

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA



DETERMINACION DE LA CONTAMINACION DE PLOMO EN LA
ATMOSFERA DEL CANTÓN SITIO DEL NIÑO, MUNICIPIO DE SAN JUAN
OPICO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD UTILIZANDO UN BIOSENSOR
VEGETAL *Tillandsia juncea* (GALLITO)

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO POR:

KENY LISSETH PEREZ

JUAN ALBERTICO PORTILLO CORDOVA

PARA OPTAR AL GRADO DE
LICENCIATURA EN QUÍMICA Y FARMACIA

AGOSTO DEL 2011

SAN SALVADOR, EL SALVADOR, CENTROAMERICA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR

MSc. RUFINO ANTONIO QUEZADA SANCHEZ

SECRETARIO GENERAL

LIC. DOUGLAS VLADIMIR ALFARO CHAVEZ

FACULTAD DE QUIMICA Y FARMACIA

DECANO

LIC. SALVADOR CASTILLO AREVALO

SECRETARIA

MSc. MORENA LIZETTE MARTINEZ DE DIAZ

COMITE DE TRABAJO DE GRADUACION

COORDINADORA GENERAL

Licda. María Concepción Odette Rauda Acevedo

ASESORA DE AREA DE ANÁLISIS DE ALIMENTOS: FISICOQUIMICO

Ing. Rina Lavinia Hidalgo de Medrano

ASESORA DE AREA DE GESTION AMBIENTAL: CALIDAD AMBIENTAL

MSc. Cecilia Haydeé Gallardo de Velásquez

DOCENTE DIRECTORA

MSc. Sonia Maricela Lemus Martínez

AGRADECIMIENTOS

- **A DIOS TODOPODEROSO**
Por ser mi creador, el motor de mi vida, por no haber dejado que me rinda en ningún momento, por darme tu sabiduría y la fortaleza para alcanzar el triunfo que hoy gozamos.
- **A NUESTROS PADRES**
Por su cariño, su dedicación, su apoyo, empeño, por ayudarnos a ser mejores cada día. Por tanto esfuerzo para que alcanzáramos este triunfo.
- **A LOS HERMANOS**
Por brindarnos apoyo, darnos ánimos y la fuerza para levantarnos en momentos que dudamos de nuestras capacidades.
- **A MSc. Sonia Maricela Lemus**
Por brindarnos sus conocimientos y tener la paciencia necesaria para la instrucción en nuestro trabajo de graduación.
- **A LOS DOCENTES**
Por su paciencia, por su comprensión y por brindarme las herramientas necesarias para alcanzar mi meta.
- **A LA JUNTA DIRECTIVA ORGANIZACIÓN MOVIMIENTO SIN PLOMO**
Por su disposición a ayudarnos en todo momento, fueron un gran apoyo en el proceso, brindándonos material didáctico y recurso humano.
- **A LOS AMIGOS**
Que nos colaboraron, nos brindaron confianza y siempre nos mantuvieron en sus oraciones.
- **Agradezco a todos que directa o indirectamente, tomaron participación en la elaboración de este trabajo de graduación, leyendo, opinando, corriendo, dando ánimos, acompañando en los momentos de crisis y en los momentos de felicidad.**

Keny Lisseth Pérez / Juan Albertico Portillo Córdoba

DEDICATORIA

➤ A MI PADRE CELESTIAL

Quien fue, es y será mi constante apoyo en todo tiempo y en todas las cosas, ha sido mi fortaleza y mi guía para salir adelante, aún cuando todo parecía difícil e imposible de lograr, dándome siempre su gran amor e infinita misericordia.

➤ A MIS ABUELOS

Mauricia Esmeralda Córdova López y José Rivera Ledesma por su apoyo incondicional, confianza, paciencia, consejos y gran amor. Por estar a mi lado en todo momento para culminar mi carrera, sin usted abuelita no sería lo que hoy soy, mi triunfo es suyo. Es una de las bendiciones más grandes que el Padre Celestial me ha dado

A MI MAMA

➤ María del Carmen Pérez Córdova por estar siempre a mi lado apoyándome, por sus consejos, por su amor incondicional a pesar de los desafíos que juntas hemos sufrido y superado, y que el Padre Celestial la tiene aún con vida es una bendición muy grande en mi vida y poder compartir juntas este triunfo.

➤ A MI HERMANO

José Héctor Mauricio Pérez mi éxito es también el tuyo. Tú apoyo y tu amor me ayudo a tener las fuerzas y el ánimo para salir adelante, siempre has estado conmigo a pesar de todo, eres una bendición para mi vida.

➤ A MI ABUELITO

Luis Pérez De León (Q.D.D.G) por sus consejos, por querer siempre lo mejor para mi, por amarme y haber tenido la oportunidad y bendición de tenerlo en esta vida y por la eternidad.

➤ A MIS TIOS, PRIM@S Y SOBRIN@S

Adonay de Jesús Ramírez Córdova, Héctor Pérez Córdova, Guissel Ramírez Pérez por tener siempre su apoyo, confianza y amor aún cuando más lo necesitaba.

➤ A MI COMPAÑERO DE TESIS

Juan Albertico Portillo Córdova por compartir el mismo objetivo, por su paciencia, apoyo, confianza y por su amistad de muchos años.

➤ A MIS AMIG@S

Muchísimas gracias por su apoyo, por querer siempre lo mejor para mi, por su amor, por su valiosa y verdadera amistad y por estar conmigo siempre.

Keny Lisseth Pérez

DEDICATORIA

- **A DIOS TODOPODEROSO**
Gracias por tu sabiduría, por darme fortaleza en los momentos más difíciles, por mostrarme el camino correcto y todas tus bendiciones. Siendo una de ellas el haberme formado como profesional en la carrera que tu haz puesto para mi, recordando que la gloria es solo tuya.
- **A MIS PADRES**
Eligia Amanda Córdova y Juan Portillo Gracias por sus consejos los cuales han sido la guía de mi vida, por darme una carrera para mi futuro y por creer en mí, aunque hemos pasado momentos difíciles siempre han estado apoyándome y brindándome todo su amor, por todo esto les agradezco de todo corazón el que estén a mi lado.
- **A MIS HERMANOS**
Gracias por estar conmigo y apoyarme siempre, los quiero mucho, son una parte muy importante en mi vida y mi fuente de inspiración para superarme.
- **A MIS PROFESORES**
A todos desde kínder garden hasta mi formación universitaria, les agradezco que hayan compartido sus conocimientos, a aquellos que todavía laboran les deseo éxitos en sus tareas y los que ya descansan se les recuerda con cariño.
- **A BRENDA MELANY ALAS**
Fue una amiga y compañera de universidad falleció luchando por alcanzar sus metas y a pesar de los limitantes siempre mostros interés y genuina bondad para con los demás.
- **A MIS AMIGOS**
Gracias por su apoyo, especialmente a la familia Bautista que han estado allí en todo este proceso brindándome herramientas necesarias para terminar mi trabajo de graduación.
- **A MI COMPAÑERA DE TESIS**
Fue largo el camino recorrido pero te agradezco tu paciencia y más que todo por tu amistad.

Juan Albertico Portillo Córdova

ÍNDICE

	Pág.
Resumen	
Capítulo I	
1.0 introducción	xxiii
Capítulo II	
2.0 objetivos	
Capítulo III	
3.0 marco teórico	28
3.1 Plomo	28
3.1.1 Características del plomo	28
3.1.2 Fuentes naturales de plomo	29
3.1.2.1 Rocas	29
3.1.2.2 Suelos	30
3.1.2.3 Agua	30
3.1.2.4 Aire	31
3.1.3 Fuentes industriales de plomo	31
3.1.3.1 Industria de acumulares eléctricos (baterías ácido-plomo)	31
3.1.3.2 Derivados alquílicos de plomo	32
3.1.3.3 Plomo en pigmentos	32
3.1.4 Toxicidad	33

3.1.4.1 Tipos de intoxicación	34
3.1.4.1.1 Intoxicación aguda por plomo	34
3.1.4.1.2 Intoxicación crónica por plomo	34
3.2 Descripción de la zona de estudio	36
3.3 Descripción de la zona testigo	37
3.4 Monitoreo de contaminantes atmosféricos	38
3.5 Biomonitorio	39
3.5.1 Tipos de biomonitores	39
3.5.2 Ventajas en su aplicación	40
3.5.3 Clasificación de Biomonitorio	41
3.5.3.1 Biomonitorio pasivo	41
3.5.3.2 Biomonitorio activo	41
3.5.4 Selección de la especie	41
3.6 Generalidades del genero <i>Tillandsias</i>	42
3.6.1 Etimología	42
3.6.2 Descripción y características	43
3.6.2.1 <i>Tillandsias</i> verdes	43
3.6.2.2 <i>Tillandsias</i> grises	43
3.6.3 Reproducción	44
3.6.4 Importancia del genero <i>Tillandsias</i> en el estudio a desarrollar	45
3.7 Monografía de <i>Tillandsia juncea</i>	46
3.7.1 Ubicación geográfica	47

3.8 Espectrofotometría de absorción atómica	47
3.8.1 Descripción de la técnica de EAA	48
Capítulo IV	
4.0 Diseño Metodológico	51
4.1 Tipo de estudio	51
4.2 Investigación bibliográfica	51
4.3 Investigación de campo	52
4.3.1 Universo y muestra	52
4.4 Selección e identificación del biosensor	52
4.5 Ubicación de muestras (biosensores)	54
4.5.1 Metodología de selección de la zona testigo y zona de estudio	56
4.6 Metodología de tratamiento de las muestras después de los tres Meses de monitoreo	57
4.7 Tratamiento de las muestras	58
4.8 Extracción de plomo de las muestras por método de análisis AOAC 5.003 adaptado a tejido vegetal	58
4.9 Método de análisis por Espectrofotometría de absorción atómica	59
4.10 Preparación de estándares para calibración de Equipo de Absorción Atómica (PROCAFÉ)	60
4.11 Lectura de estándares y muestras	60
4.12 Selección del método estadístico	60
4.12.1 Tamaño de muestra	61

