moseley, con valores iguales a 1 y 7.4, para las capas K y L, respectivamente.

n: Número cuántico principal del nivel electrónico (n= 1 para la capa K, n= 2 para capa L).

Después de ocurrir la ionización, un electrón más externo tiende a ocupar la vacante, emitiendo un rayo X, de energía característica, cuyo valor depende de la diferencia de energía de afinidad del electrón en los dos niveles cuánticos. Consecuentemente, la energía del rayo X también es directamente proporcional al cuadrado del número atómico Z del elemento excitado, cuando se considera un mismo salto cuántico.

$$E_x = E_{ni} - E_{nf}$$

**Ecuación 2.11**

Dónde:

$E_x$  = energía del rayo X característico emitido.

$E_{ni}$ ,  $E_{nf}$  = energías del electrón de los niveles inicial y final, respectivamente.

Esta ecuación es fundamental para entender la proporcionalidad entre la energía (o amplitud de pulso electrónico producido por el detector) y el elemento a ser analizado, en equipos de fluorescencia de rayos X que hacen uso de la dispersión de energía, utilizando detectores semiconductores para la detección de los rayos X emitidos por la muestra.

### **2.15.3 Fundamento de Fluorescencia de Rayos X por Reflexión Total.**

Cuando un haz de radiación monoenergético pasa por un medio e incide en una superficie plana de un material dado, puede ocurrir una refracción, adentrando el material, o una reflexión, siendo reflejado por la superficie, en un ángulo emergente igual al de incidencia. La ocurrencia de uno u otro proceso dependerá de la energía de radiación incidente, de la densidad electrónica del material y del ángulo de incidencia de la radiación. Existe un ángulo, denominado ángulo crítico  $\phi_{crit}$ , dado por la ley de Snell, en el que la radiación no es refractada y tampoco reflejada, permaneciendo en el plano de interfase:

$$\phi_{crit} = \frac{99.1}{E} \sqrt{\frac{\rho * Z}{A}}$$

**Ecuación 2.12**

Donde:

$\phi_{crit}$ : ángulo crítico en minutos.

E: energía de radiación (keV).

Z: número de electrones en un átomo o molécula componente del material.

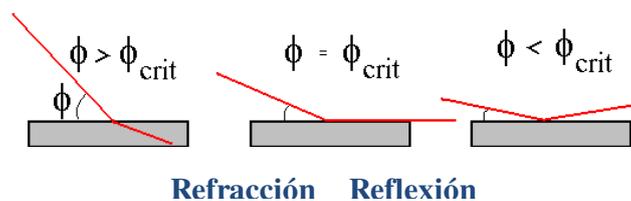
A: peso molar del átomo o molécula del material (gramos\* $\text{mol}^{-1}$ ).

$\rho$ : Densidad del material (gramos\* $\text{cm}^{-3}$ ).

Para el caso del Molibdeno, si incide un rayo X Mo- $K\alpha$  de 17.44 keV sobre cuarzo ( $Z = 30$  electrones,  $A = 60.0843$  gramos y  $\rho = 2.5$  gramos\* $\text{cm}^{-3}$ ), el ángulo crítico  $\phi_{crit}$  será de 6.4 minutos. Con ec. 2-7

$$\phi_{crit} = \frac{99.1}{17.44 \text{ keV}} * \sqrt{\frac{30 e^- * 2.5 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}}{60.0843 \frac{\text{gr}}{\text{mol}}}} = 6.4 \text{ min}$$

Según la Figura 2.10, si una radiación mono-energética incide en una superficie con ángulo mayor que el crítico, ocurrirá una refracción, y si es menor, una reflexión.



**Figura 2.10 Representación esquemática de la refracción y reflexión de un haz de radiación mono-energético en función del ángulo de incidencia**

Debido a esta reflexión, o en otras palabras, ausencia de la dispersión por el soporte, los picos de dispersión incoherente y coherente serán bastante reducidos en el espectro de pulsos producidos por el detector, el mismo que debe ser colocado lo más próximo posible de la muestra (la distancia entre el soporte y la ventana de Berilio del detector es del orden de 5 mm). En estas

condiciones geométricas de excitación/detección se presenta la denominada Fluorescencia de Rayos X por Reflexión Total (TXRF).

De modo resumido, se puede afirmar que en la TXRF el haz incidente no interacciona con el soporte, pero atraviesa todo el filme fino formado por la deposición de la muestra, tanto al incidir como al emerger, y con esto existe gran probabilidad de excitar los átomos que componen la muestra. Los primeros experimentos sobre TXRF se basan en que un haz de rayos X proveniente de un tubo incidiese en un ángulo menor al valor crítico sobre la muestra, tomándose como energía crítica la del rayo X  $K\beta$ . La alta tensión aplicada al tubo es un poco mayor al corte de absorción de la capa K de elemento en el tubo, para producir rayos X  $K\alpha$  y  $K\beta$  característicos del elemento en el tubo, pero insuficiente para producir radiación de energías mayores a la energía del rayo X  $K\beta$ . La eficiencia de producción de rayos X característicos  $K\alpha$  y  $K\beta$  es proporcional a la tensión arriba del corte de absorción aplicada al tubo, pero la elevación de la alta tensión ocasionará también un aumento en la producción de radiación de alta energía. Siendo esta energía mayor que la de los rayos X  $K\alpha$  y  $K\beta$ , generando refracción en el soporte y consecuentemente aparecerá radiación dispersada de modo coherente e incoherente incidiendo en el detector, aumentando la región de esos picos en los espectros de pulsos.

Un modo de evitar que esta radiación de alta energía incida en el soporte es utilizando un filtro de paso bajo (lowpassfilter), también denominado filtro cortador de alta energía (highenergycut-off), colocado entre el tubo y el soporte. En este caso, el ángulo crítico de incidencia es ajustado para una energía un poco mayor a la del rayo X  $K\beta$  del elemento en el tubo, en estas condiciones el filtro reflejará las radiaciones hasta esta energía crítica y aquellas arriba de este valor refractarán el filtro, y por tanto, serán eliminadas del haz.

#### **2.15.4 Análisis Cualitativo y Cuantitativo.**

El análisis por TXRF es posible por los siguientes principios:

- La longitud de onda y la energía de radiación fluorescente es específica para cada elemento.
- La concentración de cada elemento puede ser calculada usando la intensidad de la radiación fluorescente.

Normalmente una alícuota de 5 a 50  $\mu\text{L}$  de muestra *in natura* o digerida es colocada en el centro de un soporte de cuarzo y se seca. El filme fino obtenido, con masa entre picogramos a 10 microgramos, cubriendo un círculo con

aproximadamente 5 mm de diámetro, está listo para ser analizado por TXRF. Debido al diminuto espesor de la muestra y la alta energía de los rayos X normalmente utilizados en la excitación (rayos X Mo-K $\alpha$  de 17.44 keV), no aparece el efecto de aumento o reducción de las emisiones en la TXRF, siendo innecesaria la corrección para el efecto matriz.

La ecuación básica para el análisis cuantitativo es una relación entre la intensidad fluorescente de la línea característica K $\alpha$  y la concentración de un elemento de interés, que puede ser escrita en la forma:

$$I_i = S_i * C_i$$

**Ecuación 2.13**

Donde  $I_i$  representa la intensidad en el tiempo en cuentas/s (cps) de la línea característica K $\alpha$  emitida,  $C_i$  la concentración (ppm o  $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ ) de la solución colocada en el soporte, y  $S_i$  la sensibilidad elemental del sistema (cps/ppm) para el elemento de interés  $i$ .

Esta técnica presenta una gran ventaja de permitir la determinación simultánea de sensibilidad elemental para varios elementos, utilizándose una solución patrón multielemental, conteniendo esos elementos en baja concentración (una fracción de ppm) y emisores de rayos X de energías no muy próximas, evitando producir la sobre posición de picos.

Además es posible adicionar un patrón interno a la muestra con la ventaja de corregir las inestabilidades del sistema, como fluctuaciones en el generador de rayos X, en la emisión del rayo X por el ánodo, en la detección de los rayos X, y errores operacionales, como en el pipeteo, posicionamiento de las muestras, etc.

Los elementos que pueden ser utilizados como patrones internos deben presentarse en concentraciones bajísimas en las muestras; los elementos Ge y Ga han sido utilizados para las muestras de agua, y el Co e Y para otros tipos de muestras.

Con esto, se puede calcular la concentración del elemento de interés, utilizándose la ecuación:

$$C_i = \frac{I_i}{I_p} * S_i * C_p$$

**Ecuación 2.14**

Donde  $i$  representa el elemento de interés,  $p$  el elemento utilizado como patrón interno,  $C$  la concentración (en ppm),  $s$  la sensibilidad relativa elemental (sin

unidades; en relación con el elemento utilizado como patrón interno) e I la intensidad de los rayos X característicos (cps).

Vale la pena resaltar que existe una alta correlación matemática entre la sensibilidad elemental y el número atómico de los elementos. Además, en base a las sensibilidades elementales de los elementos contenidos en la solución patrón multielemental, se puede estimar la sensibilidad para un elemento detectado en la muestra y contenido en la solución patrón y luego estimar la concentración en la muestra de interés. De manera análoga, las mismas ecuaciones pueden ser utilizadas para la línea  $K\beta$  y otras, como L y M, en donde lógicamente las sensibilidades elementales tendrán otros valores.

La fluorescencia de rayos-X es una técnica de medida relativamente sencilla y su espectro de emisión de rayos-X es fácil de obtener y de interpretar. La posición de las líneas no depende del tipo de compuesto ni del estado físico que presente. Las interferencias espectrales son relativamente infrecuentes, aunque se deben considerar los efectos de matriz para prevenir los fenómenos de absorción.

Además de su alta sensibilidad, una de las características interesantes del análisis por fluorescencia de rayos-X para los elementos mayoritarios, es la rapidez para obtener un resultado, junto con la posible determinación simultánea de 25 o 30 elementos, con número atómico superior o igual al carbono.

En cuanto a los límites de detección, es difícil medir un elemento presente en menos de 100 mg/kg. Para contrarrestar la absorción en el aire de los elementos de número atómico inferior a 21, la presión de operación debe ser de 0.1 torr.

## **2.16 Métodos de análisis**

### **2.16.1 Comparación directa de tasa de conteo**

El método más simple para la cuantificación de las muestras problema es la comparación directa de tasas de conteo. Mediante el uso de las sensibilidades determinados a partir de las normas, las concentraciones de elementos en muestras desconocidas se pueden determinar.

No se calculan las correcciones de absorción (o efecto elemento interno). Por lo tanto se aconseja trabajar con este método sólo mientras estas correcciones son iguales para los patrones y las muestras desconocidas, es decir, muestras de similar composición. Para muestras gruesas, delgadas e intermedios (estándares) la densidad del área debe ser constante.

Si se encuentran más de 3 elementos estándar, los valores de concentración de los elementos de una muestra desconocida (no representado por las normas) se pueden interpolar o extrapolar. Radiación  $K\alpha$ -líneas y líneas  $L\alpha$ -son tratadas de forma independiente.

### **2.16.2 Regresión de tasa de conteo versus concentración**

La regresión de tasa de conteo frente a la concentración se ha diseñado especialmente para mediciones con fluorescencia de rayos X por reflexión total (TXRF). Las muestras de película delgada, que están enriquecidas con un elemento de concentración conocida (método estándar interno).

No hay absorción (o efecto inter-elemento).

Es posible extender este método a muestras delgadas o las muestras con la composición comparable (cuando las correcciones de absorción son iguales para los estándares y las muestras), que se midieron en la geometría convencional.

Si más de 3 elementos estándar se encuentran, los valores de concentración para los elementos de la muestra desconocida (no representado por las normas) pueden ser interpolados y extrapolados.  $K1$ -líneas y líneas  $L1$ -son tratados de forma independiente.

### **2.16.3 Mapas de zonificación de presencia de metales**

Para la ubicación de los niveles de presencia de metales se generan los mapas de zonificación de presencia de metales este procedimiento se realiza una vez terminada la cuantificación de la concentración de cada metal en los puntos muestreados, con esta tabla de concentraciones generadas se ubicara por medio de rangos de colores en los mapas los puntos con mayor y menor presencia de metales esto en el software de elaboración de mapas denominado que proporciona una mejor visión de cada uno de los niveles.

### **3 Metodología de la investigación**

#### **Introducción**

El procedimiento general de la investigación se encuentra resumido en el flujograma incluido en el anexo 1.

Para tener una mejor visión del área de estudio se realizó una descripción interdisciplinaria: física, geológica, geomorfológicas, ambiental, hidrogeológica, topográfica y socioeconómica, la cual generó un amplio criterio para la delimitación de la zona estudiada, otro aspecto que proporcionó la bibliografía seleccionada es el criterio para identificar los sistemas intervinientes en la investigación, aquellos que puedan tener una influencia alta o mínima en los resultados esperados. Es por ello que en esta fase se elaboró la planificación de campo, la cual incluyó los lineamientos de reconocimiento y observación de la zona de estudio para luego proceder a la determinación de los puntos de muestreo, elaborando el mapa de ruta a seguir, con el objetivo de optimizar la toma muestra y obtener resultados más representativos.

El análisis de la contaminación de los metales pesados se basó en la determinación de los niveles de concentración de los metales pesados en las siguientes matrices: aguas subterráneas y superficiales, sedimento, suelo y biomasa, considerando para la biomasa los cultivos más representativos de la zona de estudio, es decir, maíz, caña de azúcar, pipián. Para el caso del estudio de suelos y productos agrícolas, se estudiaron las concentraciones de metales pesados en suelos a profundidad de raíces de cultivos y biomasa de los mismos.

#### **Fase de campo**

Se realizó la identificación de los sitios con mayor presencia esperada de metales en la cuenca. En el caso particular de este estudio se identificaron las potenciales fuentes de contaminación puntual y difusa, que se localizan en el municipio de Nejapa que pudieran estar influenciando los ecosistemas loticos, como los ríos, manantiales, aguas subterráneas (los pozos de explotación). Posteriormente, se evaluarán los puntos de muestreo aguas arriba y aguas abajo de los focos identificados, en función de las características siguientes: cercanía a zonas de cultivos, cercanía a ríos y/o manantiales, presencia de más de un pozo de explotación, topografía, accesibilidad y seguridad de los investigadores.

### **3.1 Selección de Puntos de muestreo.**

La selección de puntos es un trabajo en el cual se debe tomar en cuenta el tamaño de la muestra, la afectación del lugar a los puntos muestreados y sobre todo la fiabilidad que estos datos podrán representar para la investigación, de ahí la importancia de seleccionar cada uno de los lugares para recolectar muestra. Uno de los criterios importantes para la selección fueron los niveles de escorrentías los cuales indicarían el sentido que llevan los componentes a determinar.

Los puntos se seleccionaron tomando en cuenta las distintas zonas principales que están alrededor de la zona de estudio y que tienen influencia sobre la cuenca del Rio San Antonio en Nejapa, se comenzó dividiendo la zona de estudio en tres áreas, la primera aguas arriba antes de pasar por el relleno sanitario, la cual se asume se caracterizará posiblemente por poseer la menor concentración de los compuestos a evaluar con respecto a las otras zonas, según la dirección del flujo, esta zona es la parte donde nace el rio San Antonio y sus alrededores, el área número dos fue en la que se esperaba que la presencia de concentración de metales sea mayor, por ello, esto la zonas que tienen estas características serán las próximas a la ruta intermedia del rio ya que contarán con la aportación de desagües de empresas existentes en la zonas cercanas a nuestra área de interés y la ubicación más próxima al relleno sanitario. Para finalizar, se definió el área número tres, que se estudió porque también era importante identificar los niveles de estos compuestos y determinar que tanto se dispersan y que niveles alcanzan al atravesar toda la zona de estudio, es por esto que se tomaron puntos de muestreo al final del rio, donde se podrá evaluar la presencia total luego de todas las confluencias y una vez reunidos todos los contribuyentes de la presencia de estos compuestos.

La recolección de muestras fue en 18 puntos distintos indicados en el mapa de situación de los puntos de muestreo, siendo estos seleccionados como los de mayor prioridad en el presente estudio. Las muestras de aguas subterráneas fueron tomadas de pozos excavados de gran diámetro (2-4 metros) y en pozos perforados donde se tuvo acceso. Primero, se tomaron muestras de sedimentos del pozo. Seguidamente, se realizó el bombeo de 3 veces el volumen del pozo mediante la propia bomba instalada en la perforación, si el pozo no tenía bomba instalada se realizó mediante bomba de achique o manualmente. La figura 3.1 muestra la distribución de los 18 puntos para el muestreo químico.

En el Anexo 2 se presentan las fichas de muestreo elaboradas para cada uno de los puntos muestreados



La evaluación de aguas superficiales se realizó mediante la determinación de los puntos de muestreo aguas arriba y aguas abajo de los focos de contaminación sobre el río o quebrada, como las descargas de vertidos residenciales y zonas de lavandería en tramos amplios de los ríos (hasta 15 m sobre el cauce del río o quebrada, sobre la dirección de flujo preferencial del río, en la zona más profunda del cauce.). En el mismo punto de muestreo de aguas se tomó además una muestra de sedimentos del lecho del río.

En el caso del estudio de suelos y productos agrícolas, se estudiaron las concentraciones de metales pesados en suelos a profundidad de raíces de cultivos y biomasa de los mismos.

Como ya se dijo, el análisis de la contaminación de los metales pesados se basó en la determinación de los niveles de concentración de los metales pesados en las siguientes matrices: aguas subterráneas y superficiales, sedimento, suelo y biomasa, considerando para la biomasa los cultivos más representativos de la zona de estudio, es decir, maíz, caña de azúcar, pipián.

El maíz (***Zea mays***) fue seleccionado por ser representativo en la zona además que este es un producto de consumo masivo (1,273.40 miles de toneladas año 2007 Rivera-Castaneda 2010) en El Salvador. Cuando se recolectó las muestras de mazorcas de maíz se seleccionaron aquellas mazorcas que estaban más cercanas al suelo, esto con el objetivo de tener la mayor cantidad de presencia de metales absorbidos del suelo, pues en el caso específico para el maíz el mayor porcentaje se encontrará en el tallo de la mata.

La caña de azúcar (***Saccharum officinarum***) siendo este un producto industrial con 14,999,039.32 quintales de azúcar (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2012), en El Salvador, la recolección se hizo de todo el tallo de las plantas que se encuentren mas al centro de la zona de cultivo.

Para el caso del pipián (***Cucurbita argyrosperma***) una planta que es cultivada en la cuenca de la cual se aprovechan las semillas, los brotes tiernos y maduros, y su absorción de nutrientes y humedad es elevado se consideró representativo en el estudio, habiéndose hecho para la recolección de los frutos la selección de los que tuvieran un mayor tamaño, pues esto indicaría una mayor captación de los nutrientes y contaminantes del suelo.

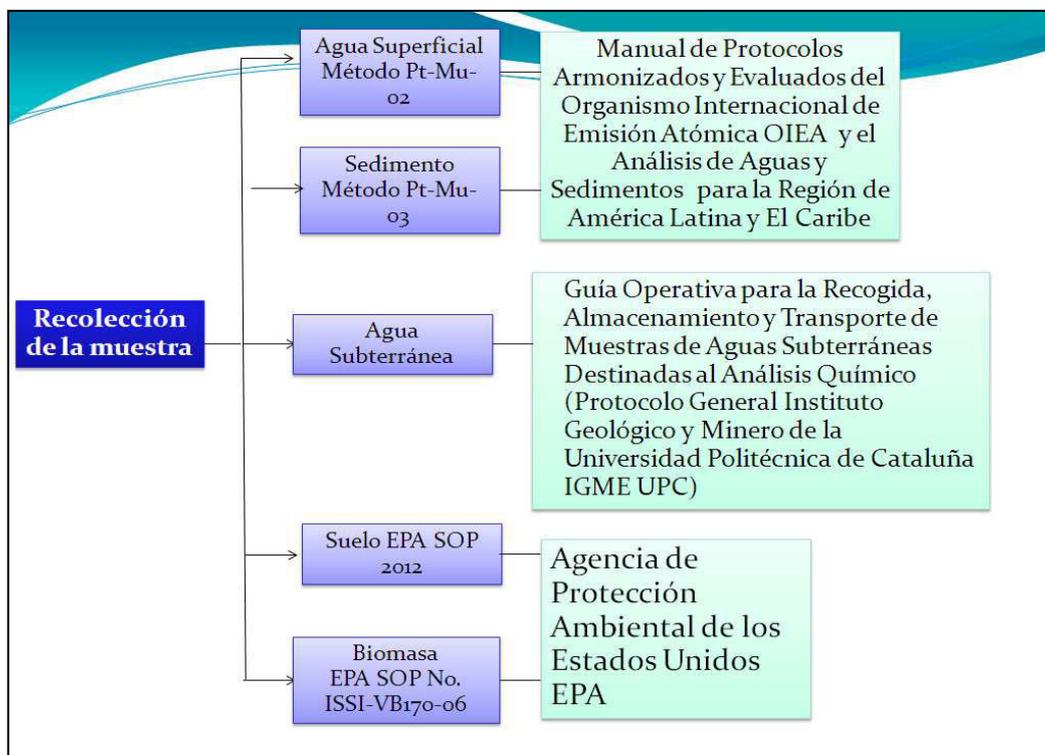
En el caso de la muestra de suelo se identificó el punto a recolectar (nivel de profundidad), por ejemplo, dependiendo del cultivo, pues es esta porción de suelo la que más interesa para verificar qué niveles de metales están presentes y cuánto de ellos es transferido a los cultivos específicamente.

Además de lo mencionado anteriormente, los puntos para muestreo seleccionados en la zona de estudio cumplieron con las siguientes consideraciones:

- Cercanía a sitios de desarrollo de actividades de la población que contribuyen al efluente del río, tales como actividades antropogénicas (industria, agricultura, etc) (sitios potenciales de contaminación puntual y difusa)
- Pertener a zonas de vulnerabilidad ambiental como descargas de residuos.
- Grado de accesibilidad del tramo y sitio de muestreo bajo
- Condiciones de seguridad para los investigadores
- Condiciones de terreno favorables para las actividades de muestreo..
- Representatividad

### 3.2 Recolección de las muestras

En el anexo 3 y la figura 3.2 presentan los flujogramas de las metodologías utilizadas para la recolección de las muestras de las matrices estudiadas en la presente investigación. La figura 3.2 también presenta las metodologías de recolección de muestras y las cuales están basadas en los documentos:



**Figura 3.2 Metodologías utilizadas para la recolección de las muestras de las matrices estudiadas en la presente investigación.**

En la figura 3.2 se observa que:

Para la toma de muestras de agua superficial se hizo en base al Manual de Protocolos Armonizados y Evaluados para la toma de muestra y el Análisis de Aguas y Sedimentos para la Región de América Latina y El Caribe (método Pt-Mu-02).

Para la toma de muestras de sedimentos se hizo en base al Manual de Protocolos Armonizados y Evaluados para la toma de muestra y el Análisis de Aguas y Sedimentos para la Región de América Latina y El Caribe (método Pt-Mu-03).

Para la toma de muestras de agua subterránea se hizo en base la Guía Operativa para la Recogida, Almacenamiento y Transporte de Muestras de Aguas Subterráneas Destinadas al Análisis Químico (Protocolo General IGME UPC).

Para la toma de muestras de suelo se hizo en base Metodología EPA para la recolección de suelos SOP 2012.

Para la toma de muestras de biomasa (maíz, caña de azúcar y pipián) se hizo en base a la Metodología EPA SOP No. ISSI-VB170-06 "Muestreo de vegetales de jardín en residencias para determinación del riesgo basada en la exposición a metales".

Los flujogramas también incluyen la medición de los parámetros fisicoquímicos medidos "in situ": pH, temperatura, conductividad y oxígeno disuelto.

### **3.3 Tratamiento de las matrices investigadas para la obtención de los espectros.**

#### **3.3.1 Etapa I: preparación previa al proceso de digestión**

Para las muestras sólidas se les realizó el siguiente procedimiento:

- **Secado**

La muestra completa se secó en una estufa de secado a una temperatura no superior a 60°C, (para evitar la pérdida de posibles compuestos metálicos volátiles, para facilitar el tamizado, y listo para la muestra para la molienda). El secado se prosiguió hasta que la pérdida de masa de la muestra permanezca con valores constantes.

- **Trituración y eliminación de materiales gruesos**

Cuando la muestra de suelo se secó hasta formar terrones, fue necesario llevar a cabo un proceso de trituración. Una vez secada y separados los fragmentos extraños, la muestra se redujo de tamaño por trituración hasta alcanzar un tamaño de partícula inferior a 5 mesh. Si la muestra no alcanzó el tamaño fue necesario efectuar el procedimiento de pulverización hasta alcanzarlo.

- **Homogenización**

La muestra se homogenizó después de las operaciones de separación, tamizado, triturado o pulverizado

- **Cuarteo**

Para preparar la muestra de laboratorio, se dividió la muestra secada, triturada y tamizada (fracción <5 mesh) en porciones de 200-300 g, mediante cuarteo. Para preparar una alícuota para el análisis, fue necesario dividir la muestra de laboratorio en porciones representativas hasta alcanzar los tamaños de muestra requeridos.

El cuarteo se usó para homogeneizar y dividir las muestras. Este proceso se llevó a cabo como sigue:

Etapa 1.- Se dispuso la muestra formando un cono sobre una superficie rugosa y limpia

Etapa 2.- Se dividió el cono en cuatro partes

Etapa 3.- Se tomaron los sectores opuestos del cono

Etapa 4.- Se mezclaron el contenido de estos sectores y se formó un nuevo cono. Se repitió la operación hasta alcanzar justamente el tamaño de muestra que se precisa para la muestra de laboratorio

Para las muestras líquidas se les realizó el siguiente procedimiento:

- Análisis de sólidos totales disueltos
- Digestión, si el contenido de sólidos totales disueltos es mayor a 150 ppm (EPA 200.7)
- Preparación de la dilución correspondiente de la muestra para la obtención del espectro de fluorescencia de rayos X por reflexión total, sin pasar por el proceso de digestión si el contenido de sólidos totales disueltos en la muestra es menor a 150 ppm (EPA 200.7)

### 3.3.2 Etapa II: Digestión de las muestras

Esta etapa tuvo por objetivo solubilizar los metales de interés para la posterior cuantificación de los niveles de concentración de los metales por el método de fluorescencia; así como también eliminar la parte orgánica de la matriz.

El equipo que se utilizó para la digestión de las matrices analizadas fue el Digestor *EthosOne* de la empresa *Milestone* que proporciona la digestión ácida de la muestra en un recipiente cerrado usando dispositivo de control de temperatura de calentamiento por microondas para la determinación de metales por métodos espectroscópicos. Para mantener el control del equipo y tener un buen funcionamiento se llenaron los nueve recipientes del rotor del *EthosOne* con una sola muestra, luego se digestó, repitiendo así este mismo criterio en todas las muestras. En la figura 3-3 se presenta el digestor utilizado en la investigación



**Figura 3.3 Digestor EthosOne, Milestone**

La metodología de la digestión utilizada presenta especificaciones propias para cada matriz analizada y se aplicó según lo especifica el Manual de Digestión *EthosOne* de Milestone, tal como se indica a continuación:

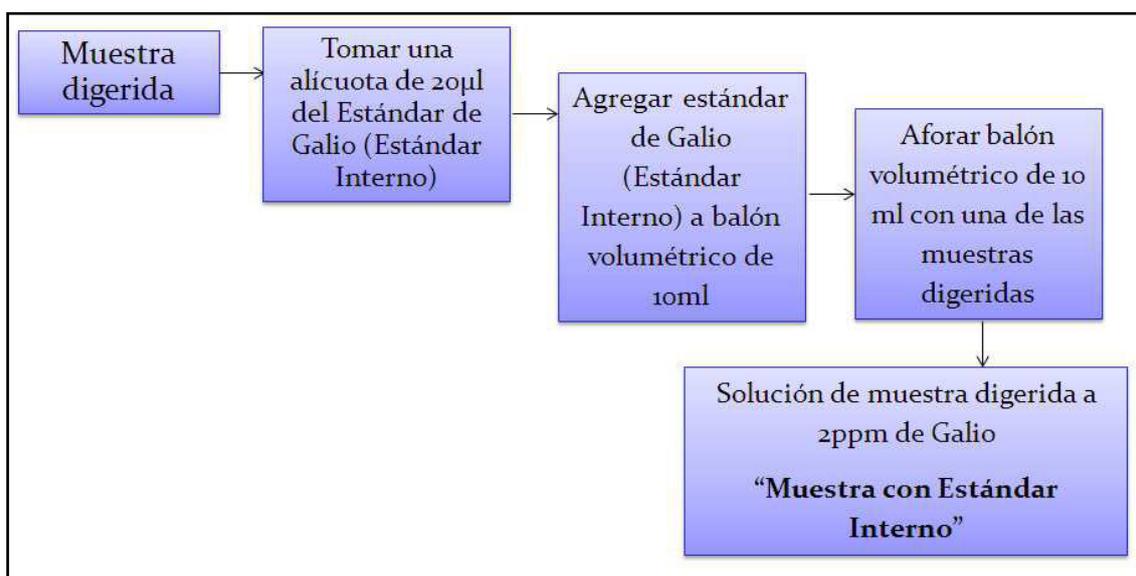
- Para las muestras de caña de azúcar se utilizó la metodología HPR-AG-07
- Para las muestras de pipián se utilizó la metodología HPR-FO-68
- Para las muestras de maíz se utilizó la metodología HPR-AG-04
- Para las muestras de aguas superficiales y subterráneas se utilizó la metodología HPR-EN-38.
- Para las muestras de sedimento se utilizó la metodología HPR-EN-29.
- Para las muestras de suelo se utilizó la metodología HPR-EN-13.

Todas estas metodologías de la digestión se presentan en el anexo 5

### 3.3.3 Etapa III. Preparación de las diluciones de las muestras digeridas para la generación de los espectros por la técnica de fluorescencia de Rayos X por reflexión total.

Las metodologías seguidas para la preparación de las diferentes diluciones para cada una de las muestras se presentan en el Anexo 6

En la figura 3.4, se presenta un diagrama que muestra de forma resumida el proceso de de preparación de diluciones de las muestras digeridas y adición de estándar interno.



**Figura 3.4 Diagrama de preparación de diluciones de las muestras digeridas. Adición de Estándar Interno**

Para la determinación de las concentraciones se aplicó la técnica espectroscopia de fluorescencia de Rayos X por reflexión total que utiliza para el cálculo de las concentraciones la regresión tasa de conteo versus concentración, la cual exige la adición del estándar interno Galio a cada dilución de la muestra que se va analizar con el objeto de disminuir los efectos de configuración geométrica en la ubicación de cada una de las muestras en el porta-muestra (cuarzo) y detector del equipo. Para este caso se agregó 2ppm de Galio en todas las muestras, siendo este el valor de concentraciones esperado para los metales analizados en cada una de las muestras y un valor de mayor confiabilidad comparado con un 1ppm en la detección del equipo.

De cada una de las diluciones preparadas de las muestras se tomó una alícuota que se colocó en el cristal de cuarzo (porta muestra), la cual fue llevada a sequedad para luego obtener el espectro de cada una de las matrices en estudio.

### 3.3.4 Etapa IV. Preparación de los estándares para la obtención de curva de calibración para la técnica de fluorescencia de Rayos Xreflexión total

Para la curva de calibración se prepararon soluciones patrón multielemento de los elementos Ag, Al, B, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, In, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Sr, Tl, Zn a 3 valores de concentración 1, 2 y 5 ppm de cada uno de elementos. La metodología de preparación de cada una de las concentraciones del estándar multielemento se presenta en el anexo 8.

En la figura 3.5, se presenta un diagrama que muestra de forma resumida la preparación de Estándar Multielemento a 2 ppm

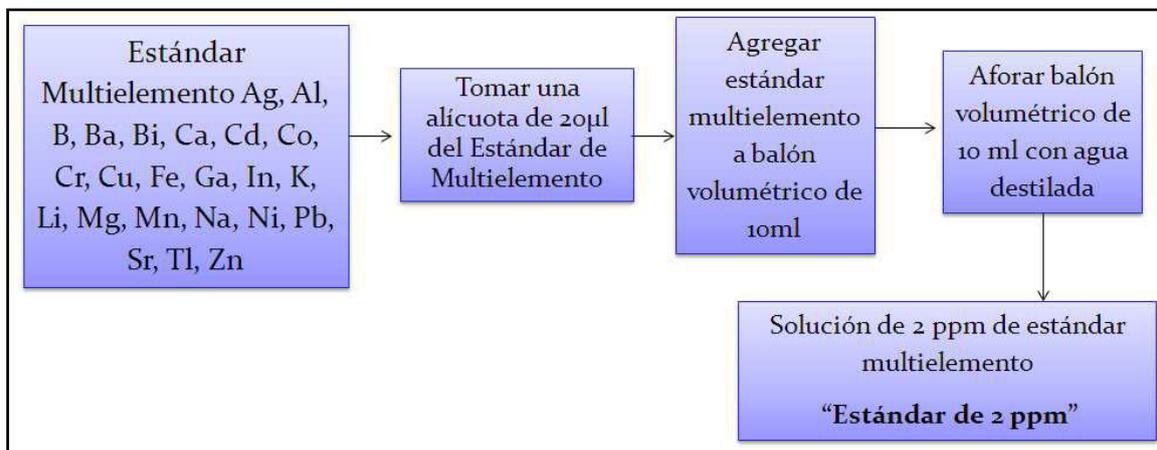


Figura 3.5 Diagrama de preparación de Estándar Multielemento a 2 ppm

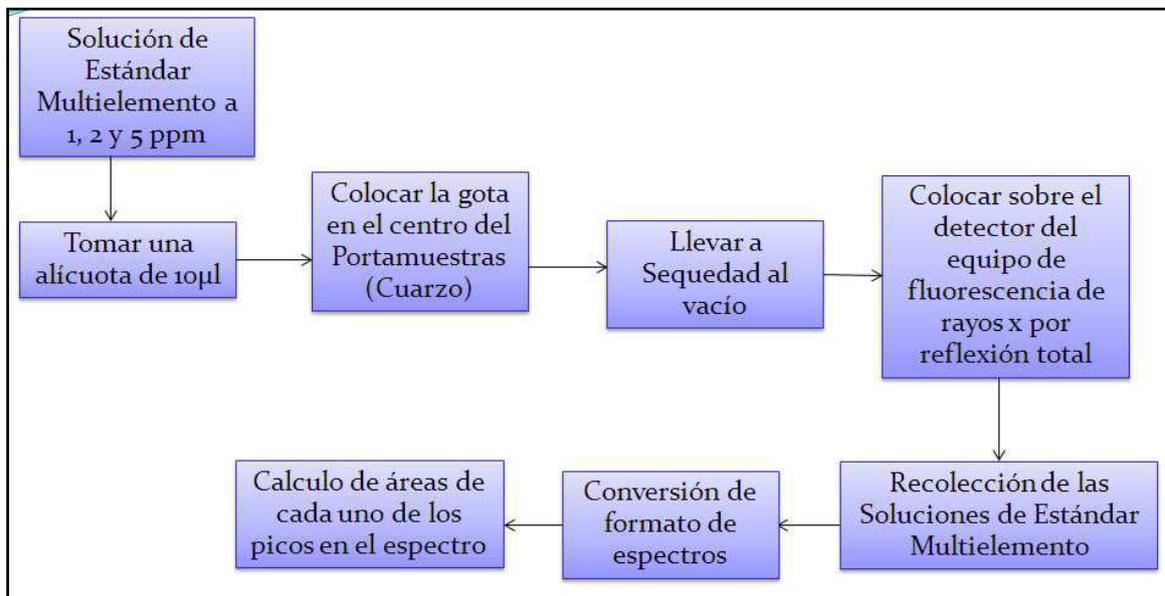
En la figura 3.6, se presenta el equipo de fluorescencia de rayos X, modelo XR-100CR, que fue utilizado para la lectura de las concentraciones de las muestras diluidas analizadas en la presente investigación realizada el Laboratorio de Investigaciones y Aplicaciones Nucleares (CIAN) de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador



**Figura 3.6 Equipo de fluorescencia de rayos X**

De cada una de las diluciones preparadas de los estándares multielemento se tomó una alícuota que se colocó en el cristal de cuarzo (porta muestra), la cual fue llevada a sequedad para luego obtener el espectro de los estándares multielemento y proceder a construir la curva de calibración.

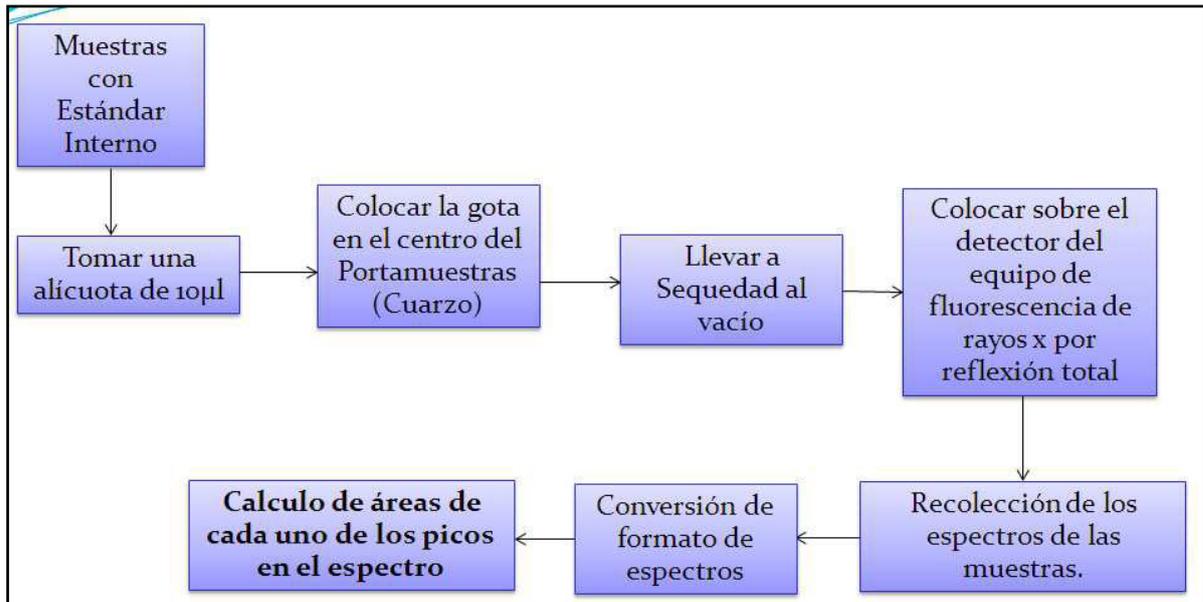
En la figura 3.7, se presenta un diagrama que muestra de forma resumida el procedimiento de la obtención de Espectros de las Soluciones de Estándar Multielemento con el software AXIL-QXAS



**Figura 3.7 Diagrama de Obtención de Espectros de las Soluciones de Estándar Multielemental con el software AXIL-QXAS**

De igual forma para las diluciones preparadas de cada una de las muestras se tomó una alícuota que se colocó en el cristal de cuarzo (porta muestra), la cual fue llevada a sequedad para luego obtener el espectro de las muestras.

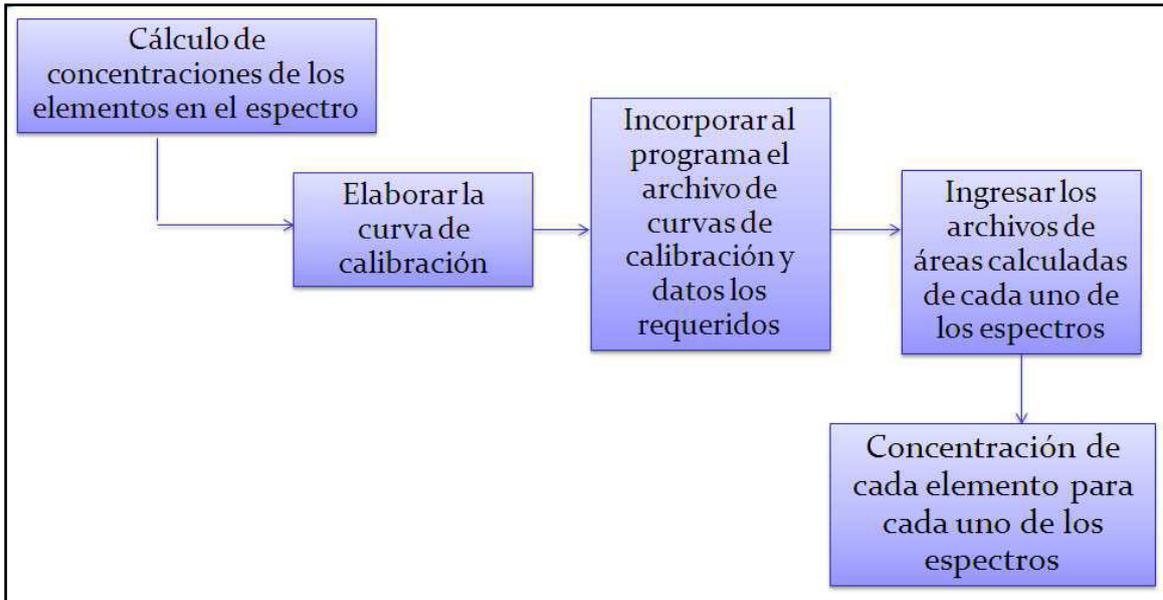
En la figura 3.8, se presenta un diagrama que muestra de forma resumida el procedimiento de la obtención de Espectros y Cálculo de Área para las Muestras Analizadas con el software AXIL-QXAS



**Figura 3.8 Diagrama resumido para la Obtención de Espectros y Cálculo de Área para las Muestras Analizadas con el software AXIL-QXAS**

### **3.4 Cálculo de las concentraciones de los elementos metales pesados en las muestras analizadas con la técnica de fluorescencia de Rayos X por reflexión total.**

En el esquema siguiente se muestra de manera resumida el procedimiento para el cálculo de concentraciones de metales pesados



**Figura 3.9 Diagrama de Cálculo de concentraciones de los elementos en el espectro con el software AXIL-QXAS. Método de análisis Regresión de tasa de conteo versus concentración**

Una vez se obtuvieron los espectros del estándar multielemento a las tres concentraciones (1, 2 y 5 ppm), y los espectros de las muestras se procedió a los cálculos de las áreas de los picos presentes en cada espectro las cuales son equivalentes a las concentraciones de los estándares de los elementos y a las concentraciones de los elementos presentes en la muestra. Estos cálculos se hicieron con el Software AXIL-QXAS.

Cada una de las concentraciones de los elementos que se obtuvieron para las muestras diluidas con el programa de AXIL-QXAS se multiplicó por el factor de dilución correspondiente para cada muestra para obtener la concentración de cada uno de los metales pesados en las muestras originales analizadas.

Para el posterior análisis de los niveles de concentración de los metales analizados se definieron puntos de referencia ubicados aguas arriba antes de llegar al relleno sanitario, para evaluar los cambios en los niveles de concentración de los metales debido a la posible influencia de las fuentes de potencial contaminación en todas matrices estudiadas en la zona investigada.

### **3.5 Análisis de los niveles de concentración de los metales pesados encontrados.**

Para el análisis de resultados se elaboran gráficos en EXCEL para comparar los niveles de concentración de metales pesados encontrados en cada matriz, los cuales se compararan con los valores de las normas a continuación descritas.

Para la matriz de agua se usó la Normativa EPA de plomo en agua para los metales plomo, cadmio y níquel, en el caso del zinc OMS Normas internacionales para el agua potable (1985).

Para la matriz suelo se usó España, Real Decreto para los metales cadmio, níquel y zinc y en el caso del plomo el Convenio de Basilea.

Para la matriz biomasa (caña de azúcar, maíz y pipián) se usó el CODEX alimentario para los metales plomo y cadmio.

Para la matriz de sedimento no fue posible el proceso de secado al vacío, lo que no permitió el cálculo de concentraciones por reflexión total. Como alternativa se optó por el método de Emisión-Transmisión. Ver en anexo 12, conteniendo tabla con datos de áreas de líneas espectrales. Se incluyen estos datos para que sirvan en próximos estudios.

En el anexo 10 se incluyen las normas utilizadas para analizar los niveles de concentraciones de los diferentes metales analizados en la presente investigación, En la tabla 3.1 se presenta un cuadro resumen de los valores de norma utilizados para el análisis de las concentraciones encontradas en las muestras estudiadas

**Tabla 3.1 Límites máximos permitidos de metales para cada matriz y su respectiva referencia**

Metal	Límite	Unidades	Matriz	Referencia
Plomo	0.015	mg/l	Agua Potable	Normativa EPA de plomo en agua
	25	mg/l	Suelo	Convenio de Basilea
	0.2	mg/l	Biomasa (cereales)	CODEX alimenticio
	0.1 a 1	mg/l	Biomasa (pipián y caña de azúcar)	CODEX alimenticio
Cadmio	0.005	mg/l	Agua Potable	Normativa EPA de plomo en agua
	1**	mg/l	Suelo	España, Real Decreto
	0.1 a 1	mg/l	Biomasa	CODEX alimenticio
Níquel	5*	mg/l	Agua Potable	Normativa EPA de níquel en agua
	30**	mg/l	Suelo	España, Real Decreto
	--	mg/l	Biomasa	--
Zinc	5	mg/l	Agua Potable	OMS Normas Internacionales para el Agua Potable (1985)
	150**	mg/l	Suelo	España, Real Decreto
	--	mg/l	Biomasa	--

\*Proviene de un reglamento secundario para agua potable, EPA

\*\*Valor para pH menores de 7.

Estas normas fueron tomadas debido que en el país no existe una normativa nacional para este tipo de contaminantes en los tipos de matrices estudiadas en la presente investigación. Estas normas se presentan en el anexo 10, siendo estas las que se tomaron de referencia para determinar si los niveles encontrados superan o no los niveles permitidos de referencia y así poder concluir al respecto.

En el estudio también se elaboraron mapas de la cuenca en los que se ubicaron los niveles de concentración de metales pesados en cada punto muestreado por matriz y metal identificado en la investigación. Con una tabla generada de concentraciones de los metales investigados, latitud y longitud de los puntos de muestreo se ubicó por medio de colores el metal que se está representando y por tamaños de los puntos se identifica los niveles de concentración en los mapas generados, esto con el software de elaboración de mapas usados en los sistemas de información geográfica

## 4 Resultados

### 4.1 Espectros de matrices

Para el cálculo de concentraciones el programa de análisis de datos QXAS-AXIL se genera espectros de donde se realizara el cálculo del área bajo las líneas espectrales ( $K_{\alpha}$  y  $L_{\beta}$ ) de cada elemento y asociarla a la concentración de ese metal, a continuación se presenta un ejemplo de espectros para la matriz Agua Subterránea:

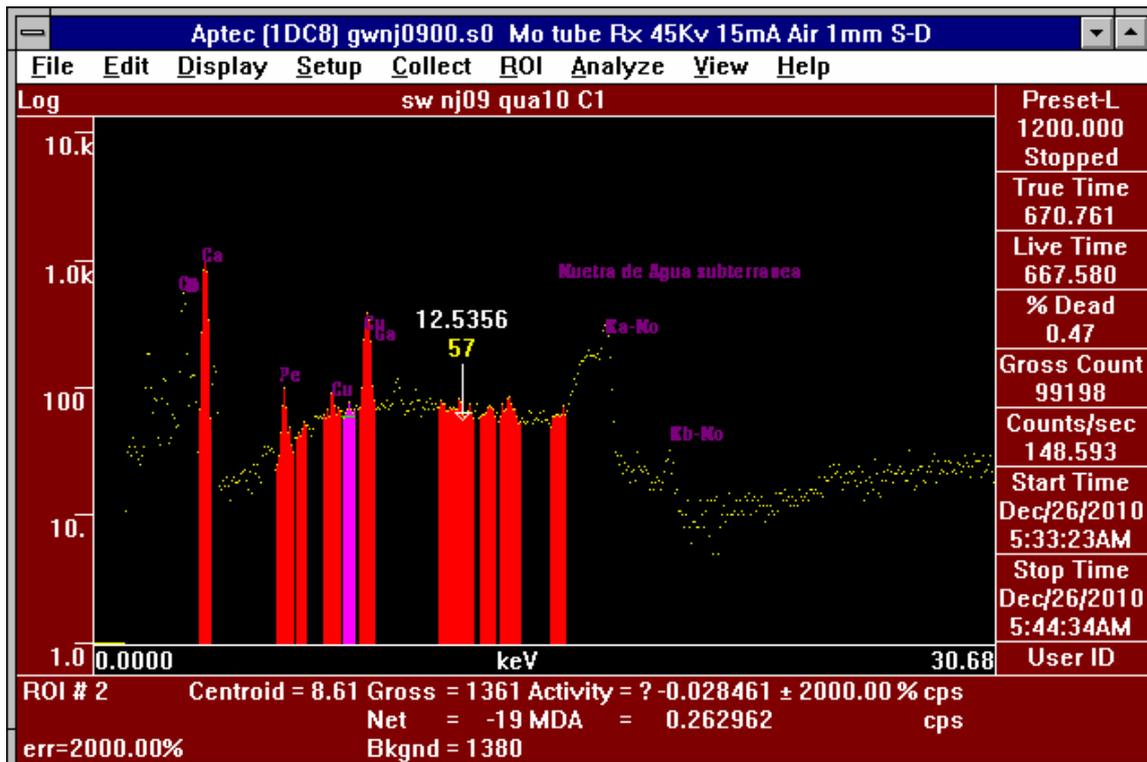


Figura 4.1 Espectro de Energías Característica de Metales para Matriz Agua Subterránea

En la figura 4.1 se observan las líneas espectrales  $K_{\alpha}$  y  $L_{\beta}$  para cada uno de los metales presentes en la muestra las energías de estas líneas espectrales son únicas y características para cada metal por lo cual con esta herramienta se puede realizar la identificación de los metales en las muestras analizadas. Para el caso particular, en el punto NJ09 de agua subterránea se observan picos característicos tanto de línea L como K de cobre, calcio, zinc, níquel, plomo, etc., además de poder ubicar el pico característico para la línea k del galio el cual es el estándar interno adicionado.

Se agrega un ejemplo de espectro para cada uno de las matrices analizadas en el anexo 11.

## 4.2 Cálculo de concentraciones, factor de dilución y límite de detección

### Calculo del factor de dilución

El proceso de análisis a través del método “Fluorescencia de Rayos X totales” lleva un trabajo riguroso de preparación de muestra, este debe primero pasar por un método de digestión el cual permite homogenizar la muestra para un correcto análisis.

Por ello una vez concluida la fase de análisis, para encontrar la concentración real de cada metal en la muestra se debe hacer el proceso de cálculo del factor de dilución, teniendo en cuenta los valores de los volúmenes totales teóricos y reales de las metodologías de digestión, las cuales se mencionan a continuación:

- a) El método HPR-EN 38 que está contemplado en los manuales del equipo ETHOS ONE indica que para Muestras de Aguas Superficiales y Subterráneas se debe de tomar una alícuota de 4 ml a la cual se le agregan 12 ml de ácidos teniendo un total teórico de 16 ml por vessel, se preparan 9 vessel por cada muestra de digestadas para mantener el control del proceso y la buena operación de equipo.
- b) El método HPR-EN 13 que está contemplado en los manuales del equipo ETHOS ONE indica que para Muestras de Suelos se debe de tomar una muestra de 0.5 gr a la cual se le agregan 19 ml de ácidos y tomando como aproximación de 0.5 gr de muestra a 0.5 ml se obtiene un volumen total teórico de 19.5 ml por vessel, se preparan 9 vessel por cada muestra de digestadas para mantener el control del proceso y la buena operación de equipo.
- c) El método HPR-AG 04 que está contemplado en los manuales del equipo ETHOS ONE indica que para Muestras de Biomasa maíz se debe de tomar una muestra de 0.5 gr a la cual se le agregan 8 ml de ácidos y tomando como aproximación de 0.5 gr de muestra a 0.5 ml se obtiene un volumen total teórico de 8.5ml por vessel, se preparan 9 vessel por cada muestra de digestadas para mantener el control del proceso y la buena operación de equipo.
- d) El método HPR-AG 07 que está contemplado en los manuales del equipo ETHOS ONE indica que para Muestras de Biomasa caña de azúcar se debe de tomar una muestra de 0.5 gr a la cual se le agregan 8 ml de ácidos y tomando como aproximación de 0.5 gr de muestra a 0.5 ml se obtiene un volumen total teórico de 8.5ml por vessel, se preparan 9 vessel por cada muestra de digestadas para mantener el control del proceso y la buena operación de equipo.
- e) El método HPR-FO 68 que está contemplado en los manuales del

equipo ETHOS ONE indica que para Muestras de Biomasa pipián se debe de tomar una muestra de 0.5 gr a la cual se le agregan 8 ml de ácidos y tomando como aproximación de 0.5 gr de muestra a 0.5 ml se obtiene un volumen total teórico de 8.5ml por vessel, se preparan 9 vessel por cada muestra de digestadas para mantener el control del proceso y la buena operación de equipo.

Con los valores antes mencionados se realizan los ejemplos de cálculo del factor de dilución y la concentración en la muestra original para cada tipo de matriz:

### **Procedimiento de cálculo de concentración en muestras líquidas (agua subterránea y agua superficial)**

Tomando como base el punto NJ01 ubicado en la zona de referencia, la concentración de níquel para agua superficial

Para muestras líquidas se tomó una alícuota de 4 ml de muestra y se adicionó en 12 ml de ácido para cada uno de los 9 vessel dando un total de:

$V_{SWNJ01}$  = Volumen de agua superficial de la muestra en el punto NJ01 = 36ml

$V_0$  = Volumen total de muestra + ácidos después de evaporación por digestión = 127.5 ml

Con estos valores se calcula el primer Factor de Dilución (FD) con la ecuación 4.1

$$FD_1 = \frac{V_o}{V_{SWNJ01}}$$

#### **Ecuación 4.1**

$$FD_1 = \frac{127.5ml}{36ml} = 3.542$$

Una vez generada la primera dilución se extrae un volumen de 9.98 ml de muestra para realizar la segunda dilución llevándolo a un volumen de 10 ml, del cual se calcula el  $FD_2$  con la ecuación 4-1:

$$FD_2 = \frac{10 ml}{9.98 ml} \cong 1$$

Con ello se calcula el  $FD_T$ , con la ecuación 4.2

$$FD_T = FD_1 * FD_2$$

**Ecuación 4.2**

$$FD_T = 3.542 * 1 = 3.542$$

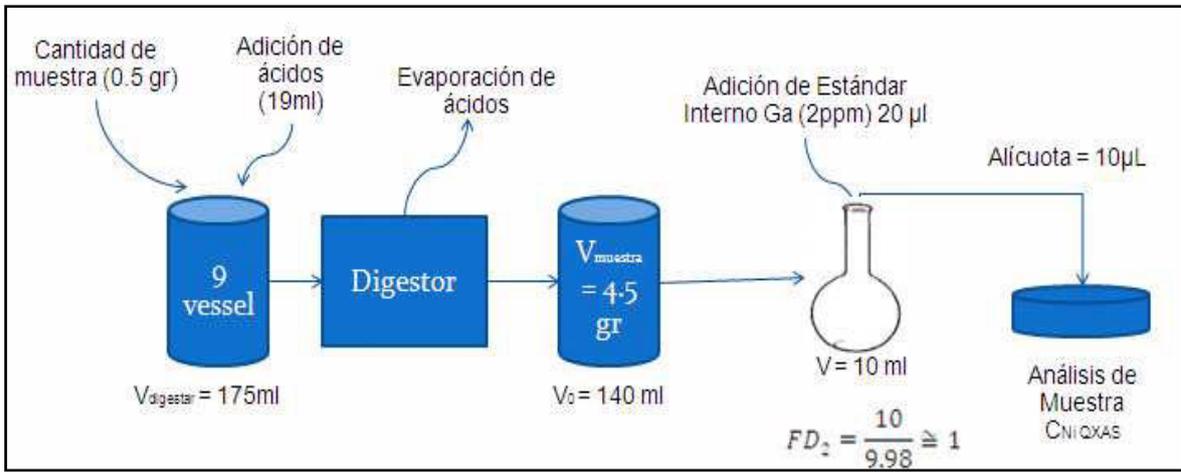
Con el factor de dilución total ( $FD_T$ ) y la concentración generada por el programa de análisis ( $C_{QXAS}$ ) se calcula la concentración en la muestra ( $C_x$ ) por medio de la ecuación 4.3:

$$C_x = C_{QXAS} * FD_T$$

**Ecuación 4.3**

$$C_{Ni} = C_{QXAS Ni} * FD_T$$

$$C_{Ni} = 0.2955 \text{ ppm Ni} * 3.542 = 1.047 \text{ ppm Ni}$$



**Figura 4.2 Esquema de de muestras liquidas**

**Procedimiento de cálculo de concentración para muestras sólidas (Suelo)**

Tomando como base el punto NJ01 ubicado en la zona de referencia, la concentración de níquel en suelo

Para muestras sólidas se tomó una muestra de 0.5 gr de muestra y se adicionó en 19 ml de ácido para cada uno de los 9vessel dando un total de:

$$W_{SONJ01} = 4.5 \text{ gr}$$

y  $V_0$  = Volumen total de muestra + ácidos después de evaporación por digestión = 157.5 ml

Una vez generada la primera dilución se extrae un volumen de 9.98 de muestra para realizar la segunda dilución llevándolo a un volumen de 10 ml, del cual se calcula el  $FD_2$  con la ecuación 4-1:

$$FD_2 = \frac{10 \text{ ml}}{9.98 \text{ ml}} \cong 1$$

Con la ecuación 4-4 se calcula la concentración de la muestra ( $C_x$ ):

$$C_x = \frac{C_{QXAS} * FD_2 * FG * 10^{-4}}{\frac{W_{muestra\ inicial}}{V_0} * \frac{A_1}{V_{f1}}}$$

#### **Ecuación 4.4**

Donde:

$FD_2$ = factor de dilución 2 = 1

$FG$ = factor gravimétrico = 1

$A_1$ =alícuota 1= 9.98ml

$V_{f1}$ =10ml

$W_{SONJ01}$ =4.5

$V_0$ =157.5 ml

La ecuación anterior se reduce a la ecuación 4.5:

$$C_x = \frac{C_{QXAS} * V_0}{W_{muestra\ inicial}}$$

#### **Ecuación 4.5**

Sustituyendo los valores de la concentración en la muestra ( $C_x$ ):

$$C_{Ni} = \frac{C_{QXAS(Ni)} * 157.5 \text{ ml}}{4.5 \text{ gr}} = C_{QXAS(Ni)} * 35 = 0.091 \text{ ppm Ni} * 35 = 3.185 \text{ ppm Ni}$$

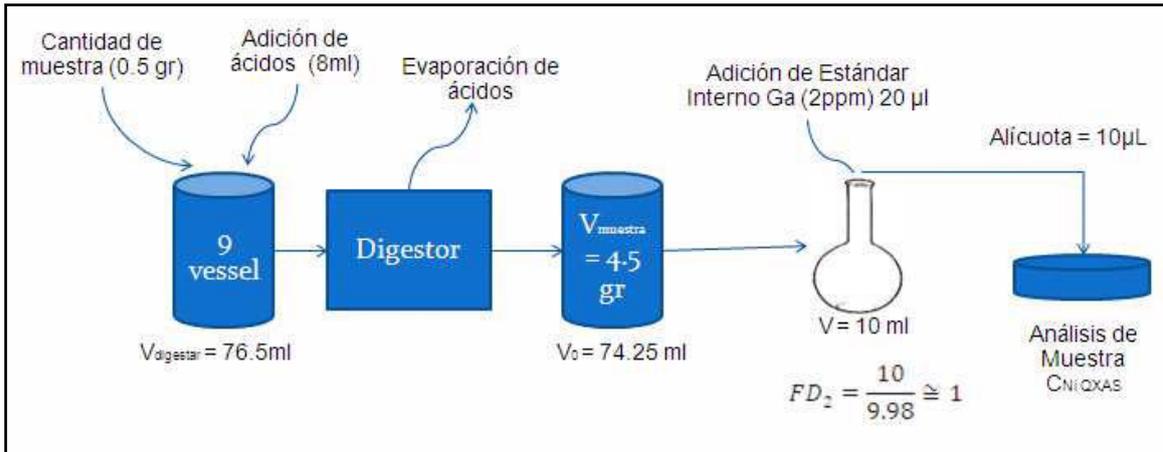


Figura 4.3 Esquema de dilución de muestras sólidas suelo

### Procedimiento de cálculo de concentración para muestras sólidas (Biomasa Pipián)

Tomando como base el punto NJ01, ubicado en la zona de referencia, la concentración de níquel en biomasa pipián

Para muestras sólidas se tomó una muestra de 0.5 gr de muestra y se adicionó en 8 ml de ácido para cada uno de los 9 vessel dando un total de:

$$W_{BMPNJ01} = 4.5 \text{ gr}$$

y  $V_0$  = Volumen total de muestra + ácidos después de evaporación por digestión = 74.25 ml

Una vez generada la primera dilución se extrae un volumen de 9.98 de muestra para realizar la segunda dilución llevándolo a un volumen de 10 ml, del cual se calcula el  $FD_2$  con la ecuación 4.1:

$$FD_2 = \frac{10 \text{ ml}}{9.98 \text{ ml}} \cong 1$$

Con la ecuación 4.6 se calcula la concentración de la muestra ( $C_x$ ):

$$C_x = \frac{C_{QXAS} * FD_2 * FG * 10^{-4}}{\frac{W_{muestra\ inicial}}{V_0} * \frac{A_1}{V_{f1}}}$$

Ecuación 4.6

Donde:

FD<sub>2</sub>= factor de dilución 2 = 1

FG= factor gravimétrico = 1

A<sub>1</sub>=alícuota 1= 9.98ml

Vf1=10ml

W<sub>BMPNJ01</sub> =4.5

V<sub>0</sub>=74.25 ml

La ecuación anterior se reduce a la ecuación 4-5:

$$C_x = \frac{C_{QXAS} * V_0}{W_{muestra\ inicial}}$$

#### Ecuación 4.7

Sustituyendo los valores de la concentración en la muestra (C<sub>x</sub>):

$$\begin{aligned} C_{Ni} &= \frac{C_{QXAS(Ni)} * 74.25\ ml}{4.5\ gr} = C_{QXAS(Ni)} * 16.5 = 0.681\ ppm\ Ni * 16.5 \\ &= 11.263\ ppm\ Ni \end{aligned}$$

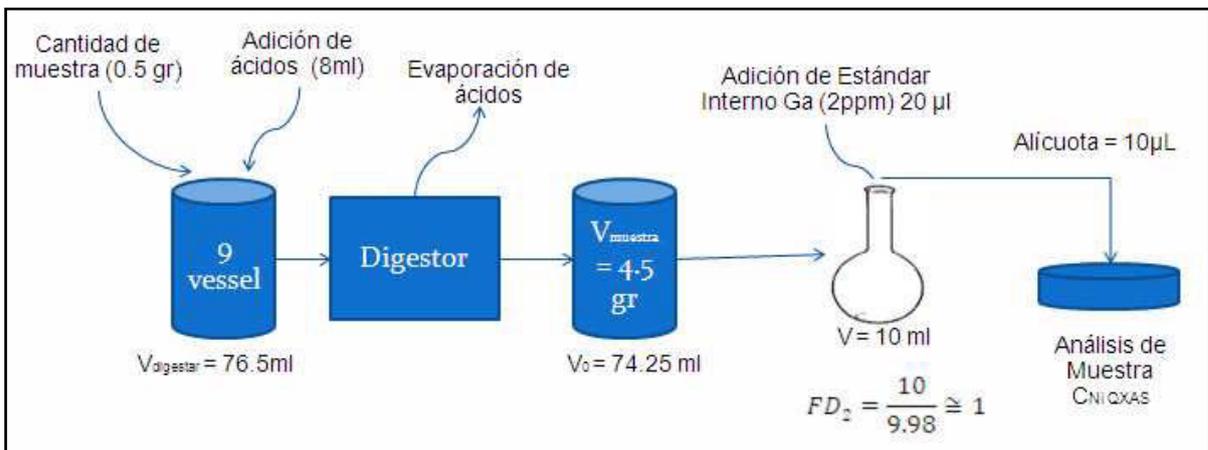


Figura 4.4 Esquema de dilución de muestras sólidas biomasa

En la siguiente tabla se muestra los valores de factor de dilución de las concentraciones para cada punto obtenidos para las muestras diluidas

**Tabla 4.1 Concentraciones de los metales en muestras diluidas y valores del factor de dilución por matriz**

Matriz	Punto	Conc. Ni (ppm)	Con. Zn (ppm)	Conc. Cd (ppm)	Conc. Pb (ppm)	C <sub>QXAS</sub> Ni (ppm)	C <sub>QXAS</sub> Zn (ppm)	C <sub>QXAS</sub> Cd (ppm)	C <sub>QXAS</sub> Pb (ppm)	V <sub>MUESTRA</sub> (ml) ó W <sub>MUESTRA</sub> (gr)	V <sub>0</sub> (ml)	FD <sub>T</sub>
Suelo	NJ01	3.185	6.428	BLD*	15.96	0.091	0.184	BLD*	0.456	4	140	35.0
	NJ04	35.966	56.324	BLD*	6.2292	1.034	1.619	BLD*	0.179	2.5	87	34.8
	NJ06	9.244	34.730	BLD*	77.157	0.278	1.045	BLD*	2.321	2	66.5	33.3
	NJ09	5.67	42.595	BLD*	59.045	0.162	1.217	BLD*	1.687	2.5	87.5	35.0
	NJ12	9.752	34.485	BLD*	6.219	0.276	0.976	BLD*	0.176	4.5	159.000	35.3
Agua superficial	NJ01	1.047	0.407	BLD*	1.424	0.2955	0.115	BLD*	0.402	36	127.500	3.5
	NJ02	1.689	0.434	BLD*	3.176	0.459	0.118	BLD*	0.863	36	132.500	3.7
	NJ03	0.979	0.474	BLD*	1.08	0.261	0.127	BLD*	0.288	36	135.000	3.8
	NJ07	1.454	0.499	BLD*	1.378	0.4105	0.141	BLD*	0.389	36	127.500	3.5
	NJ09	0.863	0.318	BLD*	1.043	0.2485	0.092	BLD*	0.301	36	125.000	3.5
	NJ11	1.071	0.531	BLD*	1.316	0.3025	0.15	BLD*	0.372	36	127.500	3.5
	NJ13	1.206	0.374	BLD*	1.365	0.3405	0.106	BLD*	0.386	36	127.500	3.5
	NJ18	0.620	0.405	BLD*	0.874	0.173	0.113	BLD*	0.244	36	129.000	3.6
NJ20	1.488	0.333	BLD*	1.966	0.42	0.094	BLD*	0.555	36	127.500	3.5	
Agua subterránea	NJ05	0.908	0.218	BLD*	1.712	0.242	0.058	BLD*	0.457	12	45.000	3.8
	NJ08	1.281	0.233	BLD*	1.442	0.3415	0.062	BLD*	0.385	12	45.000	3.8
	NJ14	1.125	0.210	BLD*	1.123	0.3375	0.063	BLD*	0.337	12	40.000	3.3
	NJ10	0.692	0.202	BLD*	0.668	0.2075	0.061	BLD*	0.201	12	40.000	3.3
	NJ15	1.853	0.378	BLD*	3.758	0.556	0.114	BLD*	1.128	12	40.000	3.3
	NJ16	2.119	0.428	BLD*	4.763	0.565	0.114	BLD*	1.270	12	45.000	3.8

Matriz	Punto	Conc. Ni (ppm)	Con. Zn (ppm)	Conc. Cd (ppm)	Conc. Pb (ppm)	C <sub>QXAS</sub> Ni (ppm)	C <sub>QXAS</sub> Zn (ppm)	C <sub>QXAS</sub> Cd (ppm)	C <sub>QXAS</sub> Pb (ppm)	V <sub>MUESTRA</sub> (ml) ó W <sub>MUESTRA</sub> (gr)	V <sub>0</sub> (ml)	FD <sub>T</sub>
	NJ17	0.638	0.186	BLD*	0.773	0.17	0.050	BLD*	0.206	12	45.000	3.8
	NJ19	1.267	0.204	BLD*	1.272	0.3535	0.057	BLD*	0.355	12	43.000	3.6
	NJ20	0.714	0.188	BLD*	0.797	0.1905	0.05	BLD*	0.213	12	45.000	3.8
Biomasa	NJ01 (P)	11.263	56.049	BLD*	24.047	0.681	3.389	BLD*	1.454	4.5	74.2500	16.5
	NJ01 (M)	2.395	18.506	BLD*	10.854	0.1497	1.157	BLD*	0.678	11	176.000	16.0
	NJ06 (C)	3.15	5.285	BLD*	13.14	0.21	0.352	BLD*	0.876	2	30.000	15.0
	NJ09 (C)	1.823	2.798	BLD*	4.395	0.1215	0.187	BLD*	0.293	2	30.000	15.0
	NJ12 (M)	1.575	12.533	BLD*	7.403	0.105	0.836	BLD*	0.494	2	30.000	15.0

\* Bajo el Limite de Detección: Los valores para cadmio no se pueden calcular pues están por debajo del límite de detección del equipo el cual es 570 picogramos(cálculo del límite de detección se detalla en la sección 4.3).

### 4.3 Cálculo de límite de detección de cadmio

En las muestras analizadas no se reportan datos de cadmio por razón que estos no superan el límite de dección del equipo para el cadmio.

Para el cálculo del límite máximo de detección para cadmio es necesario tomar en cuenta los valores del espectro para el estándar de 2 ppm:

La sensibilidad del equipo de análisis se calcula por medio de la ecuación 4-5

$$S_{mi} = \frac{I_B}{t * m_0}$$

Donde:

$S_{mi}$ : sensibilidad (cps/ng)

$I_B$ : Intensidad de background (cps) = 1617790 cps

t: live time (s) = 146.19 seg

$$m_0 = \text{Alicuota} * \text{Conc} = 10 \mu\text{l} * 2 \frac{\mu\text{g}}{\text{gr}} = 10e^{-3}\text{ml} * 2 \frac{\mu\text{g}}{\text{gr}} = 0.02\mu\text{g} = 20 \text{ ng}$$

Con la ecuación de la sensibilidad:

$$S_{mi} = \frac{1617790}{146.19 * 20} = 553.32 \frac{\text{cps}}{\text{ng}}$$

Con la sensibilidad  $S_{mi} = 553.32 \text{ cps/ng}$

Se calcula el límite de detección con la ecuación siguiente

$$m_{min} = \frac{3}{S_{mi}} \sqrt{\frac{I_B}{t}}$$

$$m_{min} = \frac{3}{553.32} \sqrt{\frac{1617790}{146.19}} = 0.57\text{ng} = 570\text{picogramos}$$

#### 4.4 Presentación de Resultados

En la siguiente tabla se muestran las concentraciones de los metales pesados en estudio, para cada una de las matrices: Suelo, Agua superficial, Agua subterránea, Biomasa (caña de azúcar, maíz, pipián).

**Tabla 4.2 Resumen de concentraciones de metales pesados por matriz en las muestras originales**

Matriz	Punto	Concentración Ni (ppm)	Concentración Zn (ppm)	Concentración Cd (ppm)	Concentración Pb (ppm)
Suelo	NJ01	3.185	6.428	BLD*	15.96
	NJ04	35.966	56.324	BLD*	6.2292
	NJ06	9.244	34.730	BLD*	77.157
	NJ09	5.67	42.595	BLD*	59.045
	NJ12	9.752	34.485	BLD*	6.219
Agua superficial	NJ01	1.047	0.407	BLD*	1.424
	NJ02	1.689	0.434	BLD*	3.176
	NJ03	0.979	0.474	BLD*	1.08
	NJ07	1.454	0.499	BLD*	1.378
	NJ09	0.863	0.318	BLD*	1.043
	NJ11	1.071	0.531	BLD*	1.316
	NJ13	1.206	0.374	BLD*	1.365
	NJ18	0.620	0.405	BLD*	0.874
	NJ20	1.488	0.333	BLD*	1.966
Agua subterránea	NJ05	0.908	0.218	BLD*	1.712
	NJ08	1.281	0.233	BLD*	1.442
	NJ14	1.125	0.210	BLD*	1.123
	NJ10	0.692	0.202	BLD*	0.668
	NJ15	1.853	0.378	BLD*	3.758
	NJ16	2.119	0.428	BLD*	4.763
	NJ17	0.638	0.186	BLD*	0.773
	NJ19	1.267	0.204	BLD*	1.272
	NJ20	0.714	0.188	BLD*	0.797
Biomasa	NJ01 (P)	11.263	56.049	BLD*	24.047
	NJ01 (M)	2.395	18.506	BLD*	10.854
	NJ06 (C)	3.15	5.285	BLD*	13.14
	NJ09 (C)	1.823	2.798	BLD*	4.395
	NJ12 (M)	1.575	12.533	BLD*	7.403

**Bajo el Límite de Detección:** Los valores para cadmio no se pueden calcular pues están por debajo del límite de detección del equipo el cual es 570 picogramos (cálculo del límite de detección se detalla en la sección 4.3).

Para el caso de la matriz de sedimento se usó un método alternativo (emisión-trasmisión), al no poderse analizar por reflexión total. Ver en el anexo 12 la

conteniendo la áreas calculadas para cada línea espectral en la matriz sedimento por el método emisión-trasmisión estos datos servirán de referencia para próximos estudios.

De los datos de la tabla anterior se muestran los gráficos de concentraciones de metales por cada una de las matrices.

Y para el análisis de gráficos es importante recordar que los puntos muestreados están divididos en:

- a) Puntos del Área de Referencia (Aguas Arriba)
- b) Puntos Intermedios
- c) Puntos Aguas abajo

**Tabla 4.3 División de puntos por áreas muestreadas**

<b>Tipo de punto</b>	<b>Descripción</b>	<b>Puntos</b>
Área de Referencia	Aguas arriba (alejado antes del relleno)	NJ14, NJ15, NJ16, NJ20, NJ11, NJ19, NJ18, NJ13, NJ12, NJ17
Área Intermedias	Puntos más cercanos al relleno	NJ10, NJ09, NJ01, NJ02, NJ03, NJ04
Área Aguas Abajo	Aguas abajo	NJ05, NJ06, NJ07, NJ08

Además de ello se deben tomar en consideración los límites máximos permitidos para cada metal en los diferentes tipos de matriz, a continuación se muestra la tabla de límites permitidos por matriz y la norma de la cual se rigen:

**Tabla 4.4 Límites máximos permitidos de metales para cada matriz**

<b>Metal</b>	<b>Limite</b>	<b>Unidades</b>	<b>Matriz</b>	<b>Referencia</b>
Plomo	0.015	mg/l	Agua Potable	Normativa EPA de plomo en agua
	25	mg/l	Suelo	Convenio de Basilea
	0.2	mg/l	Biomasa (cereales)	CODEX alimenticio
	0.1 a 1	mg/l	Biomasa (pipián y caña de azúcar)	CODEX alimenticio

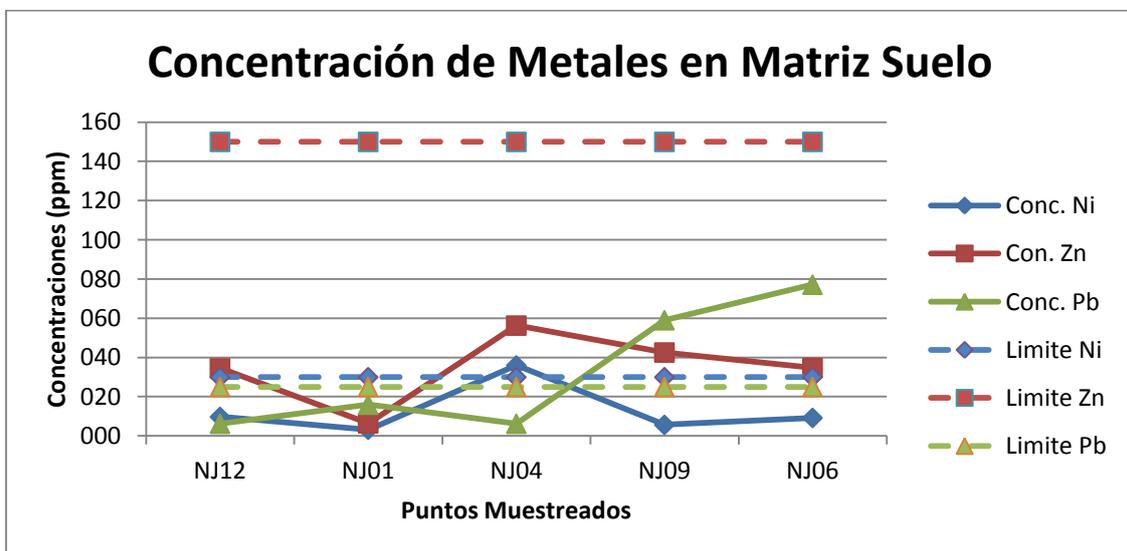
Metal	Limite	Unidades	Matriz	Referencia
Cadmio	0.005	mg/l	Agua Potable	Normativa EPA de plomo en agua
	1**	mg/l	Suelo	España, Real Decreto
	0.1 a 1	mg/l	Biomasa	CODEX alimenticio
Níquel	5*	mg/l	Agua Potable	Normativa EPA de níquel en agua
	30**	mg/l	Suelo	España, Real Decreto
	--	mg/l	Biomasa	--
Zinc	5	mg/l	Agua Potable	OMS Normas Internacionales para el Agua Potable (1985)
	150**	mg/l	Suelo	España, Real Decreto
	--	mg/l	Biomasa	--

\*Proviene de un reglamento secundario para agua potable, EPA

\*\*Valor para pH menores de 7.

Con lo cual se pueden analizar los gráficos siguientes:

Figura 4.5 Gráfico de la concentración de los metales Ni, Cd, Zn, Pb y los límites máximos permitidos para la Matriz Suelo



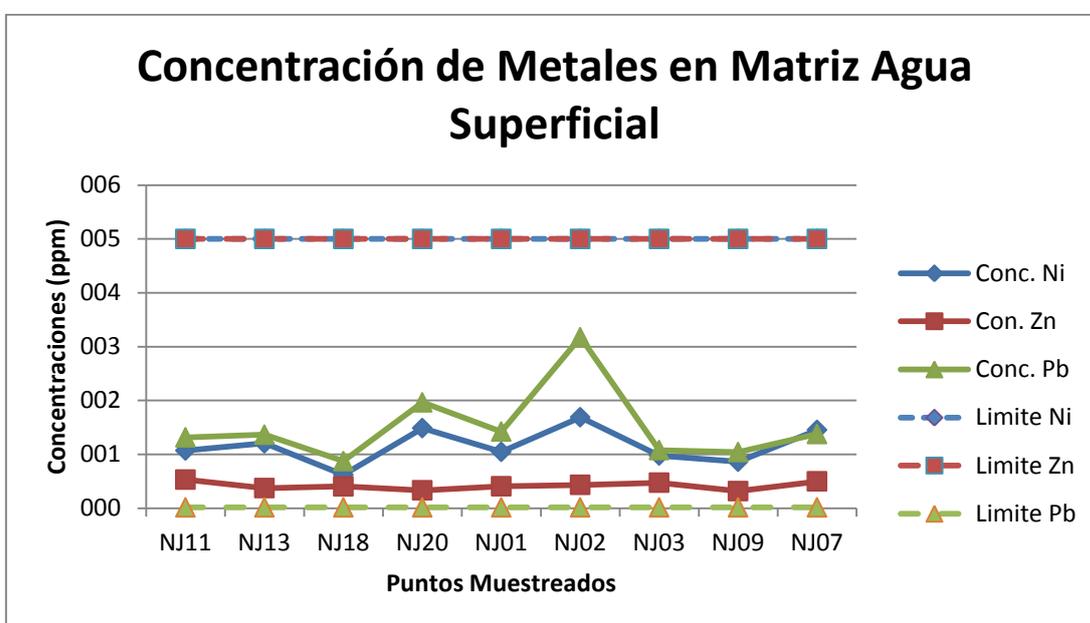
**Análisis:** En la figura 4.5 los ejes nos describen la concentración en ppm de los metales analizados (Ni, Zn, Pb y Cd) en la matriz suelo versus los puntos muestreados.

Se observa que en todos los puntos muestreados la concentración del Zn es inferior al valor máximo permitido por la norma del Real Decreto de España

(150ppm). Para el caso de Ni el único punto que sobrepasa el valor límite permitido por la norma del Real Decreto de España (30ppm) es el punto NJ04, el cual está ubicado en la zona intermedia de la cuenca. La concentración del Pb en los puntos NJ09 y NJ06 ubicados en zona intermedia y zona aguas abajo de la cuenca respectivamente, sobrepasan el valor límite permitido por el Convenio de Basilea (25ppm). En el gráfico no se observan las concentraciones de Cd en cada punto debido a que los valores de las concentraciones en las muestras están por debajo del límite de detección del equipo (límite de detección: 570 picogramos).

De acuerdo a la distribución de zonas de muestreo la que presenta mayor concentración, en el caso Zn, es la zona intermedia con el punto NJ04 el cual presenta un valor de 56.32 ppm, y la zona de aguas abajo presenta valores superiores a los de las concentraciones de referencia. Para el caso de Ni, la zona con mayor valor reportado de concentración es la intermedia en el punto NJ04, con un valor de 35.96 ppm, las zonas de aguas abajo y referencia presenta valores similares entre sí. En el caso de Pb la mayor concentración reportada se encuentra en la zona de aguas abajo en el punto NJ06 con 77.15 ppm, la zona intermedia presenta valores superiores a los de la zona de referencia.