4.12.2	Formulación de Hipótesis	61
4.12.2.1	Hipótesis Nula (H_0)	61
4.12.2.2	Hipótesis Alternativa (H_1)	61
4.12.3	Planteamiento de las Zonas de aceptación y rechazo de H_0	62
4.12.4	Determinación de razón F (F crítica)	63
4.12.5	Determinación de F prueba	63
Capitulo V		
5.0	Resultados y Discusión de Resultados	66
5.1	Selección e identificación del Biosensor	66
5.2	Selección de zona testigo	68
5.3	Selección de zona de estudio	69
5.3.1	Mapeo de sitios de estudio	71
5.3.2	Ubicación de los puntos de muestreo	71
5.3.3	Descripción de los puntos de muestreo	72
5.4	Muestreo	72
5.4.1	Recolección de muestras y cuantificación de plomo Absorbido por el biosensor vegetal <i>Tillandsia juncea</i> mediante EAA	75
5.4.2	Lectura de plomo	76
5.4.3	Conversión de unidades de concentración de las muestras de P/V a P/P	76
5.5	Funcionamiento de la <i>Tillandsia juncea</i> como biosensor vegetal comparado Con la Norma Salvadoreña Oficial 13.11.01:01	86

5.6 Método estadístico análisis de varianza (ANOVA)	87
5.6.1 Tamaño de la muestra	87
5.6.2 Calculo de razón F ($F_{\text{promedio de prueba}}$)	87
5.6.2.1 Calculo de media de la población	87
5.6.2.2 Calculo de la razón F promedio ($F_{\text{promedio de prueba}}$)	89
Capítulo VI	
6.0 Conclusiones	94
Capítulo VII	
7.0 Recomendaciones	98
Bibliografía	
Glosario	
Anexos	

INDICE DE ANEXOS

ANEXO N°

1. Figura N° 1 mapa del municipio de San Juan Opico y puntos de muestreo.
2. Figura N° 2 Ubicación de puntos de muestreo en la zona urbana del Cantón Sitio del Niño, Municipio de San Juan Opico, La Libertad.
3. Figura N° 3 Lugar de recolección de muestras y zona testigo, Caserío las Pilas, municipio de San Ignacio, Chalatenango.
4. Figura N° 4 Elementos susceptibles de determinarse por espectrofotometría de absorción atómica (EAA) así como las líneas de Absorción más intensas y las flamas recomendadas.
5. Figura N° 5 Copia autenticada por el herbario del Jardín Botánico La laguna de *Tillandsia juncea*.
6. Cuadro N° 1 Registro de pesos individuales de muestras húmedas
7. Cuadro N° 2 Registro de pesos individuales de muestras deshidratadas
8. Figura N° 6 Método de Tratamiento AOAC 5.003
9. Norma Salvadoreña Oficial NSO 13.11.01:01 Calidad del Aire Ambiental. Inmisiones Atmosféricas.
10. Figura N° 7 carta aclaratoria del laboratorio de análisis PROCAFE
Figura N° 8 Especificaciones de estándares según manual de equipo Perkin Elmer
11. Figura N° 9 tabla de distribución F

12. Figura N° 10 cuadro de resultados obtenidos en las lecturas de las muestras en el laboratorio de análisis PROCAFE
13. Cálculo de unidades de ppm a $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (unidades que expresa la Norma Salvadoreña Oficial 13.11.01:01) Calidad del aire ambiental inmisiones atmosféricas
14. Cálculo de la razón F ($F_{\text{promedio de prueba}}$)
15. Cristalería, material, equipo y reactivos
16. Preparación de reactivos

INDICE DE CUADROS

CUADRO N°	Pág. N°
1. Lectura de muestras obtenidas en ppm ($\mu\text{g}/\text{mL}$)	76
2. Conversión de lecturas de las muestras analizadas de ppm a peso/peso ($\mu\text{g}/\text{g}$) de los diferentes puntos de muestreo	78
3. Lectura de plomo en microgramos por metro cubico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).	80
4. Valores para cada muestra en microgramos por metro cubico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) corregidos mediante factor de Acumulación de aire (con sus siglas en ingles AAF)	82
5. Valores promedio de cada puntos de muestreo comparados con el límite de la Norma Salvadoreña Oficial 13.11.01:01 Calidad del aire ambiental inmisiones atmosféricas	83
6. Varianza de los valores medios de las muestras por cada puntos de muestreo	88
7. Varianza intra-muestras (S_b^2)	89
8. Razón F (F_{prueba})	90

INDICE DE TABLAS

TABLA N°	Pág. N°
1. Concentraciones de los diferentes estándares y su respectivas lecturas a una longitud de onda de 283.3 nm	75

INDICE DE FIGURAS

FIGURA N°	Pág. N°
1. Proceso de fabricación de baterías ácido.-plomo	31
2. Manifestación de la intoxicación de plomo, en relación con las diversas concentraciones del metal en la sangre de niños y adultos	35
3. Imágenes de la especie del genero <i>Tillandsia</i>	42
4. <i>Tillandsia juncea</i>	46
5. Componentes de un espectrofotómetro de absorción atómica	48
6. Foto de <i>Tillandsia juncea</i> recolectada en el Caserío las Pilas	53
7. Esquema de trabajo para la selección e identificación del biosensor vegetal	53
8. Colocación del biosensor vegetal en soportes	55
9. Esquema de trabajo en zona testigo y zona de estudio	56
10. Esquema de recolección de muestras y aplicación del método AOAC 5.003 modificado para el tratamiento de material vegetal	57
11. Grafica de limite de aceptación y rechazo de hipótesis nula	63
12. <i>Tillandsia juncea</i> en floración	67
13. Mapa del departamento de Chalatenango (zona testigo)	68

14. Mapa del departamento de la libertad (municipio de San Juan Opico, zona de estudio)	70
15. Ubicación de los puntos de muestreo en la zona urbana del Cantón Sitio del Niño, Municipio de San Juan Opico, La Libertad	72
16. Miembros de la Organización movimiento sin plomo	74
17. Grafica de absorbancia de los diferentes estándares para la calibración del equipo de espectrofotometría de absorción atómica	75
18. Grafica de los niveles de absorción de plomo en $\mu\text{g/g}$ de las muestras de <i>Tillandsia juncea</i> en los diferentes puntos de muestreo	78
19. Grafica de comparación entre los niveles de plomo absorbidos por <i>Tillandsia juncea</i> en los diferentes puntos de muestreo vrs límite permitido según la Norma Salvadoreña Oficial 13.11.01:01 Calidad del aire ambiental inmisiones atmosféricas	83
20. Ubicación de la razón F ($F_{\text{promedio de prueba}}$), para los puntos de muestreo dentro del grafico de análisis de varianza (ANOVA)	91

ABREVIATURAS

ANOVA: Análisis de Varianza

EAA: Espectrofotometría de Absorción Atómica

EPA: Environmental Protection Agency United States

MARN: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales

NSO: Norma Salvadoreña Oficial

OMP: Organización Movimientos sin Plomo

OMS: Organización Mundial de la Salud

OPS. Organización Panamericana de la Salud

MSNM: Metros Sobre el Nivel del Mar

RESUMEN

RESUMEN

La contaminación por plomo atmosférico, ha demostrado que los altos niveles de concentración de este metal causan daños al ser humano, a la fauna, flora y medio ambiente al estar en exposición directa. Se identificó que en el Cantón Sitio del Niño, Municipio de San Juan Opico (zona de estudio) existe una fábrica de baterías ácido-plomo (fuente emisora, punto N° 1). Actualmente cerrada por los daños que esta causó a los trabajadores de esta fábrica, a la población y al medio ambiente del lugar de estudio. Esta zona fue monitoreada por un periodo de tres meses utilizando un biosensor vegetal ***Tillandsia juncea***. En las que se monitorearon otros 5 puntos más, los cuales se ubicaron: a cien metros (punto N° 2), a quinientos metros (punto N° 3), a un kilómetro (punto N° 4) al sur de la zona. A un kilómetro norte (punto N° 5) y a cinco kilómetros norte (punto N° 6) de la fuente emisora. Al mismo tiempo, se llevo un monitoreo en la zona testigo ubicado en el Caserío Las Pilas, Municipio de San Ignacio. Lugar conocido por ser una zona de bajos niveles de contaminación ambiental.

La contaminación por plomo se determinó utilizando el método de la AOAC 5.003 modificado para material vegetal y se cuantifico por espectrofotometría de absorción atómica.

De acuerdo a la Norma Salvadoreña Oficial N° 13.11.01:01 Calidad del aire ambiental inmisiones atmosféricas, establece que el nivel promedio de plomo

atmosférico no debe exceder a los $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Al comparar los resultados obtenidos, se comprobó que en todos los puntos de estudio sobrepasan el límite establecido por la Norma Salvadoreña Oficial, reportando valores de $5.30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la fuente emisora (punto N° 1); $3.58 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a cien metros sur (punto N° 2); $2.38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a quinientos metros sur (punto N° 3); $1.62 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a un kilómetro sur (punto N° 4); $2.13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a un kilómetro norte (punto N° 5) y a cinco kilómetros norte (punto N°6) $1.60 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Los resultados se comprobaron por el método estadístico análisis de varianza (ANOVA), determinando así que el biosensor vegetal *Tillandsia juncea* si absorbió el plomo proveniente del aire, lo que demuestra que esta es una planta epifita sensible a la captación de contaminantes como metales pesados presentes en el aire. Es recomendable realizar futuras investigaciones en otras zonas industriales de El Salvador para determinar los contaminantes como metales pesados presentes en la atmosfera, y tomar las acciones de remediación que garanticen la salud de los trabajadores y de las personas que viven en los alrededores de las diferentes industrias del país.

CAPITULO I
INTRODUCCION

1.0 INTRODUCCIÓN

El plomo es un metal pesado utilizado comúnmente en la industria. Entre los usos principales de este metal están la fabricación de baterías para automóviles, reactivos químicos, armas de guerra, insecticidas, fabricación de pinturas y barnices.

Las fuentes de contaminación por plomo se han incrementado, debido a la gran cantidad de compuestos a base de este metal y al empleo de este en la industria, debe mencionarse también que el ambiente y la salud de la población ha sufrido las consecuencias por las constantes emanaciones de este metal.

Por lo que el plomo es considerado un potente contaminante silencioso debido a su alta toxicidad para la salud de las personas y el ambiente. Este afecta causando daños irreversibles, entre los que cabe destacar: síndrome de saturnismo, que conlleva al deterioro de la salud en general, ocasionando varios daños en órganos del cuerpo entre ellos, riñón, pulmones, corazón, intestinos y hasta neurocerebrales; provocar coma e incluso los daños pueden llevar a la muerte. Por lo cual se determinó los niveles de concentración de plomo en el aire en la zona del Cantón Sitio del Niño, Municipio de San Juan Opico y así identificar las posibles fuentes de contaminación.