**Figura 4.6** Gráfico de la concentración de los metales Ni, Cd, Zn, Pb y los límites máximos permitidos para la Matriz Agua Superficial

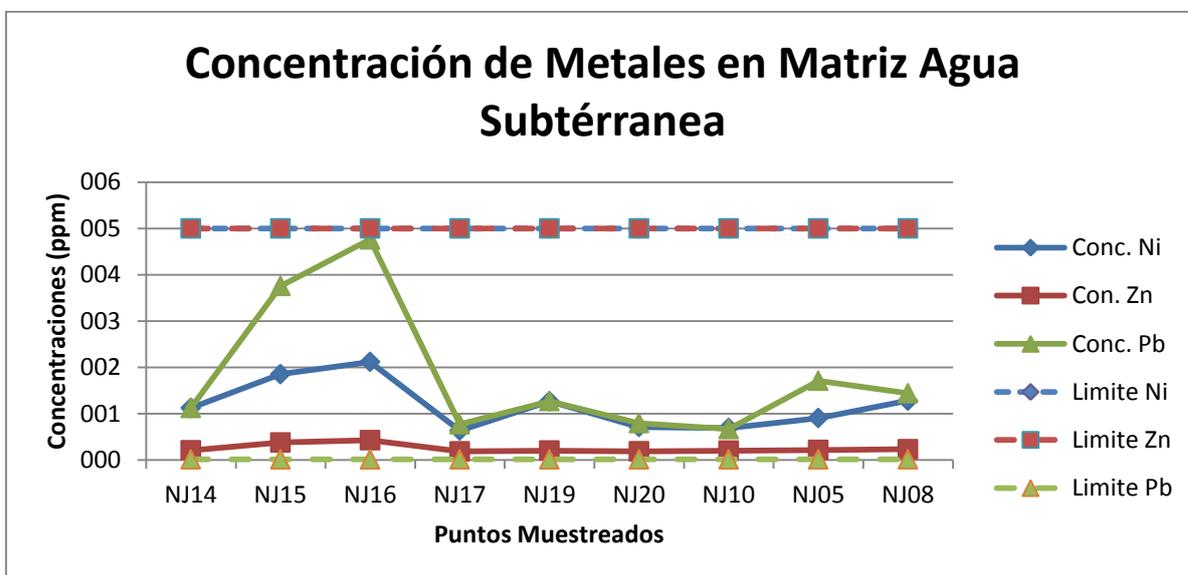


**Análisis:** En la figura 4.6 los ejes nos describen la concentración en ppm de los metales analizados (Ni, Zn, Pb y Cd) en la matriz agua superficial versus los puntos muestreados.

Se observa que en todos los puntos muestreados las concentraciones de Zn y Ni son inferiores al valor máximo permitido por la Norma Internacionales para el Agua Potable (Zn=5ppm) y la normativa EPA (Ni=5ppm), respectivamente. Para el caso de Pb todos los puntos están por encima de la norma EPA plomo en agua potable (0.15 ppm). En el gráfico no se observan las concentraciones de Cd en cada punto debido a que los valores de las concentraciones en las muestras son indetectables para la técnica de análisis con la configuración actual del equipo (límite de detección: 570 picogramos).

De acuerdo a la distribución de zonas de muestreo la que presenta mayor concentración, en el caso Zn, es la zona de referencia en el punto NJ11 el cual presenta un valor de 0.531 ppm, este valor se mantiene casi constante en el resto de puntos y zonas. Para el caso de Ni, la zona con mayor valor reportado de concentración es la intermedia en el punto NJ02, con un valor de 1.69 ppm, las zonas de aguas abajo y referencia poseen poca variación con respecto a este valor el menor valor se encuentra en la zona de referencia en el punto NJ18 con un valor de 0.62 ppm. En el caso de Pb la mayor concentración reportada se encuentra en la zona intermedia en el punto NJ02 con 3.18 ppm, la zona aguas abajo con la zona de referencia tienen valores de concentración similares entre sí.

**Figura 4.7** Gráfico de la concentración de los metales Ni, Cd, Zn, Pb y los límites máximos permitidos para la Matriz Agua Subterránea



**Análisis:** En la figura 4.7 los ejes nos describen la concentración en ppm de los metales analizados (Ni, Zn, Pb y Cd) en la matriz agua subterránea versus los puntos muestreados.

Se observa que en todos los puntos muestreados las concentraciones de Zn y Ni son inferiores al valor máximo permitido por la Norma Internacionales para el Agua Potable (Zn=5ppm) y la normativa EPA (Ni=5ppm), respectivamente. Para el caso de Pb todos los puntos están por encima de la norma EPA plomo en agua potable (0.15 ppm). En el gráfico no se observan las concentraciones de Cd en cada punto debido a que los valores de las concentraciones en las muestras son indetectables para la técnica de análisis con la configuración actual del equipo (límite de detección: 570 picogramos).

De acuerdo a la distribución de zonas de muestreo la que presenta mayor concentración, en el caso Zn, es la zona de referencia en el punto NJ16 el cual presenta un valor de 0.43 ppm, este valor se mantiene casi constante en el resto de puntos y zonas. Para el caso de Ni, la zona con mayor valor reportado de concentración es la intermedia en el punto NJ16, con un valor de 2.12 ppm, las zonas intermedia y de aguas abajo poseen poca variación con respecto a este valor el menor valor se encuentra en la zona de referencia en el punto NJ17 con un valor de 0.64 ppm. En el caso de Pb la mayor concentración reportada se encuentra en la zona referencia en el punto NJ16 con 4.76 ppm, la zona intermedia y aguas abajo presentan una notable disminución con respecto a este valor y poseen valores de concentración similares entre sí, el valor máximo entre estas dos zonas es de 1.71 ppm.

En el caso de la biomasa se calculó un coeficiente de absorción aparente el cual puede servir como punto de partida para la investigación más detallada de cada uno de los metabolismos.

En la tabla 4.5 se muestran los datos obtenidos de concentración de metales por punto de cada tipo de biomasa y la concentración reportada en el suelo de dicho punto, para calcular un coeficiente de absorción aparente de metales para cada tipo de biomasa.

**Tabla 4.5 Coeficiente de absorción aparente propuesto de metales para cada tipo de biomasa**

	<b>Punto</b>	<b>Concentración del metal en biomasa (ppm)</b>	<b>Concentración Total del metal en el suelo (ppm)</b>	<b>Coeficiente de absorción aparente del metal</b>
<b>Níquel</b>	NJ01 (Pipián)	11.263	14.448	<b>0.780</b>
	NJ01 (Maíz)	2.395	5.580	<b>0.429</b>
	NJ06 (Caña)	3.15	12.394	<b>0.254</b>
	NJ09 (Caña)	1.823	7.493	<b>0.243</b>
	NJ12 (Maíz)	1.575	11.327	<b>0.139</b>
<b>Zinc</b>	NJ01 (Pipián)	56.049	62.477	<b>0.897</b>
	NJ01 (Maíz)	18.506	24.934	<b>0.742</b>
	NJ06 (Caña)	5.285	40.015	<b>0.132</b>

	Punto	Concentración del metal en biomasa (ppm)	Concentración Total del metal en el suelo (ppm)	Coefficiente de absorción aparente del metal
	NJ09 (Caña)	2.798	45.393	<b>0.062</b>
	NJ12 (Maíz)	12.533	47.018	<b>0.267</b>
Plomo	NJ01 (Pipián)	24.047	40.007	<b>0.601</b>
	NJ01 (Maíz)	10.854	26.814	<b>0.405</b>
	NJ06 (Caña)	13.14	90.297	<b>0.146</b>
	NJ09 (Caña)	4.395	63.44	<b>0.069</b>
	NJ12 (Maíz)	7.403	13.621	<b>0.545</b>
Cadmio	NJ01 (Pipián)	BLD*	BLD*	BLD*
	NJ01 (Maíz)	BLD*	BLD*	BLD*
	NJ06 (Caña)	BLD*	BLD*	BLD*
	NJ09 (Caña)	BLD*	BLD*	BLD*
	NJ12 (Maíz)	BLD*	BLD*	BLD*

**\*Bajo el Límite de Detección: Los valores de concentración de cadmio no se pueden calcular pues están por debajo del límite de detección del equipo.**

### **Propuesta de Cálculo del Coeficiente de Absorción Aparente del Metal**

$$Absorción = \frac{C_{Metal\ en\ biomasa}}{C_{Total\ del\ metal\ en\ el\ suelo}}$$

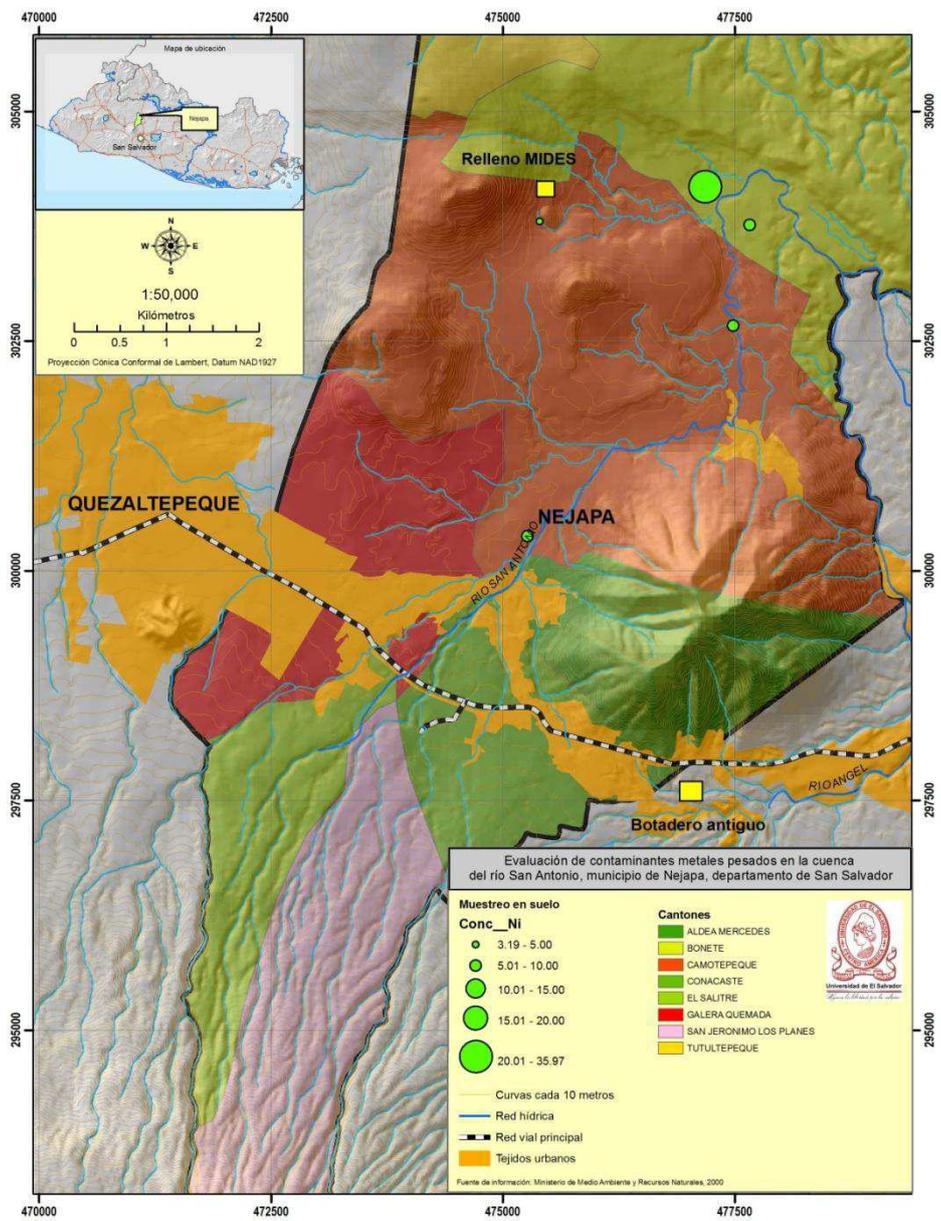
En la tabla anterior se puede observar el que para cualquier punto y cualquier tipo de metal el tipo de matriz que presenta mayor valor de coeficiente de absorción aparente es el pipián, seguido a continuación por el maíz y dejando en último lugar a la caña de azúcar.

#### 4.5 Mapas de Niveles de Concentración de Metales en cada Matriz

Para generar los mapas en el programa ARCGIS se utiliza la siguiente tabla:

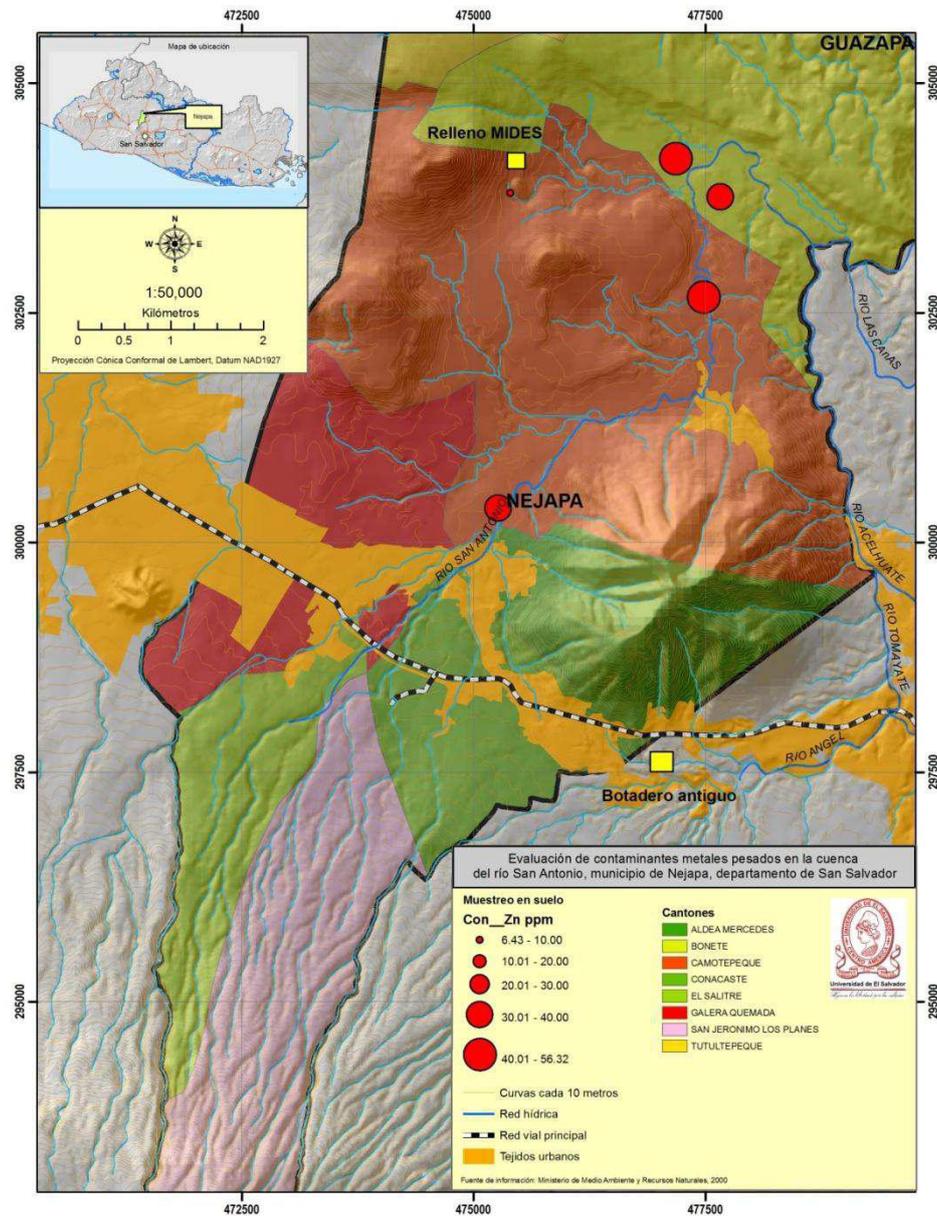
**Tabla 4.6 Tabla Resumen de Mapa de Concentraciones**

Matriz	Punto	Conc. Ni (ppm)	Con. Zn (ppm)	Conc. Pb (ppm)	Lat	Long
<b>Suelo</b>	NJ01	3.185	6.428	15.96	13.8564667	-89.227572
	NJ04	35.966	56.324	6.2292	13.8598611	-89.211058
	NJ06	9.244	34.730	77.157	13.8561222	-89.206619
	NJ09	5.67	42.595	59.045	13.8462278	-89.20825
	NJ12	9.752	34.485	6.219	13.8254778	-89.228744
<b>Agua superficial</b>	NJ01	1.047	0.407	1.424	13.8564667	-89.227572
	NJ02	1.689	0.434	3.176	13.8597167	-89.220611
	NJ03	0.979	0.474	1.08	13.8569639	-89.214547
	NJ07	1.454	0.499	1.378	13.8591222	-89.203858
	NJ09	0.863	0.318	1.043	13.8462278	-89.20825
	NJ11	1.071	0.531	1.316	13.8259556	-89.239194
	NJ13	1.206	0.374	1.365	13.8226111	-89.229281
	NJ18	0.620	0.405	0.874	13.8193806	-89.2322
NJ20	1.488	0.333	1.966	13.8186306	-89.233747	
<b>Agua subterránea</b>	NJ05	0.908	0.218	1.712	13.8575028	-89.207939
	NJ08	1.281	0.233	1.442	13.8556111	-89.205439
	NJ14	1.125	0.210	1.123	13.82165	-89.240553
	NJ10	0.692	0.202	0.668	13.8432278	-89.223311
	NJ15	1.853	0.378	3.758	13.8216667	-89.238931
	NJ16	2.119	0.428	4.763	13.8212722	-89.236842
	NJ17	0.638	0.186	0.773	13.8330667	-89.233067
	NJ19	1.267	0.204	1.272	13.8188833	-89.232219
NJ20	0.714	0.188	0.797	13.8186306	-89.233747	
<b>Biomasa</b>	NJ01 (P)	11.263	56.049	24.047	13.8564667	-89.227572
	NJ01 (M)	2.395	18.506	10.854	13.8564667	-89.227572
	NJ06 (C)	3.15	5.285	13.14	13.8561222	-89.206619
	NJ09 (C)	1.823	2.798	4.395	13.8462278	-89.20825
	NJ12 (M)	1.575	12.533	7.403	13.8254778	-89.228744



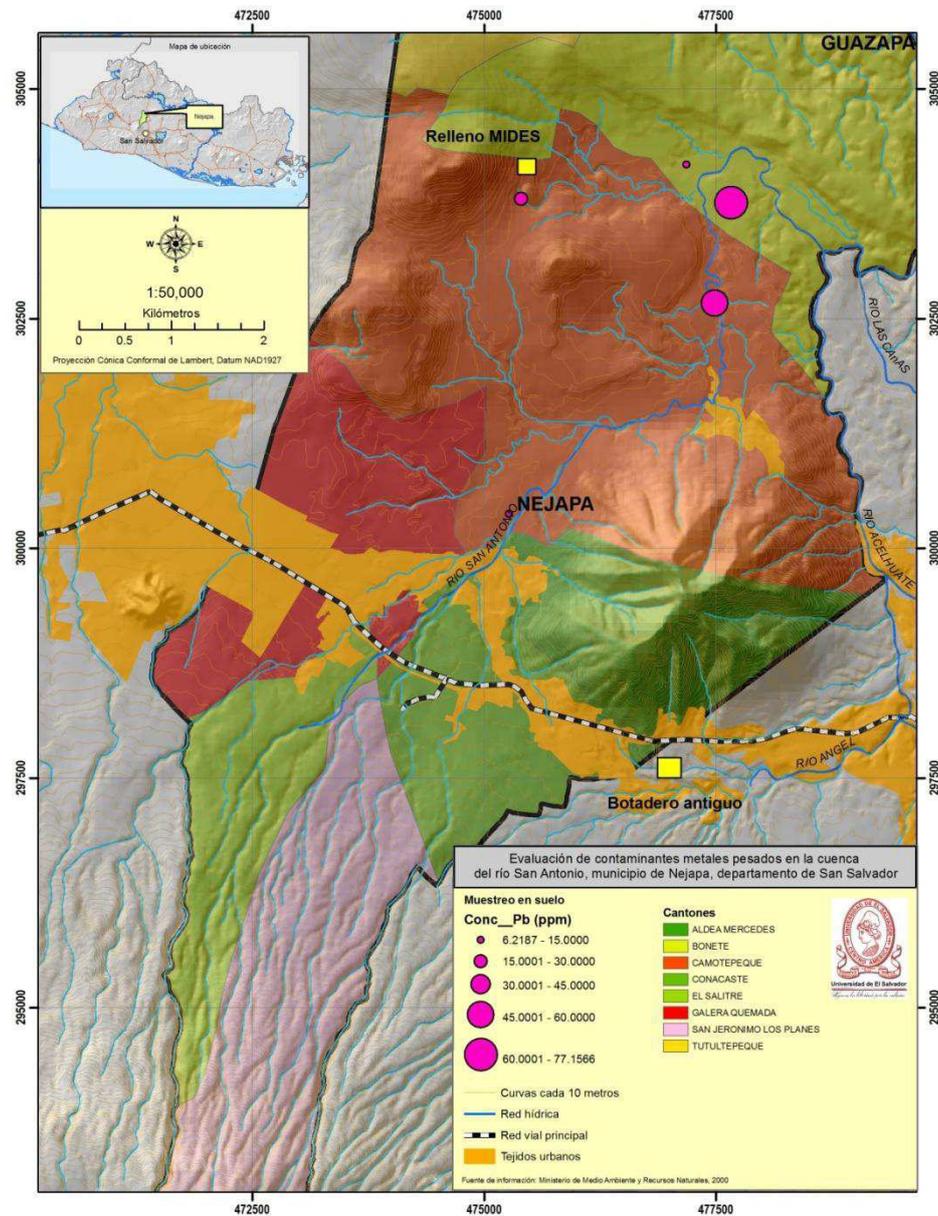
**Figura 4.8 Mapa de Concentración de Níquel en Suelo**

**Análisis:** En la figura 4.8 se puede observar las concentraciones del metal níquel en la matriz suelo los diámetros mayores de los círculos indican una mayor concentración del metal, por lo cual se puede observar que existe una mayor concentración en la zona de la cuenca determinada como intermedia que se encuentra más cercana al relleno sanitario de Nejapa, en la zona de referencia y aguas abajo una concentración baja.



**Figura 4.9 Mapa de Concentración de Zinc en Suelo**

**Análisis:** En la figura 4.9 se puede observar las concentraciones del metal zinc en la matriz suelo los diámetros mayores de los círculos indican una mayor concentración del metal, por lo cual se puede observar que existe una mayor concentración en la totalidad de los puntos en la zona de la cuenca determinada como intermedia la que se encuentra más cercana al relleno sanitario de Nejapa, en la zona de referencia y aguas abajo una concentración baja.



**Figura 4.10 Mapa de Concentración de Plomo en Suelo**

**Análisis:** En la figura 4.10 se puede observar las concentraciones del metal plomo en la matriz suelo los diámetros mayores de los círculos indican una mayor concentración del metal, por lo cual se puede observar que existe una mayor concentración en la mayoría de los puntos en la zona de la cuenca determinada como intermedia la que se encuentra más cercana al relleno sanitario de Nejapa, en la zona de referencia y aguas abajo una concentración baja.

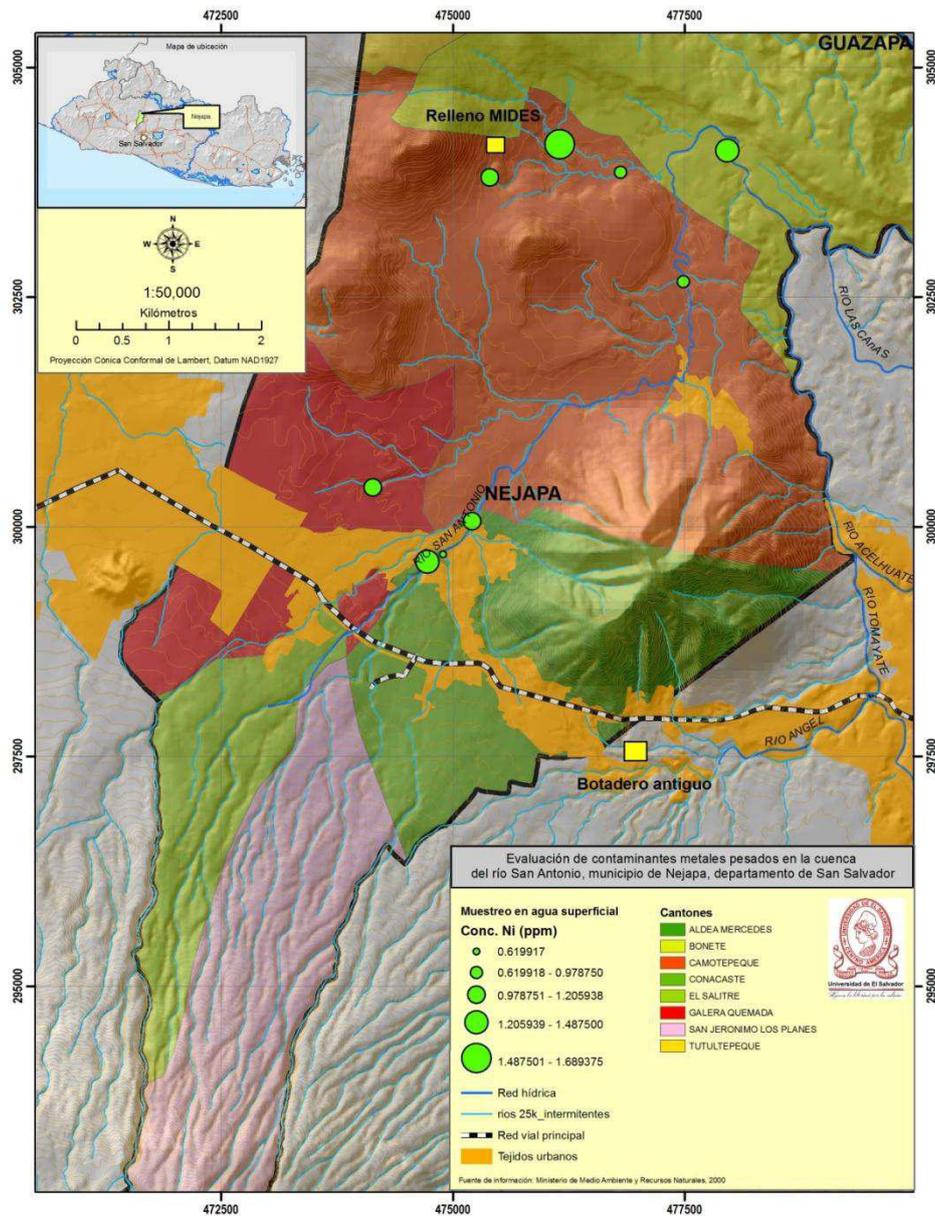
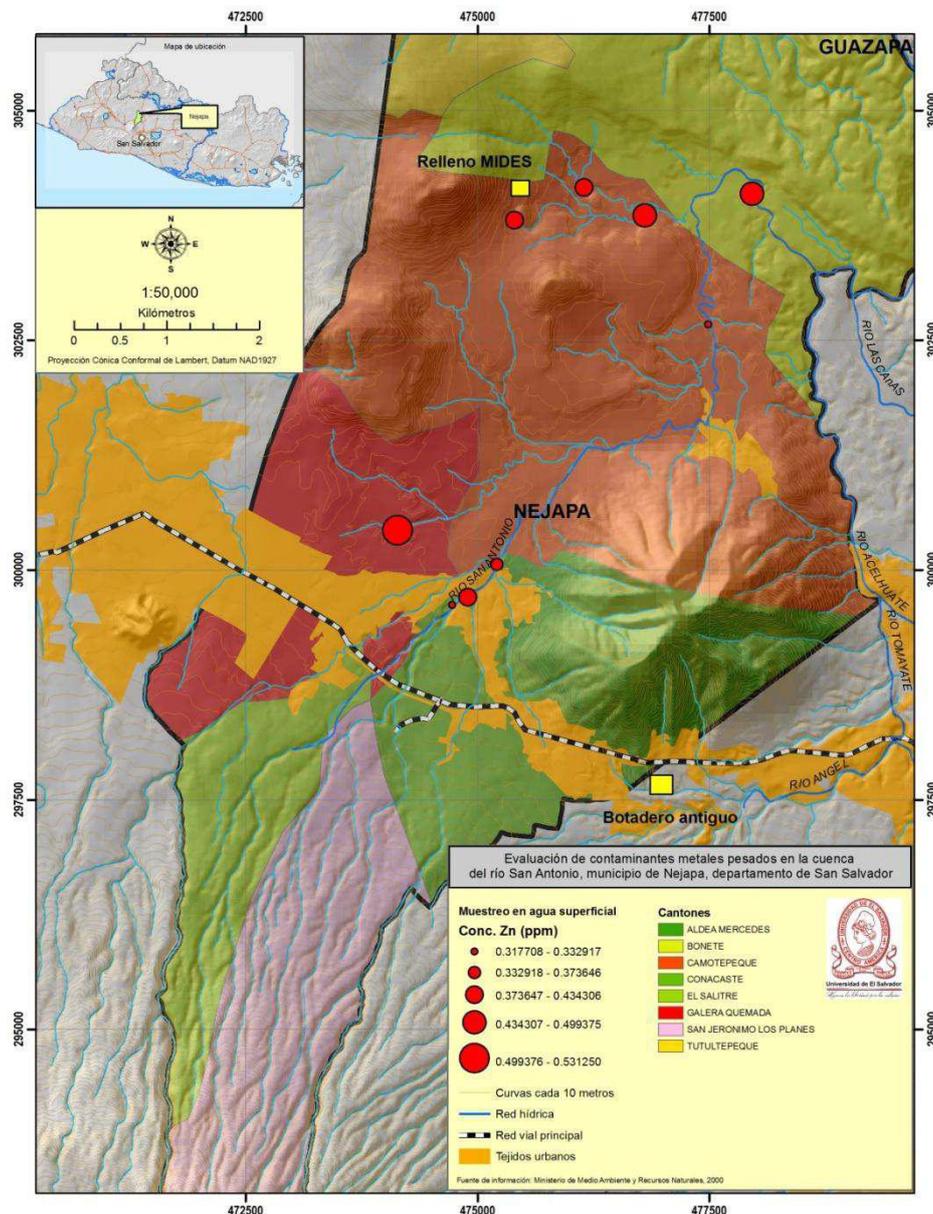


Figura 4.11 Mapa de Concentración de Níquel en Agua Superficial

**Análisis:** En la figura 4.11 se puede observar las concentraciones del metal níquel en la matriz agua superficial los diámetros mayores de los círculos indican una mayor concentración del metal, por lo cual se puede observar que las concentraciones en la mayoría de los puntos presentan diámetros similares los ligeramente superiores son los que se encuentran en la zona de la cuenca determinada como zona intermedia la que se encuentra más cercana al relleno sanitario de Nejapa, en la zona de referencia y aguas abajo una concentración baja.



**Figura 4.12 Mapa de Concentración de Zinc en Agua Superficial**

**Análisis:** En la figura 4.12 se puede observar las concentraciones del metal zinc en la matriz agua superficial los diámetros mayores de los círculos indican una mayor concentración del metal, por lo cual se puede observar que las concentraciones en la mayoría de los puntos presentan diámetros similares los ligeramente superiores son los que se encuentran en la zona de la cuenca determinada como zona intermedia la que se encuentra más cercana al relleno sanitario de Nejapa, uno de los puntos de la zona de referencia presenta una concentración elevada la cercana al casco urbano del municipio.

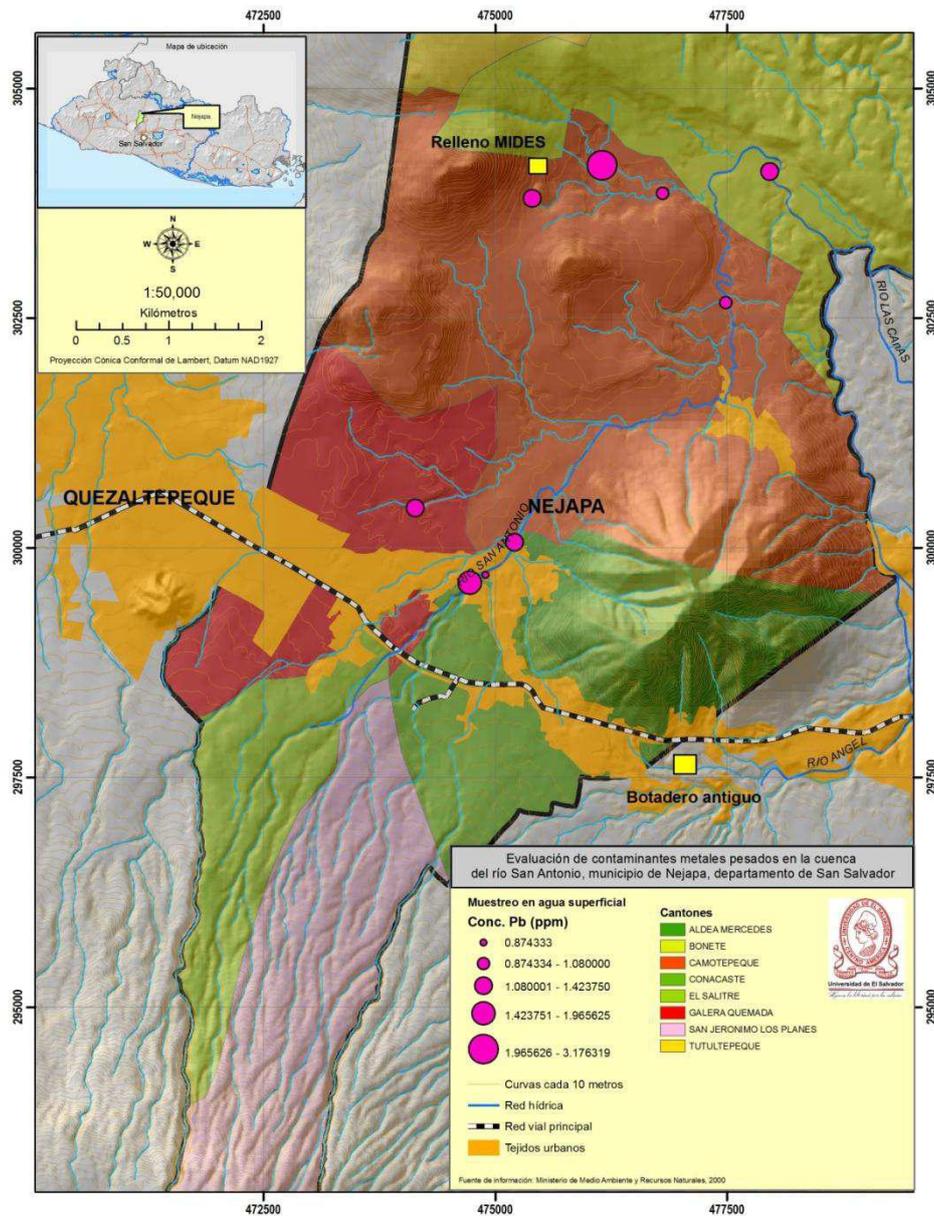
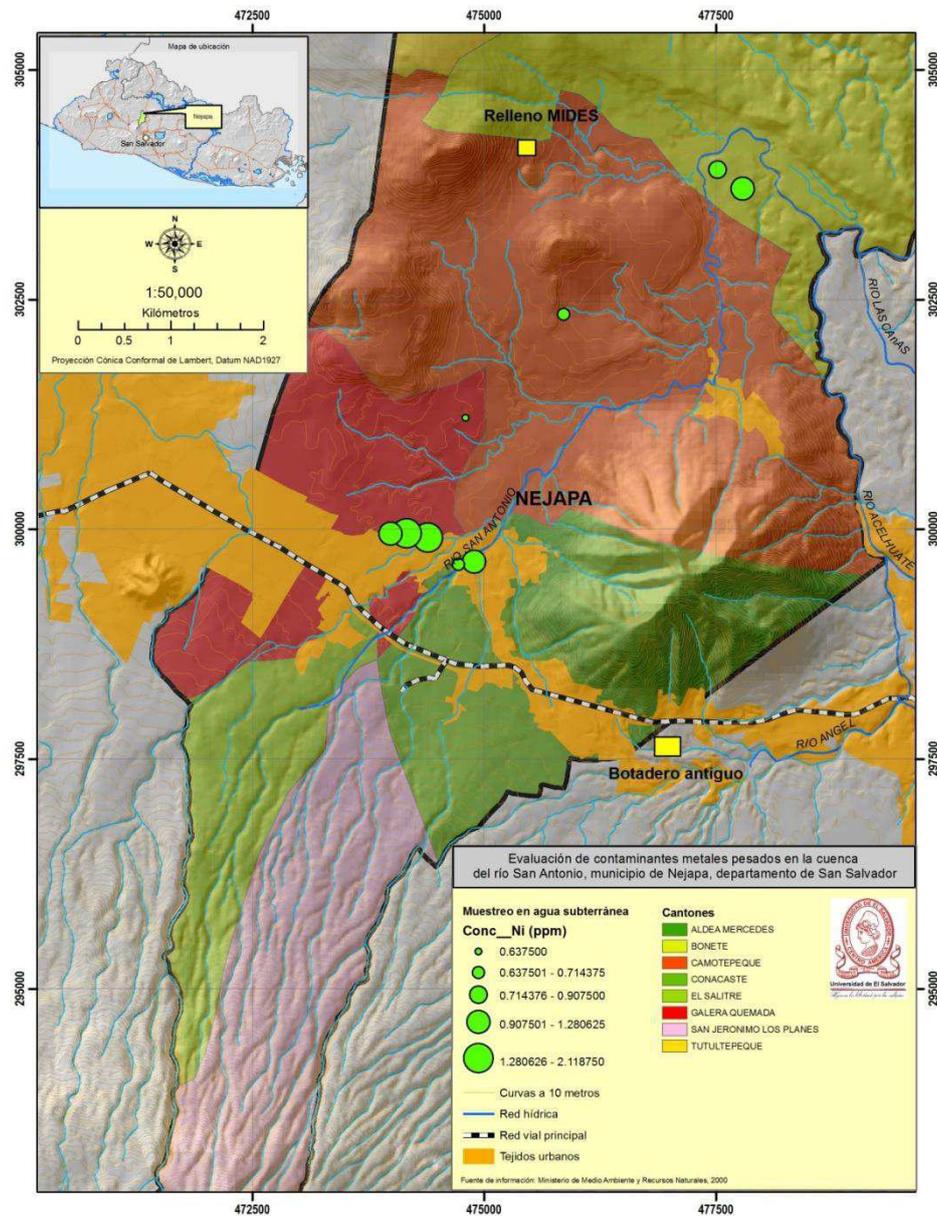


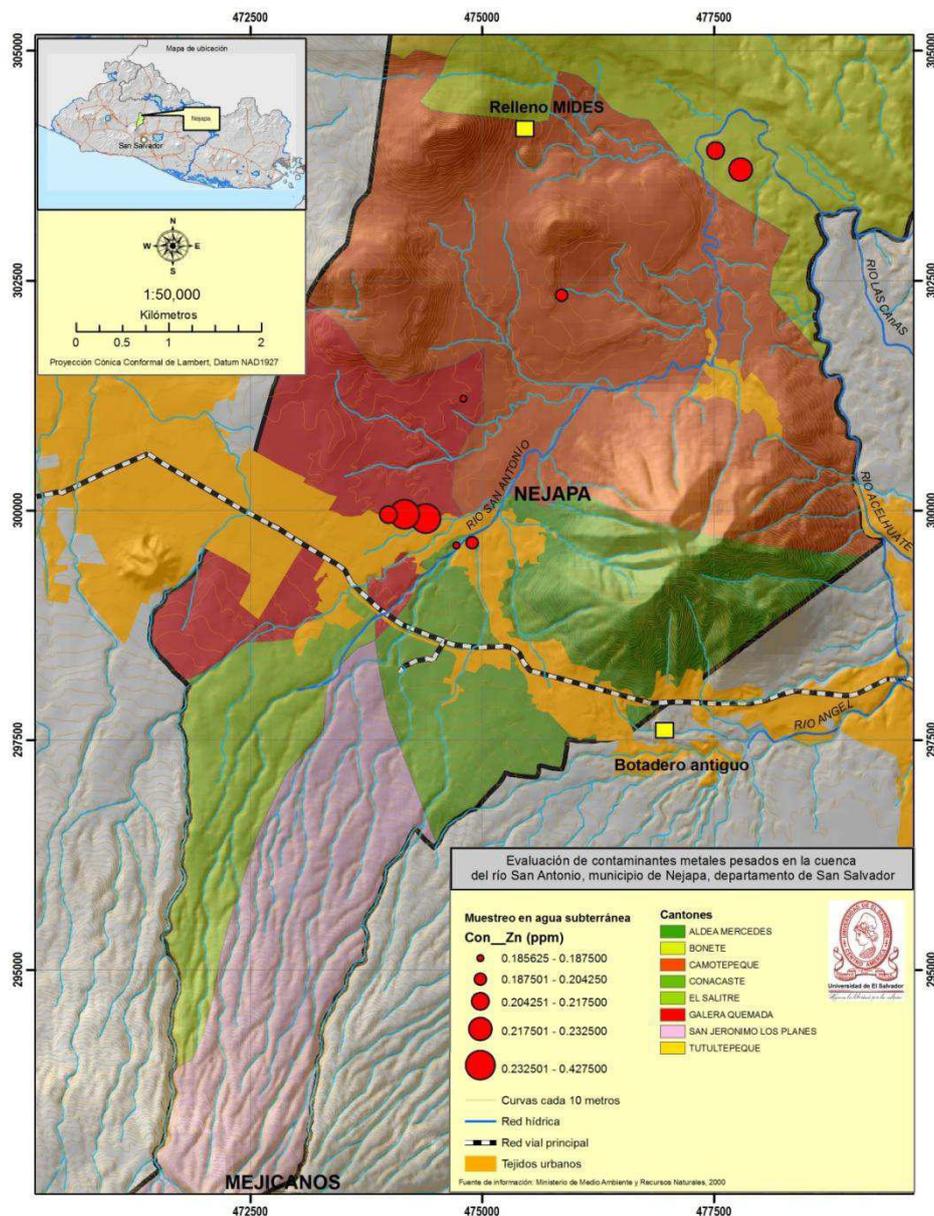
Figura 4.13 Mapa de Concentración de Plomo en Agua Superficial

**Análisis:** En la figura 4.13 se puede observar las concentraciones del metal plomo en la matriz agua superficial los diámetros mayores de los círculos indican una mayor concentración del metal, por lo cual se puede observar que las concentraciones superiores son los que se encuentran en la zona de la cuenca determinada como zona intermedia la que se encuentra más cercana al relleno sanitario de Nejapa, en la zona de referencia y aguas abajo una concentración baja.



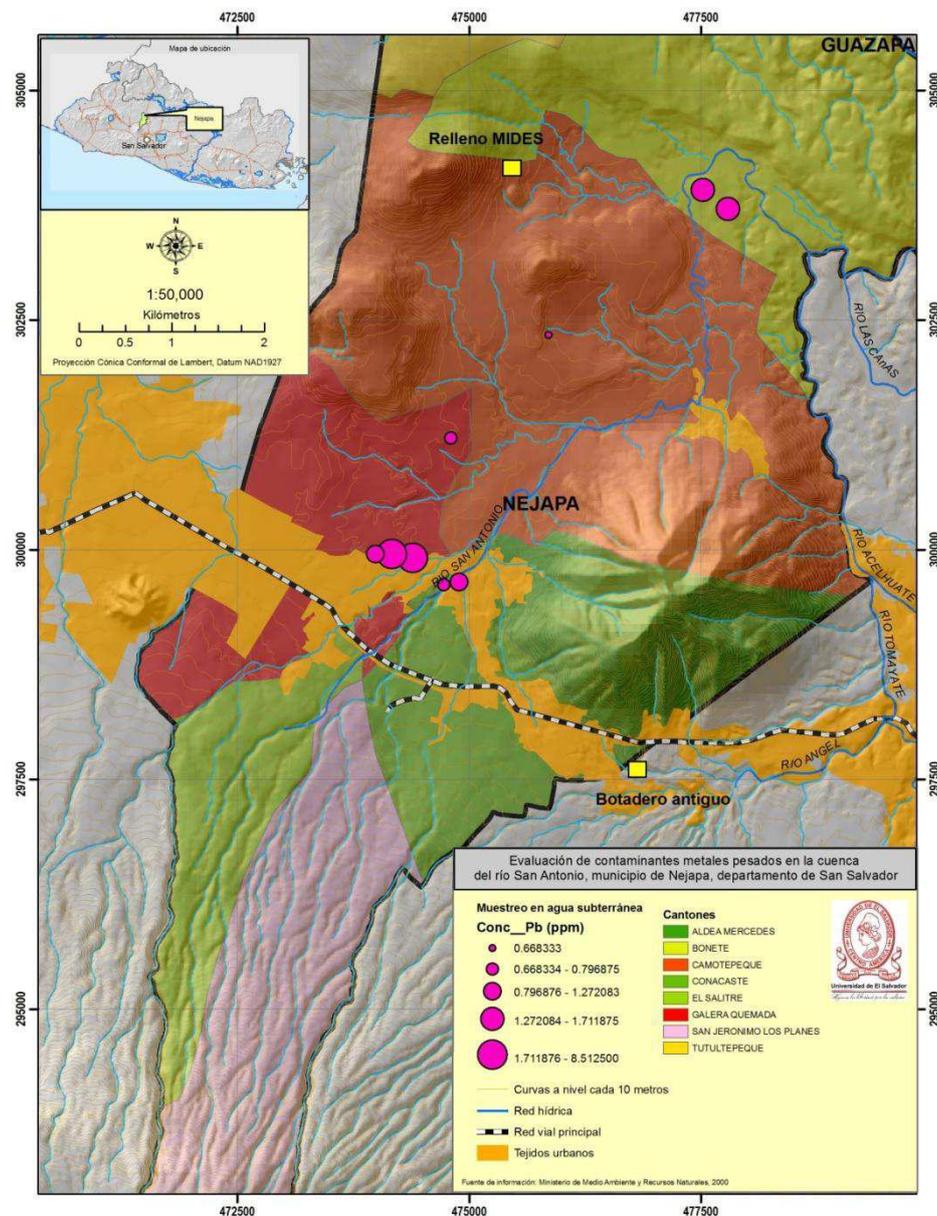
**Figura 4.14 Mapa de Concentración de Níquel en Agua Subterránea**

**Análisis:** En la figura 4.14 se puede observar las concentraciones del metal níquel en la matriz agua subterránea los diámetros mayores de los círculos indican una mayor concentración del metal, por lo cual se puede observar que las concentraciones superiores son los que se encuentran en la zona de la cuenca determinada como referencia, en este punto se esperaba tener menores concentraciones pero la influencia hacia este tipo de matriz es diferente a las tendencias de arrastre por curvas de nivel, en la zona de intermedia y aguas abajo se observa concentraciones bajas.



**Figura 4.15 Mapa de Concentración de Zinc en Agua Subterránea**

**Análisis:** En la figura 4.15 se puede observar las concentraciones del metal zinc en la matriz agua subterránea los diámetros mayores de los círculos indican una mayor concentración del metal, las concentraciones superiores son los que se encuentran en la zona de la cuenca determinada como referencia, en este punto se esperaba tener menores concentraciones pero la influencia hacia este tipo de matriz es diferente a las tendencias de arrastre por curvas de nivel, en la zona de aguas abajo también se observan concentraciones altas, los puntos de baja concentración son los de la zona intermedia.



**Figura 4.16 Mapa de Concentración de Plomo en Agua Subterránea**

**Análisis:** En la figura 4.16 se puede observar las concentraciones del metal plomo en la matriz agua subterránea los diámetros mayores de los círculos indican una mayor concentración del metal, las concentraciones superiores son los que se encuentran en la zona de la cuenca determinada como referencia, en este punto se esperaba tener menores concentraciones pero la influencia hacia este tipo de matriz es diferente a las tendencias de arrastre por curvas de nivel, en la zona de aguas abajo también se observan concentraciones altas, los puntos de baja concentración son los de la zona intermedia.

## 5 Conclusiones y Recomendaciones

### 5.1 Conclusiones

Se determinaron las concentraciones de zinc, plomo, cadmio y níquel en muestras de agua superficial, agua subterránea, suelo y biomasa (caña de azúcar, maíz y pipián), de la cuenca del Río San Antonio, Municipio de Nejapa. Los resultados obtenidos permiten generar las siguientes conclusiones:

- Las muestras analizadas para las matrices agua superficial, agua subterránea y biomasa (caña de azúcar, maíz y pipián), presentan concentraciones de plomo que superan el límite de la normativa de Agua Potable de la EPA y el CODEX alimenticio respectivamente. En matriz suelo la concentración de plomo supera la norma del Convenio de Basilea en la zona de aguas abajo de la cuenca. Las concentraciones de Níquel en los puntos de las muestras de Biomasa (caña de azúcar, maíz y pipián) superan la normativa del CODEX alimenticio, para el caso de la matriz suelo el único punto en que sobrepasa la normativa de Níquel en Suelo del Real Decreto de España, es un punto ubicado en la zona intermedia del área de estudio, en las matrices agua subterránea y agua superficial las concentraciones de Níquel de los puntos no sobrepasan las normas. Para el metal Zinc ningún punto muestreado en ninguna matriz supera los valores de las normas seleccionadas. Las concentraciones de cadmio en todas las muestras de cada matriz están por debajo del límite de detección del equipo de análisis.
- Las concentraciones de los metales en Níquel, Plomo y Zinc para las matrices de agua superficial y suelo presentan un incremento en las zonas seleccionadas como aguas abajo e intermedias del área de estudio, por lo cual podríamos considerar la posible influencia de las fuentes potenciales de contaminación. Para el caso de la matriz agua subterránea el comportamiento de las concentraciones de las muestras analizadas presentan mayor concentración la zona de aguas arriba del Río San Antonio, debido posiblemente a las actividades antropogénicas industria, agricultura, disposición de los desechos comunes provenientes del casco urbano .

- Los valores de concentraciones de Plomo en las muestras de las matrices Biomasa (caña de azúcar, maíz y pipián), agua superficial y agua subterránea nos indican que de acuerdo a el CODEX alimenticio y la normativa de agua potable de la EPA respectivamente, ninguna las matrices es apta para el consumo humano.
- Los valores de coeficientes de absorción propuesto representan la posible cantidad de metal que una biomasa absorbe de dicho suelo, y para todos los puntos muestreados y todos los metales analizados, la matriz que presentan los mayor valores de coeficiente de absorción aparente es el pipián, seguido a continuación por el maíz y dejando en último lugar a la caña de azúcar.

## 5.2 Recomendaciones

- Se recomienda realizar un estudio con una mayor cobertura en la etapa de muestreo, realizando un levantamiento de un mayor número de muestras por cada una de las matrices, y realizando una distribución estadística para obtener un muestreo más representativo de la cuenca, y con ello se pueda tener una mejor caracterización de la zona en relación a los niveles de concentración de los metales pesados
- Dar seguimiento al análisis de concentraciones de los metales pesados en sedimentos de río, ya que en esta investigación no se pudo completar.
- Realizar el análisis de las muestras recolectadas por medio de una técnica que permita evaluar concentraciones inferiores a 1 ppm con mayor precisión, por ejemplo la técnica de análisis plasma de acoplamiento inductivo (ICP).
- Realizar un estudio más completo de los coeficientes de absorción aparente propuestos de metales pesados para cada una de las matrices de Biomasa (caña de azúcar, maíz y pipián), para obtener un valor experimental confiable de los coeficientes, pudiendo utilizarse este dato como criterio para selección bioremediadores, biomonitores, y utilizarse para monitorear niveles de concentración de metales pesados.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Gázquez González Manuel Jesús, Tesis de Doctorado, 2010 “Caracterización y valorización de residuos generados en la industria de producción de dióxido de titanio”.
2. Alvarado César, 2007, Tesis Licenciatura en Física, de la Universidad de El Salvador (UES), “Modelo conceptual y vulnerabilidad intrínseca del acuífero Quezaltepeque-Nejapa”.
3. Rivera Acosta Francisco Paul, Aparicio Monjaras Osmany René José, 2009, Tesis Licenciatura en Física, de la Universidad de El Salvador (UES), “Evaluación Geoeléctrica del Antiguo Botadero de Residuos Sólidos Urbanos de Mariona”
4. Mena López Gonzalo de Jesús y Montes García Juan Orlando, 2010, Tesis Ingeniería Civil de la Universidad de El Salvador (UES), “Evaluación de la Vulnerabilidad de las Aguas Subterráneas Aplicada al Antiguo Botadero de Desechos Sólidos de Mariona, Departamento de San Salvador.”
5. Ayuntamiento de Victoria-Gasteiz, UCA, 2001, Estudio Territorial del Municipio de Nejapa, “Muestreo de la calidad del agua superficial del Río San Antonio”.
6. Ayuntamiento de Victoria-Gasteiz, UCA, 2003, Estudio Territorial del Municipio de Nejapa, “Caracterización de los riesgos geológicos y dimensionamiento de los recursos hidrogeológicos”.
7. M Sc. Carrillo Saul , Ayuntamiento de Victoria-Gasteiz, UCA, 2001, Estudio Territorial del Municipio de Nejapa, “Manejo de los Recursos Naturales en el Municipio Nejapa”.
8. Ing. Bellaubí Francesc, Ayuntamiento de Victoria-Gasteiz, UCA 2000, Estudio Territorial del Municipio de Nejapa, “Caracterización de los Recursos Hídricos del Municipio de Nejapa”.
9. Lungo Mario, Ayuntamiento de Victoria-Gasteiz , UCA, 2001, Estudio Territorial del Municipio de Nejapa, “Dinámicas de Crecimiento en el Municipio de Nejapa”.
10. Ayuntamiento de Victoria-Gasteiz, UCA, 2001, Estudio Territorial del Municipio de Nejapa, “Diagnostico del Municipio de Nejapa”.
11. Ayuntamiento de Victoria-Gasteiz, UCA, 2000, Estudio Territorial del Municipio de Nejapa, “Muestreo de la calidad del agua superficial del Río San Antonio”.

12. Urrutia Gil, 2007, "Evaluación Hidrogeológica y Vulnerabilidad Intrínseca del Sistema Acuífero del Municipio de Nejapa" tesis para optar a Posgrado Centroamericano en Geología, Universidad de Costa Rica.
13. Urrutia Gil & Arias Mario, 2007 "Hidrogeofísica de la cuenca del río San Antonio, El Salvador: Aplicación al Modelo Conceptual y Vulnerabilidad Intrínseca" revista Geologica de America Central, Universidad de Costa Rica.
14. Marroquin William, Escalante Arturo, Salamanca Lidia, Cañas Carlos, Lungo Mario, Carrillo Saul & Bellaubí Francisc, 2004 "Plan de Ordenamiento Territorial de Nejapa (POTN)", Maestría en Gestión Medio Ambiental, UCA.
15. Fundación Nacional para el Desarrollo (FUNDE), 2000-2010 "Plan Municipal de Desarrollo de Nejapa, Alcaldía de Nejapa, Consejo de Desarrollo de Nejapa (CDN)".
16. Ponce de León, de San Antonio, Mañé Roser, Seisdedos Julia, 2003 "Caracterización de Riesgos Geológicos y Dimensionamiento de los Recursos Hidrogeológicos, Directrices para la Ordenación Territorial del Municipio de Nejapa".
17. Ministerio de Economía y Dirección General de Estadística y Censos, 2007, "VI Censo de Población y V de Vivienda".
18. Cuadra Zelaya Carmen Dinora y Romero García David Arnoldo Proyecto FORGAEA-CIAN-FIA-UES.
19. Lasat MM., 2000. The use of plants for the removal of toxic metals from contaminated soil. American Association for the Advancement of Science, Environmental Science and Engineering Fellow.
20. Kabata-Pendias, A. 2000. Trace elements in soils and plants. Third Edition. CRC Press -Boca Raton, USA.
21. Mahler, R.L. 2003. General overview of nutrition for field and container crops. In: Riley, L. E.; Dumroese, R. K.; Landis, T. D., Tech Coords. National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations. 2003 June 9–12; Coeur d'Alene, ID; and 2003

22. July 14–17; Springfield, IL. Proc. RMRS-P-33. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
23. Halstead, R.L., Finn, B.J., and MacLean, A.J.. 1969. Extractability of nickel added to soils and its concentration in plants. *Can. J. Soil Sci.*
24. Das P. Smantaray, S., and Rout, G.R.. 1998. Studies on cadmium toxicity in plants: A review. *Environmental Pollution*.
25. Chen Z.S. 2000. Relationship between heavy metal concentrations in soils of Taiwan and uptake by crops. On line in: <http://www.fftc.agnet.org/library/article/tb149.html> Food and fertilizer technology center.
26. Jorhem, L., and Sundström, B. 1993. Levels of lead, cadmium, zinc, copper, nickel, chromium, manganese, and cobalt in foods on the Swedish market, 1983-1990. *Journal of Food Composition and Analysis*.
27. Jarvis, S. C., Jones, L.H.P. and Hopper, M.J.. 1976. Cadmium uptake from solution by plants and its transport from roots to shoots. *Plant and Soil*.
28. McKenna, I. M., Chaney, R.L. and Williams, F.M.. 1993. The effects of cadmium and zinc interactions on the accumulation and tissue distribution of zinc and cadmium in lettuce and spinach. *Environmental Pollution*.
29. Moral, R., Palacios, G., Gómez, I., Navarro-Pedernero, J., and Mataix, J.. 1994. Distribution and accumulation of heavy metals (Cd, Ni and Cr) in tomato plant. *Fresenius Environmental Bulletin*.
30. Davies, B.E. 1977. Heavy metal pollution of British agricultural soils with special reference to the role of lead and copper mining. In: *Proc. Int. Semin. On Soil Environment*

31. Hettiarachchi, G.M. and G.M. Pierzynski. 2002. In situ stabilization of soil lead using phosphorus and manganese oxide: Influence of plant growth. *J. Environ. Qual.*,
32. Laperche, V., Logan T.J., Gaddam P., and Traina, S.J.. 1997. Effect of apatite amendment on plant uptake of Pb from contaminated soil. *Environ. Sci. Technol.*

## SIGLAS

**AMSS:** Alcaldía Municipal de San Salvador

**ANDA:** Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados

**AXIL:** Analysis of X-ray spectra by Iterative Least-square fitting

**COSUDE:** Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación

**DIGESTYC:** Dirección General de Estadística y Censos

**DMN:** División del Municipio de Nejapa

**EPA:** Environmental Protection Agency (Agencia de Protección del Ambiente de Estados Unidos)

**FRX:** Fluorescencia de Rayos X

**IPGARAMSS:** Integración Participativa de Gestión Ambiental y Riesgos en los Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Área Metropolitana de San Salvador

**MARN:** Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales

**MIDES:** Manejo Integral de Desechos Sólidos

**OMS:** Organización Mundial de la Salud

**PLAMADUR:** Plan Maestro de Desarrollo Urbano del Área Metropolitana de San Salvador

**POA:** Plan de Ordenamiento Ambiental

**POTN:** Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Nejapa

**QXAS:** Quantitative X Ray Analysis System

**TXRF:** Total Reflection X-Ray Fluorescence

**VMT:** Vice Ministerio Transporte

**WD-XRF:** Wave-length Dispersive X-Ray Fluorescence)

## GLOSARIO

**Absorción Atómica:** La espectroscopia de absorción atómica (a menudo llamada AA) es un método instrumental de la Química analítica que determina una gran variedad de elementos al estado fundamental como analitos

**Accidente Geográfico:** es una unidad geomorfológica, los accidentes geográficos se clasifican por características tales como elevación, pendiente, orientación, estratificación, exposición de roca y tipo de suelo.

**Acuífero:** es aquel estrato o formación geológica que permite la circulación del agua por sus poros y/o grietas.

**Análisis De Dispersión:** es un tipo de diagrama matemático que utiliza las coordenadas cartesianas para mostrar los valores de dos variables para un conjunto de datos.

**Antropogénicas:** Se refiere a los efectos, procesos o materiales que son el resultado de actividades humanas a diferencia de los que tienen causas naturales sin influencia humana.

**Biomasa:** Materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía

**Cartografía:** es la ciencia que se encarga del estudio y de la elaboración de los mapas geográficos, territoriales y de diferentes dimensiones lineales y demás. Conjunto de documentos territoriales referidos a un ámbito concreto de estudio.

**Clima tropical de las alturas:** Se localiza entre los 1500 y los 2200 msnm (18 a 13-14 °C de temperatura media anual, aproximadamente). Es el nivel de las flores y de las hortalizas en la zona intertropical. Constituye una de las regiones ecológica más productivas por hectárea de nuestro planeta, si omitimos el efecto y los riesgos de las pendientes para la agricultura intensiva

**Cuarteo:** reducir la muestra hasta la cuarta parte de forma representativa del total realizando el mismo proceso en dos ocasiones.

**Cuenca:** accidente geográfico, superficie rodeada de alturas, o Cuenca hidrográfica, territorio drenado por un sistema de drenaje natural

**Desechos Sólidos:** conjunto de materiales sólidos de origen orgánico e inorgánico (putrescible o no) que no tienen utilidad práctica para la actividad que lo produce, siendo procedente de las actividades domésticas, comerciales, industriales y de todo tipo que se produzcan en una comunidad, con la sola excepción de las excretas humanas.

**Digestión De Muestras:** es uno de los más importantes pasos en muchas reacciones químicas. Se conduce la digestión para convertir los compuestos de bajo-solubilidad o las sustancias presentes bajo la forma de agregados en compuestos solubles, para degradar sustancias orgánicas en las moléculas inorgánicas o eliminar sustancias que interfieren y solubilizar los iones metálicos. La digestión ocurre agregando reactivos de descomposición a la muestra y siguiente termostatación de la mezcla así preparada.

**Diluciones:** es la reducción progresiva, paso a paso, de la concentración de una sustancia en disolución.

**Directrices:** Norma o conjunto de normas e instrucciones que dirigen, guían u orientan una acción, una cosa o a una persona

**Disposición:** Colocación de una o más cosas según un orden o en una posición adecuada y conveniente.

**Estándares:** preparación que contiene una concentración conocida de un elemento específico o sustancia.

**Fluorescencia De Rayos X Total:** es una técnica de muestreo versátil, rápida y no destructiva (en algunos casos en los que la penetración de los rayos X no fuera suficiente se requerirían cortes o pulidos, dependiendo también de la uniformidad de la muestra) relativamente nueva, que reconoce un gran número de elementos químicos

**Geogénico:**(De geo- 'tierra' y -genia 'generar'); adj. de dos terminaciones. Relativo a la parte de la geología que trata sobre el origen y la formación de la Tierra

**Geología:** es la ciencia que estudia la composición y estructura interna de la Tierra, y los procesos por los cuales ha ido evolucionando a lo largo del tiempo geológico.

**GPS:** es un sistema global de navegación por satélite que permite determinar en todo el mundo la posición de un objeto, una persona o un vehículo con una precisión hasta de centímetros (si se utiliza GPS diferencial), aunque lo habitual son unos pocos metros de precisión.

**Hidrogeología:** es una rama de las ciencias geológicas (dentro de la Geodinámica Externa), que estudia las aguas subterráneas en lo relacionado con su circulación, sus condicionamientos geológicos y su captación

**Hidrología:** es la ciencia que se dedica al estudio de la distribución, espacial y temporal, y las propiedades del agua presente en la atmósfera y en la corteza terrestre.

**Homogenizado:** Proceso consistente en conseguir la homogeneidad de una mezcla de varias sustancias.

**Impacto:** Conjunto de consecuencias provocadas por un hecho o actuación que afecta a un entorno o ambiente social o natural.

**Intrínseca:** que es propio o característico de una cosa por sí misma y no por causas exteriores

**Litio:** es un elemento químico de símbolo **Li** y número atómico.

**Loticos:** es el ecosistema de un río, arroyo o manantial

**Matriz de la muestra:** será el conjunto de todas aquellas especies químicas que acompañan al analito en la muestra.

**Metal Pesado:** es un miembro de un grupo de elementos no muy bien definido que exhibe propiedades metálicas. Los metales pesados tóxicos más conocidos son el mercurio, el plomo, el cadmio y el arsénico, en raras ocasiones, algún no metal como el selenio.

**Morfología:** la rama de la geología que estudia las formas de la superficie terrestre

**Mojones:** poste de piedra u otra señal que se clava en el suelo y señala el límite de un terreno o indica la dirección o distancias de una vía o un camino

**Lixiviados:** líquido resultante de un proceso de percolación de un fluido a través de un sólido. El lixiviado generalmente arrastra gran cantidad de los compuestos presentes en el sólido que atraviesa.

**Ordenamiento territorial:** es una normativa, con fuerza de ley, que regula el uso del territorio, definiendo los usos posibles para las diversas áreas en que se ha dividido el territorio, ya sea el país como un todo o una subdivisión político-administrativa del mismo.

**Pluma De Contaminación:** descarga o mancha de contaminantes.

**Recurso Hídrico:** se constituyen en uno de los recursos naturales renovables más importante para la vida. Todos los cuerpos de agua del planeta: ríos, lagos, lagunas, mares, océanos, manantiales, etc. Se les llama recursos porque evidentemente tiene una connotación económica: son útiles para el ser humano en la medida de su explotación (creación de presas, generación de energías, medio de transporte, etc.).

**Sabana tropical caliente:** ubicadas a 110 metros sobre el nivel del mar. Este clima comprende una estación de lluvia y otra de sequía

**Secado:** consistente en extraer el agua de la muestra sólida.

**Sedimentos:** es una mezcla compleja de distintas fases, entre las que se pueden distinguir, principalmente, las arcillas (filosilicatos), carbonatos, óxidos de hierro y manganeso, materia orgánica (ácidos húmicos y fúlvicos) y arena (sílice).

**Tamizado:** es un método físico para separar mezclas en el cual se separan dos sólidos formados por partículas de tamaño diferente.

**Topografía:** es la ciencia que estudia el conjunto de principios y procedimientos que tienen por objeto la representación gráfica de la superficie de la Tierra, con sus formas y detalles, tanto naturales como artificiales

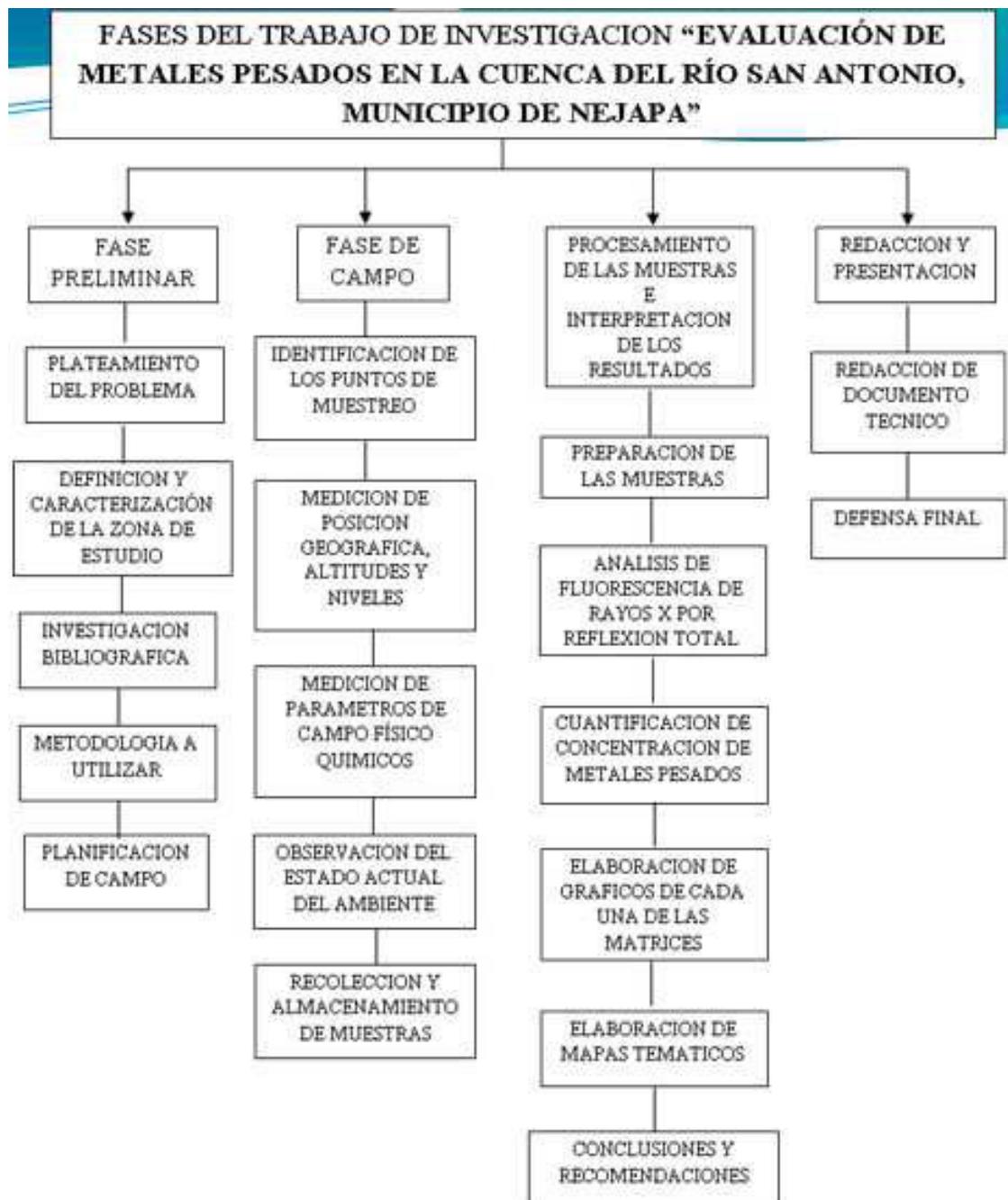
**Triturado:** es el nombre del proceso para reducir el tamaño de las partículas de una sustancia por la molienda.

**Vulnerabilidad:** es la incapacidad de resistencia cuando se presenta un fenómeno amenazante, o la incapacidad para reponerse después de que ha ocurrido un desastre

# **ANEXOS**

## ANEXO 1 Flujograma Resumen de la Investigación.

Las fases que comprenden la investigación son 4 que se describen en la figura.



Fuente: Elaboración propia

## ANEXO 2 Fichas de Campo para Muestreo

	TOMA DE DATOS DE MUESTREO AGUA SUPERFICIAL	
Datos Identificativos Del Muestreo		
Nombre del punto: Planta de Tratamiento de Agua, Nejapa		
Muestreador: Ing. Aura Cristina Rodríguez, Br. Bessy Jasmyleth Ramírez, Br. Juan Alfredo Ramos, Br. Henry Darío Quinteros		
Código muestra: SWNJ13		
Fecha: 04 de septiembre de 2012	Hora inicio: 9:06 A.M.	Hora fin: 9:16 A.M
Código GPS	Coordenadas	Altura
GPS #2 punto 19	13°49'21.40"N 89°13'45.41"O	432
Descripción de acceso y localización del tramo: Para el ingreso se llega por la calle principal ingresando luego por una calle empolvada hasta llegar a la planta de tratamiento de agua para llegar al río es necesario bajar siendo de poca altura y accesible el tramo a bajar para recolectar la muestra.		
Fotografía del lugar:		
		

Características Físicoquímicas				
pH (unidades): 6.78		Oxígeno disuelto(mg O <sub>2</sub> /l): ----		
Temperatura del agua (°C): 25.1		Conductividad eléctrica (µS/cm): 334		
Transparencia del agua:	Fondo visible	Algo turbio	Poco visible	No visible
Comentarios sobre las características del agua: El valor de la temperatura es intermedio porque en se tramo de la quebrada tenía contacto medio con el sol y con vegetación en los alrededores				
Características Del Agua				
Color del agua: incoloro				
Olor del agua: inodoro				
Comentarios sobre el hábitat: Alrededor del tramo hay vegetación arboles altos pocas hierbas y arbustos, en la zona se observan cultivos cerca del río.				
Conservación De La Muestra				
HNO <sub>3</sub> (ml): 3		Temperatura de almacenamiento: 15 °C		

TOMA DE DATOS DE MUESTREO AGUA SUPERFICIAL			
Datos Identificativos Del Muestreo			
Nombre del punto: Quebrada Los Amates			
Muestreador: Ing. Aura Cristina Rodríguez, Br. Bessy Jasmyleth Ramírez, Br. Juan Alfredo Ramos, Br. Henry Darío Quinteros			
Código muestra: SWNJ11			
Fecha: 04 de septiembre de 2012		Hora inicio: 10:11 A.M.	Hora fin: 10:15 AM
Código GPS	Coordenadas		Altura
GPS #2 punto 21	13°49'33.44"N	89°14'20.10"O	445
Descripción de acceso y localización del tramo: El ingreso al lugar es accesible ya que son calles pavimentadas y se encuentra un punto en el que se puede ingresar fácilmente a la quebrada bajando mucha precaución es libre la entrada.			
Fotografía del lugar:			
			

Características Físicoquímicas				
pH (unidades): 6.47		Oxígeno disuelto(mg O <sub>2</sub> /l): ----		
Temperatura del agua (°C): 24		Conductividad eléctrica (µS/cm): 210		
Transparencia del agua:	Fondo visible	Algo turbio	Poco visible	No visible
Comentarios sobre las características del agua: El valor de la temperatura es intermedio porque en se tramo de la quebrada tenía contacto medio con el sol y con vegetación en los alrededores.				
Características Del Agua				
Color del agua: incoloro				
Olor del agua: inodoro				
Comentarios sobre el hábitat: Alrededor del tramo hay vegetación bastante hierbas y arbustos pocos árboles altos, en la zona se observan cultivos cerca del rio.				
Conservación De La Muestra				
HNO <sub>3</sub> (ml): 3		Temperatura de almacenamiento: 15 °C		

TOMA DE DATOS DE MUESTREO AGUA SUPERFICIAL			
Datos Identificativos Del Muestreo			
Nombre del punto: Inicio Rio San Antonio			
Muestreador: Ing. Aura Cristina Rodríguez, Br. Bessy Jasmyleth Ramírez, Br. Juan Alfredo Ramos, Br. Henry Darío Quinteros			
Código muestra: SWNJ20			
Fecha: 04 de septiembre de 2012		Hora inicio: 11:01 A.M.	Hora fin: 11:15 AM
Código GPS	Coordenadas		Altura
GPS #2 punto 22	13°49'7.07"N	89°14'1.49"O	440
Descripción de acceso y localización del tramo: El ingreso al lugar es accesible ya que son calles pavimentadas y se encuentra un punto en el que se puede ingresar fácilmente al rio.			
Fotografía del lugar:			
			

Características Físicoquímicas				
pH (unidades): 6.08		Oxígeno disuelto(mg O <sub>2</sub> /l): ----		
Temperatura del agua (°C): 25		Conductividad eléctrica (µS/cm): 340		
Transparencia del agua:	Fondo visible	Algo turbio	Poco visible	No visible
Comentarios sobre las características del agua: El valor de la temperatura es intermedio porque en se tramo de la quebrada tenía contacto medio con el sol y con vegetación en los alrededores.				
Características Del Agua				
Color del agua: incoloro				
Olor del agua: inodoro				
Comentarios sobre el hábitat: Alrededor del tramo hay muchas piedras con vegetación en los extremos. Es un área utilizada por bastantes habitantes para diversos usos.				
Conservación De La Muestra				
HNO <sub>3</sub> (ml): 3		Temperatura de almacenamiento: 15 °C		

TOMA DE DATOS DE MUESTREO AGUA SUPERFICIAL			
Datos Identificativos Del Muestreo			
Nombre del punto: Quebrada Mulunga			
Muestreador: Ing. Aura Cristina Rodríguez, Br. Bessy Jasmyleth Ramírez, Br. Juan Alfredo Ramos			
Código muestra: SWNJ01			
Fecha: 05 de septiembre de 2012		Hora inicio: 9:08 A.M.	Hora fin: 9:28 A.M
Código GPS	Coordenadas		Altura
GPS #2 punto 26	13°51'23.28"N	89°13'39.26"O	451
Descripción de acceso y localización del tramo: Para el ingreso se llega por la calle principal pasando por una propiedad privada por lo que se debe pedir permiso. Acceso no complicado mientras exista disposición de los dueños de terrenos privados			
Fotografía del lugar:			
			

Características Físicoquímicas				
pH (unidades): 6.95		Oxígeno disuelto(mg O <sub>2</sub> /l): ----		
Temperatura del agua (°C): 21		Conductividad eléctrica (μS/cm): 363		
Transparencia del agua:	Fondo visible	Algo turbio	Poco visible	No visible
Comentarios sobre las características del agua: El valor de la temperatura es bajo porque en se tramo de la quebrada no tenía contacto directo con el sol y mucha vegetación en los alrededores				
Características Del Agua				
Color del agua: café				
Olor del agua: fétido				
Comentarios sobre el hábitat: Existe gran presencia de vegetación de cultivos de terrenos privados además de desechos plásticos alrededor de la quebrada.				
Conservación De La Muestra				
HNO <sub>3</sub> (ml): 3		Temperatura de almacenamiento: 15 °C		

TOMA DE DATOS DE MUESTREO AGUA SUPERFICIAL			
<b>Datos Identificativos Del Muestreo</b>			
Nombre del punto: Quebrada Lagartera			
Muestreador: Ing. Aura Cristina Rodríguez, Br. Bessy Jasmyleth Ramírez, Br. Juan Alfredo Ramos			
Código muestra: SWNJ02			
Fecha: 05 de septiembre de 2012		Hora inicio: 10:17 A.M.	Hora fin: 10:28 A.M
Código GPS	Coordenadas		Altura
GPS #2 punto 27	13°51'34.98"N	89°13'14.20"O	423
Descripción de acceso y localización del tramo: Para el ingreso se llega por la calle principal pasando por una propiedad privada por lo que se debe pedir permiso. Acceso no complicado mientras exista disposición de los dueños de terrenos privados			
Fotografía del lugar:			
			

Características Físicoquímicas				
pH (unidades): 6.12		Oxígeno disuelto(mg O <sub>2</sub> /l): ----		
Temperatura del agua (°C): 27		Conductividad eléctrica (µS/cm): 1044		
Transparencia del agua:	Fondo visible	Algo turbio	Poco visible	No visible
Comentarios sobre las características del agua: El valor de la temperatura es mayor porque tenía mayor contacto con el sol.				
Características Del Agua				
Color del agua: café				
Olor del agua: fétido				
Comentarios sobre el hábitat: Existe gran presencia de vegetación hierbas y arboles.				
Conservación De La Muestra				
HNO <sub>3</sub> (ml): 3		Temperatura de almacenamiento: 15 °C		

TOMA DE DATOS DE MUESTREO AGUA SUPERFICIAL			
<b>Datos Identificativos Del Muestreo</b>			
Nombre del punto: Confluencia de Quebradas			
Muestreador: Ing. Aura Cristina Rodríguez, Br. Bessy Jasmyleth Ramírez, Br. Juan Alfredo Ramos			
Código muestra: SWNJ03			
Fecha: 05 de septiembre de 2012		Hora inicio: 10:45 A.M.	Hora fin: 10:55 A.M
Código GPS	Coordenadas		Altura
GPS #2 punto 28	13°51'25.07"N	89°12'52.37"O	402
Descripción de acceso y localización del tramo: Para el ingreso se llega por la calle principal luego en una calle de menor afluencia se encuentra en el camino un punto de acceso no complicado a la confluencia de las quebradas.			
Fotografía del lugar:			
			

Características Físicoquímicas				
pH (unidades): 6.65		Oxígeno disuelto(mg O <sub>2</sub> /l): ----		
Temperatura del agua (°C): 27		Conductividad eléctrica (μS/cm): 746		
Transparencia del agua:	Fondo visible	Algo turbio	Poco visible	No visible
Comentarios sobre las características del agua: El valor de la temperatura es mayor porque tenía mayor contacto con el sol.				
Características Del Agua				
Color del agua: incoloro				
Olor del agua: inodoro				
Comentarios sobre el hábitat: Existe gran presencia de vegetación hierbas y arboles a los alrededores hay presencia de sólidos disueltos en el agua.				
Conservación De La Muestra				
HNO <sub>3</sub> (ml): 3		Temperatura de almacenamiento: 15 °C		

TOMA DE DATOS DE MUESTREO AGUA SUPERFICIAL			
<b>Datos Identificativos Del Muestreo</b>			
Nombre del punto: Las Veguitas			
Muestreador: Ing. Aura Cristina Rodríguez, Br. Bessy Jasmyleth Ramírez, Br. Juan Alfredo Ramos			
Código muestra: SWNJ09			
Fecha: 05 de septiembre de 2012		Hora inicio: 12:07 P.M.	Hora fin: 12:15 P.M
Código GPS	Coordenadas		Altura
GPS #2 punto 29	13°50'46.42"N	89°12'29.70"O	391
Descripción de acceso y localización del tramo: Para el ingreso se llega por la calle principal luego en una calle de menor afluencia se encuentra en el camino una intersección con el río pasando y luego ingresando por las orillas hasta el punto seleccionado.			
Fotografía del lugar:			
			

Características Físicoquímicas				
pH (unidades): 6.60		Oxígeno disuelto(mg O <sub>2</sub> /l): ----		
Temperatura del agua (°C): 28		Conductividad eléctrica (µS/cm): 364		
Transparencia del agua:	Fondo visible	Algo turbio	Poco visible	No visible
Comentarios sobre las características del agua: El valor de la temperatura es mayor porque tenía mayor contacto con el sol.				
Características Del Agua				
Color del agua: incoloro				
Olor del agua: inodoro				
Comentarios sobre el hábitat: Existe gran presencia de vegetación hierbas y arboles a los alrededores y además de siembra de caña de azúcar.				
Conservación De La Muestra				
HNO <sub>3</sub> (ml): 3		Temperatura de almacenamiento: 15 °C		

TOMA DE DATOS DE MUESTREO AGUA SUPERFICIAL			
Datos Identificativos Del Muestreo			
Nombre del punto: Rio San Antonio			
Muestreador: Ing. Aura Cristina Rodríguez, Br. Bessy Jasmyleth Ramírez, Br. Juan Alfredo Ramos			
Código muestra: SWNJ07			
Fecha: 05 de septiembre de 2012		Hora inicio: 2:19 P.M.	Hora fin: 2:29 P.M
Código GPS	Coordenadas		Altura
GPS #2 punto 32	13°51'32.84"N	89°12'13.89"O	378
Descripción de acceso y localización del tramo: Para el ingreso se llega por la calle principal luego en una calle de menor afluencia se encuentra en el camino una intersección con el rio siguiendo esta calle se encuentra un punto antes de la desembocadura del Rio San Antonio con fácil acceso.			