El Cantón Sitio del Niño de San Juan Opico, es conocido por ser una zona industrial y principalmente porque en este lugar se encuentra ubicada una

fábrica de Baterías ácido-plomo, que actualmente se encuentra cerrada por los daños que esta causó a los trabajadores, habitantes del lugar y al medio ambiente, y que aun sigue ocasionando daños debido a que las escorias se encuentran a la intemperie.

La contaminación por plomo proveniente de esta fábrica de baterías ácido-plomo, se determinó empleando un método de muestreo de bajo costo y de fácil manejo; haciendo uso de un biosensor de origen vegetal (*Tillandsia juncea*), que se caracteriza por ser una especie epífita la cual absorbe para su desarrollo los nutrientes del aire, y es capaz de acumular contaminantes de la atmosfera, entre ellos metales pesados como el plomo.

Se monitorearon seis puntos de estudio y un testigo por un período de tres meses y por triplicado (según la Norma Salvadoreña Oficial NSO N° 13.11.01:01 Calidad del aire ambiental inmisiones atmosféricas), haciendo un total de 21 muestras. Para la extracción del plomo se utilizó el método de análisis AOAC 5.003 modificado para material vegetal y se cuantificó por espectrofotometría de absorción atómica. La interpretación de resultados se realizó por el método estadístico análisis de varianza (ANOVA).

CAPITULO II

OBJETIVOS

2.0 OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Determinar la contaminación de plomo atmosférico del Cantón Sitio del Niño, Municipio de San Juan Opico, Departamento de La Libertad utilizando un biosensor vegetal *Tillandsia juncea* (gallito).

1.2 Objetivos específicos

- 2.2.1 Recolectar e identificar el biosensor vegetal en la zona testigo
- 2.2.2 Ubicar los biosensores vegetales en la zona de muestreo del Cantón Sitio del Niño, Municipio de San Juan Opico, Departamento de La Libertad, y en la zona testigo Caserío Las Pilas, Municipio de San Ignacio, Departamento de Chalatenango en época de invierno.
- 2.2.3 Analizar las muestras de los biosensores mediante el método de la AOAC 5.003 modificado para material vegetal.
- 2.2.4 Cuantificar el plomo extraído de las muestras vegetales mediante espectrofotometría de absorción atómica.
- 2.2.5 Comparar los resultados de análisis con el límite establecido de plomo atmosférico de acuerdo con la Norma Salvadoreña Oficial (NSO) N°.13.11.01:01 Calidad del aire ambiental inmisiones atmosféricas

CAPITULO III
MARCO TEÓRICO

3.0 MARCO TEÓRICO

3.1 PLOMO ⁽¹⁵⁾

El plomo es un metal tóxico de símbolo (Pb), blando dúctil y maleable de color gris azulado, número atómico 82; peso atómico 207.2g, con densidad específica de 11.34, en condiciones normales de presión y temperatura funde a 327.5°C y su temperatura de ebullición es de 1740°C. a pesar de tener un potencial normal $E^{\circ}=0.14$ V inferior al del Hidrógeno, es poco atacable por el Acido Clorhídrico, debido al fenómeno de la sobretensión; no disuelve en ácido sulfúrico diluido, pero si forma sulfato de plomo cuando es diluido en ácido sulfúrico caliente y concentrado con desprendimiento de anhídrido sulfuroso. Cuando es tratado con ácido nítrico, disuelve a temperatura ordinaria dando como resultado nitrato de plomo con desprendimiento de vapores nitrosos

3.1.1 Características del plomo

El plomo es uno de los elementos traza más volátiles y tóxicos, que puede ser transportado a largas distancias. En el ser humano, el plomo se incorpora a través de los sistemas respiratorio y digestivo, distribuyéndose en la sangre, los tejidos blandos y los huesos en porcentajes de cuatro, dos y noventa y cuatro por ciento, respectivamente. Las concentraciones plúmbeas umbrales en sangre completa, para adultos y niños, han sido establecidas en trescientos cincuenta (350) y doscientos cincuenta (250) $\mu\text{g Pb/L}$, respectivamente, por los organismos internacionales de salud. Recientemente, el valor sanguíneo umbral

para los niños fue objeto de revisión en los Estados Unidos, disminuyéndose a cien (100) $\mu\text{g Pb/lts}$.

Esto debido a que la teratogenicidad del plomo ha sido comprobada, tanto a nivel experimental como clínico. Las concentraciones sanguíneas de plomo mayores de seiscientos (600) $\mu\text{g Pb/lts}$, pueden desencadenar estados patológicos severos e incluso provocar la muerte. ⁽³⁾

Según Organización Mundial para la Salud (OMS), clasifica las fuentes de contaminación del aire originados por la actividad humana de la siguiente forma:

Fuentes fijas: son aquellas que emiten contaminantes al aire, en un lugar fijo o inamovible (viviendas que utilizan pintura con plomo, fábricas de baterías ácido-plomo, y aquellas en las que elaboran vasijas de cerámica vidriada, en la minería, etc.)

Fuentes móviles: son aquellas que cambian su ubicación con respecto al tiempo y el área de influencia de sus emisiones, que generan y emiten contaminantes al ambiente por el uso de combustibles en los cuales su composición está presente el plomo (vehículos, aviones, trenes, barcos, etc.)

3.1.2 Fuentes naturales de plomo ⁽¹⁵⁾

3.1.2.1 Rocas

El plomo se encuentra en la corteza terrestre a una concentración de aproximadamente 13 mg/kg. Como ocurre con todos los elementos, en algunos lugares se observan concentraciones mucho más elevadas, especialmente en los yacimientos de minerales de plomo; las fuentes más importantes de plomo

son las rocas ígneas y metamórficas, que tiene concentraciones de 10 a 20 mg/kg.

3.1.2.2 Suelos

Se debe distinguir entre suelos que adquieren plomo solo de fuentes naturales y suelos contaminados por el hombre. Los suelos ácidos tienen generalmente un contenido de plomo inferior a aquellos de naturaleza alcalina. La naturaleza de la materia orgánica del suelo también influye considerablemente sobre su contenido de plomo. Algunas materias orgánicas son ricos en compuestos quelantes y formando así enlaces con el plomo, ya sea favoreciendo su salida o fijando el metal en el suelo, según las propiedades de solubilidad del complejo. Las concentraciones medidas en las zonas alejadas de la actividad humana son similares a las que se han encontrado en rocas, cuyos valores medios van de 5 a 25 mg/kg.

3.1.2.3 Agua

Se ha determinado que la concentración de plomo en aguas superficiales naturales (lagos y ríos) es de 1-10 $\mu\text{g/Litro}$ aunque esta estimación también comprende la contaminación producida por el hombre, en cambio en aguas subterráneas el valor está comprendido de 1-60 $\mu\text{g/Litro}$, mientras que en el agua de mar su concentración es de 0.08-0.4 $\mu\text{g/Litro}$, mucho menor que en agua dulce.

3.1.2.4 Aire

La concentración atmosférica de plomo medida en lugares muy alejados de la civilización es de 0.0001 a 0.001 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Los puntos de muestreo de estos estudios estaban principalmente en zonas remotas de los océanos. Según datos geoquímicos se establece que la concentración de plomo en el aire de origen natural es aproximadamente de 0.0006 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ si esta estimación es correcta, cabe pensar que incluso sobre zonas remotas y deshabitadas el aire está contaminado por la actividad humana.

3.1.3 Fuentes industriales de plomo ⁽¹⁵⁾

3.1.3.1 Industria de acumuladores eléctricos (baterías ácido-plomo)

Esta representa la categoría de mayor consumo de plomo. Esta industria utiliza plomo metálico en forma de una aleación de plomo y antimonio, y óxidos de plomo en proporciones aproximadamente iguales. Dentro del proceso de fabricación existen numerosas operaciones peligrosas debido a que produce elevadas concentraciones de plomo en el aire. ⁽¹⁵⁾

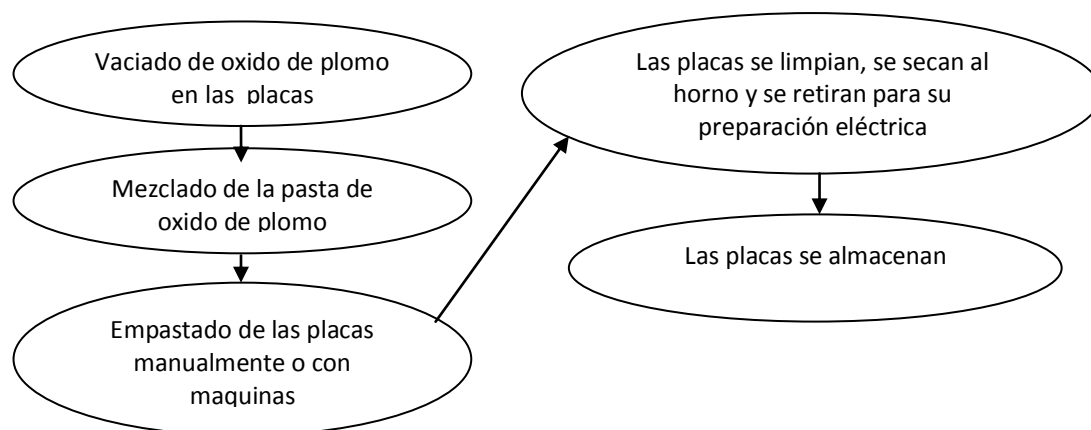


Fig. N° 1 Proceso de fabricación de baterías Acido-Plomo

El esquema anterior representa en una forma resumida, como se da la fabricación de los acumuladores eléctricos, siendo el mayor riesgo para cada unos de los procesos la generación de polvo de oxido de plomo, lo que representa un riesgo para la salud de los obreros, como al igual para los habitantes que viven en sus alrededores.

3.1.3.2 Derivados alquílicos de plomo ⁽¹⁵⁾

El tetraetilo de plomo se distribuyó por primera vez como aditivo del combustible de automóviles en 1923. El tetrametilo de plomo se introdujo en 1960. Estos compuestos en presencia de la luz solar y ozono sufren fotólisis desdoblándose en compuestos dialquilos y trialquilos de plomo originando que al final del proceso se deposite plomo de forma inorgánica al ambiente. Inevitablemente los trabajadores dedicados a su fabricación están expuestos tanto al plomo inorgánico como al plomo alquílico. También se observa cierta exposición en las refinerías de petróleo en las cuales el tetraetilo y el tetrametilo de plomo se combinan con la gasolina.

3.1.3.3 Plomo en pigmentos

La utilización del plomo en pigmentos sintéticos o artificiales ha sido de gran relevancia, pero actualmente están decreciendo en volumen. En su mayoría los pigmentos utilizados son sales, cromatos y silicatos de plomo en donde estos últimos se utilizan para la fabricación de frituras de vidrio y de cerámica, las cuales resultan muy útiles para la introducción de plomo en los acabados del vidrio y de la cerámica. ⁽¹⁾

3.1.4 Toxicidad ⁽¹²⁾

El plomo es considerado como uno de los minerales más tóxicos para el hombre, debido a su difícil eliminación. Las principales vías de absorción del plomo son las gastrointestinales y las respiratorias, y recientes estudios indican que dicho mineral en recién nacidos puede haberse transferido a través de la placenta de la madre al feto, ocasionando el saturnismo a temprana edad, presentando síntomas de encefalitis (convulsiones) debido a la gran sensibilidad en los niños, lo cual ocurre pocas veces en los adultos. La absorción del metal varía con la edad, los adultos absorben un promedio del 10% del plomo que ingieren, mientras que en los niños la cifra puede alcanzar un 40%. Por la inhalación, el grado de absorción cambia de acuerdo a la forma en que el plomo este presente (vapores o partículas), y también con su concentración, por lo tanto se absorben alrededor de 90% de las partículas de plomo inhaladas por el aire del ambiente. Una vez ya absorbido el plomo, cerca del 99% del que fluye por el torrente sanguíneo se liga a la hemoglobina de los eritrocitos. El resto del plomo se distribuye a otros órganos, tales como el cerebro, el riñón, la médula ósea y el hígado, algunos de los cuales se dañan aun con bajos niveles de plomo, convirtiéndolos así en órganos blancos. En un determinado momento, el metal se deposita en los dientes, cabello y se sabe que alrededor de 95% de la carga corporal del metal se ha ubicado en los huesos, y suele ser mayor en los huesos planos que en los largos y este se deposita bajo la forma de fosfato de plomo terciario pero este ya en forma de

sal no contribuye a la toxicidad humana, cabe mencionar que la ingestión o inhalación diaria de 2.5 mg de plomo necesita un aproximado de 4 años para que este se acumule y llegar a valores tóxicos, mientras si se tiene una ingesta diaria de 3.5 mg se requiere de unos cuantos meses, debido a que el depósito en los huesos es demasiado lento como para proteger al organismo durante la acumulación rápida.

3.1.4.1 Tipos de intoxicación

3.1.4.1.1 Intoxicación aguda por plomo

La intoxicación aguda por este metal es relativamente rara, se presenta como consecuencia de la ingestión de compuestos de plomo solubles en ácido o por la inhalación de vapores del mineral. Las primeras manifestaciones de dicha intoxicación incluyen una notable astringencia en la boca, sed y regusto metálico. Después surgen náuseas, dolores abdominales y vómito. A nivel intestinal el excremento suele ser de color negro debido a la presencia de sulfuro de plomo, y a veces hay diarrea o estreñimiento. Entre los síntomas del Sistema Nervioso Central están parestesias, dolor y debilidad muscular. Este metal tiende a dañar los riñones provocando oliguria y cambios en la orina. La persona puede morir en uno o dos días y si logra vivir muy posiblemente puede mostrar los signos y síntomas característicos de la intoxicación crónica.

3.1.4.1.2 Intoxicación crónica por plomo

Cuando aparecen las primeras manifestaciones de la intoxicación crónica (saturnismo o plumbismo), la persona tiene un color mortecino característico,

3.2 Descripción de la zona de estudio ⁽¹⁹⁾

El Cantón Sitio del Niño limita al norte con Cantón Joya de Cerén y Agua Escondida; al sur por cantón Las Delicias, al oeste con Cantón Flor Amarilla (municipio de Ciudad Arce) y al este con Cantón Chanmico.

Fundada en 1950 con el nombre de Finca de Beneficio Proporcional. Después fue cambiado su nombre a Sitio del Niño debido a dos versiones una de carácter religioso porque fueron concedidas las tierras a los pobladores en vísperas de navidad y la otra por el hallazgo arqueológico de un cementerio con cuerpos pequeños parecidos a los de niños, pero sin la seguridad de cual versión prevalece más. Territorio que hoy en día se encuentra dividido bajo el nombre de Cantón Sitio del Niño y Colonia Sitio del Niño, pero la segunda no se encuentra en registro de la alcaldía del municipio de San Juan Opico, por lo que es considerada un anexo o parte de la primera.

Por muchos años la fuente de ingreso de los pobladores se debió a la agricultura (cultivo de caña, maíz y frijol), aunque en la actualidad es considerada como zona industrial, ya que cuenta con varias industrias tales como: Kimberly Clark, textilera DURAFLEX, TROPIGAS El Salvador, entre otras incluyendo la fábrica de baterías RECORD de El Salvador, fabrica en la cual se dejó de laborar el 24 de septiembre de 2007 debido a los problemas de salud que aquejaban a los pobladores de la zona por las emisiones de plomo presentes en el agua, suelo y aire de la zona. (Ver anexo N° 1 y N° 2).

3.3 Descripción de la zona testigo ⁽²⁵⁾

San Ignacio es un municipio de Chalatenango, a una distancia de 87 kilómetros desde San Salvador, tomando la carretera Troncal del Norte, y a 8 kilómetros de la frontera con Honduras, conocida como "El Poy". Limitado hacia el norte-oeste por Citalá y al sur-oeste por Palma (ver anexo N° 3). San Ignacio lleva su nombre en honor a su patrono San Ignacio de Loyola. Sus fiestas patronales se celebran del 23 de julio al 31 del mismo mes. En cuanto a su geografía se puede decir lo siguiente:

- **Altura:** 1010 MSNM
- **Extensión:** 69.15 kilómetros cuadrados.
- **Población:** 16,000 habitantes
- **Clima:** Templado
- **Cantones:** Las Pilas, El Centro, Río Chiquito, El Rosario, Santa Rosa, El Carmen y El Pinar.
- **Ríos:** Río Sumpul, Los Pozos, San Ignacio, Nunuapa, Jupula, Chiquito, El Valle y El Rosario

San Ignacio es parte de la ruta turística en El Salvador por su clima agradable y las montañas que le rodean; sus principales riquezas turísticas son: El Peñón de Cayaguanca, el Cerro El San Ignacio representa unos de los principales puntos de atracción. El Pital situado a 2730 msnm lo cual lo define como el punto más alto en El Salvador y el Cantón Las Pilas donde se encuentran

cultivos de una gran variedad de frutas y hortalizas no vistas en otro punto del país debido a que el clima local es excelente y el indicado para su cultivo.

3.4 Monitoreo de contaminantes atmosféricos ⁽⁷⁾

La contaminación de la atmósfera se produce por residuos o productos secundarios gaseosos, sólidos o líquidos, que pueden poner en peligro la salud de los seres humanos y producir daños en las plantas y los animales, atacar a distintos materiales, reducir la visibilidad o producir olores desagradables.

El monitoreo del aire es el resultado de los procedimientos de muestreo y análisis de los contaminantes atmosféricos. Abarca todas las metodologías diseñadas para muestrear, analizar y procesar en forma continúa las concentraciones de sustancias o contaminantes presentes en el aire en un lugar establecido y durante un tiempo determinado. Es importante mencionar que los factores meteorológicos juegan un papel importante en la determinación del grado de contaminación del aire. Para una emisión dada de contaminantes, la concentración de los mismos puede variar mucho según sean las condiciones meteorológicas imperantes en ese momento, ya que determinan el transporte y dispersión de los contaminantes liberados en la atmósfera y en consecuencia determinan el alcance geográfico de los mismos.

Los métodos utilizados actualmente para la determinación de contaminantes atmosféricos consisten en el empleo de filtros o bombas de vacío que por lo general requieren de personal capacitado para su uso, delimitándose así la

zona o el área a monitorear de forma constante, durante el periodo de muestreo. (4)

3.5 Biomonitorio (7)

Biomonitor (biosensor): Biomonitor es un organismo (parte de un organismo o una comunidad de organismos) que contiene una o más piezas de información sobre los aspectos cualitativos y cuantitativos del medio ambiente (o una parte de éste).

El biomonitorio es una técnica que combina el uso de plantas (usadas como monitores de la contaminación atmosférica) con técnicas analíticas nucleares que permiten determinar los contaminantes.

3.5.1 Tipos de Biomonitores

Estos pueden ser de dos tipos:

- Acumuladores o directos
- Sensitivos o indirectos

En los primeros, resalta su capacidad para captar compuestos químicos y en los segundos, presentan una gran sensibilidad ante los contaminantes cuantificables.

El biomonitorio es una herramienta adecuada para la estimación de los niveles de calidad atmosférica y se utiliza regularmente en muchos países desarrollados. Esta técnica representa una alternativa más accesible por su bajo costo y su posibilidad de generalización a grandes áreas geográficas.

Ofrecen una opción para el diagnóstico y la evaluación del estado de la calidad

del aire de una región geográfica, además que permite inferir sobre los daños a los ecosistemas y a la salud humana. Dicho género además se ajusta a las necesidades del estudio a realizar ya que con ellas se puede llevar a cabo ambos tipos de monitoreo.