Características Físicoquímicas				
pH (unidades): 6.85		Oxígeno disuelto(mg O <sub>2</sub> /l): ----		
Temperatura del agua (°C): 27		Conductividad eléctrica (µS/cm): 376		
Transparencia del agua:	Fondo visible	Algo turbio	Poco visible	No visible
Comentarios sobre las características del agua: El valor de la temperatura es mayor porque tenía mayor contacto con el sol.				
Características Del Agua				
Color del agua: incoloro				
Olor del agua: inodoro				
Comentarios sobre el hábitat: Existe gran presencia de vegetación hierbas y arboles a los alrededores.				
Conservación De La Muestra				
HNO <sub>3</sub> (ml): 3		Temperatura de almacenamiento: 15 °C		

TOMA DE DATOS DE MUESTREO AGUA SUPERFICIAL			
<b>Datos Identificativos Del Muestreo</b>			
Nombre del punto: Rio San Antonio, Tres Piedras			
Muestreador: Ing. Aura Cristina Rodríguez, Br. Bessy Jasmyleth Ramírez, Br. Juan Alfredo Ramos			
Código muestra: SWNJ18			
Fecha: 06 de septiembre de 2012		Hora inicio: 10:02 A.M.	Hora fin: 10:08 A.M
Código GPS	Coordenadas		Altura
GPS #2 punto 35	13°49'9.77"N	89°13'55.92"O	446
Descripción de acceso y localización del tramo: Es de fácil acceso se pasa por la calle principal luego se llega por una calle empolvada hasta el río.			
Fotografía del lugar:			
			
Características Físicoquímicas			
pH (unidades): 6.33		Oxígeno disuelto(mg O <sub>2</sub> /l): ----	
Temperatura del agua (°C): 23		Conductividad eléctrica (µS/cm): 377	
Transparencia del agua:	Fondo visible	Algo turbio	Poco visible    No visible
Comentarios sobre las características del agua: El valor de la temperatura es menor porque tenía menor contacto con el sol.			
Características Del Agua			
Color del agua: incoloro			
Olor del agua: inodoro			
Comentarios sobre el hábitat: Existe gran presencia de vegetación hierbas y arboles a los alrededores.			
Conservación De La Muestra			
HNO <sub>3</sub> (ml): 3		Temperatura de almacenamiento: 15 °C	

TOMA DE DATOS DE MUESTREO AGUA SUBTERRANEA		
<b>Datos Identificativos Del Muestreo</b>		
Nombre del punto: Inicio Rio San Antonio		
Muestreador: Ing. Aura Cristina Rodríguez, Br. Henry Edwin Quinteros, Br. Juan Alfredo Ramos, Br. Bessy Jasmyleth Ramírez		
Código muestra: GWNJ20		
Fecha: 4 de septiembre de 2012	Hora inicio: 11:35 a.m.	Hora fin: 12:00 p.m
Código GPS	Coordenadas	Altura
GPS #2 punto 22	13°49'7.07"N 89°14'1.49"O	440
Descripción de acceso y localización del tramo: El ingreso al lugar es accesible ya que son calles pavimentadas y se encuentra un punto en el que se puede ingresar fácilmente al rio, donde se encuentra el nacimiento con fácil acceso.		
Fotografía del lugar:		
		
<b>Características Físicoquímicas</b>		
pH (unidades): 6.05	Oxígeno disuelto(mg O <sub>2</sub> /l): ----	
Temperatura del agua (°C): 21	Conductividad eléctrica (µS/cm): 318	
Comentarios sobre las características del agua: La temperatura es baja ya que este nacimiento no incide directamente el sol.		
<b>Características Del Nacimiento o Pozo</b>		
Color del agua: incoloro		
Olor: inodoro		
Profundidad pozo:	Profundidad agua: 1 m	Diámetro pozo:
Altura brocal:		
Pozo en uso: si	Pozo abandonado:	
Comentarios sobre el hábitat: Alrededor del nacimiento hay pocos árboles, además el rio esta junto a este. Es de bastante uso este nacimiento hasta para el consumo humano.		
<b>Conservación De La Muestra</b>		
HNO <sub>3</sub> (ml): 3	Temperatura de almacenamiento: 15 °C	

			TOMA DE DATOS DE MUESTREO AGUA SUBTERRANEA		
<b>Datos Identificativos Del Muestreo</b>					
Nombre del punto: Sector 2 Calle Vieja Pozo 1					
Muestreador: Ing. Aura Cristina Rodríguez, Br. Henry Edwin Quinteros, Br. Juan Alfredo Ramos, Br. Bessy Jasmyleth Ramírez					
Código muestra: GWNJ14					
Fecha: 4 de septiembre de 2012			Hora inicio: 1:30 p.m.		Hora fin: 1:37 p.m
Código GPS		Coordenadas			Altura
GPS #2 punto 24		13°49'17.94"N		89°14'25.99"O	456
Descripción de acceso y localización del tramo: Esta es una comunidad en la que las calles están empolvadas aun así el acceso es rápido el pozo esta dentro de una propiedad privada.					
Fotografía del lugar:					
					
<b>Características Físicoquímicas</b>					
pH (unidades): 6.23			Oxígeno disuelto(mg O <sub>2</sub> /l): ----		
Temperatura del agua (°C):23			Conductividad eléctrica (µS/cm):969		
Comentarios sobre las características del agua: La temperatura es baja ya que este pozo esta dentro de una casa y esta techado no incide directamente el sol.					
<b>Características Del Nacimiento o Pozo</b>					
Color del agua: incoloro					
Olor: inodoro					
Profundidad pozo: 15.62 m		Profundidad agua: 14.46m		Diámetro pozo: 80 cm	
Altura brocal: 72 cm					
Pozo en uso:			Pozo abandonado: si		
Comentarios sobre el hábitat: Alrededor del pozo hay pocos árboles, está dentro de una propiedad privada techado, al sacar el agua para obtener la muestra también se extraen caracoles del fondo, el suelo esta pavimentado.					
<b>Conservación De La Muestra</b>					
HNO <sub>3</sub> (ml): 3			Temperatura de almacenamiento: 15 °C		

TOMA DE DATOS DE MUESTREO AGUA SUBTERRANEA		
<b>Datos Identificativos Del Muestreo</b>		
Nombre del punto: Sector 2 Calle Vieja Pozo 2		
Muestreador: Ing. Aura Cristina Rodríguez, Br. Henry Edwin Quinteros, Br. Juan Alfredo Ramos, Br. Bessy Jasmyleth Ramírez		
Código muestra: GWNJ15		
Fecha: 4 de septiembre de 2012	Hora inicio: 1:38 p.m.	Hora fin: 2:00 p.m
Código GPS	Coordenadas	Altura
GPS #2 punto 25	13°49'18.00"N 89°14'20.15"O	454
Descripción de acceso y localización del tramo: Esta es una comunidad en la que las calles están empolvadas aun así el acceso es rápido el pozo esta dentro de una propiedad privada.		
Fotografía del lugar:		
		
<b>Características Físicoquímicas</b>		
pH (unidades): 5.68	Oxígeno disuelto(mg O <sub>2</sub> /l): ----	
Temperatura del agua (°C):19	Conductividad eléctrica (µS/cm):676t6	
Comentarios sobre las características del agua: La temperatura es baja ya que este pozo esta dentro de una casa y esta tapado no incide directamente el sol.		
<b>Características Del Nacimiento o Pozo</b>		
Color del agua: incoloro		
Olor: inodoro		
Profundidad pozo: 13.05m	Profundidad agua: 12.51 m	Diámetro pozo: 86cm
Altura brocal: 75 cm		
Pozo en uso:	Pozo abandonado: si	
Comentarios sobre el hábitat: Alrededor del pozo hay pocos árboles, está dentro de una propiedad privada tapado, el suelo esta empolvado.		
<b>Conservación De La Muestra</b>		
HNO <sub>3</sub> (ml): 3	Temperatura de almacenamiento: 15 °C	

			TOMA DE DATOS DE MUESTREO AGUA SUBTERRANEA		
<b>Datos Identificativos Del Muestreo</b>					
Nombre del punto: Manantial Calera					
Muestreador: Ing. Aura Cristina Rodríguez, Br. Juan Alfredo Ramos, Br. Bessy Jasmyleth Ramírez					
Código muestra: GWNJ10					
Fecha: 4 de septiembre de 2012			Hora inicio: 2:58 p.m.		Hora fin: 3:20 p.m
Código GPS		Coordenadas			Altura
GPS #2 punto 33		13°50'35.62"N		89°13'23.92"O	453
Descripción de acceso y localización del tramo: El ingreso al lugar es accesible ya que son calles pavimentadas y se encuentra un punto en el que se puede ingresar fácilmente al río, donde se encuentra el nacimiento con fácil acceso además está protegido y en uso.					
Fotografía del lugar:					
					
<b>Características Físicoquímicas</b>					
pH (unidades): 6.35			Oxígeno disuelto(mg O <sub>2</sub> /l): ----		
Temperatura del agua (°C): 25			Conductividad eléctrica (µS/cm): 259		
Comentarios sobre las características del agua: La temperatura es baja ya que este nacimiento no incide directamente el sol.					
<b>Características Del Nacimiento o Pozo</b>					
Color del agua: incoloro					
Olor: inodoro					
Profundidad pozo:		Profundidad agua: 1 m		Diámetro pozo:	
Altura brocal:					
Pozo en uso: si			Pozo abandonado:		
Comentarios sobre el hábitat: Alrededor del nacimiento hay pocos árboles, además el río está junto a este. Es de bastante uso este nacimiento hasta para el consumo humano.					
<b>Conservación De La Muestra</b>					
HNO <sub>3</sub> (ml): 3			Temperatura de almacenamiento: 15 °C		

			TOMA DE DATOS DE MUESTREO AGUA SUBTERRANEA		
<b>Datos Identificativos Del Muestreo</b>					
Nombre del punto: Nacimiento Tres Piedras					
Muestreador: Ing. Aura Cristina Rodríguez, Br. Bessy Jasmyleth Ramírez, Br. Juan Alfredo Ramos					
Código muestra: GWNJ19					
Fecha: 6 de septiembre de 2012			Hora inicio: 9:25 a.m.		Hora fin: 9:40 a.m
Código GPS		Coordenadas			Altura
GPS #2 Punto 34		13°49'7.98"N	89°13'55.99"O		442
Descripción de acceso y localización del tramo: Es de fácil acceso se pasa por la calle principal luego se llega por una calle empolvada hasta el río se pasa un pequeño puente para llegar al nacimiento.					
Fotografía del lugar:					
					
<b>Características Físicoquímicas</b>					
pH (unidades): 6.18			Oxígeno disuelto(mg O <sub>2</sub> /l): ----		
Temperatura del agua (°C): 22			Conductividad eléctrica (µS/cm): 347		
Comentarios sobre las características del agua: El valor de la temperatura es bajo ya que el nacimiento no tiene contacto directo con el sol.					
<b>Características Del Nacimiento o Pozo</b>					
Color del agua: incoloro					
Olor: inodoro					
Profundidad pozo: ----		Profundidad agua:1 m		Diámetro pozo: ----	
Altura brocal: ----					
Pozo en uso: si			Pozo abandonado:		
Comentarios sobre el hábitat: Alrededor del pozo existe mucha vegetación hierbas y arboles este se encuentra en uso por los habitantes ya que hay comunidades cerca del lugar.					
<b>Conservación De La Muestra</b>					
HNO <sub>3</sub> (ml): 3			Temperatura de almacenamiento: 15 °C		

		TOMA DE DATOS DE MUESTREO AGUA SUBTERRANEA	
<b>Datos Identificativos Del Muestreo</b>			
Nombre del punto: Nacimiento Rio San Antonio por Ingenio			
Muestreador: Ing. Aura Cristina Rodríguez, Br. Bessy Jasmyleth Ramírez, Br. Juan Alfredo Ramos			
Código muestra: GWNJ17			
Fecha: 6 de septiembre de 2012		Hora inicio: 10:14 a.m.	Hora fin: 10:40 a.m
Código GPS	Coordenadas		Altura
GPS #2 Punto 36	13°49'9.93"N	89°13'59.04"O	453
Descripción de acceso y localización del tramo: Se pasa por la calle principal cerca del ingenio se encuentra el nacimiento el cual tiene un punto de fácil acceso.			
Fotografía del lugar:			
			
<b>Características Fisicoquímicas</b>			
pH (unidades): 6.54		Oxígeno disuelto(mg O <sub>2</sub> /l): ----	
Temperatura del agua (°C): 21		Conductividad eléctrica (µS/cm): 304	
Comentarios sobre las características del agua: El valor de la temperatura es bajo ya que el nacimiento no tiene contacto directo con el sol.			
<b>Características Del Nacimiento o Pozo</b>			
Color del agua: incoloro			
Olor: inodoro			
Profundidad pozo: ----	Profundidad agua:1 m	Diámetro pozo: ----	
Altura brocal: ----			
Pozo en uso: si		Pozo abandonado:	
Comentarios sobre el hábitat: Alrededor del pozo existe mucha vegetación hierbas y arboles.			
<b>Conservación De La Muestra</b>			
HNO <sub>3</sub> (ml): 3		Temperatura de almacenamiento: 15 °C	

			TOMA DE DATOS DE MUESTREO AGUA SUBTERRANEA		
Datos Identificativos Del Muestreo					
Nombre del punto: Sector 2 Calle Vieja					
Muestreador: Ing. Aura Cristina Rodríguez, Br. Bessy Jasmyleth Ramírez, Br. Juan Alfredo Ramos					
Código muestra: GWNJ16					
Fecha: 6 de septiembre de 2012			Hora inicio: 10:53 a.m.		Hora fin: 11:40 a.m
Código GPS		Coordenadas			Altura
GPS #2 Punto 37		13°49'16.58"N		89°14'12.63"O	450
Descripción de acceso y localización del tramo: Se pasa por la calle principal luego se ingresa a la comunidad estando el pozo en propiedad privada pero con fácil acceso.					
Fotografía del lugar:					
					
Características Físicoquímicas					
pH (unidades): 6.28			Oxígeno disuelto(mg O <sub>2</sub> /l): ----		
Temperatura del agua (°C): 24.5			Conductividad eléctrica (µS/cm): 399		
Comentarios sobre las características del agua: El valor de la temperatura es bajo ya que el pozo está cubierto no tiene contacto directo con el sol.					
Características Del Nacimiento o Pozo					
Color del agua: incoloro					
Olor: inodoro					
Profundidad pozo: 10.57		Profundidad agua: 9.8m		Diámetro pozo: 1.02m	
Altura brocal: 80 cm					
Pozo en uso:			Pozo abandonado: si		
Comentarios sobre el hábitat: Alrededor del pozo existe mucha vegetación hierbas y arboles.					
Conservación De La Muestra					
HNO <sub>3</sub> (ml): 3			Temperatura de almacenamiento: 15 °C		

			TOMA DE DATOS DE MUESTREO AGUA SUBTERRANEA		
<b>Datos Identificativos Del Muestreo</b>					
Nombre del punto: Las Vegas Pozo 4					
Muestreador: Ing. Aura Cristina Rodríguez, Br. Henry Darío Quinteros, Br. Juan Alfredo Ramos					
Código muestra: GWNJ08					
Fecha: 14 de septiembre de 2012			Hora inicio: 9:15 a.m.		Hora fin: 9:50 a.m
Código GPS		Coordenadas			Altura
GPS #1 Punto 13		13°51'20.20"N	89°12'19.58"O		578
Descripción de acceso y localización del tramo: Se pasa por la calle principal luego se ingresa a la comunidad estando el pozo en propiedad privada pero con fácil acceso.					
<b>Características Físicoquímicas</b>					
pH (unidades): 6.97			Oxígeno disuelto(mg O <sub>2</sub> /l): 1.15		
Temperatura del agua (°C): 27			Conductividad eléctrica (µS/cm): 713		
Comentarios sobre las características del agua: El valor de la temperatura es alto ya que el pozo esta en uso y se encontraba descubierto.					
<b>Características Del Nacimiento o Pozo</b>					
Color del agua: incoloro					
Olor: inodoro					
Profundidad pozo: 10.86 m		Profundidad agua: 7.48 m		Diámetro pozo: 0.82 m	
Altura brocal: 60 cm					
Pozo en uso: si			Pozo abandonado:		
Comentarios sobre el hábitat: Alrededor del pozo existe mucha vegetación hierbas y arboles.					
<b>Conservación De La Muestra</b>					
HNO <sub>3</sub> (ml): 3			Temperatura de almacenamiento: 15 °C		

			TOMA DE DATOS DE MUESTREO AGUA SUBTERRANEA		
<b>Datos Identificativos Del Muestreo</b>					
Nombre del punto: Las Vegas Pozo #2					
Muestreador: Ing. Aura Cristina Rodríguez, Br. Henry Edwin Quinteros, Br. Juan Alfredo Ramos					
Código muestra: GWNJ05					
Fecha: 14 de septiembre de 2012			Hora inicio: 12:55 p.m.		Hora fin: 2:10 p.m
Código GPS		Coordenadas			Altura
GPS #2 Punto 16		13°51'27.01"N		89°12'28.58"O	401
Descripción de acceso y localización del tramo: Es de fácil acceso pues esta sobre la calle principal dentro de una de las propiedades en la cual se debe de pedir permiso en donde existe una gran disposición de colaborar del dueño de la propiedad.					
<b>Características Físicoquímicas</b>					
pH (unidades): 6.68			Oxígeno disuelto(mg O <sub>2</sub> /l): 2.01		
Temperatura del agua (°C): 27.6			Conductividad eléctrica (µS/cm): 294.8		
Comentarios sobre las características del agua: El valor de la temperatura está un poco alta de lo que se esperaba para un pozo					
<b>Características Del Nacimiento o Pozo</b>					
Color del agua: incoloro					
Olor: inodoro					
Profundidad pozo: 10.86 m		Profundidad agua: 7.54 m		Diámetro pozo: 0.80 m	
Altura brocal: 60 cm					
Pozo en uso:			Pozo abandonado: si		
Comentarios sobre el hábitat: Alrededor del pozo existen mucha vegetación cultivada por el dueño de la vivienda, el pozo se mantienen completamente cerrado evitando entre basura.					
<b>Conservación De La Muestra</b>					
HNO <sub>3</sub> (ml): 3			Temperatura de almacenamiento: 15 °C		

			TOMA DE DATOS DE MUESTREO SEDIMENTO
<b>Datos Identificativos Del Muestreo</b>			
Nombre del punto: Planta de Tratamiento de Agua, Nejapa			
Muestreador: Ing. Aura Cristina Rodríguez, Br. Bessy Jasmyleth Ramírez, Br. Juan Alfredo Ramos, Br. Henry Darío Quinteros			
Código muestra: SENJ13			
Fecha: 04 de septiembre de 2012		Hora inicio: 9:18 A.M.	Hora fin: 9:28 A.M
Código GPS	Coordenadas		Altura
GPS #2 punto 19	13°49'21.40"N	89°13'45.41"O	432
Descripción de acceso y localización del tramo: Para el ingreso se llega por la calle principal ingresando luego por una calle empolvada hasta llegar a la planta de tratamiento de agua para llegar al río es necesario bajar siendo de poca altura y accesible el tramo a bajar para recolectar la muestra.			
Fotografía del lugar:			
			

Características Físicoquímicas	
pH (unidades): 6.85	Oxígeno disuelto(mg O <sub>2</sub> /l): ----
Temperatura del sedimento (°C): 24	Conductividad eléctrica (µS/cm): 134.1
Comentarios sobre las características del sedimento: El valor de la temperatura es intermedio porque en se tramo de la quebrada tenía contacto medio con el sol y con vegetación en los alrededores	
Características Del Sedimento	
Color del sedimento: gris	
Olor del sedimento: inodoro	
Comentarios sobre el hábitat: Alrededor del tramo hay vegetación arboles altos pocas hierbas y arbustos, en la zona se observan cultivos cerca del río.	
Conservación De La Muestra	
HNO <sub>3</sub> (ml): 3	Temperatura de almacenamiento: 15°C

			TOMA DE DATOS DE MUESTREO SEDIMENTO		
Datos Identificativos Del Muestreo					
Nombre del punto: Quebrada Los Amates					
Muestreador: Ing. Aura Cristina Rodríguez, Br. Bessy Jasmyleth Ramírez, Br. Juan Alfredo Ramos, Br. Henry Darío Quinteros					
Código muestra: SENJ11					
Fecha: 04 de septiembre de 2012			Hora inicio: 10:15 A.M.		Hora fin: 10:35 A.M
Código GPS		Coordenadas			Altura
GPS #2 punto 21		13°49'33.44"N	89°14'20.10"O		445
Descripción de acceso y localización del tramo: El ingreso al lugar es accesible ya que son calles pavimentadas y se encuentra un punto en el que se puede ingresar fácilmente a la quebrada bajando mucha precaución es libre la entrada.					

Fotografía del lugar:



Características Físicoquímicas	
pH (unidades): 6.06	Oxígeno disuelto(mg O <sub>2</sub> /l): ----
Temperatura del sedimento (°C): 23	Conductividad eléctrica (µS/cm): 217
Comentarios sobre las características del sedimento: El valor de la temperatura es intermedio porque en se tramo de la quebrada tenía contacto medio con el sol y con vegetación en los alrededores.	
Características Del Sedimento	
Color del sedimento: gris	
Olor del sedimento: inodoro	
Comentarios sobre el hábitat: Alrededor del tramo hay vegetación bastante hierbas y arbustos pocos arboles altos, en la zona se observan cultivos cerca del rio.	
Conservación De La Muestra	
HNO <sub>3</sub> (ml): 3	Temperatura de almacenamiento: 15°C

			TOMA DE DATOS DE MUESTREO SEDIMENTO		
Datos Identificativos Del Muestreo					
Nombre del punto: Inicio Rio San Antonio					
Muestreador: Ing. Aura Cristina Rodríguez, Br. Bessy Jasmyleth Ramírez, Br. Juan Alfredo Ramos, Br. Henry Darío Quinteros					
Código muestra: SENJ20					
Fecha: 04 de septiembre de 2012			Hora inicio: 11:15 A.M.		Hora fin: 11:35 A.M
Código GPS		Coordenadas			Altura
GPS #2 punto 22		13°49'7.07"N	89°14'1.49"O		440
Descripción de acceso y localización del tramo: El ingreso al lugar es accesible ya que son calles pavimentadas y se encuentra un punto en el que se puede ingresar fácilmente al rio.					

Fotografía del lugar:



Características Físicoquímicas	
pH (unidades): 6.01	Oxígeno disuelto(mg O <sub>2</sub> /l): ----
Temperatura del sedimento (°C): 25	Conductividad eléctrica (μS/cm): 317
Comentarios sobre las características del sedimento: El valor de la temperatura es intermedio porque en se tramo de la quebrada tenía contacto medio con el sol y con vegetación en los alrededores.	
Características Del Sedimento	
Color del sedimento: gris	
Olor del sedimento: inodoro	
Comentarios sobre el hábitat: Alrededor del tramo hay muchas piedras con vegetación en los extremos. Es un área utilizada por bastantes habitantes para diversos usos.	
Conservación De La Muestra	
HNO <sub>3</sub> (ml): 3	Temperatura de almacenamiento: 15°C

TOMA DE DATOS DE MUESTREO SEDIMENTO		
<b>Datos Identificativos Del Muestreo</b>		
Nombre del punto: Quebrada Mulunga		
Muestreador: Ing. Aura Cristina Rodríguez, Br. Bessy Jasmyleth Ramírez, Br. Juan Alfredo Ramos		
Código muestra: SENJ01		
Fecha: 05 de septiembre de 2012	Hora inicio: 9:28 A.M.	Hora fin: 9:48 A.M
Código GPS	Coordenadas	Altura
GPS #2 punto 26	13°51'23.28"N 89°13'39.26"O	451
Descripción de acceso y localización del tramo: Para el ingreso se llega por la calle principal pasando por una propiedad privada por lo que se debe pedir permiso. Acceso no complicado mientras exista disposición de los dueños de terrenos privados		
Fotografía del lugar:		
		

Características Físicoquímicas	
pH (unidades): 6.84	Oxígeno disuelto(mg O <sub>2</sub> /l): ----
Temperatura del sedimento (°C): 24	Conductividad eléctrica (μS/cm): 310
Comentarios sobre las características del sedimento: El valor de la temperatura es bajo porque en se tramo de la quebrada no tenía contacto directo con el sol y mucha vegetación en los alrededores	
Características Del Sedimento	
Color del sedimento: café – verde	
Olor del sedimento: fétido	
Comentarios sobre el hábitat: Existe gran presencia de vegetación de cultivos de terrenos privados además de desechos plásticos alrededor de la quebrada.	
Conservación De La Muestra	
HNO <sub>3</sub> (ml): 3	Temperatura de almacenamiento: 15°C

			TOMA DE DATOS DE MUESTREO SEDIMENTO
<b>Datos Identificativos Del Muestreo</b>			
Nombre del punto: Quebrada Lagartera			
Muestreador: Ing. Aura Cristina Rodríguez, Br. Bessy Jasmyleth Ramírez, Br. Juan Alfredo Ramos			
Código muestra: SENJ02			
Fecha: 05 de septiembre de 2012		Hora inicio: 10:28 A.M.	Hora fin: 10:38 A.M
Código GPS	Coordenadas		Altura
GPS #2 punto 27	13°51'34.98"N	89°13'14.20"O	423
Descripción de acceso y localización del tramo: Para el ingreso se llega por la calle principal pasando por una propiedad privada por lo que se debe pedir permiso. Acceso no complicado mientras exista disposición de los dueños de terrenos privados			
Fotografía del lugar:			
			

<b>Características Físicoquímicas</b>	
pH (unidades): 6.84	Oxígeno disuelto(mg O <sub>2</sub> /l): ----
Temperatura del sedimento (°C): 24	Conductividad eléctrica (μS/cm): 310
Comentarios sobre las características del sedimento: El valor de la temperatura es bajo porque en se tramo de la quebrada no tenía contacto directo con el sol y mucha vegetación en los alrededores	
<b>Características Del Sedimento</b>	
Color del sedimento: café	
Olor del sedimento: fétido	
Comentarios sobre el hábitat: Existe gran presencia de vegetación de cultivos de terrenos privados además de desechos plásticos alrededor de la quebrada.	
<b>Conservación De La Muestra</b>	
HNO <sub>3</sub> (ml): 3	Temperatura de almacenamiento: 15°C

			TOMA DE DATOS DE MUESTREO SEDIMENTO
<b>Datos Identificativos Del Muestreo</b>			
Nombre del punto: Confluencia de Quebradas			
Muestreador: Ing. Aura Cristina Rodríguez, Br. Bessy Jasmyleth Ramírez, Br. Juan Alfredo Ramos			
Código muestra: SENJ03			
Fecha: 05 de septiembre de 2012		Hora inicio: 10:55 A.M.	Hora fin: 11:10 A.M
Código GPS	Coordenadas		Altura
GPS #2 punto 28	13°51'25.07"N	89°12'52.37"O	402
Descripción de acceso y localización del tramo: Para el ingreso se llega por la calle principal luego en una calle de menor afluencia se encuentra en el camino un punto de acceso no complicado a la confluencia de las quebradas.			
Fotografía del lugar:			
			

<b>Características Físicoquímicas</b>	
pH (unidades): 7.22	Oxígeno disuelto(mg O <sub>2</sub> /l): ----
Temperatura del sedimento (°C): 27	Conductividad eléctrica (μS/cm): 747
Comentarios sobre las características del sedimento: El valor de la temperatura es mayor porque tenía mayor contacto con el sol.	
<b>Características Del Sedimento</b>	
Color del sedimento: gris	
Olor del sedimento: inodoro	
Comentarios sobre el hábitat: Existe gran presencia de vegetación hierbas y arboles a los alrededores hay presencia de sólidos disueltos en el agua.	
<b>Conservación De La Muestra</b>	
HNO <sub>3</sub> (ml): 3	Temperatura de almacenamiento: 15°C

			TOMA DE DATOS DE MUESTREO SEDIMENTO		
<b>Datos Identificativos Del Muestreo</b>					
Nombre del punto: Las Veguitas					
Muestreador: Ing. Aura Cristina Rodríguez, Br. Bessy Jasmyleth Ramírez, Br. Juan Alfredo Ramos					
Código muestra: SENJ09					
Fecha: 05 de septiembre de 2012		Hora inicio: 12:15 P.M.		Hora fin: 12:30 P.M	
Código GPS		Coordenadas		Altura	
GPS #2 punto 29		13°50'46.42"N 89°12'29.70"O		391	
Descripción de acceso y localización del tramo: Para el ingreso se llega por la calle principal luego en una calle de menor afluencia se encuentra en el camino una intersección con el río pasando y luego ingresando por las orillas hasta el punto seleccionado.					
Fotografía del lugar:					
					

<b>Características Físicoquímicas</b>	
pH (unidades): 6.36	Oxígeno disuelto(mg O <sub>2</sub> /l): ----
Temperatura del sedimento (°C): 26	Conductividad eléctrica (μS/cm): 310
Comentarios sobre las características del sedimento: El valor de la temperatura es mayor porque tenía mayor contacto con el sol.	
<b>Características Del Sedimento</b>	
Color del sedimento: gris	
Olor del sedimento: inodoro	
Comentarios sobre el hábitat: Existe gran presencia de vegetación hierbas y arboles a los alrededores y además de siembra de caña de azúcar.	
<b>Conservación De La Muestra</b>	
HNO <sub>3</sub> (ml): 3	Temperatura de almacenamiento: 15°C

			TOMA DE DATOS DE MUESTREO SEDIMENTO
<b>Datos Identificativos Del Muestreo</b>			
Nombre del punto: Rio San Antonio			
Muestreador: Ing. Aura Cristina Rodríguez, Br. Bessy Jasmyleth Ramírez, Br. Juan Alfredo Ramos			
Código muestra: SENJ07			
Fecha: 05 de septiembre de 2012		Hora inicio: 2:29 P.M.	Hora fin: 2:39 P.M
Código GPS	Coordenadas		Altura
GPS #2 punto 32	13°51'32.84"N	89°12'13.89"O	378
Descripción de acceso y localización del tramo: Para el ingreso se llega por la calle principal luego en una calle de menor afluencia se encuentra en el camino una intersección con el rio siguiendo esta calle se encuentra un punto antes de la desembocadura del Rio San Antonio con fácil acceso.			

<b>Características Físicoquímicas</b>	
pH (unidades): 6.89	Oxígeno disuelto(mg O <sub>2</sub> /l): ----
Temperatura del sedimento (°C): 26	Conductividad eléctrica (μS/cm): 368
Comentarios sobre las características del sedimento: El valor de la temperatura es mayor porque tenía mayor contacto con el sol.	
<b>Características Del Sedimento</b>	
Color del sedimento: gris	
Olor del sedimento: inodoro	
Comentarios sobre el hábitat: Existe gran presencia de vegetación hierbas y arboles a los alrededores.	
<b>Conservación De La Muestra</b>	
HNO <sub>3</sub> (ml): 3	Temperatura de almacenamiento: 15°C

			TOMA DE DATOS DE MUESTREO SEDIMENTO
<b>Datos Identificativos Del Muestreo</b>			
Nombre del punto: Rio San Antonio, Tres Piedras			
Muestreador: Ing. Aura Cristina Rodríguez, Br. Bessy Jasmyleth Ramírez, Br. Juan Alfredo Ramos			
Código muestra: SENJ18			
Fecha: 06 de septiembre de 2012		Hora inicio: 10:08 A.M.	Hora fin: 10:13 A.M
Código GPS	Coordenadas		Altura
GPS #2 punto 35	13°49'9.77"N	89°13'55.92"O	446
Descripción de acceso y localización del tramo: Es de fácil acceso se pasa por la calle principal luego se llega por una calle empolvada hasta el río.			
Fotografía del lugar:			
			

Características Físicoquímicas	
pH (unidades): 6.57	Oxígeno disuelto(mg O <sub>2</sub> /l): ----
Temperatura del sedimento (°C): 23	Conductividad eléctrica (μS/cm): 375
Comentarios sobre las características del sedimento: El valor de la temperatura es menor porque tenía menor contacto con el sol.	
Características Del Sedimento	
Color del sedimento: gris	
Olor del sedimento: inodoro	
Comentarios sobre el hábitat: Existe gran presencia de vegetación hierbas y arboles a los alrededores.	
Conservación De La Muestra	
HNO <sub>3</sub> (ml): 3	Temperatura de almacenamiento: 15°C

			TOMA DE DATOS DE MUESTREO SUELO	
Datos Identificativos Del Muestreo				
Nombre del punto: Planta de Tratamiento de Agua, Nejapa				
Muestreador: Ing. Aura Cristina Rodríguez, Br. Bessy Jasmyleth Ramírez, Br. Juan Alfredo Ramos, Br. Henry Darío Quinteros				
Código muestra: SONJ12				
Fecha: 04 de septiembre 2012		Hora inicio: 9:31 AM		Hora fin: 9:40 AM
Código GPS	Coordenadas		Altura	
GPS#2 punto 20	13°49'31.72"N	89°13'43.48"O	427	
Descripción de acceso y localización del tramo: Para el ingreso se llega por la calle principal ingresando luego por una calle empolvada hasta llegar a la planta de tratamiento de agua se sube un cerrito en el que esta cultivado el maíz es un área de propiedad privada.				
Fotografía del lugar:				
				

Características Físicoquímicas				
pH (unidades): 1.5		Temperatura del suelo(°C): 30		
Conductividad eléctrica (µS/cm): ----				
Comentarios sobre las características del suelo: Se diluyo en agua destilada para poder obtener los valores fisicoquímicos, la conductividad no lograba estabilizarse debido a esto no se obtuvo el valor.				
Características Del Suelo				
Uso del suelo: agrícola				
Presencia aproximada (m)	Rio 15 m.	Quebrada	Pozo	Otro
Comentarios sobre el hábitat: En el suelo se observa cultivado el maíz y a sus alrededores hierbas a mayor distancia se observan arboles. En esta área hay casas en las habitan familias.				
Conservación De La Muestra				
HNO <sub>3</sub> (ml): 3		Temperatura de almacenamiento: 15°C		

			TOMA DE DATOS DE MUESTREO SUELO	
Datos Identificativos Del Muestreo				
Nombre del punto: Quebrada Mulunga				
Muestreador: Ing. Aura Cristina Rodríguez, Br. Bessy Jasmyleth Ramírez, Br. Juan Alfredo Ramos				
Código muestra: SONJ01				
Fecha: 05 de septiembre 2012			Hora inicio: 9:50 AM	Hora fin: 10:00 AM
Código GPS		Coordenadas		Altura
Gps#2 punto 26		13°51'23.28"N	89°13'39.26"O	451
<p>Descripción de acceso y localización del tramo:          Para el ingreso se llega por la calle principal pasando por una propiedad privada por lo que se debe pedir permiso. Acceso no complicado mientras exista disposición de los dueños de terrenos privados</p>				
Fotografía del lugar:				
				

Características Físicoquímicas				
pH (unidades): 6.17			Temperatura del suelo(°C): 23.5	
Conductividad eléctrica (µS/cm): 158.8				
Comentarios sobre las características del suelo: Se diluyo en agua destilada para poder obtener los valores fisicoquímicos				
Características Del Suelo				
Uso del suelo: agrícola				
Presencia aproximada (m)	Rio	Quebrada 10 m	Pozo	Otro
Comentarios sobre el hábitat: Existe gran presencia de vegetación de cultivos de terrenos privados además de desechos plásticos alrededor de la quebrada. Cercano a la zona solo existen cultivos de maíz y pipián.				
Conservación De La Muestra				
HNO <sub>3</sub> (ml): 3			Temperatura de almacenamiento: 15°C	

TOMA DE DATOS DE MUESTREO SUELO			
<b>Datos Identificativos Del Muestreo</b>			
Nombre del punto: Las Veguitas			
Muestreador: Ing. Aura Cristina Rodríguez, Br. Bessy Jasmyleth Ramírez, Br. Juan Alfredo Ramos			
Código muestra: SONJ09			
Fecha: 05 de septiembre 2012		Hora inicio: 12:20 PM	Hora fin: 12:30 PM
Código GPS	Coordenadas		Altura
GPS #2 punto 29	13°50'46.42"N	89°12'29.70"O	391
Descripción de acceso y localización del tramo: Para el ingreso se llega por la calle principal luego en una calle de menor afluencia se encuentra en el camino una intersección con el río pasando esta intersección se selecciona un punto.			
Fotografía del lugar:			
			

Características Físicoquímicas				
pH (unidades): 4.76		Temperatura del suelo(°C): 25.5		
Conductividad eléctrica (µS/cm): 363				
Comentarios sobre las características del suelo: Se diluyo en agua destilada para poder obtener los valores fisicoquímicos				
Características Del Suelo				
Uso del suelo: agrícola				
Presencia aproximada (m)	Rio 5 m	Quebrada	Pozo	Otro
Comentarios sobre el hábitat: Existe gran presencia de vegetación y cultivos como caña de azúcar.				
Conservación De La Muestra				
HNO <sub>3</sub> (ml): 3		Temperatura de almacenamiento: 15°C		

TOMA DE DATOS DE MUESTREO SUELO		
<b>Datos Identificativos Del Muestreo</b>		
Nombre del punto: Las Vegas		
Muestreador: Ing. Aura Cristina Rodríguez, Br. Henry Darío Quinteros, Br. Juan Alfredo Ramos		
Código muestra: SONJ06		
Fecha: 14 de septiembre 2012	Hora inicio: 12:20 PM	Hora fin: 12:30 PM
Código GPS	Coordenadas	Altura
GPS #1 punto 15	13°51'22.04"N	89°12'23.83"O
Descripción de acceso y localización del tramo: El punto tiene un acceso fácil pero está ubicado en terreno privado pero tiene un sendero que es utilizado por los habitantes del lugar para cruzarse cada uno de los terrenos.		

Características Físicoquímicas				
pH (unidades):		Temperatura del suelo(°C):		
Conductividad eléctrica (µS/cm):				
Comentarios sobre las características del suelo: Se diluyo en agua destilada para poder obtener los valores fisicoquímicos				
Características Del Suelo				
Uso del suelo: agrícola				
Presencia aproximada (m)	Rio	Quebrada	Pozo	Otro
Comentarios sobre el hábitat:				
Conservación De La Muestra				
HNO <sub>3</sub> (ml): 3		Temperatura de almacenamiento: 15°C		

			TOMA DE DATOS DE MUESTREO SUELO	
Datos Identificativos Del Muestreo				
Nombre del punto: Los Naranjos				
Muestreador: Ing. Aura Cristina Rodríguez, Br. Bessy Jasmyleth Ramírez, Br. Juan Alfredo Ramos				
Código muestra: SONJ04				
Fecha: 19 de septiembre 2012			Hora inicio: 12:20 PM	Hora fin: 12:30 PM
Código GPS	Coordenadas			Altura
GPS #1 punto 17	13°51'35.50"N	89°12'39.81"O	374	
Descripción de acceso y localización del tramo: Para el ingreso se llega por la calle principal luego en una calle de menor afluencia empolvada se pasa por una siembra de caña de azúcar luego un puente hasta llegar a una siembra de pipián.				