3.5.2 Ventajas en su aplicación

- La concentración de polutantes en el Biomonitor es, frecuentemente, mayor cuando aumenta en el sistema que es monitoreado. Esto puede facilitar la exactitud del muestreo y análisis, cuando existen dificultades por otros métodos debido a los muy bajos niveles de contaminantes presentes en la atmósfera, a nivel de trazas
- Abundancia en el área de interés, independientemente de las condiciones locales
- Disponibilidad para muestreo en todas las estaciones
- Tolerancia a los agentes contaminantes en los niveles relevantes
- Respuesta a las concentraciones que se presumen serán monitoreadas
- Acumulación del elemento no influenciada por mecanismos de regulación biológica o efectos sinérgicos
- Ausencia de captación apreciable del elemento o elementos a monitorear de otras fuentes con excepción de la atmósfera;
- Capacidad de captar concentraciones bajas del elemento a monitorear
- Preparación fácil del muestreo y de la muestra;
- Facilidad de registrar las concentraciones adsorbidas por el Biosensor

(mediante la utilización de técnicas analíticas rutinaria (EAA) ⁽⁷⁾

3.5.3 Clasificación de biomonitoreo ⁽⁷⁾

Ciertas especies de plantas parecen ser especialmente adecuadas para indicar contaminación de elementos en el aire, entre ellas las Plantas Herbáceas, de las que varias especies, principalmente epífitas, son indicadoras de acumulación de metales pesados. Al idear un programa de biomonitoreo de la calidad del aire usando plantas, una opción importante consiste en seleccionar entre usar biomonitoreo activo o pasivo:

3.5.3.1 Biomonitoreo Pasivo

Es generalmente más rápido, simple y puede permitir la evaluación de la exposición a largo plazo de la contaminación. Implica la utilización de plantas que se encuentran normalmente en los sitios que se desea monitorear.

3.5.3.2 Biomonitoreo activo

Involucra el traslado de especímenes a los sitios de interés, desarrollándose el estudio en un período de tiempo corto, y generalmente permite que se realicen evaluaciones cuantitativas. Además se conocen el estado y la fisiología genéticos de la planta y los resultados se pueden relacionar confiablemente con la contaminación atmosférica. Sin embargo, el Biomonitoreo de traslado requiere el uso de plantas de control para la comparación. ⁽⁷⁾

3.5.4 Selección de la especie

La sensibilidad y tolerancia de la especie de la planta es fundamental en su elección. Los Biomonitores acumulativos tienden a ser tolerantes a los agentes

contaminantes bajo investigación, mientras que las especies sensibles indican agentes contaminantes del aire, mostrando respuestas reconocibles.

La familia de las Bromeliáceas, en especial el género *Tillandsia*.

3.6 Generalidades del genero *Tillandsias*



Figura N° 3 Imágenes de la especie del genero *Tillandsias*

3.6.1 Etimología

El género *Tillandsia* lo nombró Carlos Linneo en 1738 de tal modo, en honor al médico y botánico finlandés Dr. Elías Tillandz (originalmente Tillander) (1640-1693).

Nombre común

- *Alemán: Tillandsien.*
- *Catalán: clavellinesd'aire, clavellsd'aire o clavells de moro.*
- *Castellano: Tillandsia, claveles de aire, musgo español.*
- *Francés: Tillandsia.*
- *Inglés: Tillandsia, Air plant, Ballmoss, Spanishmoss (este último referido a T. usneoides en particular).*

3.6.2 Descripción y características ⁽²⁴⁾

Las *Tillandsias* son plantas que se nutren por las hojas. Sus requerimientos de agua y nutrientes son mínimos. Todas sus necesidades las obtienen literalmente del aire. Las hojas, están cubiertas por tricomas, células adaptadas que les permiten absorber agua y nutrientes. Las raíces no tienen capacidad de absorción, sólo les sirven para fijarse a un soporte. Las especies de *Tillandsia* son epifitas, es decir en la naturaleza crecen normalmente sobre otras plantas, sin ser parásitos, generalmente en árboles. Pero también hay especies que son Litofita (sobre rocas, techos, líneas de teléfono, etc.). Pocas especies crecen directamente en la tierra. El género se puede dividir entre variedades "verdes" y variedades "grises".

3.6.2.1 *Tillandsias* verdes

Las especies verdes requieren un clima templado-lluvioso y crecen por lo general en la sombra, ya sea en la tierra o sobre árboles. Las variedades verdes carecen de tricomas.

3.6.2.2 *Tillandsias* grises

En contraste, casi todas las especies de *Tillandsias* grises crecen en áreas sub-húmedas o sub-áridas con alta humedad del aire. Prefieren el sol, por lo cual se encuentran en los copas de los árboles o en rocas. Muchas de estas variedades son epifitas. Como plantas que prácticamente carecen de raíces tienen una forma de vida muy peculiar. Su apariencia gris resulta de que sus tallos y hojas están cubiertos por pequeñas escamas (tricomas). Éstos son

pelitos complejos que son generados por la epidermis de las hojas y se mueren de inmediato. Las células muertas de las tricomas se llenan de aire, reflejando la luz, por eso la aparición blanquecina. Entre más blanca es la planta, los tricomas son más grandes. Los tricomas se llenan con agua (absorben la humedad) y dejan ver el tejido verde debajo y la planta puede absorber más luz. En cuanto el sol seca la planta este aparece grisácea. Así los tricomas no sólo sirven para absorber agua, sino también de protección contra el sol y la transpiración. Esto permite a las plantas, sin raíces, absorber gotas de niebla o directamente lluvia para cubrir su necesidad de agua. Los minerales los obtienen de las cantidades pequeñas contenidas en el polvo que lleva el viento, hojas que se caen y materia procedente de los insectos que se disuelven en el agua absorbida.

3.6.3 Reproducción ⁽²⁴⁾

Tillandsias se reproducen como otras bromelias de dos maneras. La primera es la "normal" por polinización y producción de semillas. Las ***Tillandsias*** no se autofecundan y el polen tiene que venir de otra planta de la misma especie. La otra manera es la reproducción de plántulas llamadas "hijuelos". De la planta madre, brotan muchas veces en el tallo. Esto sucede por lo general después de la floración. Una sola planta puede tener varios hijuelos que pueden ser quitados y desarrollados solos por separado o dejados junto con la planta madre, para formar una colonia. ⁽²²⁾

3.6.4 Importancia del genero *Tillandsia* en el estudio a desarrollar ⁽⁴⁾

Debido a su naturaleza atmósfero-epifítica se considera como bioacumuladora, indicadora de los niveles de contaminación ambiental y monitorea de elementos aerotransportados. Los estudios cualitativos del aire han mostrado esas variaciones geográficas en las concentraciones de minerales en las *Tillandsias* relacionándolo con la proximidad de las fuentes de contaminación. Generalmente son las especies vegetales que presentan parámetros medibles en respuesta a la cantidad de metales pesados en el aire. Se trata de una técnica de bajo costo en comparación con otras técnicas de monitoreo de uso común. Se ha llegado a la conclusión de que algunos metales pesados como el níquel, el zinc y el plomo se encuentran en el ambiente a causa de la actividad industrial y al uso de pesticidas en agricultura. Estudios en otros países de América latina determinaron los contenidos de cobre, cobalto, hierro, níquel, manganeso, plomo y zinc acumulados en las plantas mediante espectrometría de absorción atómica y como propósito de este estudio es aplicar dicha técnica a la situación actual y así poder medir el daño causado por la industria en el entorno y por ende a la salud humana.

3.7 Monografía *Tillandsias juncea* ⁽²⁴⁾



Nombre Científico: *Tillandsia juncea*

Nombre común: Clavel del Aire, Gallito

Clase: Monocotiledónea

Familia: Bromelaceas

Género: *Tillandsia*

Fig. N° 4 *Tillandsias juncea*

Dicha especie carece de tallo y tiene una altura promedio de entre 25 a 40 centímetros, aunque algunos especímenes suelen alcanzar los 60 centímetros de altura. Hojas lepidotas (cubierto de tricomas-escamas) de color ferruginoso (óxido de hierro) y de tipo filiforme o filamento. Los tricomas (escamas) son de color gris-azulado. En algunas ocasiones las hojas presentan un llamativo color carmín, provocado por la exposición solar directa intensa y prolongada. El escapo floral es largo y delgado de color carmín, así como las brácteas primarias. La inflorescencia está densamente digitada, es decir, con muchas proyecciones florales laterales. Las proyecciones florales son lanceoladas y ligeramente complanadas. Las brácteas florales son dísticas, lepidotas e imbricadas y varían en color desde el carmín hasta el verde. Las flores son de color morado púrpura. La especie posee numerosas raíces delgadas y filamentosas, mismas que además, crecen rápidamente. Esta especie tiene

hábito epífita, es decir, crece sobre los árboles y se le encuentra en los bosques nubosos, en donde recibe grandes cantidades de humedad y agua por año, por lo que esta especie crece en grandes y densos grupos de plantas.

3.7.1 Ubicación geográfica

Esta especie es de amplia distribución y se localiza desde México hasta Bolivia y las Antillas. En su distribución vertical se localiza entre los 500 y los 2,000 metros sobre el nivel del mar. Aunque también es posible encontrar dicha especie en islas del Caribe tales como Haití y república Dominicana y al norte de Europa específicamente en Alemania. ⁽¹⁸⁾

3.8 Espectrofotometría de absorción atómica ⁽⁸⁾

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

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

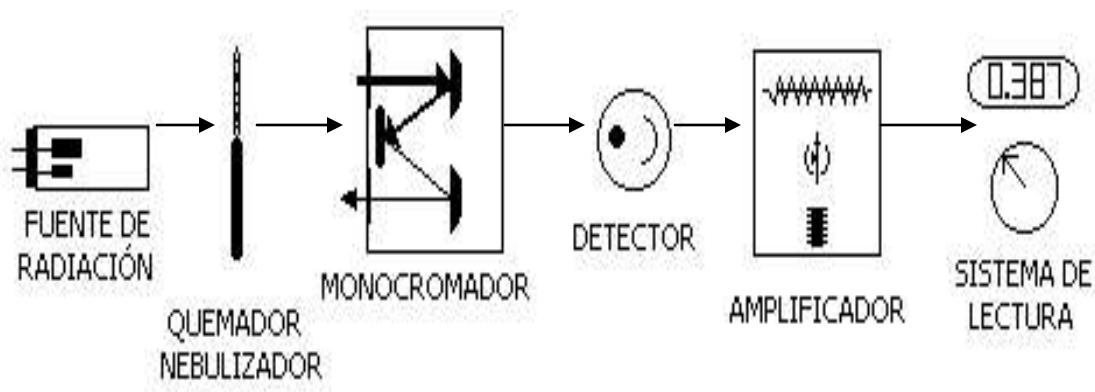


Figura N° 5 Componentes de un Espectrofotómetro de Absorción Atómica.