Características Físicoquímicas				
pH (unidades): ----			Temperatura del suelo(°C): ----	
Conductividad eléctrica (μS/cm): ----				
Comentarios sobre las características del suelo: No se obtuvieron los valores fisicoquímicos por falta de tiempo.				
Características Del Suelo				
Uso del suelo: agrícola				
Presencia aproximada (m)	Rio 30 m	Quebrada	Pozo	Otro
Comentarios sobre el hábitat: Existe gran presencia de vegetación y cultivos como pipián en la zona y otros.				
Conservación De La Muestra				
HNO <sub>3</sub> (ml): 3			Temperatura de almacenamiento: 15°C	

			TOMA DE DATOS DE MUESTREO BIOMASA	
Datos Identificativos Del Muestreo				
Nombre del punto: Planta de Tratamiento de Agua, Nejapa				
Muestreador: Ing. Aura Cristina Rodríguez, Br. Bessy Jasmyleth Ramírez, Br. Juan Alfredo Ramos, Br. Henry Darío Quinteros				
Código muestra: BMMR12				
Fecha: 04 de septiembre 2012			Hora inicio: 9:40 AM	Hora fin: 9:50 AM
Código GPS	Coordenadas		Altura	
GPS#2 punto 20	13°49'31.72"N	89°13'43.48"O	427	
<p>Descripción de acceso y localización del tramo:            Para el ingreso se llega por la calle principal ingresando luego por una calle empolvada hasta llegar a la planta de tratamiento de agua se sube un cerrito en el que esta cultivado el maíz es un área de propiedad privada y el cultivo también pertenece a los propietarios del lugar el cual puede ser vendido a un bajo precio.</p>				
Fotografía del lugar:				
				

Características De La Biomasa				
Nombre común de la biomasa Maíz			Nombre científico de la biomasa Zea mays	
Tipo y uso de siembra:	Casera	Comunitaria	Semi-industrial	Industrial
Estado de maduración del fruto:	Verde	Semi-maduro	Maduro	Descompuesto
Ubicación aproximada (m)	Rio 15 m	Quebrada	Pozo	Otro
Comentarios sobre el hábitat: En el suelo se observa cultivado el maíz y a sus alrededores hierbas a mayor distancia se observan arboles. En esta área hay casas en las habitan familias.				
Conservación De La Muestra				
HNO <sub>3</sub> (ml):----			Temperatura de almacenamiento: 15°C	

			TOMA DE DATOS DE MUESTREO BIOMASA	
Datos Identificativos Del Muestreo				
Nombre del punto: Quebrada Mulunga				
Muestreador: Ing. Aura Cristina Rodríguez, Br. Bessy Jasmyleth Ramírez, Br. Juan Alfredo Ramos				
Código muestra: BMM101				
Fecha: 05 de septiembre 2012			Hora inicio: 10:00 AM	Hora fin: 10:02 AM
Código GPS	Coordenadas			Altura
Gps#2 punto 26	13°51'23.28"N	89°13'39.26"O	451	
Descripción de acceso y localización del tramo: Para el ingreso se llega por la calle principal pasando por una propiedad privada por lo que se debe pedir permiso. Acceso no complicado mientras exista disposición de los dueños de terrenos privados. El cultivo también pertenece a los propietarios del lugar el cual puede ser vendido a un bajo precio.				
Fotografía del lugar:				
				

Características De La Biomasa				
Nombre común de la biomasa Maíz			Nombre científico de la biomasa Zea mays	
Tipo y uso de siembra:	Casera	Comunitaria	Semi-industrial	Industrial
Estado de maduración del fruto:	Verde	Semi-maduro	Maduro	Descompuesto
Ubicación aproximada (m)	Rio 10 m	Quebrada	Pozo	Otro
Comentarios sobre el hábitat: En el suelo se observa cultivado el maíz y pipián a sus alrededores pocas hierbas a mayor distancia se observan arboles. En esta área hay casas en las habitan familias.				
Conservación De La Muestra				
HNO <sub>3</sub> (ml):----			Temperatura de almacenamiento: 15°C	

			TOMA DE DATOS DE MUESTREO BIOMASA	
Datos Identificativos Del Muestreo				
Nombre del punto: Quebrada Mulunga				
Muestreador: Ing. Aura Cristina Rodríguez, Br. Bessy Jasmyleth Ramírez, Br. Juan Alfredo Ramos				
Código muestra: BMM201				
Fecha: 05 de septiembre 2012			Hora inicio: 10:02 AM	Hora fin: 10:03 AM
Código GPS	Coordenadas			Altura
Gps#2 punto 26	13°51'23.28"N	89°13'39.26"O	451	
<p>Descripción de acceso y localización del tramo:            Para el ingreso se llega por la calle principal pasando por una propiedad privada por lo que se debe pedir permiso. Acceso no complicado mientras exista disposición de los dueños de terrenos privados. El cultivo también pertenece a los propietarios del lugar el cual puede ser vendido a un bajo precio.</p>				
Fotografía del lugar:				
				

Características De La Biomasa				
Nombre común de la biomasa Maíz			Nombre científico de la biomasa Zea mays	
Tipo y uso de siembra:	Casera	Comunitaria	Semi-industrial	Industrial
Estado de maduración del fruto:	Verde	Semi-maduro	Maduro	Descompuesto
Ubicación aproximada (m)	Rio 10 m	Quebrada	Pozo	Otro
<p>Comentarios sobre el hábitat:            En el suelo se observa cultivado el maíz y pipián a sus alrededores pocas hierbas a mayor distancia se observan arboles. En esta área hay casas en las habitan familias.</p>				
Conservación De La Muestra				
HNO <sub>3</sub> (ml):----			Temperatura de almacenamiento: 15°C	

			TOMA DE DATOS DE MUESTREO BIOMASA	
Datos Identificativos Del Muestreo				
Nombre del punto: Quebrada Mulunga				
Muestreador: Ing. Aura Cristina Rodríguez, Br. Bessy Jasmyleth Ramírez, Br. Juan Alfredo Ramos				
Código muestra: BMM301				
Fecha: 05 de septiembre 2012			Hora inicio: 10:03 AM	Hora fin: 10:04 AM
Código GPS	Coordenadas			Altura
Gps#2 punto 26	13°51'23.28"N	89°13'39.26"O	451	
<p>Descripción de acceso y localización del tramo:            Para el ingreso se llega por la calle principal pasando por una propiedad privada por lo que se debe pedir permiso. Acceso no complicado mientras exista disposición de los dueños de terrenos privados. El cultivo también pertenece a los propietarios del lugar el cual puede ser vendido a un bajo precio.</p>				
Fotografía del lugar:				
				

Características De La Biomasa				
Nombre común de la biomasa Maíz			Nombre científico de la biomasa Zea mays	
Tipo y uso de siembra:	Casera	Comunitaria	Semi-industrial	Industrial
Estado de maduración del fruto:	Verde	Semi-maduro	Maduro	Descompuesto
Ubicación aproximada (m)	Rio 10 m	Quebrada	Pozo	Otro
Comentarios sobre el hábitat: En el suelo se observa cultivado el maíz y pipián a sus alrededores pocas hierbas a mayor distancia se observan arboles. En esta área hay casas en las habitan familias.				
Conservación De La Muestra				
HNO <sub>3</sub> (ml):----			Temperatura de almacenamiento: 15°C	

			TOMA DE DATOS DE MUESTREO BIOMASA	
Datos Identificativos Del Muestreo				
Nombre del punto: Quebrada Mulunga				
Muestreador: Ing. Aura Cristina Rodríguez, Br. Bessy Jasmyleth Ramírez, Br. Juan Alfredo Ramos				
Código muestra: BMM401				
Fecha: 05 de septiembre 2012			Hora inicio: 10:04 AM	Hora fin: 10:05 AM
Código GPS	Coordenadas			Altura
Gps#2 punto 26	13°51'23.28"N	89°13'39.26"O	451	
Descripción de acceso y localización del tramo: Para el ingreso se llega por la calle principal pasando por una propiedad privada por lo que se debe pedir permiso. Acceso no complicado mientras exista disposición de los dueños de terrenos privados. El cultivo también pertenece a los propietarios del lugar el cual puede ser vendido a un bajo precio.				
Fotografía del lugar:				
				

Características De La Biomasa				
Nombre común de la biomasa Maíz			Nombre científico de la biomasa Zea mays	
Tipo y uso de siembra:	Casera	Comunitaria	Semi-industrial	Industrial
Estado de maduración del fruto:	Verde	Semi-maduro	Maduro	Descompuesto
Ubicación aproximada (m)	Rio 10 m	Quebrada	Pozo	Otro
Comentarios sobre el hábitat: En el suelo se observa cultivado el maíz y pipián a sus alrededores pocas hierbas a mayor distancia se observan arboles. En esta área hay casas en las habitan familias.				
Conservación De La Muestra				
HNO <sub>3</sub> (ml):----			Temperatura de almacenamiento: 15°C	

			TOMA DE DATOS DE MUESTREO BIOMASA	
Datos Identificativos Del Muestreo				
Nombre del punto: Quebrada Mulunga				
Muestreador: Ing. Aura Cristina Rodríguez, Br. Bessy Jasmyleth Ramírez, Br. Juan Alfredo Ramos				
Código muestra: BMM501				
Fecha: 05 de septiembre 2012			Hora inicio: 10:05 AM	Hora fin: 10:06 AM
Código GPS	Coordenadas			Altura
Gps#2 punto 26	13°51'23.28"N	89°13'39.26"O	451	
<p>Descripción de acceso y localización del tramo:            Para el ingreso se llega por la calle principal pasando por una propiedad privada por lo que se debe pedir permiso. Acceso no complicado mientras exista disposición de los dueños de terrenos privados. El cultivo también pertenece a los propietarios del lugar el cual puede ser vendido a un bajo precio.</p>				
Fotografía del lugar:				
				

Características De La Biomasa				
Nombre común de la biomasa Maíz			Nombre científico de la biomasa Zea mays	
Tipo y uso de siembra:	Casera	Comunitaria	Semi-industrial	Industrial
Estado de maduración del fruto:	Verde	Semi-maduro	Maduro	Descompuesto
Ubicación aproximada (m)	Rio 10 m	Quebrada	Pozo	Otro
Comentarios sobre el hábitat: En el suelo se observa cultivado el maíz y pipián a sus alrededores pocas hierbas a mayor distancia se observan arboles. En esta área hay casas en las habitan familias.				
Conservación De La Muestra				
HNO <sub>3</sub> (ml):----			Temperatura de almacenamiento: 15°C	

			TOMA DE DATOS DE MUESTREO BIOMASA	
Datos Identificativos Del Muestreo				
Nombre del punto: Quebrada Mulunga				
Muestreador: Ing. Aura Cristina Rodríguez, Br. Bessy Jasmyleth Ramírez, Br. Juan Alfredo Ramos				
Código muestra: BMP101				
Fecha: 05 de septiembre 2012			Hora inicio: 10:06 AM	Hora fin: 10:07 AM
Código GPS	Coordenadas			Altura
Gps#2 punto 26	13°51'23.28"N	89°13'39.26"O	451	
<p>Descripción de acceso y localización del tramo:            Para el ingreso se llega por la calle principal pasando por una propiedad privada por lo que se debe pedir permiso. Acceso no complicado mientras exista disposición de los dueños de terrenos privados. El cultivo también pertenece a los propietarios del lugar el cual puede ser vendido a un bajo precio.</p>				
Fotografía del lugar:				
				

Características De La Biomasa				
Nombre común de la biomasa Pipian			Nombre científico de la biomasa Cucurbita argyrosperma	
Tipo y uso de siembra:	Casera	Comunitaria	Semi-industrial	Industrial
Estado de maduración del fruto:	Verde	Semi-maduro	Maduro	Descompuesto
Ubicación aproximada (m)	Rio 10 m	Quebrada	Pozo	Otro
Comentarios sobre el hábitat: En el suelo se observa cultivado el maíz y pipián a sus alrededores pocas hierbas a mayor distancia se observan arboles. En esta área hay casas en las habitan familias.				
Conservación De La Muestra				
HNO <sub>3</sub> (ml):----			Temperatura de almacenamiento: 15°C	

			TOMA DE DATOS DE MUESTREO BIOMASA	
Datos Identificativos Del Muestreo				
Nombre del punto: Quebrada Mulunga				
Muestreador: Ing. Aura Cristina Rodríguez, Br. Bessy Jasmyleth Ramírez, Br. Juan Alfredo Ramos				
Código muestra: BMP201				
Fecha: 05 de septiembre 2012			Hora inicio: 10:07 AM	Hora fin: 10:08 AM
Código GPS	Coordenadas			Altura
Gps#2 punto 26	13°51'23.28"N	89°13'39.26"O	451	
<p>Descripción de acceso y localización del tramo:            Para el ingreso se llega por la calle principal pasando por una propiedad privada por lo que se debe pedir permiso. Acceso no complicado mientras exista disposición de los dueños de terrenos privados. El cultivo también pertenece a los propietarios del lugar el cual puede ser vendido a un bajo precio.</p>				
Fotografía del lugar:				
				

Características De La Biomasa				
Nombre común de la biomasa Pipian			Nombre científico de la biomasa Cucurbita argyrosperma	
Tipo y uso de siembra:	Casera	Comunitaria	Semi-industrial	Industrial
Estado de maduración del fruto:	Verde	Semi-maduro	Maduro	Descompuesto
Ubicación aproximada (m)	Rio 10 m	Quebrada	Pozo	Otro
Comentarios sobre el hábitat: En el suelo se observa cultivado el maíz y pipián a sus alrededores pocas hierbas a mayor distancia se observan arboles. En esta área hay casas en las habitan familias.				
Conservación De La Muestra				
HNO <sub>3</sub> (ml):----			Temperatura de almacenamiento: 15°C	

			TOMA DE DATOS DE MUESTREO BIOMASA	
Datos Identificativos Del Muestreo				
Nombre del punto: Quebrada Mulunga				
Muestreador: Ing. Aura Cristina Rodríguez, Br. Bessy Jasmyleth Ramírez, Br. Juan Alfredo Ramos				
Código muestra: BMP301				
Fecha: 05 de septiembre 2012			Hora inicio: 10:10 AM	Hora fin: 10:11 AM
Código GPS	Coordenadas			Altura
Gps#2 punto 26	13°51'23.28"N	89°13'39.26"O	451	
Descripción de acceso y localización del tramo: Para el ingreso se llega por la calle principal pasando por una propiedad privada por lo que se debe pedir permiso. Acceso no complicado mientras exista disposición de los dueños de terrenos privados. El cultivo también pertenece a los propietarios del lugar el cual puede ser vendido a un bajo precio.				
Fotografía del lugar:				
				

Características De La Biomasa				
Nombre común de la biomasa Pipian			Nombre científico de la biomasa Cucurbita argyrosperma	
Tipo y uso de siembra:	Casera	Comunitaria	Semi-industrial	Industrial
Estado de maduración del fruto:	Verde	Semi-maduro	Maduro	Descompuesto
Ubicación aproximada (m)	Rio 10 m	Quebrada	Pozo	Otro
Comentarios sobre el hábitat: En el suelo se observa cultivado el maíz y pipián a sus alrededores pocas hierbas a mayor distancia se observan arboles. En esta área hay casas en las habitan familias.				
Conservación De La Muestra				
HNO <sub>3</sub> (ml):----			Temperatura de almacenamiento: 15°C	

			TOMA DE DATOS DE MUESTREO BIOMASA	
Datos Identificativos Del Muestreo				
Nombre del punto: Las Veguitas				
Muestreador: Ing. Aura Cristina Rodríguez, Br. Bessy Jasmyleth Ramírez, Br. Juan Alfredo Ramos				
Código muestra: BMC109				
Fecha: 05 de septiembre 2012			Hora inicio: 12:30 PM	Hora fin: 12:40 PM
Código GPS	Coordenadas			Altura
GPS #2 punto 29	13°50'46.42"N	89°12'29.70"O	391	
<p>Descripción de acceso y localización del tramo:            Para el ingreso se llega por la calle principal luego en una calle de menor afluencia se encuentra en el camino una intersección con el río pasando esta intersección se selecciona un punto.            El cultivo es de propiedad privada el cual puede ser vendido a un bajo precio.</p>				

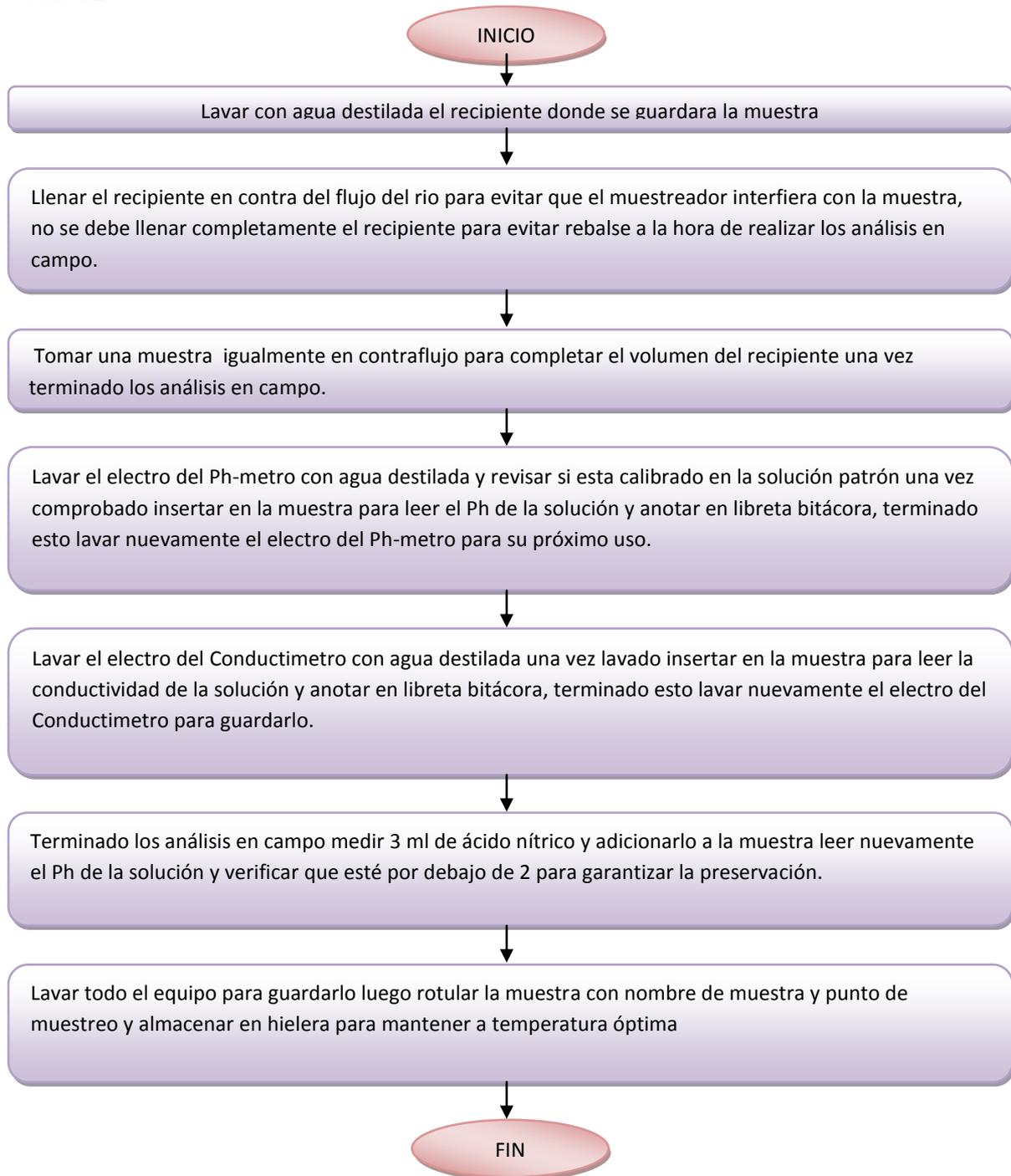
Características De La Biomasa				
Nombre común de la biomasa Caña de Azúcar			Nombre científico de la biomasa Saccharum officinarum	
Tipo y uso de siembra:	Casera	Comunitaria	Semi-industrial	Industrial
Estado de maduración del fruto:	Verde	Semi-maduro	Maduro	Descompuesto
Ubicación aproximada (m)	Río 5 m	Quebrada	Pozo	Otro
<p>Comentarios sobre el hábitat:            En el suelo se observa cultivado caña de azúcar a sus alrededores pocas hierbas a mayor distancia se observan árboles.</p>				
Conservación De La Muestra				
HNO <sub>3</sub> (ml):----			Temperatura de almacenamiento: 15°C	

			TOMA DE DATOS DE MUESTREO BIOMASA	
Datos Identificativos Del Muestreo				
Nombre del punto: Las Vegas				
Muestreador: Ing. Aura Cristina Rodríguez, Br. Henry Darío Quinteros, Br. Juan Alfredo Ramos				
Código muestra: BMC106				
Fecha: 14 de septiembre 2012			Hora inicio: 12:30 PM	Hora fin: 12:40 PM
Código GPS	Coordenadas			Altura
GPS #1 punto 15	13°51'22.04"N	89°12'23.83"O	306	
Descripción de acceso y localización del tramo: El punto tiene un acceso fácil pero está ubicado en terreno privado pero tiene un sendero que es utilizado por los habitantes del lugar para cruzarse cada uno de los terrenos.				

Características De La Biomasa				
Nombre común de la biomasa Caña de Azúcar			Nombre científico de la biomasa Saccharum officinarum	
Tipo y uso de siembra:	Casera	Comunitaria	Semi-industrial	Industrial
Estado de maduración del fruto:	Verde	Semi-maduro	Maduro	Descompuesto
Ubicación aproximada (m)	Rio 5 m	Quebrada	Pozo	Otro
Comentarios sobre el hábitat: En el suelo se observa cultivado caña de azúcar a sus alrededores pocas hierbas a mayor distancia se observan arboles.				
Conservación De La Muestra				
HNO <sub>3</sub> (ml):----			Temperatura de almacenamiento: 15°C	

### ANEXO 3 Flujogramas de las metodologías utilizadas para la recolección de las muestras.

Para la toma de muestras de agua superficial se hizo en base al Manual de Protocolos Armonizados y Evaluados para la toma de muestra y el Análisis de Aguas y Sedimentos para la Región de América Latina y El Caribe método Pt-Mu-02



Fuente: Elaboración propia

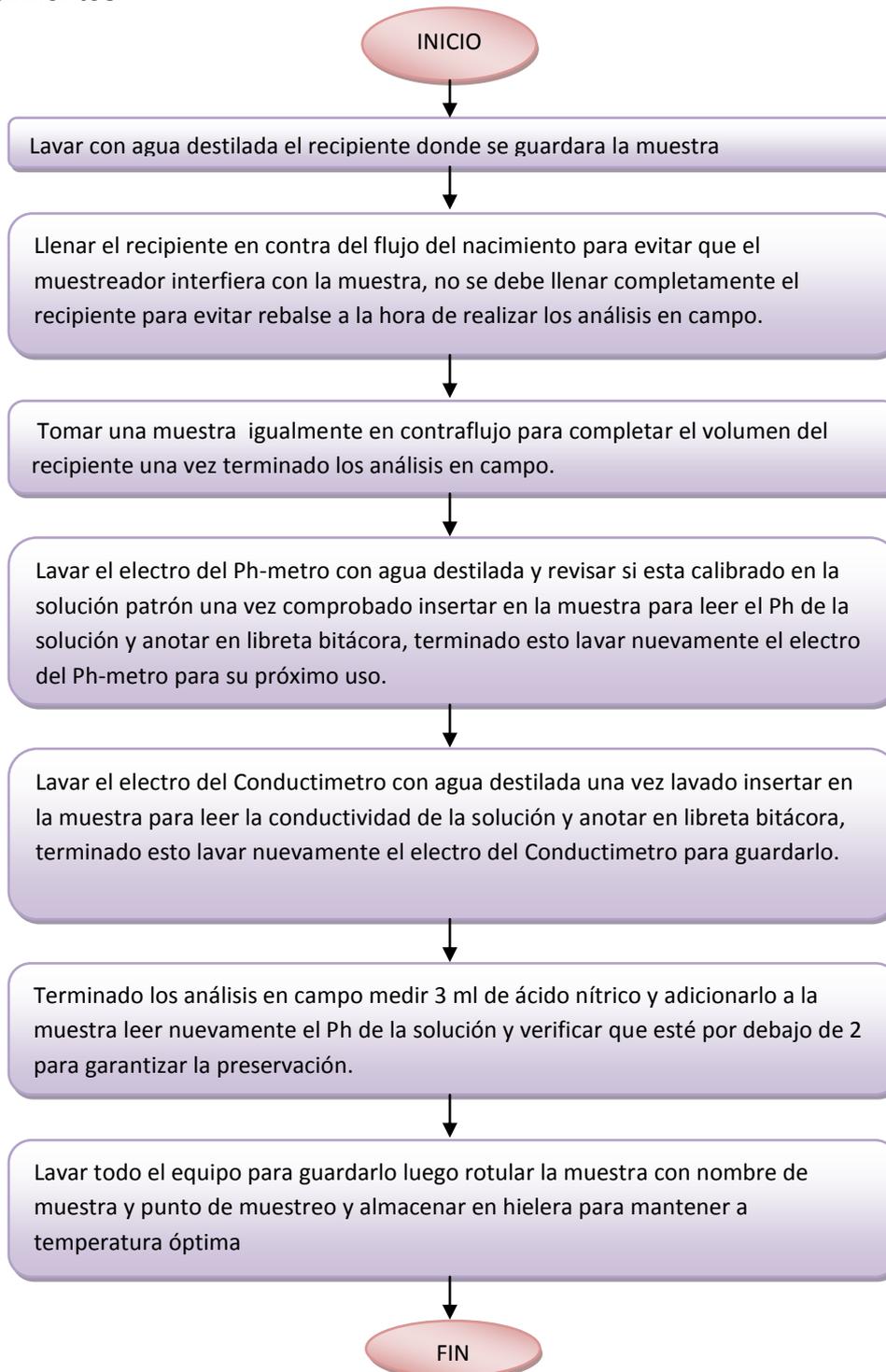
Para la toma de muestras de agua superficial se hizo en base al Manual de Protocolos Armonizados y Evaluados para la toma de muestra y el Análisis de Aguas y Sedimentos para la Región de América Latina y El Caribe método Pt-Mu-02.



Fuente: Elaboración propia

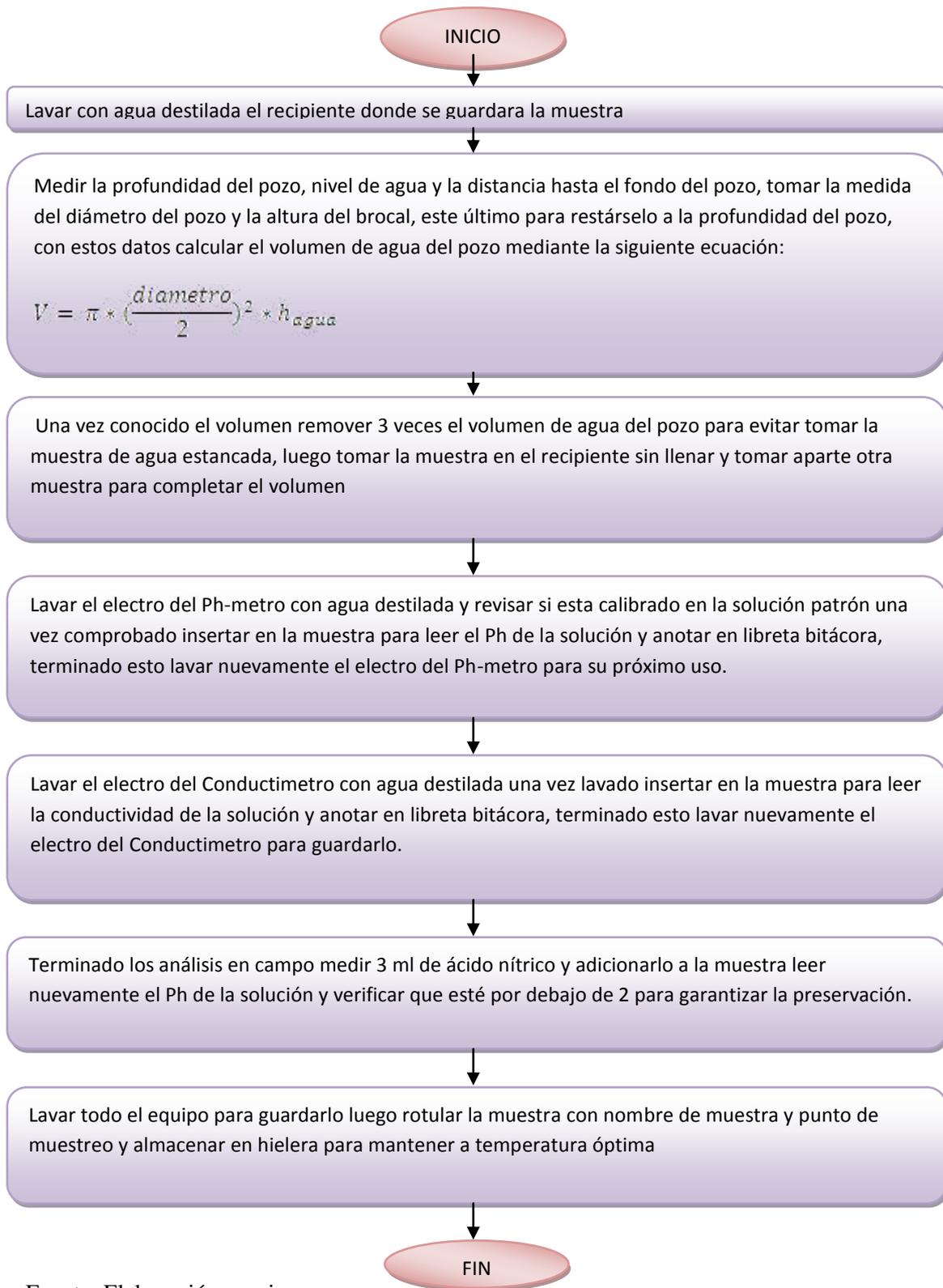
Para la toma de muestras de agua subterránea se hizo en base la Guía Operativa para la Recogida, Almacenamiento y Transporte de Muestras de Aguas Subterráneas Destinadas al Análisis Químico (Protocolo General IGME UPC).

### Nacimientos



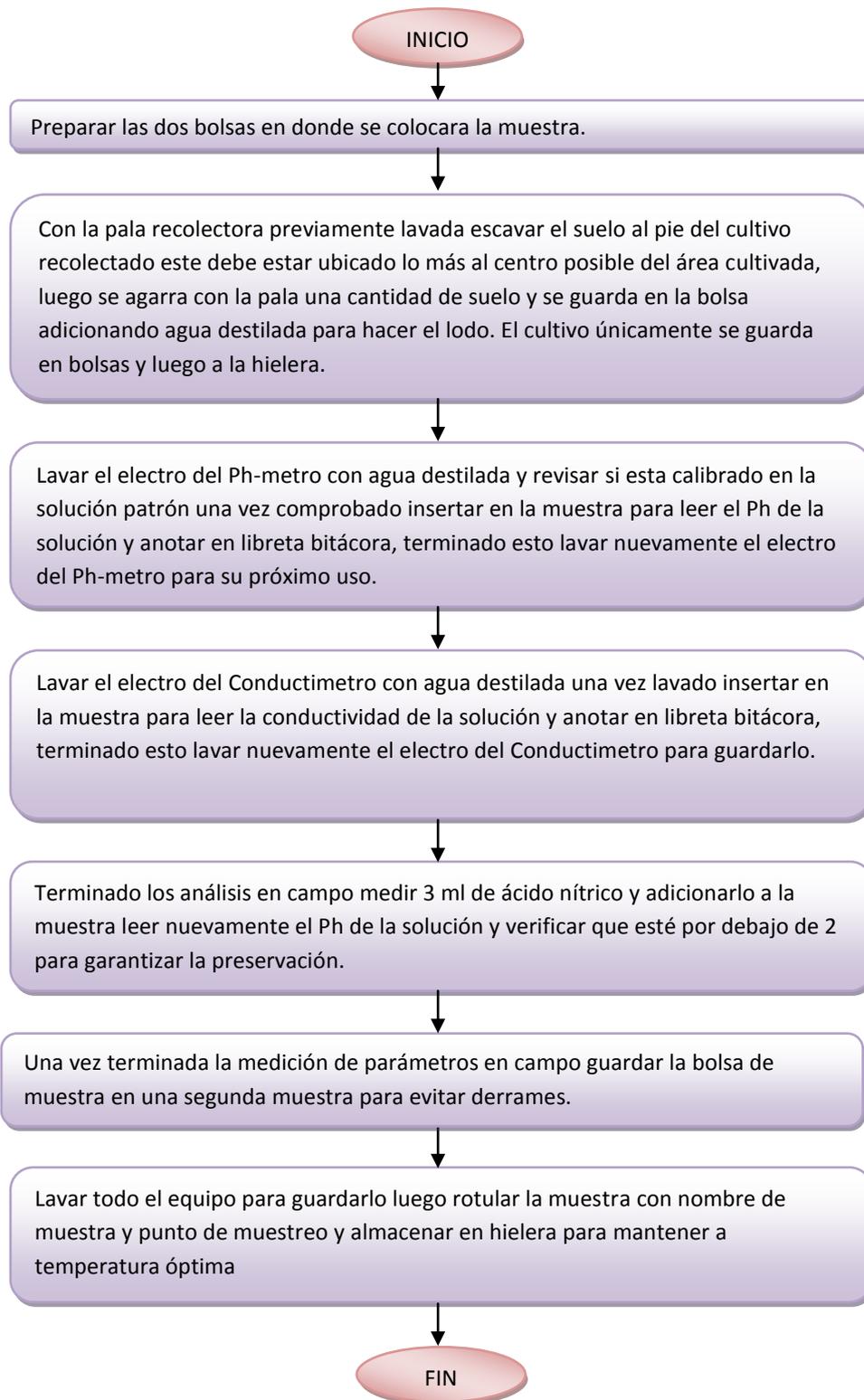
Fuente: Elaboración propia

## Pozos



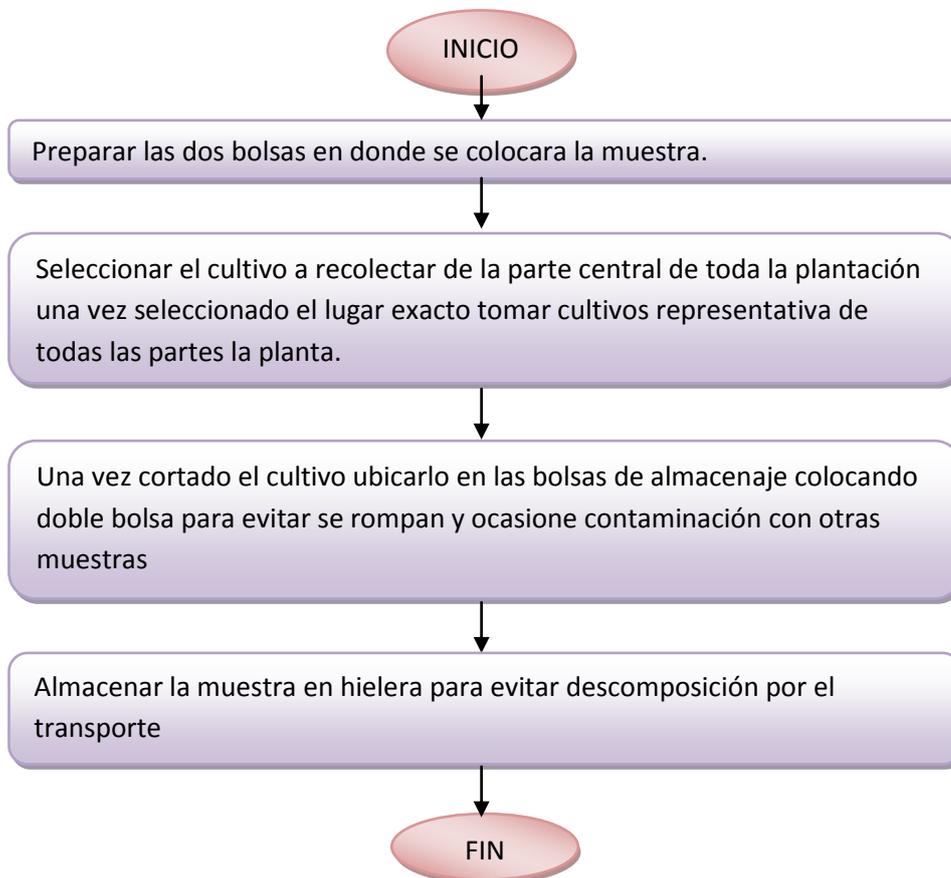
Fuente: Elaboración propia

Para la toma de muestras de suelo se hizo en base Metodología EPA para la recolección de suelos SOP 2012.



Fuente: Elaboración propia

Para la toma de muestras de biomasa (maíz, caña de azúcar y papián) se hizo en base a la Metodología EPA SOP No. ISSI-VB170-06 “Muestreo de vegetales de jardín en residencias para determinación del riesgo basada en la exposición a metales”



Fuente: Elaboración propia

## ANEXO 4 Metodologías de recolección usadas en la investigación

Manual de Protocolos Armonizados y Evaluados para la toma de muestra y el Análisis de Aguas y Sedimentos para la Región de América Latina y El Caribe método Pt-Mu-02 y método Pt-Mu-03.

### 7.2.1. Cuerpos de agua lóticos (Ríos, arroyos, etc.)

- Tomar datos de temperatura ambiental, temperatura del río en el punto de muestreo, condiciones meteorológicas, hora, y ubicación; y anotarlo en el formato de cadena de custodia (Anexo 16.1 en PT-Mu-01).
- Ubicarse en el punto de muestreo a través de una lancha o el medio adecuado para ello (Puente, brazo muestreador, etc.).
- De acuerdo a la profundidad, se tomarán muestras de agua superficial (AS) o de media profundidad (AMP), cuando esta sea mayor a 1.5 m. (Fig. 1)
- Considerando la sección transversal se tomarán 3 muestras simples de 5 L cada una, distribuidas a lo largo de la sección transversal, una en el centro y 2 a las orillas.
- Homogeneizar las muestras simples recolectadas en una tina para obtener una muestra compuesta (aproximadamente 15 L.) Determinar en ésta, lectura de pH, T, y CE y reportar los valores obtenidos en la cadena de custodia.
- Medir el OD en los 3 puntos de muestreo sobre el río y reportar los valores obtenidos en la cadena de custodia.
- Se llenarán los frascos (considerando un espacio libre de seguridad del 1% aproximadamente de la capacidad total) para la determinación de cada uno de los parámetros considerados según el plan de muestreo y especificaciones del laboratorio previa preservación de las muestras (Tabla 1).
- Tomar el número de muestras de acuerdo a lo establecido en el plan de muestreo y el parámetro a determinar.
- Etiquetar y codificar cada una de las muestras.
- Cada muestra será sellada y colocada en una hielera acondicionada a una temperatura entre 1 y 4 grados Celsius.
- La caja conservadora deberá ser sellada con cinta de embalaje.
- Las muestras y el formato de Cadena de Custodia con datos de campo deberán ser transportadas al laboratorio en el menor tiempo posible.

Fuente:Manual de Protocolos Armonizados y Evaluados para la toma de muestra y el Análisis de Aguas y Sedimentos para la Región de América Latina y El Caribe método Pt-Mu-02 y método Pt-Mu-03. Pág. 28

## 7.2 Toma de Muestra

- Tomando en cuenta las características del sitio de muestreo, se procederá a la toma de muestra a pie, en lancha o de un puente. Así mismo deberá seleccionarse el muestreador que sea más adecuado (pala o draga) para la recolección del sedimento.
- Una vez definidas las características de las muestras a obtener y el instrumento de muestreo a utilizar, la extracción de las muestras simples deberán realizarse con los siguientes criterios:
  - Acceder al punto de muestreo contra corriente para evitar la perturbación de los sedimentos que se van a muestrear.
  - Operar el muestreador siguiendo siempre las instrucciones que el fabricante proporciona para su uso.

### 7.2.1. Cuerpos de agua lóticos (ríos, arroyos, etc.)

- Una vez en el punto de muestreo se procederá a tomar 3 muestras simples de sedimento de aproximadamente 5 kg cada una distribuidas a lo largo de la sección transversal, una en el centro y dos a las orillas.
- Introducir el muestreador de manera vertical asegurándose que el contacto con el sedimento se realiza suavemente para minimizar las posibles perturbaciones.
- Colocar las tres muestras simples de sedimento en una tina de plástico y proceder con la homogeneización con la ayuda de una pala de polietileno, por un proceso de cuarteo obtener una muestra representativa de aproximadamente 5 kg.