La EAA es a la fecha, la técnica más ampliamente utilizada para determinar elementos metálicos y metaloides. Esta técnica presenta la ventaja de costo relativamente bajo, pudiéndose aplicar tal técnica a una gran variedad de muestras. (Ver anexo N° 4)

Acoplando el instrumento de Absorción Atómica a un horno de Grafito y a un generador de hidruros se alcanzan límites de detección hasta de partes por billón (ppb), lo cual lo hace indispensable en áreas como son: estudios de contaminación ambiental, análisis de alimentos, análisis de aguas potables y residuales, diagnóstico clínico, etc.

3.8.1 Descripción de la técnica de espectrofotetría de absorción atómica

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

líquido. Las gotas formadas son conducidas a una flama, donde se produce una serie de eventos que originan la formación de átomos. Estos átomos absorben cualitativamente la radiación emitida por la lámpara y la cantidad de radiación absorbida está en función de su concentración.

La radiación una vez que pasa por la flama llega a un monocromador, que tiene como finalidad el discriminar todas las señales que acompañan la línea de interés. Esta señal de radiación electromagnética llega a un detector o transductor y pasa a un amplificador y por último a un sistema de lectura.

CAPITULO IV
DISEÑO METODOLÓGICO

4.0 DISEÑO METODOLÓGICO

4.1 Tipo de estudio: De campo, experimental y prospectivo

De campo: Porque se estudio la presencia o no de plomo en el aire y se verificará el impacto que la contaminación de plomo en el aire ha provocado en la población y en el ambiente de la zona de muestreo.

Experimental: Porque se realizaron procedimientos químicos y analíticos al biosensor, para poder llevar a cabo la determinación de la concentración de plomo atmosférico presente en el lugar del sitio de muestreo.

Prospectivo: Al realizarse el estudio, se marco un precedente para futuras investigaciones con el fin de estandarizar el método para lograr un monitoreo continuo de la zona de muestreo.

4.2 Investigación Bibliográfica

- Biblioteca de la Facultad de Química y Farmacia Dr. Benjamín Orozco de la Universidad de El Salvador.
- Biblioteca de la Facultad de Medicina de la Universidad de El Salvador.
- Biblioteca del Jardín botánico, Plan de La Laguna, Antiguo Cuscatlán.
- Biblioteca de Organización Movimiento sin Plomo, Cantón Sitio del Niño, San Juan Opico, La Libertad.
- Internet

4.3 Investigación de Campo

4.3.1 Universo y Muestra

Universo: especie: *Tillandsia juncea* (gallito), Familia: Bromelaceas, ubicado en el caserío Las Pilas, Municipio de San Ignacio, Departamento de Chalatenango.

Muestra: 21 muestras de *Tillandsias juncea*, de las cuales 3 muestras fueron colocadas en la zona testigo Caserío Las Pilas, Municipio de San Ignacio, Chalatenango (Ver anexo N° 3) y 18 muestras en la zona a monitorear, distribuidas en 6 puntos. Un punto que corresponde a la fábrica de baterías ácido-plomo (fuente generadora de plomo en la zona) y los 5 puntos restantes que se ubicaron, a diferentes distancias con respecto a la fuente generadora de plomo. (Ver anexo N° 1 y N° 2)

4.4 Selección e identificación del biosensor

Se recolectaron las muestras del genero *Tillandsias*, en el caserío las pilas, municipio de San Ignacio, departamento de Chalatenango. Dichas muestras se trasladaron a las instalaciones del Jardín Botánico Plan de La Laguna para sus respectiva identificación encontrándose un solo tipo de especie: *Tillandsia juncea* (gallito).

La cual fue identificada sin dificultad debido a que esta se encontraba en etapa de floración, por lo que se pudo comparar con el espécimen presente en el herbario del Jardín Botánico, además se observaron características propias al microscopio que dicho genero presenta, por lo que se extendió una carta

debidamente certificada de identificación de la especie, por la institución. De dichas muestras se tomaron 21 muestras vegetales para ser utilizadas en la etapa de monitoreo. (Ver anexo N° 5)



Fig. N° 6 Foto de *Tillandsias juncea* recolectada en el Caserío Las Pilas

Metodología de trabajo para la selección del biosensor ⁽¹⁾

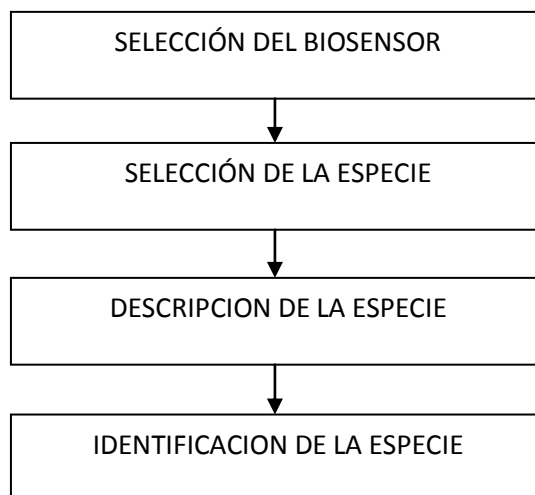


Fig. N° 7 Esquema de trabajo para a selección e identificación del biosensor

4.5 Ubicación de muestras (biosensores)

De las 21 muestras seleccionadas de *Tillandsias juncea*, 3 muestras se dispusieron para ser utilizadas como muestras testigo, las cuales se colocaron en el Caserío Las Pilas, municipio de San Ignacio, departamento de Chalatenango, a una altura de 3 metros.

El estudio se desarrollo en la fábrica de baterías Ácido-Plomo, ubicada en El Cantón Sitio del Niño, Municipio de San Juan Opico, Departamento de La Libertad, allí se colocaron 6 puntos de monitoreo con tres muestras cada punto, ubicados de la siguiente manera:

Punto N°1: Fábrica de baterías ácido-plomo (fuente emisora de plomo)

Punto N°2: A 1.0 Km al norte de la fábrica de baterías ácido-plomo

Punto N°3: A 5.0 Km al norte de la fábrica de baterías ácido-plomo

Punto N°4: A 100.0 mts al sur de la fábrica de baterías ácido-plomo

Punto N°5: A 500.0 mts al sur de la fábrica de baterías ácido-plomo

Punto N°6: A 1.0 Km al sur de la fábrica de baterías ácido-plomo

Punto N°7: Zona testigo Caserío Las Pilas, Municipio de San Ignacio, Chalatenango

En cada uno de los puntos se colocaron los biosensores a una altura de 3 mts con la finalidad de dar al biosensor las condiciones iniciales en las que fue encontrado.

Los biosensores se colocaron fijados a troncos con hilo nylon y alambre de acero inoxidable en forma de canasta, a una altura de 3 metros con la finalidad

de darle al biosensor las condiciones necesarias para su desarrollo, por un período de 3 meses (Ver Anexo N° 9) según lo indica la Norma Salvadoreña Oficial N° 13.11.01:01 Calidad del aire ambiental inmisiones atmosféricas.



Fig. N° 8 Colocación de biosensor en soportes.

4.5.1 Metodología de selección de la zona testigo y zona de estudio ⁽¹⁾

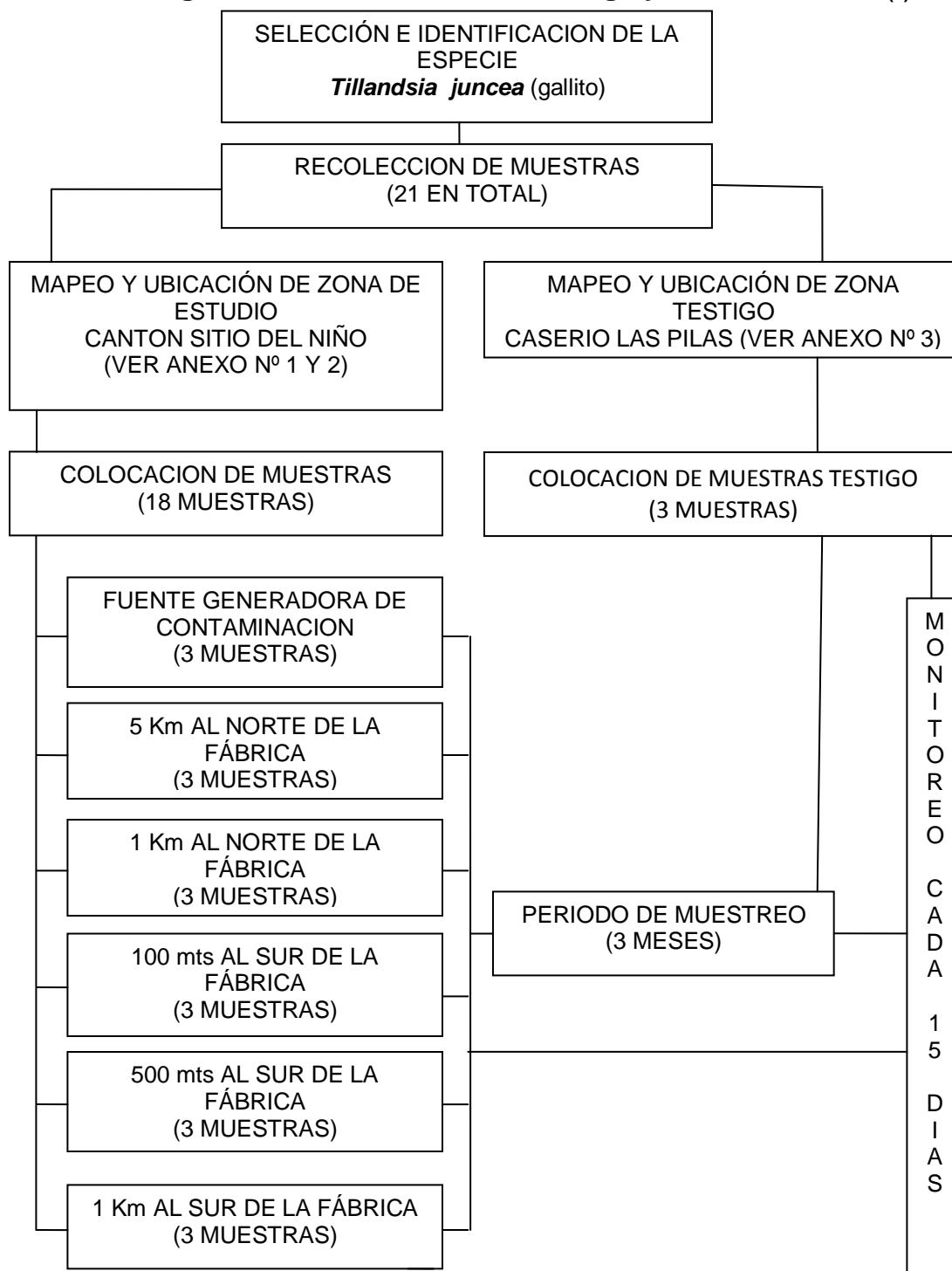


Fig. N° 9 Esquema de trabajo en zona testigo y zona de estudio

Luego de finalizado el periodo de muestreo, se retiraron las muestras en bolsas herméticas de la zona testigo (caserío Las Pilas, Municipio de San Ignacio, Departamento de Chalatenango), y la zona de muestreo (Cantón Sitio del Niño, Municipio de San Juan Opico, Departamento de La Libertad), fueron llevadas al laboratorio de la Facultad de Química y Farmacia, Universidad de El Salvador para su tratamiento y correspondiente análisis.