### 7.2.2. Cuerpos de agua lénticos (presas, lagos, embalses, etc.)

- Ingresar al sitio de muestreo en lancha y tomar una muestra de sedimento de aproximadamente 5 kg usando una draga de acero inoxidable tirándola de manera vertical al cuerpo de agua.
- En el momento de la extracción y si el instrumento es una draga, hay que asegurarse de que entre sus mandíbulas no haya quedado retenido ningún objeto que haya dificultado su perfecto cierre y posibilitado la pérdida de la parte fina del sedimento; de ser éste el caso, habrá que repetir el muestreo.
- Repetir la penetración y extracción tantas veces como sea necesario hasta alcanzar la cantidad de muestra requerida.

## 7.3 Envasado del Sedimento

Recolectar el sedimento del interior del instrumento de muestreo, depositándolo en los recipientes ya preparados, bolsa de plástico resistente o bien un recipiente de boca ancha, para su remisión al laboratorio. En cualquier caso, éste debe quedar bien cerrado para minimizar las pérdidas de humedad y las posibles manipulaciones durante el transporte al laboratorio.

## 7.4 Preservación y transporte

Las muestras se preservaran durante el transporte con un baño de hielo a una tempera-

**Fuente:Manual de Protocolos Armonizados y Evaluados para la toma de muestra y el Análisis de Aguas y Sedimentos para la Región de América Latina y El Caribe método Pt-Mu-02 y método Pt-Mu-03. Pág. 33**

# Guía Operativa para la Recogida, Almacenamiento y Transporte de Muestras de Aguas Subterráneas Destinadas al Análisis Químico (Protocolo General IGME UPC).

## 4.- METODOLOGÍA DE MUESTREO

Los procedimientos para la toma de muestras y análisis químicos deben ser uniformes a fin de garantizar la posibilidad de comparar los resultados de análisis procedentes de puntos de control muy distantes, que habrán sido muestreados por diferentes personas y mediante diversos sistemas de toma de muestra, además de analizados en laboratorios distintos.

### 4.1. Medida de nivel piezométrico

Las medidas del nivel piezométrico se realizarán antes de comenzar cualquier bombeo en el punto de muestreo. Se utilizará una sonda adecuada, con precisión centimétrica.

### 4.2.- Método de toma

Las muestras se tomarán preferentemente mediante bombeo con bomba sumergible. Si el punto a muestrear está equipado, se utilizará la propia bomba o motor del pozo, si no es así se utilizará una bomba pequeña sumergible y portátil (en el mercado existe un amplio abanico: desde las que funcionan con batería de coche hasta las que requieren un generador pequeño).

En los puntos en que se precise tomar muestra estratificada, se empleará botella tomamuestras (sistema Blasy o similar), preferentemente de teflon, vidrio o polipropileno.

Tanto las bombas sumergibles como los tomamuestras deberán ser correctamente lavados tras la toma de cada muestra según lo indicado en el punto 2.5.

Salvo indicación en sentido contrario, la boca de la bomba o del tomamuestras se ubicará frente al tramo de pozo que esté abierto (rejilla o zona filtrante) o, caso de haber varios, frente al que se presuma más permeable.

La bomba será purgada antes de proceder a tomar la muestra, dejando fluir el agua del sondeo a través de ella para arrastrar posibles restos de muestras anteriores al menos 3/4 veces el volumen de agua contenido en la bomba y las conducciones. Los tomamuestras serán llenados y vaciados con el agua del punto a muestrear al menos 3 veces antes de recoger las muestras definitivas.

Cuando no se pretenda tener muestras estratificadas sino sólo muestra representativa, y además se disponga de una bomba con capacidad suficiente, se bombeará un volumen de agua no inferior a tres veces el volumen almacenado en el sondeo/pozo y suficiente para que se llegue a valores estables de los parámetros medidos in situ (ver sección 4.4.). Si estas medidas no se han estabilizado después de bombear los tres volúmenes del sondeo (frecuente en el caso del Eh), quedará a juicio de la persona responsable in situ la conveniencia de continuar bombeando (expectativa de estabilización rápida) o de proceder a la toma de muestras. En el cuaderno de campo se registrarán los valores de los parámetros medidos in situ tras bombear 1, 2 y 3 volúmenes de sondeo.

**Fuente:Guía Operativa para la Recogida, Almacenamiento y Transporte de Muestras de Aguas Subterráneas Destinadas al Análisis Químico (Protocolo General IGME UPC). Pág. 3-5**

Si la captación está equipada y no es posible la introducción de un sistema tomamuestras, el agua deberá recogerse del grifo más cercano a la boca del sondeo. La muestra será representativa del agua extraída de la captación, pero no necesariamente de la perteneciente a un determinado nivel o profundidad de toma. Si la bomba no está en funcionamiento cuando se va a tomar la muestra, bastará con dejar correr el agua por el grifo 5-10 minutos para desplazar la contenida en la tubería, tras su puesta en marcha.

Es preciso extraer un volumen de muestra suficiente no solo para el análisis, sino también para las necesarias operaciones de enjuague de muestreadores y contenedores.

En la ficha de campo siempre se reflejará el método de toma de muestra, la profundidad de muestreo, si se ha tomado en grifo o de un depósito (a veces imposible de evitar, pero no deseable), y el tiempo de bombeo, con el fin de bombear el mismo periodo en posteriores tomas.

#### **4.3.- Llenado de los envases**

Antes de recoger la muestra se lavarán las botellas 2-3 veces con el agua de la captación.

Los envases se llenarán hasta el borde, previa adición de los conservadores necesarios (Tabla 1), procurando no dejar una cámara de aire entre el agua y el tapón de cierre.

El orden de llenado cuando se trate de análisis múltiples deberá ser el siguiente:

1. Compuestos orgánicos volátiles
2. Compuestos orgánicos no volátiles
3. Metales
4. Compuestos mayoritarios

Una vez finalizado el muestreo, el material debe ser limpiado según lo mencionado anteriormente en los puntos 2.3. y 2.5.

#### **4.4.- Medidas fisico-químicas in situ**

Simultáneamente a la toma de muestras, se realizarán in situ las medidas de:

pH  
Eh  
Oxígeno disuelto  
Conductividad eléctrica  
Temperatura del agua y del aire  
Alcalinidad

Preferentemente se emplearán siempre los mismos aparatos de medida en todas las campañas para evitar modificaciones que puedan conducir a error a la hora de interpretar resultados.

Los parámetros químicos arriba indicados deben medirse in situ con flujo continuo de agua siempre que sea posible. Para ello se introducirá la conducción de salida del agua en un recipiente, acoplado un tubo flexible en caso necesario, al objeto de minimizar el contacto del agua con el aire. Los sensores

**Fuente:Guía Operativa para la Recogida, Almacenamiento y Transporte de Muestras de Aguas Subterráneas Destinadas al Análisis Químico (Protocolo General IGME UPC). Pág. 3-5**

(electrodos, termómetro, etc.) se introducirán directamente en el recipiente y todos juntos, a ser posible. El agua debe rebosar el recipiente de forma continua, pero evitando burbujeo en el interior. Para minimizar cambios en la temperatura del agua es conveniente que el recipiente sea isotermo o esté sumergido, a su vez, en el agua a muestrear. Lo ideal es usar una célula de flujo continuo, pero si no se dispone de ella es muy útil usar como recipiente el cuerpo de un termo doméstico, portátil (ej. un termo portátil). Éste se utilizará especialmente cuando las medidas no se puedan realizar con flujo continuo de agua.

Los equipos medidores (pHmetro, conductímetro, oxímetro y medidor redox) serán calibrados al comienzo de cada jornada según sus instrucciones y con las correspondientes soluciones patrón. También es necesaria su recalibración cuando se produzcan bruscas variaciones entre dos muestras, o medidas extremas.

Tras cada medida se lavarán los electrodos con agua desionizada, guardándolos convenientemente cerrados y apagados hasta nueva medida.

## **5.- CONSERVACIÓN, TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO**

En la tabla 1 se indican los conservadores, volumen de muestra y tiempos máximos de almacenamiento recomendados para cada determinación. Estos datos podrán adaptarse a cada caso particular. Estas indicaciones se hacen sin perjuicio de que el laboratorio que realice los análisis las modifique en función de la técnica analítica empleada.

Los agentes conservadores (ácido sulfúrico, nítrico, tiosulfato sódico, etc.) serán de calidad RA (reactivo para análisis). Cuando se precisen en calidad ultrapura serán RS.

Las muestras destinadas al análisis de metales pesados deben ser tratadas de forma diferente según se quiera determinar los metales totales o sólo los disueltos. Si se van a analizar los metales disueltos han de ser filtradas in situ para prevenir la adsorción o desorción y acidificadas con ácido nítrico hasta un pH inferior a 2. Si se quiere determinar el contenido total de metales, la muestra no deberá ser filtrada. Con carácter orientativo, es suficiente la adición de 5 mL de HNO<sub>3</sub> por cada litro de muestra, y comprobar el pH con papel indicador.

La filtración se realizará con membrana filtrante de tamaño de poro de 0,45 µm, preferentemente de difluoruro de polivinilideno (DVFDF), sobre portafiltras de policarbonato, conectado en línea con la bomba de extracción de agua.

El transporte de las muestras debe realizarse en envases cerrados herméticamente resguardados de la luz y evitando que la muestra se caliente.

La entrega en el laboratorio se realizará, como norma general, dentro de las 24 horas posteriores a la toma; no obstante, este período puede variar en función de las condiciones de conservación del agua y del tipo de determinaciones que se vayan a realizar.

La estabilización de los componentes de las muestras de agua mediante la adición de conservantes químicos debe ser realizada con gran cuidado, los conservantes no deben interferir con la determinación analítica, en caso de duda debe llevarse a cabo una prueba para comprobar la compatibilidad. Durante el análisis debe tenerse en cuenta, al realizar el cálculo de los resultados, las posibles diluciones introducidas al añadir los conservantes.

**Fuente:Guía Operativa para la Recogida, Almacenamiento y Transporte de Muestras de Aguas Subterráneas Destinadas al Análisis Químico (Protocolo General IGME UPC). Pág. 3-5**

## Metodología EPA para la recolección de suelos SOP 2012.

### 7.2.1 Surface Soil Samples

Collection of samples from near-surface soil can be accomplished with tools such as spades, shovels, trowels, and scoops. Surface material is removed to the required depth and a stainless steel or plastic scoop is then used to collect the sample.

This method can be used in most soil types but is limited to sampling at or near the ground surface. Accurate, representative samples can be collected with this procedure depending on the care and precision demonstrated by the sample team member. A flat, pointed mason trowel to cut a block of the desired soil is helpful when undisturbed profiles are required. Tools plated with chrome or other materials should not be used. Plating is particularly common with garden implements such as potting trowels.

The following procedure is used to collect surface soil samples:

1. Carefully remove the top layer of soil or debris to the desired sample depth with a pre-cleaned spade.
2. Using a pre-cleaned, stainless steel scoop, plastic spoon, or trowel, remove and discard a thin layer of soil from the area which came in contact with the spade.
3. If volatile organic analysis is to be performed, transfer the sample directly into an appropriate, labeled sample container with a stainless steel lab spoon, or equivalent and secure the cap tightly. Place the remainder of the sample into a stainless steel, plastic, or other appropriate homogenization container, and mix thoroughly to obtain a homogenous sample representative of the entire sampling interval. Then, either place the sample into appropriate, labeled containers and secure the caps tightly; or, if composite samples are to be collected, place a sample from another sampling interval or location into the homogenization container and mix thoroughly. When compositing is complete, place the sample into appropriate, labeled containers and secure the caps tightly.

**Fuente: Metodología EPA para la recolección de suelos SOP 2012. Pág. 4-5**

## **ANEXO 5 Metodologías de la digestión según lo específica el Manual de Digestión EthosOne de Milestone.**

Para las muestras de caña de azúcar se utilizó la metodología HPR-AG-07

### ***Raíces Método Milestone***

#### **Resumen**

Este método proviene de la digestión ácida de la muestra en un recipiente cerrado usando el dispositivo de control de temperatura de calentamiento por microondas para la determinación de metales por métodos espectroscópicos

#### **Instrumentación**

Aparato Microondas de digestión acida

Milestone Ethos o LabStationStar con sensor de temperatura interno, 640-260 terminal con software de control fácil de instalar y rotor HPR1000/10S presión segmentado alto

#### **Peso de muestra**

Hasta 0.5 gr

#### **Reactivos**

6ml de HNO<sub>3</sub> 65%, 2ml de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 30%

#### **Procedimiento**

- Coloque un recipiente de TFM en el platillo de la balanza, la tara y tomar en consideración de la muestra
- Introducir el recipiente de TFM en el escudo HTC seguridad
- Añadir los ácidos; si parte de las muestras permanece en la pared interna del recipiente de TFM, se humedeció mediante la adición de ácidos gota a gota, a continuación, remover suavemente la solución para homogeneizar la muestra con los ácidos
- Cierre el recipiente e introducirlo en el segmento de rotor y apriete usando la llave dinamométrica
- Inserte el segmento en la cavidad de microondas y conectar la temperatura
- Ejecute el programa hasta su finalización de microondas

- Enfriar el rotor por el aire o por el agua hasta que la solución alcance la temperatura ambiente
- Abrir el recipiente y transferir la solución a un matraz marcada

## Programa de microonda

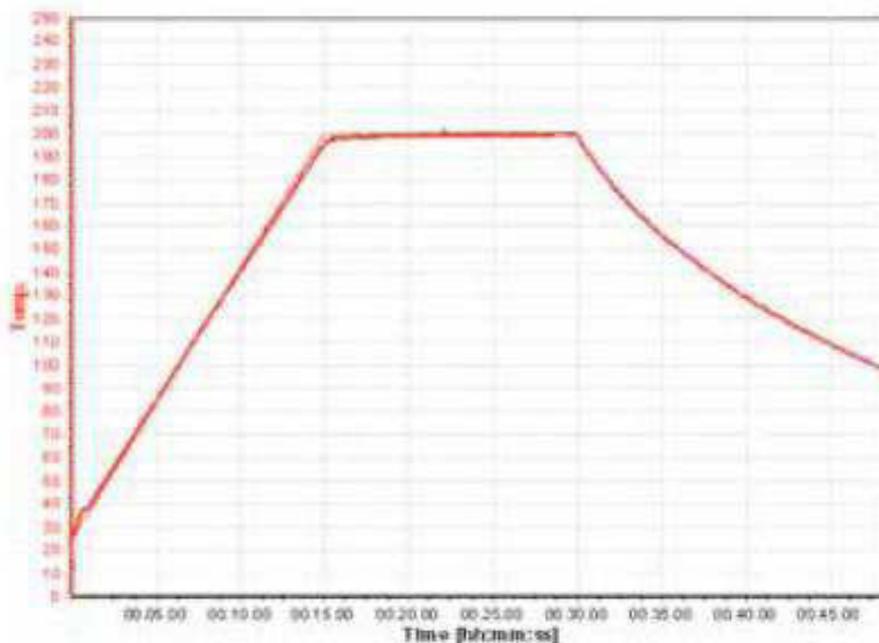
### Microwave program

Step	Time	T1	T2 <sup>(1)</sup>	P <sup>(2)</sup>	Power
1	00:15:00	200°C	110°C	45 bar	Max power*
2	00:15:00	200°C	110°C	45 bar	Max power*

(1), (2) Optional sensors

## Perfil de Temperatura

### Temperature profile



## Nota

Potencia máxima: 1500W 1200W para Ethos y para las unidades de arranque

Utilice un máximo de 500 vatios para las operaciones con 3 o menos buques simultáneamente

Este procedimiento es sólo una guía y pueden necesitar ser cambiado a modificado obteniendo los resultados requeridos en la muestra

Milestone Es mejor utilizar el sensor de presión (P) sólo para los desarrollos de métodos o las muestras desconocidas. Ver el sensor de presión manual de usuario para obtener más información

Utilice siempre la mano, el ojo y la protección del cuerpo cuando se opera con el sistema de microondas.

**Fuente: Manual de Digestión EthosOne de Milestone**

Para las muestras de pipián se utilizó la metodología HPR-FO-68

### ***Tejidos Vegetales Secos Método Milestone***

#### **Resumen**

Este método proviene de la digestión ácida de la muestra en un recipiente cerrado usando el dispositivo de control de temperatura de calentamiento por microondas para la determinación de metales por métodos espectroscópicos

#### **Instrumentación**

Aparato Microondas de digestión acida

Milestone Ethos o LabStationStar con sensor de temperatura interno, 640-260 terminal con software de control fácil de instalar y rotor HPR1000/10S presión segmentado alto

#### **Peso de muestra**

Hasta 0.5 gr

#### **Reactivos**

6ml de HNO<sub>3</sub> al 65%, 2ml de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 30%

#### **Procedimiento**

- Coloque un recipiente de TFM en el platillo de la balanza, la tara y tomar en consideración de la muestra
- Introducir el recipiente de TFM en el escudo HTC seguridad
- Añadir los ácidos; si parte de la muestra permanece en la pared interna del recipiente de TFM, se humedeció mediante la adición de ácidos gota a gota, a continuación, remover suavemente la solución para homogeneizar la muestra con los ácidos
- Cerrar el recipiente e introducirlo en el segmento de rotor y apretar con una llave de torsión
- Insertar el segmento en la cavidad de microondas y conectar el sensor de temperatura.
- Ejecutar el programa de microondas para completar
- Enfriar el rotor por el aire o por el agua hasta que la solución alcance la temperatura ambiente

- Abrir el recipiente y transferir la solución a un matraz de marcado.

## Programa del Microonda

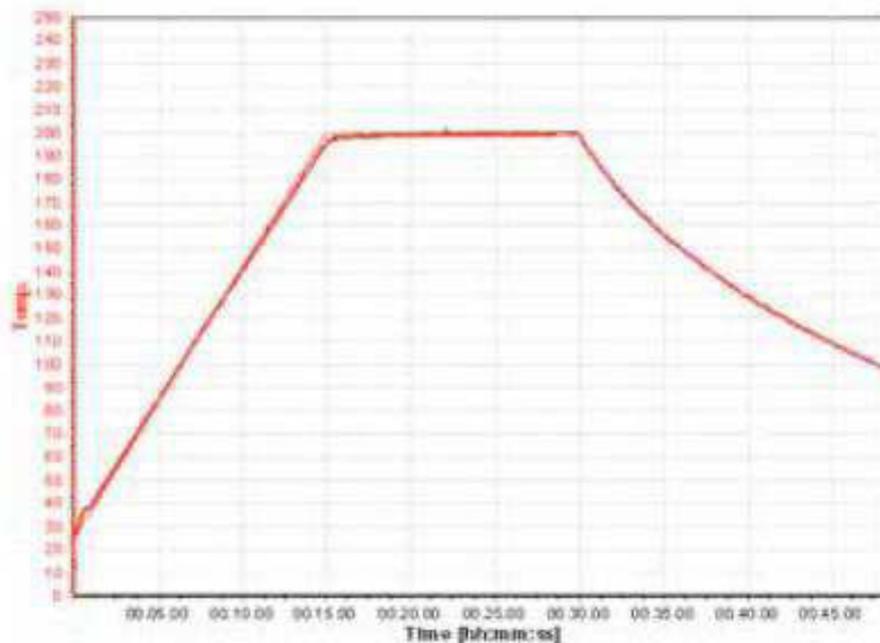
### Microwave program

Step	Time	T1	T2 <sup>(1)</sup>	P <sup>(2)</sup>	Power
1	00:15:00	200°C	110°C	45 bar	Max power*
2	00:15:00	200°C	110°C	45 bar	Max power*

(1), (2) Optional sensors

## Perfil de Temperatura

### Temperature profile



## Nota

Potencia máxima: 1500W 1200W para Ethos y para las unidades de arranque

Utilice un máximo de 500 vatios para las operaciones con 3 o menos buques simultáneamente

Este procedimiento es sólo una guía y pueden necesitar ser cambiado a modificado los resultados requeridos en la muestra

Milestone Es mejor utilizar el sensor de presión (P) sólo para los desarrollos de métodos o las muestras desconocidas. Ver el sensor de presión manual de usuario para obtener más información

Utilice siempre la mano, el ojo y la protección del cuerpo cuando se opera con el sistema de microondas.

**Fuente: Manual de Digestión EthosOne de Milestone**

Para las muestras de maíz se utilizó la metodología HPR-AG-04

### ***Digestión de Maíz Método Milestone***

#### **Resumen**

Este método proporciona la digestión ácida de la muestra en un recipiente cerrado usando dispositivo de control de temperatura de calentamiento por microondas para la determinación de metales por métodos espectroscópicos.

#### **Instrumentación**

Aparato Microondas de digestión acida

Milestone Ethos o LabStationStar con sensor de temperatura interno, 640-260 terminal con software de control fácil de instalar y rotor HPR1000/10S presión segmentado alto

#### **Peso de muestra**

Hasta 0.5 gr

#### **Reactivos**

6ml de HNO<sub>3</sub> al 65%, 2ml de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 30%

#### **Procedimiento**

- Coloque un recipiente de TFM en el platillo de la balanza, la tara y tomar en consideración de la muestra
- Introducir el recipiente de TFM en el escudo HTC seguridad
- Añadir los ácidos; si parte de la muestra permanece en la pared interna del recipiente de TFM, se humedeció mediante la adición de ácidos gota a gota, a continuación, remover suavemente la solución para homogeneizar la muestra con los ácidos
- Cerrar el recipiente e introducirlo en el segmento de rotor y apretar con una llave de torsión
- Insertar el segmento en la cavidad de microondas y conectar el sensor de temperatura.
- Ejecutar el programa de microondas para completar
- Enfriar el rotor por el aire o por el agua hasta que la solución alcance la temperatura ambiente

- Abrir el recipiente y transferir la solución a un matraz de marcado.

## Programa del Microonda

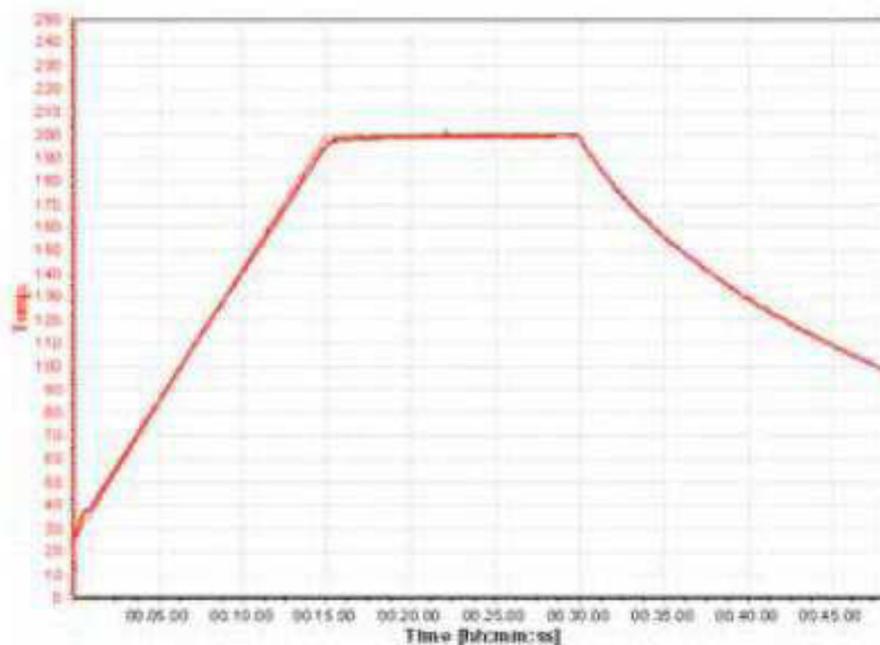
### Microwave program

Step	Time	T1	T2 <sup>(1)</sup>	P <sup>(2)</sup>	Power
1	00:15:00	200°C	110°C	45 bar	Max power*
2	00:15:00	200°C	110°C	45 bar	Max power*

(1), (2) Optional sensors

## Perfil de Temperatura

### Temperature profile



## Nota

Potencia máxima: 1500W 1200W para Ethos y para las unidades de arranque

Utilice un máximo de 500 vatios para las operaciones con 3 o menos buques simultáneamente

Este procedimiento es sólo una guía y pueden necesitar ser cambiado a modificado los resultados requeridos en la muestra

Milestone Es mejor utilizar el sensor de presión (P) sólo para los desarrollos de métodos o las muestras desconocidas. Ver el sensor de presión manual de usuario para obtener más información

Utilice siempre la mano, el ojo y la protección del cuerpo cuando se opera con el sistema de microondas.

**Fuente: Manual de Digestión EthosOne de Milestone**

Para las muestras de aguas superficiales y subterráneas se utilizó la metodología HPR-EN-38.

### ***Agua Residual (Método 2) Método Milestone***

#### **Resumen**

Este método proviene de la digestión ácida de la muestra en un recipiente cerrado usando el dispositivo de control de temperatura de calentamiento por microondas para la determinación de metales por métodos espectroscópicos

#### **Instrumentación**

Aparato Microondas de digestión acida

Milestone Ethos o LabStationStar con sensor de temperatura interno, 640-260 terminal con software de control fácil de instalar y rotor HPR1000/10S presión segmentado alto

#### **Peso de muestra**

Hasta 0.5 gr

#### **Reactivos**

8ml de HNO<sub>3</sub> 65%, 3ml de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 30%

0.25ml de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 30%

#### **Procedimiento**

- Coloque un recipiente de TFM en el platillo de la balanza, la tara y tomar en consideración de la muestra
- Introducir el recipiente de TFM en el escudo HTC seguridad
- Añadir los ácidos; si parte de las muestras permanece en la pared interna del recipiente de TFM, se humedeció mediante la adición de ácidos gota a gota, a continuación, remover suavemente la solución para homogeneizar la muestra con los ácidos
- Cierre el recipiente e introducirlo en el segmento de rotor y apriete usando la llave dinamométrica
- Inserte el segmento en la cavidad de microondas y conectar la temperatura
- Ejecute el programa hasta su finalización de microondas

- Enfriar el rotor por el aire o por el agua hasta que la solución alcance la temperatura ambiente
- Abrir el recipiente y transferir la solución a un matraz marcada

## Programa de microonda

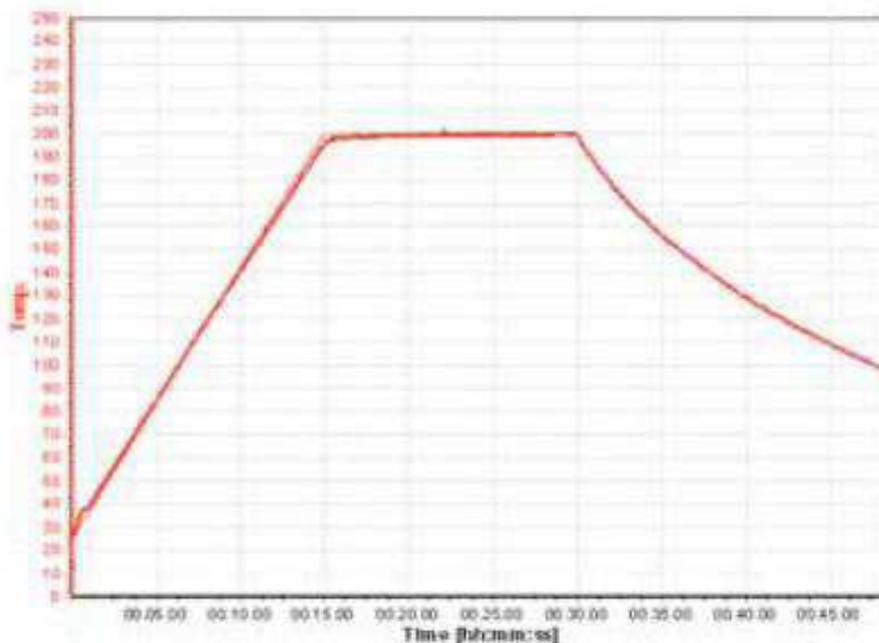
### Microwave program

Step	Time	T1	T2 <sup>(1)</sup>	P <sup>(2)</sup>	Power
1	00:15:00	200°C	110°C	45 bar	Max power*
2	00:15:00	200°C	110°C	45 bar	Max power*

(1), (2) Optional sensors

## Perfil de Temperatura

### Temperature profile



## Nota

Potencia máxima: 1500W 1200W para Ethos y para las unidades de arranque

Utilice un máximo de 500 vatios para las operaciones con 3 o menos buques simultáneamente

Este procedimiento es sólo una guía y pueden necesitar ser cambiado a modificado los resultados requeridos en la muestra

Milestone Es mejor utilizar el sensor de presión (P) sólo para los desarrollos de métodos o las muestras desconocidas. Ver el sensor de presión manual de usuario para obtener más información

Utilice siempre la mano, el ojo y la protección del cuerpo cuando se opera con el sistema de microondas.

**Fuente:Manual de Digestión EthosOne de Milestone**

Para las muestras de sedimento se utilizó la metodología HPR-EN-29.

### ***Sedimento de Río Método Milestone***

#### **Resumen**

Este método proviene de la digestión ácida de la muestra en un recipiente cerrado usando el dispositivo de control de temperatura de calentamiento por microondas para la determinación de metales por métodos espectroscópicos

#### **Instrumentación**

Aparato Microondas de digestión acida

Milestone Ethos o LabStationStar con sensor de temperatura interno, 640-260 terminal con software de control fácil de instalar y rotor HPR1000/10S presión segmentado alto

#### **Peso de muestra**

Hasta 0.2 gr

#### **Reactivos**

1° paso: 4 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 96%, 3 ml de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 85%

2° paso: 5 ml de HNO<sub>3</sub> 67%, 6 ml de HBF<sub>4</sub> 40%

#### **Procedimiento**

- Colocar recipiente TFM en el platillo de la balanza, tarar y pesar la muestra
- Introducir el recipiente de TFM en el HTC seguridad
- Añadir los ácidos del 1° paso, si parte de la muestra permanece en la pared interna del recipiente de TFM, humedecer mediante la adición de ácidos gota a gota, a continuación, remover suavemente la solución para homogeneizar la muestra con los ácidos
- Cierre el recipiente e introducirlo en el segmento de rotor y apriete usando la llave dinamométrica
- Insertar el segmento en la cavidad de microondas
- Ejecute el programa de microondas 1° paso hasta terminar
- Enfriar el rotor por el aire o por el agua hasta que la solución alcanza Temperatura ambiente

- Abra el recipiente y añadir los reactivos de 2° paso
- Cierre el recipiente e introducirlo en el segmento de rotor y apriete usando la llave dinamométrica
- Inserte el segmento en la cavidad de microondas y conectar la sonda de temperatura
- Ejecutar el programa de microondas 2° paso hasta terminar
- Enfriar el rotor por el aire o por el agua hasta que la solución alcance la temperatura ambiente
- Abrir el recipiente y transferir la solución a un matraz marcada

### Programa de Microondas

## Microwave program

### 1° step

Step	Time	T1	T2 <sup>(1)</sup>	P <sup>(2)</sup>	Power
1	00:20:00	220°C	120°C	45 bar	Max power*
2	00:15:00	220°C	120°C	45 bar	Max power*

### 2° step

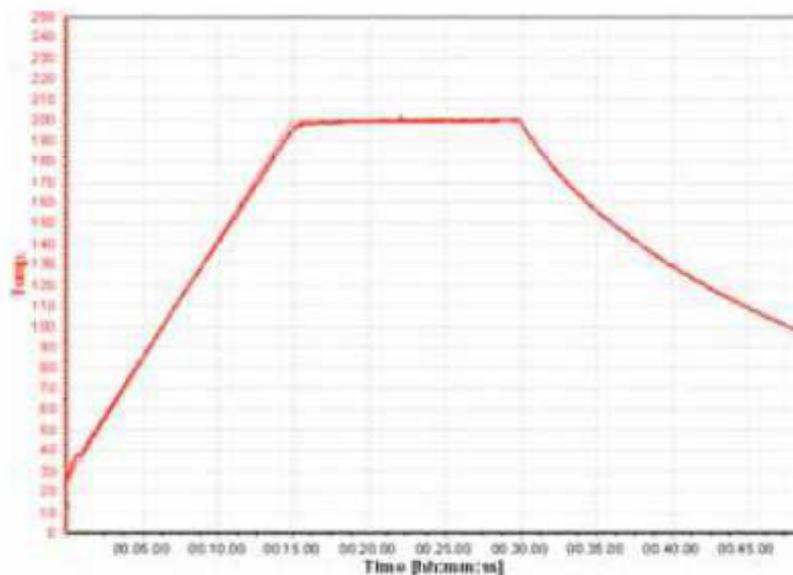
Step	Time	T1	T2 <sup>(1)</sup>	P <sup>(2)</sup>	Power
1	00:20:00	220°C	120°C	45 bar	Max power*
2	00:15:00	220°C	120°C	45 bar	Max power*

*(1), (2) Optional sensors*

## Perfil de Temperatura

### Temperature profile

#### 1-2° Step



#### Nota

Potencia máxima: 1500W 1200W para Ethos y para las unidades de arranque

Utilice un máximo de 500 vatios para las operaciones con 3 o menos buques simultáneamente

Este procedimiento es sólo una guía y pueden necesitar ser cambiado a modificado los resultados requeridos en la muestra

Milestone Es mejor utilizar el sensor de presión (P) sólo para los desarrollos de métodos o las muestras desconocidas. Ver el sensor de presión manual de usuario para obtener más información

Utilice siempre la mano, el ojo y la protección del cuerpo cuando se opera con el sistema de microondas.

Para las muestras de suelo se utilizó la metodología HPR-EN-13.

### ***Digestión Total del Suelo Método Milestone***

#### **Resumen**

Este método proviene de la digestión ácida de la muestra en un recipiente cerrado usando el dispositivo de control de temperatura de calentamiento por microondas para la determinación de metales por métodos espectroscópicos

#### **Instrumentación**

Aparato Microondas de digestión acida

Milestone Ethos o LabStationStar con sensor de temperatura interno, 640-260 terminal con software de control fácil de instalar y rotor HPR1000/10S presión segmentado alto

#### **Peso de muestra**

Hasta 0.5 gr

#### **Reactivos**

8ml de HNO<sub>3</sub> 65%, 5ml de HCl 37%

1ml de HF 40%, 5ml de H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> 5%

#### **Procedimiento**

- Coloque un recipiente de TFM en el platillo de la balanza, la tara y tomar en consideración de la muestra
- Introducir el recipiente de TFM en el escudo HTC seguridad
- Añadir los ácidos; si parte de las muestras permanece en la pared interna del recipiente de TFM, se humedeció mediante la adición de ácidos gota a gota, a continuación, remover suavemente la solución para homogeneizar la muestra con los ácidos
- Cierre el recipiente e introducirlo en el segmento de rotor y apriete usando la llave dinamométrica
- Inserte el segmento en la cavidad de microondas y conectar la temperatura
- Ejecute el programa hasta su finalización de microondas

- Enfriar el rotor por el aire o por el agua hasta que la solución alcance la temperatura ambiente
- Abrir el recipiente y transferir la solución a un matraz marcada

### Programa de microonda

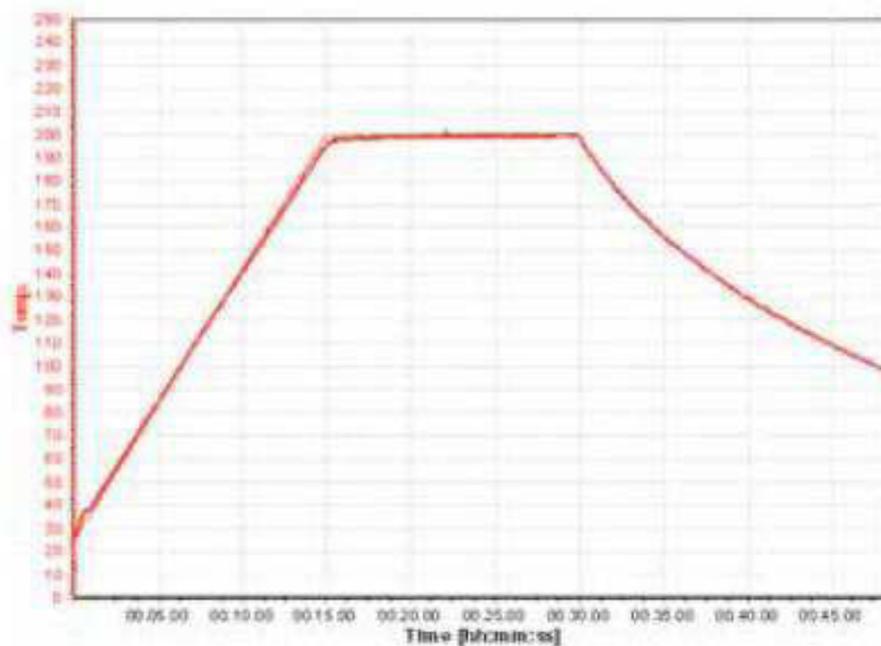
## Microwave program

Step	Time	T1	T2 <sup>(1)</sup>	P <sup>(2)</sup>	Power
1	00:15:00	200°C	110°C	45 bar	Max power*
2	00:15:00	200°C	110°C	45 bar	Max power*

(1), (2) Optional sensors

### Perfil de Temperatura

## Temperature profile



### Nota

Potencia máxima: 1500W 1200W para Ethos y para las unidades de arranque

Utilice un máximo de 500 vatios para las operaciones con 3 o menos buques simultáneamente

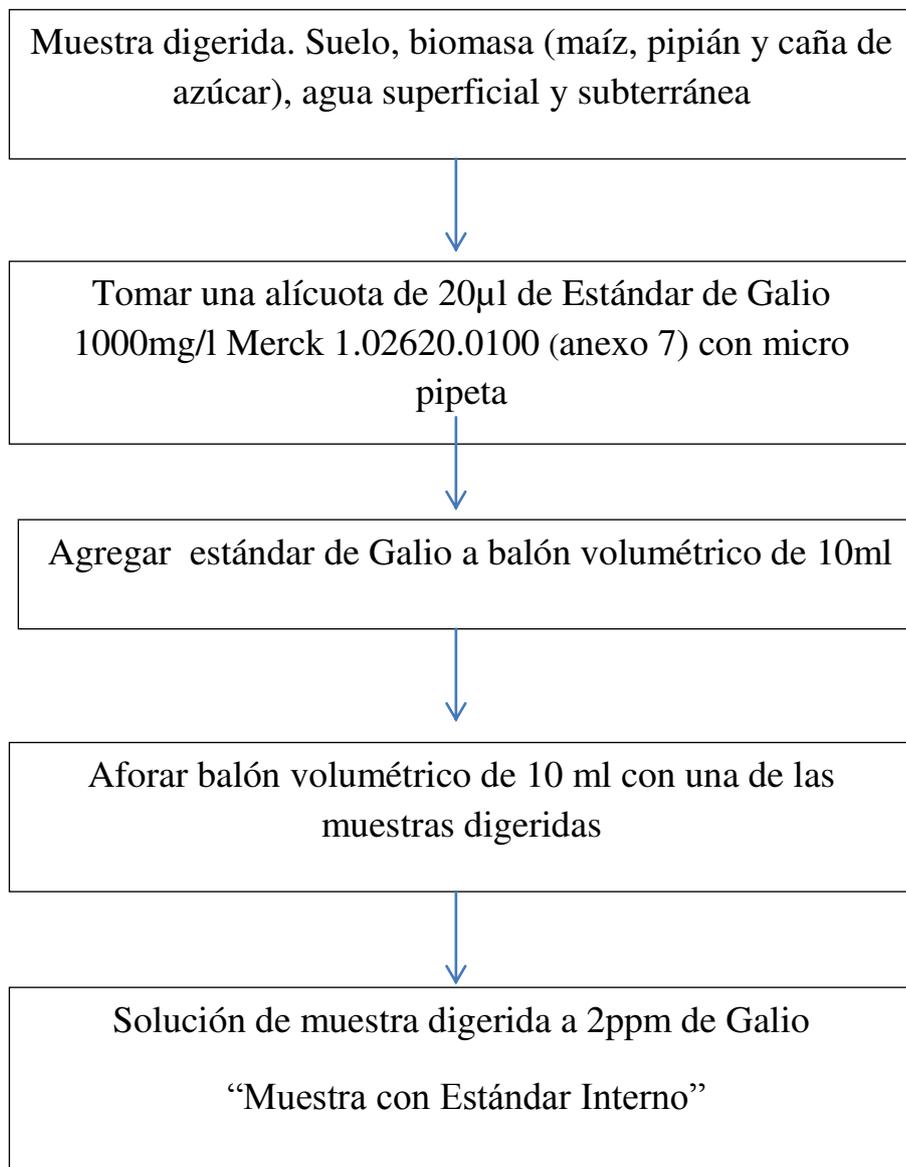
Este procedimiento es sólo una guía y pueden necesitar ser cambiado a modificado los resultados requeridos en la muestra

Milestone Es mejor utilizar el sensor de presión (P) sólo para los desarrollos de métodos o las muestras desconocidas. Ver el sensor de presión manual de usuario para obtener más información

Utilice siempre la mano, el ojo y la protección del cuerpo cuando se opera con el sistema de microondas.