4.6 Tratamiento de las muestras de biosensores después de los tres meses de monitoreo ^(1, 2)

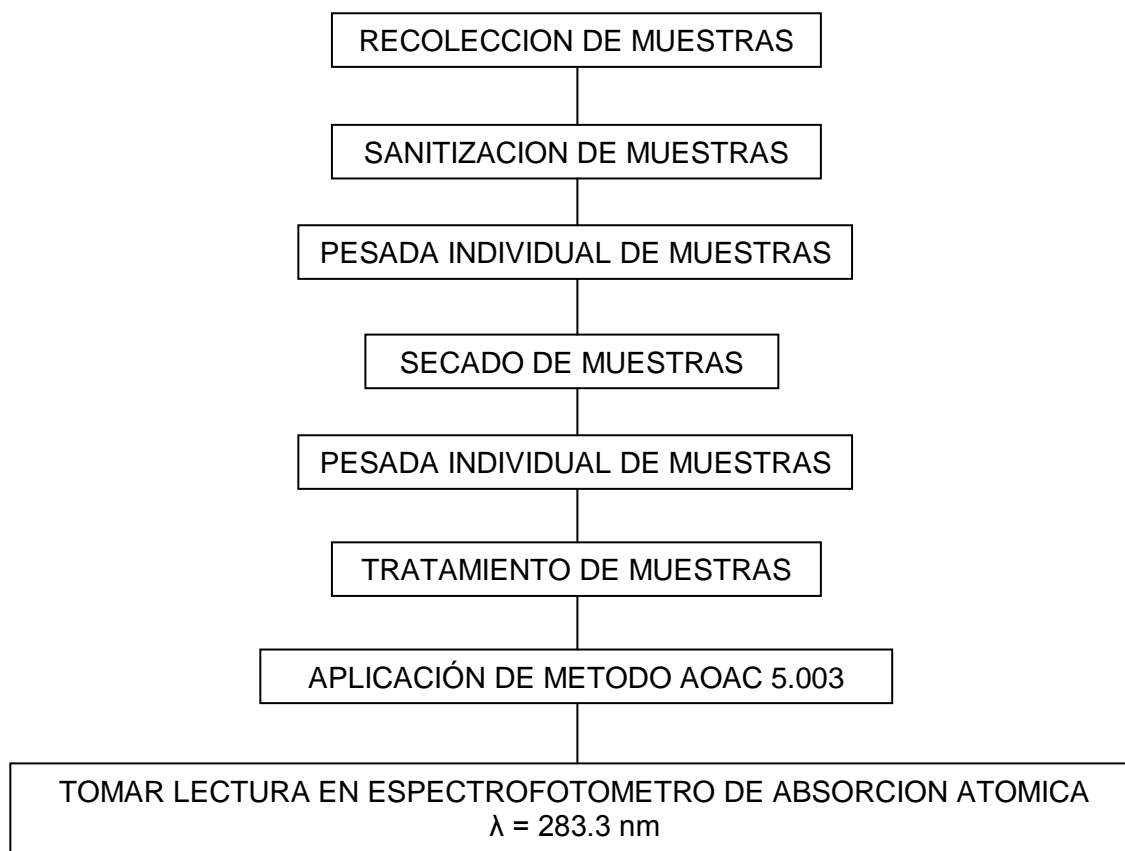


Fig. N° 10 Esquema de recolección y tratamiento de muestras y aplicación del Método AOAC 5.003 modificado para el tratamiento de material vegetal.

4.7 Tratamiento de las muestras (1, 2)

Una vez recolectadas las 21 muestras de *Tillandsias juncea*, se procedió de la siguiente manera:

1. Lavar y sanitizar con agua destilada para eliminar residuos y suciedad. Luego, proceder a deshojar cada planta.
2. Pesar individualmente cada muestra (Ver anexo N°6)
3. Colocar las muestras deshojadas en hojas de papel periódico (papel empaque) debidamente rotuladas (con el nombre del lugar del punto de muestreo y fecha de recolección). Dejar secar a temperatura ambiente para que pierdan humedad.
4. Tomar el peso individual de cada planta después de secada (Ver anexo N°7).
5. Triturar individualmente cada planta con la ayuda de un mortero y pistilo para obtener fragmentos pequeños y homogéneos.

4.8 Extracción del plomo de las muestras por método de análisis AOAC 5.003 adaptado a tejido vegetal. (1, 2)

Procedimiento de tratamiento para cada planta:

1. Pesar en balanza analítica 0.6 g de muestra, y transferir a un tubo de ignición. Adicionar 5 mL de ácido nítrico concentrado y agregar 2 perlas de ebullición a cada tubo.
2. Realizar el procedimiento anterior con las 20 muestras restantes. Colocar los tubos en Baño María, sostenidos con pinzas de extensión, para que estos no reciban calor en forma directa (para evitar pérdidas de las muestras por

alguna reacción violenta).

3. Digerir por 3 horas hasta condensación de vapores manteniendo la temperatura de 100 °C (como punto crítico, verificar que el contenido del tubo esté dentro del nivel del agua).
4. Enfriar cada solución manteniéndola a una temperatura de 60 °C \pm 1. Dejar reposar por media hora para que sedimenten los residuos de la planta.
5. Filtrar las soluciones de cada tubo utilizando un embudo Goosh 30 C (se debe de lavar en cada muestra con Acido Sulfúrico 3.0 N, Acido Clorhídrico 3.0 N y abundante agua destilada para evitar contaminación. Se realizan 4 lavados más, utilizando agua destilada).
6. Filtrar nuevamente en embudo Buchner, con papel Watman, realizando 2 lavados de 5 mL cada uno con agua destilada.
7. Transferir a un balón volumétrico de 25 mL y aforar con agua destilada. (Ver anexo N° 8).
8. Realizar las lecturas de las soluciones por Espectrofotometría de Absorción Atómica a una $\lambda = 283.3$ nm.

4.9 Método de análisis por espectrofotometría de absorción atómica

Se empleó el método de espectrofotometría de absorción atómica para cuantificar el plomo extraído de las muestras vegetales y posteriormente se comparó con el límite establecido en la Norma Salvadoreña Oficial N° 13.11.01:01 (ver anexo N° 9) “Calidad del aire ambiental inmisiones atmosféricas”

4.10 Preparación de estándares para calibración de equipo de absorción atómica (PROCAFÉ)

Partiendo de una solución de plomo de acuerdo a la metodología de PROCAFÉ (preparado a partir del estándar Nitrato de plomo utilizando como solvente Ácido Nítrico. (Ver anexo N° 10), se prepararon una serie de estándares de 0 (blanco), 0.5, 1.0 ppm, en un volumen de 100.0 mL para la curva de calibración. Y posteriormente, se tomaron las lecturas de las muestras, (La preparación de estándares la realizaron según sus propias especificaciones en el laboratorio de análisis PROCAFÉ).

4.11 Lectura de estándares y muestras

La preparación de estándares se realizó para poder calibrar el equipo, y se utilizó un equipo de Absorción Atómica a una longitud de onda de $\lambda = 283.3$ nm. Luego de calibrado el equipo, se procedió a realizar las lecturas de las muestras.

Nota: la lectura de estándares y las muestras se realizaron en el Laboratorio de Análisis PROCAFÉ de acuerdo a las especificaciones del manual del equipo, a una longitud de onda de 283.3 nm (ver anexo N° 10)

4.12 Selección de método estadístico ⁽¹⁴⁾

El método estadístico utilizado fue el de ANOVA (Análisis de Varianza), la cual es una prueba semejante a la de t de Student en cuanto a la práctica, en donde, la comparación entre grupos de muestras no es a través de la media ni de su desviación típica; sino a través de la Varianza. Por tanto, el análisis de varianza, se utiliza para corroborar si la significación de diferencias o variaciones entre

medias de dos o más grupos, son o no debidas al azar.

4.12.1 Tamaño de muestras

El objetivo de aplicar el método estadístico ANOVA, es el de comprobar si existe o no una diferencia significativa entre los niveles medios de plomo absorbidos por el biosensor vegetal testigo y los puntos de muestreo. Para ello se estimó que el número de muestras a elegir para tomar lectura corresponde, al total de muestras en cada punto de muestreo.

4.12.2 Formulación de hipótesis

4.12.2.1 Hipótesis nula (H_0):

$$H_0: \mu_1 \geq \mu_2$$

Si el nivel medio de plomo absorbido por el biosensor en cada punto de muestreo de la fábrica ácido-plomo es igual o mayor al nivel medio de plomo absorbido por el biosensor testigo.

4.12.2.2 Hipótesis alternativa (H_1)

$$H_1: \mu_1 < \mu_2$$

Si el nivel medio de plomo absorbido por el biosensor en cada punto de muestreo de la fábrica ácido-plomo es menor que el nivel medio de plomo absorbido por el biosensor testigo.

Donde:

μ_1 : Punto de muestreo

μ_2 : Grupo que representa las muestras en la fábrica de baterías ácido-plomo

Hay un tercer valor promedio (μ_3), el cual representara el nivel medio de plomo absorbido por las plantas testigo, para comparar y verificar que el biosensor vegetal cumple con la función designada (captar minerales presentes en el aire).