**Fuente: Manual de Digestión EthosOne de Milestone**

**ANEXO 6 Metodologías de la preparación de las diluciones de las muestras digeridas para la generación de los espectros por la técnica de fluorescencia de Rayos X por Reflexión Total.**



Fuente: Elaboración propia

**ANEXO 7 Certificado de Estándar de Galio 1000mg/l Merck 1.02620.0100, utilizado como estándar interno a 2ppm en solución de muestra final.**

**CERTIFICATE OF ANALYSIS  
MERCK**

# código (nuevo)  
1.70319.0100

**1.02620.0100 Gallium Standard 1000 mg/l for ICP**

Gallium in 5% nitric acid/trace hydrochloric acid

Lot No.: K26417220

Assay: 1010 ± 2 mg/l

Analysis: Complexometric titration with Titriplex III solution 0,1 mol/l

Traceability: This standard has been prepared using gravimetric procedures. All balances are regularly calibrated against PTB and NIST standards. Calibration standards used for the analysis of the assay have been calibrated against the corresponding NIST SRM 3119a, lot #890709.

This solution is intended for use as a calibration standard for plasma emission spectroscopy (e.g. ICP, DCP). It is a single element solution, that was prepared from pure gallium (99.9999 %) which has been dissolved in high purity nitric acid (HNO<sub>3</sub>) with a trace of hydrochloric acid (HCl) and diluted with filtered (0.22 µm) 18 megohm deionized water. All trace level elements were determined by ICP or DCP. These analysis values are subject to unavoidable systematic variations in this concentration range. They therefore do not form part of our guarantee and are subsequently no subject of release. Concentrations are given in µg/ml.

Ag <.02	Al <.04	As <.2	Au <.08	B <.02	Ba <.003
Be <.003	Bi <.2	Ca .005	Cd <.02	Ce <.3	Co <.02
Cr <.02	Cu <.02	Dy <.03	Er <.02	Eu <.02	Fe <.02
Ga *	Gd <.07	Ge <.1	Hf <.05	Hg <.2	Ho <.02
In <.2	Ir <.2	K <.5	La <.03	Li <.02	Lu <.02
Mg <.002	Mn <.02	Mo <.04	Na <.1	Nb <.05	Nd <.05
Ni <.02	Os <.2	P <.1	Pb <.1	Pd <.1	Pr <.06
Pt <.2	Re <.1	Rh <.02	Ru <.05	S <.05	Sb <.2
Sc <.01	Se <.5	Si <.04	Sm <.04	Sn <.1	Sr <.003
Ta <.1	Tb <.06	Te <.5	Th <.2	Ti <.02	Tl <.1
Tm <.04	U <.4	V <.02	W <.2	Y <.02	Yb <.01
Zn <.02	Zr <.04				

Minimum shelf life: 36 months

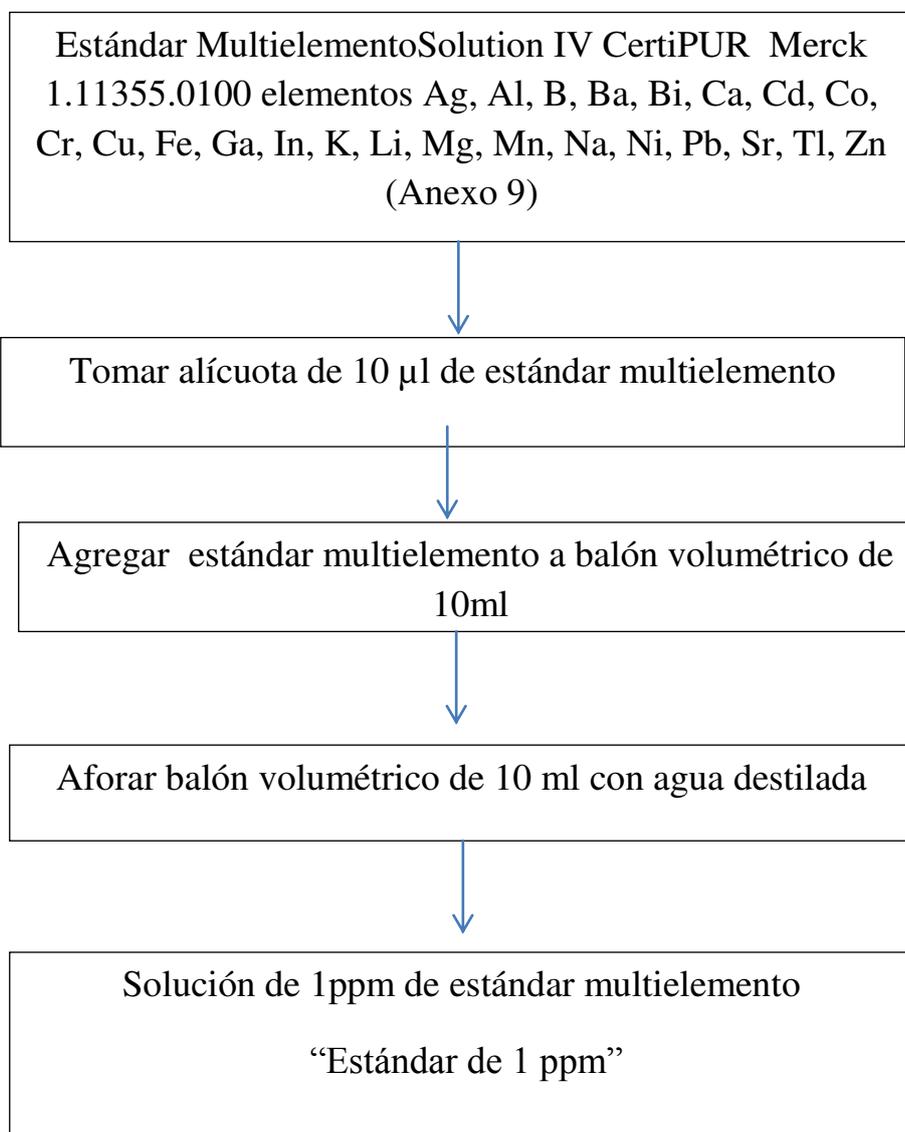
Date of release: April 12, 1999



Dr. Kerstin Reider  
Central Analytical Laboratory

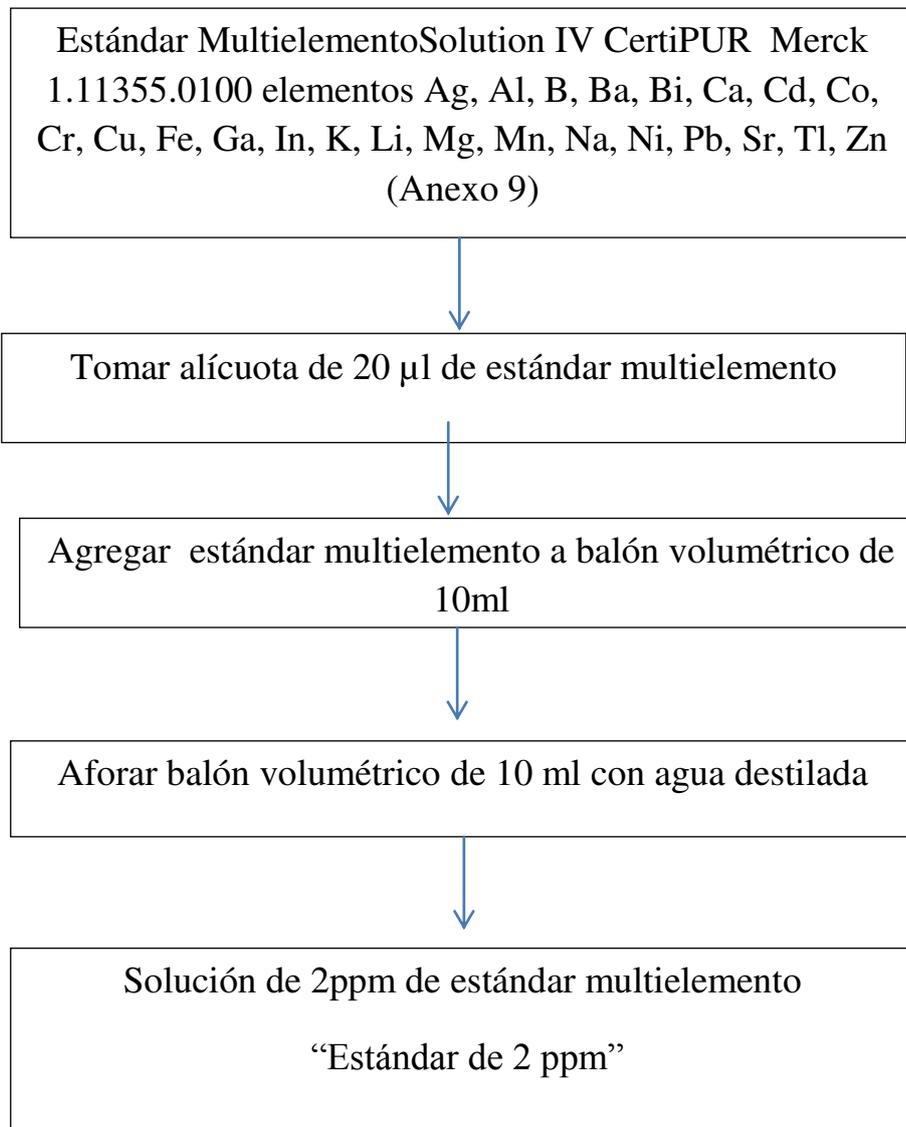
## ANEXO 8 Metodología de preparación de concentraciones del estándar multielemento (1, 2, 5 ppm).

Concentración de 1 ppm



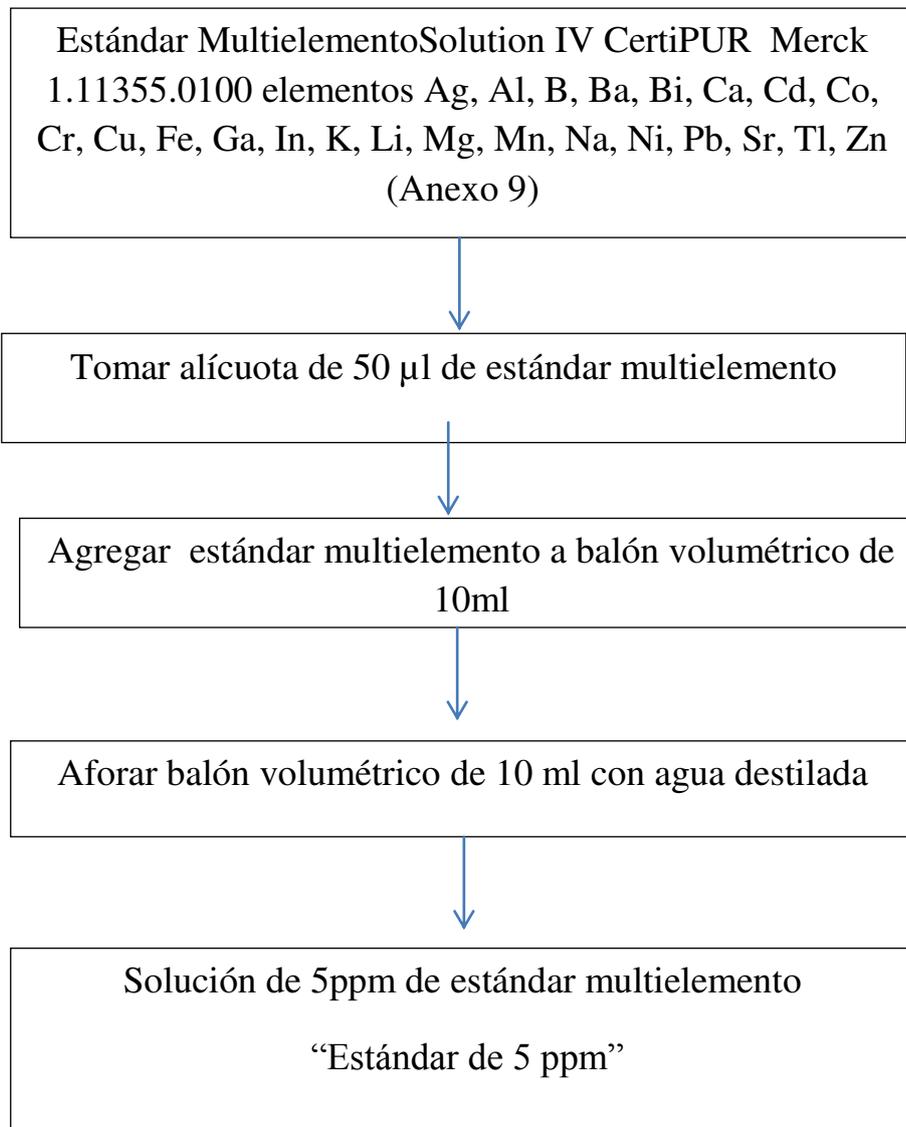
Fuente: Elaboración propia

## Concentración de 2 ppm



Fuente: Elaboración propia

## Concentración de 5 ppm



Fuente: Elaboración propia

**ANEXO 9 Certificado Estándar Multielemento Solution IV CertiPUR  
Merck 1.11355.0100**

Elementos Ag, Al, B, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, In, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Sr, Tl, Zn



Certificate of Analysis  
CertiPUR® Reference Material

**ICP Multi Element Standard Solution IV CertiPUR®**

1.11355.0100

Lot.-No. HC825498

*This product is intended for use as a reference material in atomic spectrometry. It has been produced from high purity salts, using gravimetric procedures. The concentration of the elements in this solution is analysed by ICP-OES real-time internal standardization using NIST standard reference materials for calibration.*

**Composition and concentration:**

Ag (Silver)	1011 ± 10	mg/l
Al (Aluminium)	1008 ± 10	mg/l
B (Boron)	1011 ± 10	mg/l
Ba (Barium)	1022 ± 10	mg/l
Bi (Bismuth)	1011 ± 10	mg/l
Ca (Calcium)	1011 ± 10	mg/l
Cd (Cadmium)	1007 ± 10	mg/l
Co (Cobalt)	1007 ± 10	mg/l
Cr (Chromium)	1011 ± 10	mg/l
Cu (Copper)	1007 ± 10	mg/l
Fe (Iron)	1006 ± 10	mg/l
Ga (Gallium)	1003 ± 10	mg/l
In (Indium)	1007 ± 10	mg/l
K (Potassium)	1011 ± 10	mg/l
Li (Lithium)	1010 ± 10	mg/l
Mg (Magnesium)	1008 ± 10	mg/l
Mn (Manganese)	1011 ± 10	mg/l
Na (Sodium)	1009 ± 10	mg/l
Ni (Nickel)	1009 ± 10	mg/l
Pb (Lead)	1009 ± 10	mg/l
Sr (Strontium)	1008 ± 10	mg/l
Tl (Thallium)	1010 ± 10	mg/l
Zn (Zinc)	1008 ± 10	mg/l

**NIST Standard Reference Material**

SRM 3151	Batch Code 992212
SRM 3101a	Batch Code 060502
SRM 3107	Batch Code 070514
SRM 3104a	Batch Code 070222
SRM 3106	Batch Code 991212
SRM 3109a	Batch Code 050825
SRM 3108	Batch Code 060531
SRM 3113	Batch Code 000630
SRM 3112a	Batch Code 030730
SRM 3114	Batch Code 011017
SRM 3126a	Batch Code 051031
SRM 3119a	Batch Code 890709
SRM 3124a	Batch Code 991219
SRM 3141a	Batch Code 051220
SRM 3129a	Batch Code 000505
SRM 3131a	Batch Code 050302
SRM 3132	Batch Code 050429
SRM 3152a	Batch Code 010728
SRM 3136	Batch Code 000612
SRM 3128	Batch Code 030721
SRM 3153a	Batch Code 990906
SRM 3159	Batch Code 993012
SRM 3168a	Batch Code 001402

Matrix: Nitric acid 1 mol/l  
Density: 1.089 g/cm<sup>3</sup> (20°C)  
Package: 100 ml PE-bottles

*It is recommended to shake the solution thoroughly prior to use. Never pipet directly from the bottle. Prepare working solutions upon requirement by dilution with 1 molar nitric acid.*

Date of release: 2002-01-27

Minimum shelf life: 2012-01-31

*A. Yildirim*

Dipl.-Ing. Ayfer Yildirim

## ANEXO 10 Normativas para metales pesados en diferentes matrices.

Para la matriz biomasa (caña de azúcar, maíz y pipián) se usó el CODEX alimenticio para los metales plomo y cadmio.

28

Codex Standard 193-1995

### CADMIO

Referencia al JECFA: 16 (1972), 33 (1988), 41 (1993), 55 (2000), 61 (2003), 64 (2005)  
 Referencia toxicológica: ISTEP 0,007 mg/kg pc (1988) (mantenido en 2000 y 2003). El JECFA concluyó en su 64ª reunión que el efecto de los diversos NM en la ingesta general de cadmio sería muy reducido. Con los NM propuestos por el Codex, la ingesta media de cadmio disminuiría aproximadamente un 1% de la ISTEP. La imposición de NM inferiores un nivel podría reducir la ingestión de cadmio cuando mucho un 6% (trigo, papas) de la ISTEP. Sólo el 9% de los productos (ostras) excedería los NM propuestos por el Codex. Si los NM fueran inferiores un nivel a los propuestos, los excedería alrededor del 25% de los moluscos, las papas y otras hortalizas

Definición del residuo: Cadmio total  
 Sinónimos: Cd  
 Código de prácticas relacionado: Código de prácticas sobre medidas aplicables en el origen para reducir la contaminación de los alimentos por productos químicos (CAC/RCP 49-2001)

Código de Producto	Nombre	Nivel mg/kg	Sufijo	Tipo	Referencia	Notas/observaciones
VB 0040	Brasicáceas	0,05		NM		
VA 0035	Hortalizas de bulbo	0,05		NM		
VC 0045	Hortalizas de fruto, cucurbitáceas	0,05		NM		
VO 0050	Hortalizas de fruto, distintas de las cucurbitáceas	0,05		NM		Excepto los tomates y los hongos comestibles
VL 0053	Hortalizas de hoja	0,2		NM		
VP 0060	Hortalizas de leguminosas	0,1		NM		
VR 0589	Patatas (papas)	0,1		NM		Peladas
VD 0070	Legumbres	0,1		NM		Excepto los granos de soja (secos)
VR 0075	Raíces y tubérculos	0,1		NM		Excepto el apio y las patatas (papas)
VS 0078	Hortalizas de tallo y raíz	0,1		NM		
GC 0081	Cereales en grano, con excepción del trigo sarraceno, la cañihua y la quinoa	0,1		NM		Excepto el salvado y el germen, así como los granos de trigo y el arroz
CM 0649	Arroz pulido	0,4		NM		
GC 0654	Trigo	0,2		NM		
IM 0151	Moluscos marinos bivalves	2		NM		excluidas las ostras y vieiras sin vísceras
IM 0152	Cefalópodos	2		NM		
	Aguas minerales naturales	0,003		NM	CS 108-1981	Expresado en mg/l
	Sal de calidad alimentaria	0,5		NM	CS 150-1985	

El cadmio es un elemento relativamente raro que algunas actividades humanas liberan en la atmósfera, la tierra y el agua. En general, las dos fuentes principales de contaminación son la producción y utilización de cadmio y la eliminación de desechos que contienen cadmio. El aumento del contenido de cadmio en los suelos incrementa la absorción de cadmio en las plantas; de esta manera, la exposición humana a través de cultivos agrícolas es susceptible al incremento del cadmio presente en el suelo. Las plantas absorben una mayor cantidad de cadmio del suelo cuando el pH del suelo es bajo. Los organismos alimentarios comestibles que viven en libertad, como los crustáceos y los hongos, acumulan cadmio naturalmente. Como en los seres humanos, en los caballos y en algunos animales terrestres salvajes aumenta la concentración de cadmio en el hígado y los riñones. El consumo regular de estos productos puede incrementar la exposición. El tabaco es una importante fuente de absorción de cadmio en los fumadores. (Environmental health criteria for cadmium; International Programme on Chemical Safety [IPCS], 1992).

Fuente: CODEX alimenticio para los metales plomo y cadmio. Pág. 28-30

Para la matriz biomasa (caña de azúcar, maíz y pipián) se usó el CODEX alimenticio para los metales plomo y cadmio.

Plomo

Referencia al JECFA: 10 (1966), 16 (1972), 22 (1978), 30 (1986), 41 (1993), 53 (1999)  
 Orientación toxicológica: ISTEP 0,025 mg/kg pc (1986, mantenida en 1993 y 1999)  
 Definición del residuo: Plomo total  
 Sinónimos: Pb  
 Códigos de prácticas relacionados: Código de Prácticas para la Prevención y Reducción de la Presencia de Plomo en los Alimentos (CAC/RCP 55-2004); Código de prácticas sobre medidas aplicables en el origen para reducir la contaminación de los alimentos por productos químicos (CAC/RCP 49-2001)

Código de Producto	Nombre	Nivel mg/kg	Subtjpo	Tipo	Referencia	Notas/observaciones
FT 0026	Frutas tropicales y subtropicales variadas, de piel comestible	0,1		NM		
FI 0030	Frutas tropicales y subtropicales variadas, de piel no comestible	0,1		NM		
FB 0018	Bayas y otras frutas pequeñas	0,2		NM		
FC 0001	Frutas cítricas	0,1		NM		
FP 0009	Frutas pomáceas	0,1		NM		
FS 0012	Frutas de hueso	0,1		NM		
VB 0040	Brasicáceas	0,3		NM		Excepto la col
VA 0035	Hortalizas de bulbo	0,1		NM		
VC 0045	Hortalizas de fruto, cucurbitáceas	0,1		NM		
VO 0050	Hortalizas de fruto, excepto las cucurbitáceas	0,1		NM		Excepto los hongos
VL 0053	Hortalizas de hoja	0,3		NM		Incluidas las brasicáceas y las hortalizas de hoja pero excluidas las espinacas
VP 0060	Hortalizas de leguminosas	0,2		NM		
VD 0070	Legumbres	0,2		NM		
VR 0075	Raíces y tubérculos	0,1		NM		Incluidas las papas peladas
	Códel de frutas en conserva	1		NM	CS 78-1981	
	Pomelos en conserva	1		NM	CS 15-1981	
	Mandarinas en conserva	1		NM	CS 58-1981	
	Mangos en conserva	1		NM	CS 159-1987	
	Piña en conserva	1		NM	CS 42-1981	
	Frambuesas en conserva	1		NM	CS 60-1981	
	Presas en conserva	1		NM	CS 62-1981	
	Ensalada de frutas tropicales en conserva	1		NM	CS 99-1981	
	Compotas (conservas de frutas) y jaleas	1		NM	CS 79-1981	
	Salsa picante de mango	1		NM	CS 160-1987	
	Acelunas de mesa	1		NM	CS 66-1981	
	Esdrámagos en conserva	1		NM	CS 56-1981	
	Zanahorias en conserva	1		NM	CS 116-1981	
	Fríjoles verdes y frijillos en conserva	1		NM	CS 16-1981	
	Guisantes (arvejas) verdes en conserva	1		NM	CS 58-1981	
	Guisantes (arvejas) maduros elaborados	1		NM	CS 81-1981	

Fuente: CODEX alimenticio para los metales plomo y cadmio. Pág. 28-30

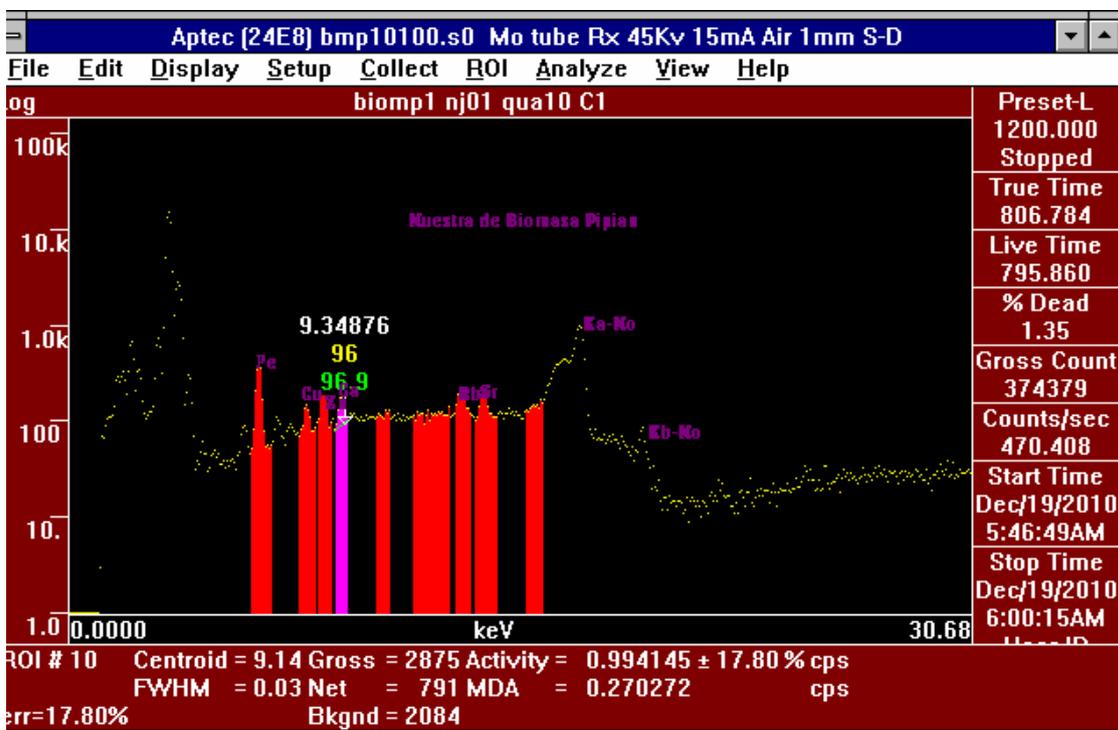
Para la matriz biomasa (caña de azúcar, maíz y pipián) se usó el CODEX alimenticio para los metales plomo y cadmio.

Código de Producto	Nombre	Nivel mg/kg	Objeto	Tipo	Referencia	Notas/observaciones
	en conserva					
	Betas en conserva	1		NM	CS 55-1981	
	Pañalito en conserva	1		NM	CS 144-1985	
	Maíz dulce en conserva	1		NM	CS 18-1981	
	Tomates en conserva	1		NM	CS 13-1981	
	Pepinos encurtidos (encurtido de pepinos)	1		NM	CS 115-1981	
	Concentrados de tomate elaborados	1,5		NM	CS 57-1981	
JF 0175	Zumos (jugos) de frutas	0,05		NM		Incluidos los néctares, listos para beber
OC 0081	Cereales en grano, excepto el trigo sarraceno, la cañina y la quínoa	0,2		NM		
	Castañas en conserva y puré de castañas en conserva	1		NM	CS 145-1985	
MM 0097	Carne de vacuno, porcino y ovino	0,1		NM		También se aplica a la grasa de la carne
PM 0110	Carne de aves	0,1		NM		
MO 0812	Vacuno, despojos comestibles	0,5		NM		
MO 0818	Porcino, despojos comestibles	0,5		NM		
PO 0111	Aves, despojos comestibles	0,5		NM		
	Grasas y aceites comestibles	0,1		NM	CS 19-1981	Grasas y aceites comestibles no regulados por normas individuales
	Margarina	0,1		NM	CS 32-1981	
	Margarán	0,1		NM	CS 135-1981	
	Grasas animales especificadas	0,1		NM	CS 211-1999	Manteca de cerdo, grasa de cerdo fundida, primer jugo y sebo comestible
OR 0305	Aceite de oliva refinado	0,1		NM	CS 33-1981	
OC 0305	Aceite de oliva virgen	0,1		NM	CS 33-1981	
OR E330	Aceite de residuo de la acetuna	0,1		NM	CS 33-1981	Aceite de orujo de oliva
PF 0111	Grasas de aves	0,1		NM		
OC 0172	Aceites vegetales sin refinar	0,1		NM	CS 210-1999	Aceites de cacahuete, babasú, coco, semillas de algodón, semillas de uva, semillas de mostaza, palmiche, palma, nabina, cártamo, sésamo, soja y girasol, oleína de palma, estearina y superoleína y otros aceites, excepto la manteca de cacao
OR 0172	Aceites vegetales comestibles	0,1		NM	CS 210-1999	Aceites de cacahuete, babasú, coco, semillas de algodón, semillas de uva, semillas de mostaza, palmiche, palma, nabina, cártamo, sésamo, soja y girasol, oleína de palma, estearina y superoleína y otros aceites, excepto la manteca de cacao
LM 0106	Leches	0,02		NM		Debe aplicarse un factor de concentración a la leche parcial o totalmente deshidratada
LI	Productos lácteos secundarios	0,02		NM		Según se consumen
	Aguas minerales naturales	0,01		NM	CS 108-1981	Expresado en mg/l
	Preparados para lactantes	0,02		NM		Listos para el consumo
	Sal de calidad alimentaria	2		NM	CS 150-1985	
	Vino	0,2		NM		

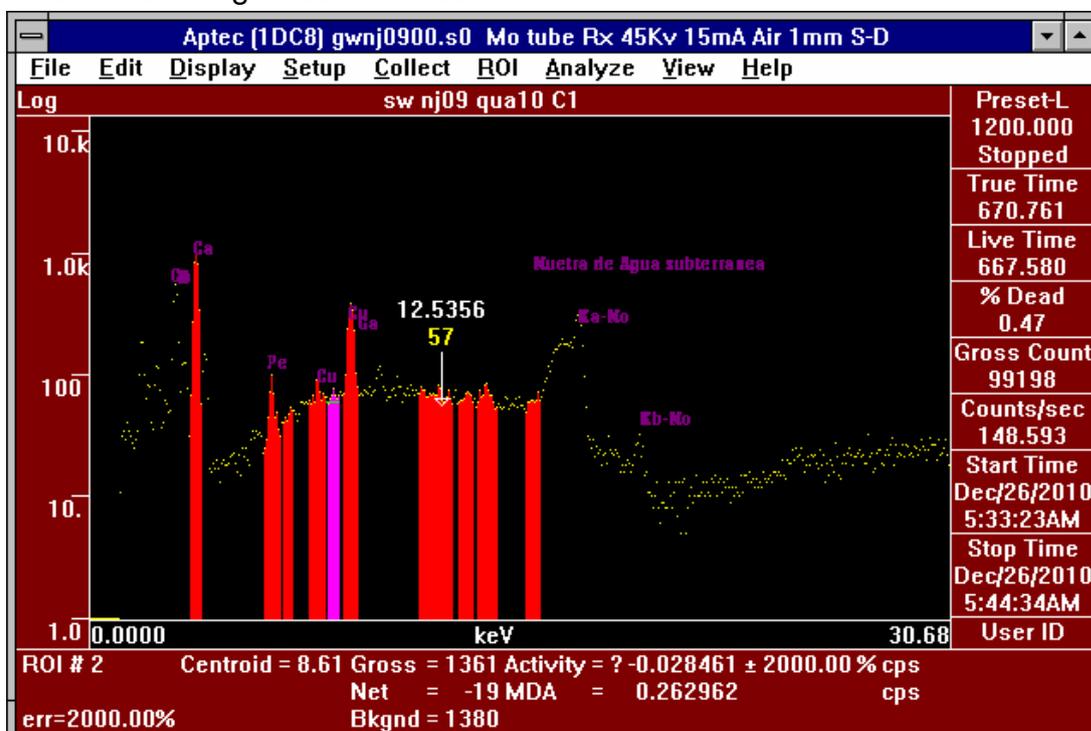
Fuente: CODEX alimenticio para los metales plomo y cadmio. Pág. 28-30

## ANEXO 11 Espectros de Energías Características para Matrices Biomasa, Agua Subterránea, Agua Superficial, Suelo y Sedimentos.

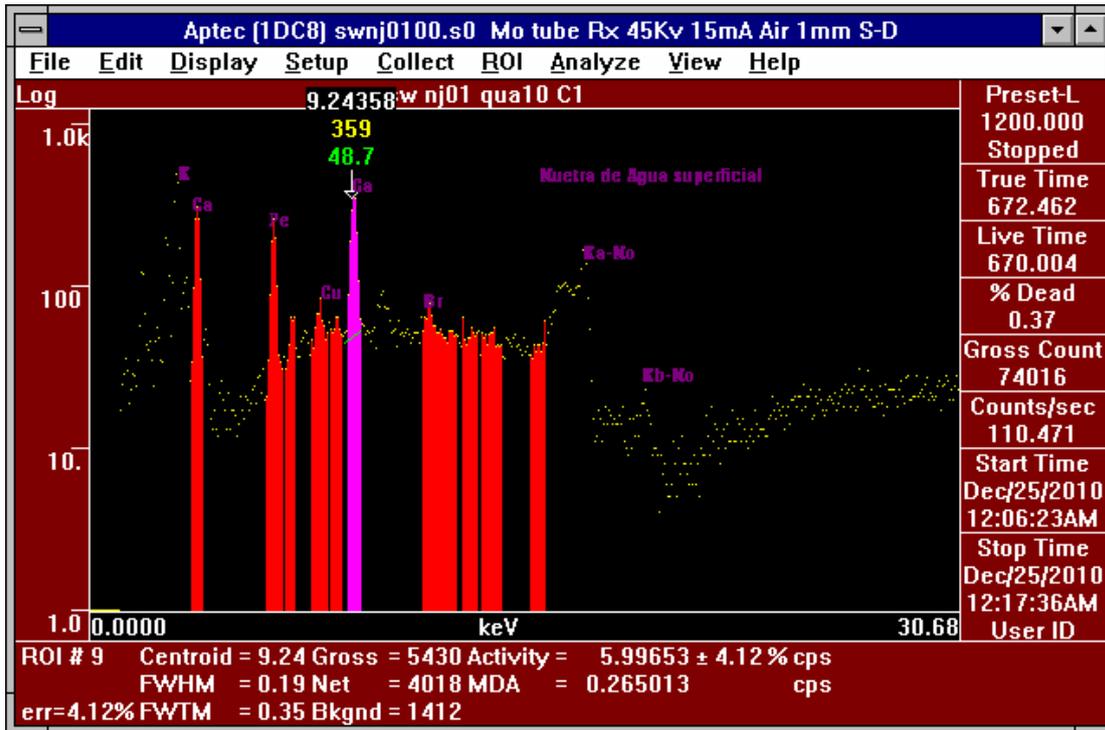
Para la matriz Biomasa:



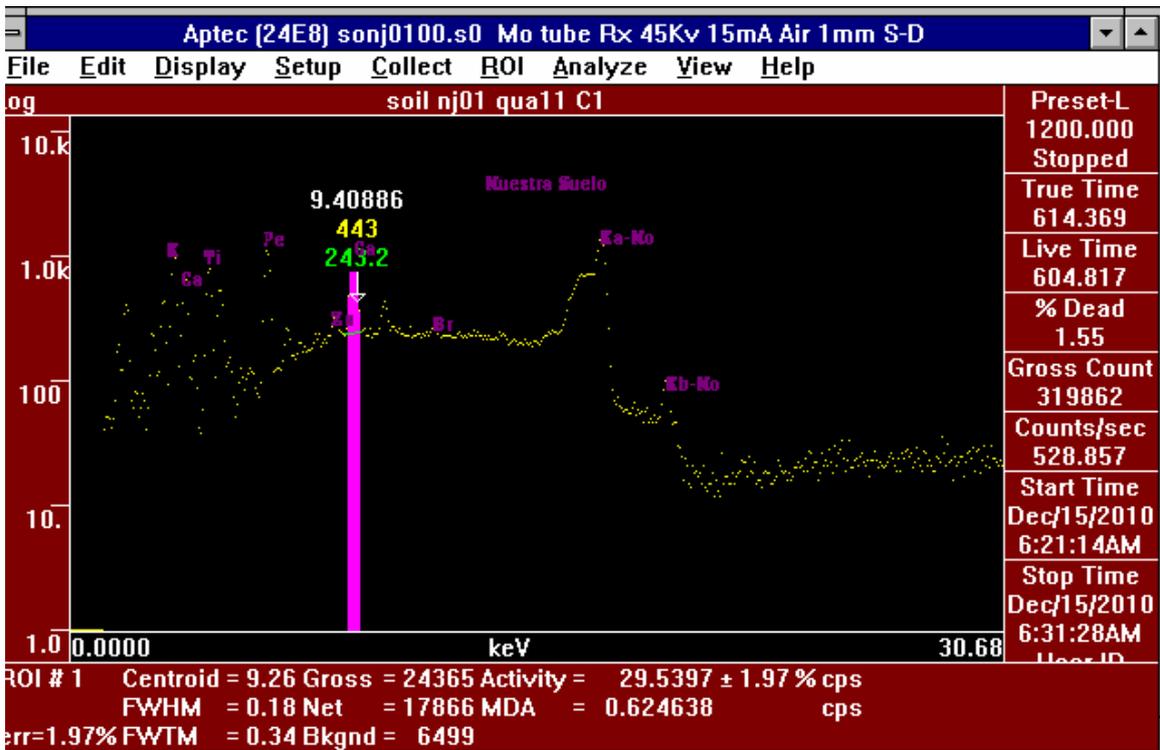
Para la matriz Agua Subterránea:



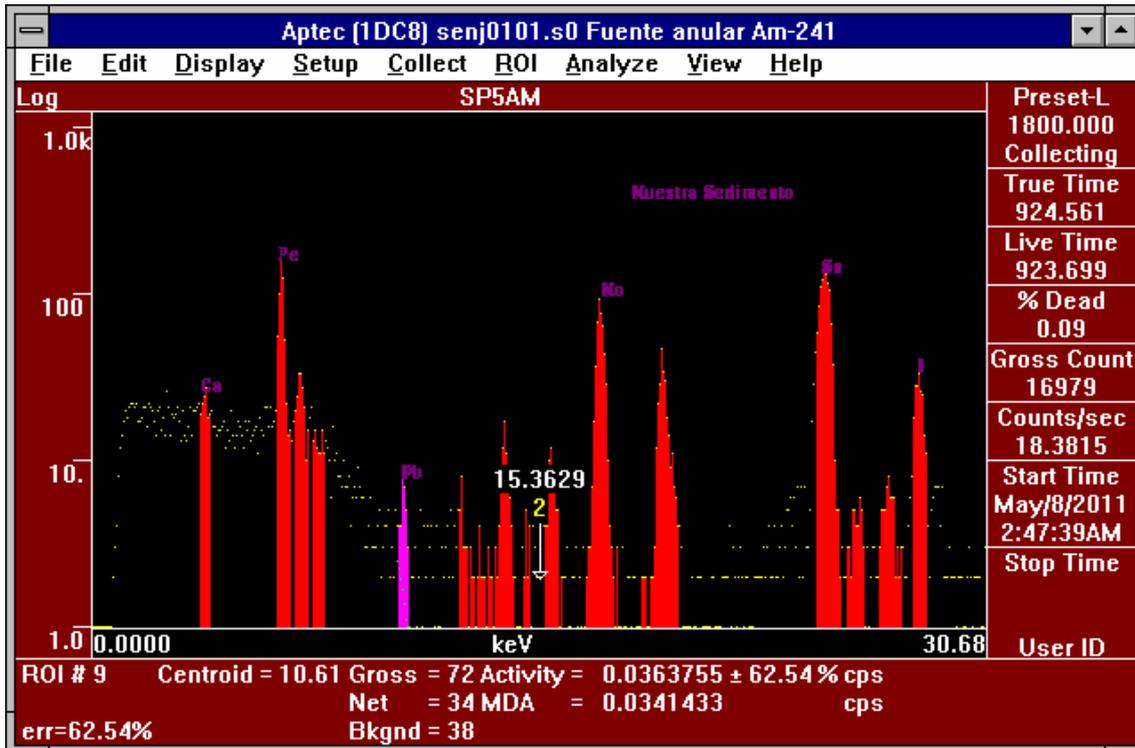
Para la matriz Agua Superficial:



Para la matriz Suelo:



Para la matriz Sedimentos:



**ANEXO 12 Tabla de áreas bajo las líneas espectrales para cada metal en matriz sedimento**

<b>Punto</b>	<b>Elemento</b>	<b>Área (cps)</b>	<b>Varianza</b>
NJ01	Zn	259	18
	Ni	91	12
	Pb	83	8
NJ02	Zn	297	18
	Ni	152	13
	Pb	100	8
NJ03	Zn	329	21
	Ni	135	14
	Pb	86	9
NJ04	Zn	236	18
	Ni	90	12
	Pb	78	8
NJ07	Zn	423	23
	Ni	158	15
	Pb	128	10
NJ10	Zn	298	19
	Ni	118	13
	Pb	113	9
NJ11	Zn	332	21
	Ni	148	15
	Pb	130	9
NJ16	Zn	382	22
	Ni	122	14
	Pb	109	9
NJ18	Zn	354	21
	Ni	127	14
	Pb	125	9