4.12.3 Planteamiento de las zonas de aceptación y rechazo de hipótesis nula

De acuerdo al tamaño de muestra $n = 3$ se tomó como nivel de significación y de confianza los siguientes valores:

Nivel de Significación (α): 0.05

Nivel de Confianza: 0.95

Para determinar si las diferencia entre los niveles de plomo adsorbidos por el biosensor son o no significativos en cada punto de muestreo al nivel 0.05, se comparo $F_{(prueba) \text{ promedio}}$ con $F_{Crítica}$ de tablas, es decir $F_{0.05}$, para obtener ese valor crítico se procedió de la siguiente manera:

Determinando los grados de libertad de la siguiente manera::

$$\text{Grados horizontales} = K - 1$$

$$\text{Grados horizontales} = 6 - 1 = 5 \text{ Horizontales}$$

$$\text{Grados verticales} = K (n - 1)$$

$$\text{Grados verticales} = 6(3 - 1) = 12 \text{ Verticales}$$

En donde:

K = número de grupos = 6; **n** = tamaño de la muestra = 3

4.12.4 Determinación de $F_{Crítica}$

Obtenido el valor de los grados de libertad se procede a buscar $F_{Crítica}$ haciendo

uso de la tabla Puntos de porcentaje de la distribución F (ver anexo N° 11). En donde el valor a tabular para un nivel de significación de 0.05 es $F_{Crítica} = 3.11$

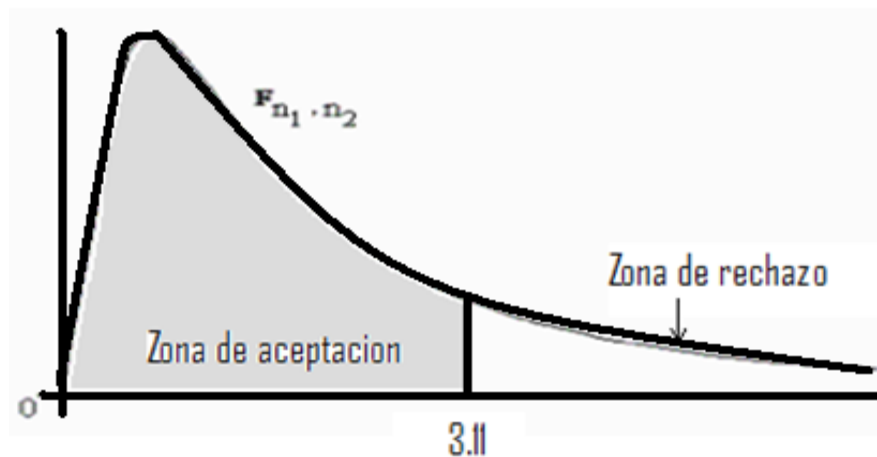


Fig. N° 11 Grafica de límite de aceptación y rechazo de H_0

4.12.5 Determinación de F_{Prueba}

Se procedió a calcular la F_{Prueba} de acuerdo a las siguientes formulas

Varianza intra-muestras (S_w^2)

$$S_w^2 = \frac{s_1^2 + s_2^2 + \dots + s_k^2}{K} \quad \text{Ec. N° 1}$$

Media de la población

$$\hat{\mu} = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \dots + \bar{X}_K}{K} \quad \text{Ec. N° 2}$$

Varianza de los valores medios de la muestras

$$S_{\bar{X}}^2 = \frac{\sum(\bar{X}_i - \hat{\mu})^2}{K-1} \quad \text{Ec. N}^\circ 3$$

Varianza inter-muestras (S_b^2)

$$S_b^2 = (n) \cdot S_{\bar{X}}^2 \quad \text{Ec. N}^\circ 4$$

Por cociente de la Varianza inter-muestras (S_b^2) entre la Varianza intra-muestras (S_w^2) se obtiene la razón F ó $F_{\text{de prueba}}$

$$F_{\text{prueba}} = \frac{\text{varianza inter-muestras}}{\text{varianza intra-muestras}} \quad \text{Ec. N}^\circ 5$$

CAPITULO V
RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.0 RESULTADOS Y DISCUSION DE RESULTADOS

5.1 Selección e identificación del Biosensor

El género *Tillandsia* se seleccionó para este tipo de estudio y se fundamentó, en las características, cualidades y ventajas que este biosensor posee.

Los criterios tomados para la selección de esta especie fueron los que a continuación se detallan:

- De acuerdo a la investigación bibliográfica, esta especie es considerada como un excelente indicador y recolector de contaminantes de metales pesados (plomo) que se encuentran en la atmosfera. Por tanto, ella puede acumular cualquier tipo de contaminante ambiental. (7)
- El género *Tillandsia* se caracteriza por ser un tipo de planta epifita; es decir, que ella es capaz de tomar los nutrientes que se encuentran en el aire para su desarrollo. (21)
- Es una especie que puede ser fácilmente identificada botánicamente, debido a que presenta características muy particulares.
- Se encuentra ampliamente distribuida y en abundancia en la zona testigo y en la zona en la que se llevó a cabo el estudio.
- Se reproduce continuamente, lo que favorece que se encuentre disponible durante todo el año.
- El tipo de biomonitorio empleado en la investigación es de tipo activo. El cual permite, determinar la contaminación por plomo en la atmosfera a corto plazo (en un período de tres meses) (3, 7)

De acuerdo a los criterios mencionados anteriormente, se seleccionó la especie de ***Tillandsia juncea*** ⁽²⁴⁾. Hay que destacar que se le conoce extensamente, como una especie ideal indicadora de contaminación atmosférica, así como las demás especies del mismo género, han sido utilizadas en países de sur América y en El Salvador ^(1, 3, 4 y 7)

Clasificación científica de ***Tillandsia juncea***:

Nombre científico: ***Tillandsia juncea***

Reino: Plantae

División: Angiosperma

Clase: Monocotiledóneas

Orden: Bromeliales

Familia: Bromeleaceas

Género: ***Tillandsia***

Especie: ***juncea***



Fig. N° 12 ***Tillandsia juncea***
en floración

Nombre común: Clavel del aire, Gallito (conocida en El Salvador)

Las especies de ***Tillandsia***, se caracterizan por ser epifitas ⁽²²⁾, es decir, que en la naturaleza crecen en condiciones normales sobre otras plantas, sin ser parásitos, generalmente estas crecen en los árboles, en rocas o en acantilados. Se alimentan del aire a través de unas estructuras llamadas tricomas. La floración de esta especie es abundante y constante y puede prolongarse a lo largo de muchos meses (Ver identificación de ***Tillandsia juncea*** en Anexo N° 5)

Este municipio es conocido por ser una zona de muy bajos niveles de contaminación ambiental, por tanto se eligió para la recolección y ubicación de las muestras testigo. El Caserío Las Pilas un área entre San Ignacio y la frontera El Poy, Departamento de Chalatenango, es una zona de bajos niveles de contaminación ambiental considerada como una zona protegida y conservada como área natural y tiene una altitud de 1010 metros sobre el nivel del mar. Se caracteriza por tener bosques nebulosos, montañas que le rodean y muchos pinares.

En este lugar, los niveles de concentración de elementos tóxicos, en particular el Plomo, son bajos por existir una muy significativa área verde, boscosa por ser calificada como una de las más importantes reservas naturales en el país. Se seleccionó como zona testigo por considerarse como un lugar de bajos niveles de contaminación por plomo, el sitio idóneo para la recolección de las 21 muestras de *Tillandsia juncea*, de las cuales, tres se ubicaron en la misma zona de recolección (muestras testigo) y 18 se trasladaron a la zona de estudio.

5.3 Selección de la Zona de Estudio ⁽¹⁹⁾

El Cantón Sitio del Niño limita al norte con Cantón Joya de Cerén y Agua Escondida, al sur por Cantón Las Delicias, al oeste con el Cantón Flor Amarilla (Municipio de Ciudad Arce) y al este por el Cantón Chanmico.

Se seleccionó el Cantón Sitio del Niño, Municipio de San Juan Opico, zona donde se encuentra ubicada una fábrica de baterías ácido-plomo, por investigaciones previas se presume que en este lugar, existe una fuente de

contaminación ambiental por el Plomo utilizado en la fabricación de baterías, la cual actualmente se encuentra cerrada pero sigue generando contaminación, ya que todo el material utilizado para la fabricación de las baterías se encuentran expuestas a todo tipo de condición climática (aire, sol, lluvia, etc.).

Por muchos años la fuente de ingreso de los pobladores se debió a la agricultura (cultivo de caña, maíz y frijol), aunque en la actualidad es considerada como una zona industrial, ya que cuenta con muchas industrias tales como: Kimberly Clark, textilera DURAFLEX, TROPIGAS de El Salvador, entre otras incluyendo la Fábrica de baterías RECORD de El Salvador, fábrica que dejó de producir el 25 de septiembre de 2007, debido a los problemas de salud que aquejaban a los pobladores de la zona por las emisiones de plomo, presentes en el suelo, agua y aire de la zona.



Fig. N° 14 Mapa del Departamento de La Libertad, municipio de San Juan Opico (sitio de estudio)

5.3.1 Mapeo de Sitios de Muestreo

En la zona de muestreo, se designaron seis puntos de estudio. Se partió, desde la fuente emisora de contaminación por Plomo (Fábrica de Baterías Ácido-Plomo), en el Cantón Sitio del Niño, Municipio de San Juan Opico, buscando la dirección de los vientos de norte a sur. En cada punto de estudio se colocaron tres biosensores, obteniendo así 18 muestras. Y tres biosensores que se ubicaron en la zona testigo, para posterior comparación con los biosensores en estudio, haciendo un total de 21 muestras.

A continuación en la figura N° 15 (pág. N° 72) se ilustra en el mapa la ubicación de los puntos de la zona en estudio.

5.3.2 Ubicación de los puntos de muestreo

Punto N°1: Fábrica de baterías ácido-plomo (fuente emisora de plomo)

Punto N°2: A 1.0 Km al norte de la fábrica de baterías ácido-plomo

Punto N°3: A 5.0 Km al norte de la fábrica de baterías ácido-plomo

Punto N°4: A 100.0 mts al sur de la fábrica de baterías ácido-plomo

Punto N°5: A 500.0 mts al sur de la fábrica de baterías ácido-plomo

Punto N°6: A 1.0 Km al sur de la fábrica de baterías ácido-plomo

Punto N°7: Zona testigo: Caserío Las Pilas, Municipio de San Ignacio, Departamento de Chalatenango

Ubicándose cada punto de muestreo del Cantón Sitio del Niño de la siguiente manera:

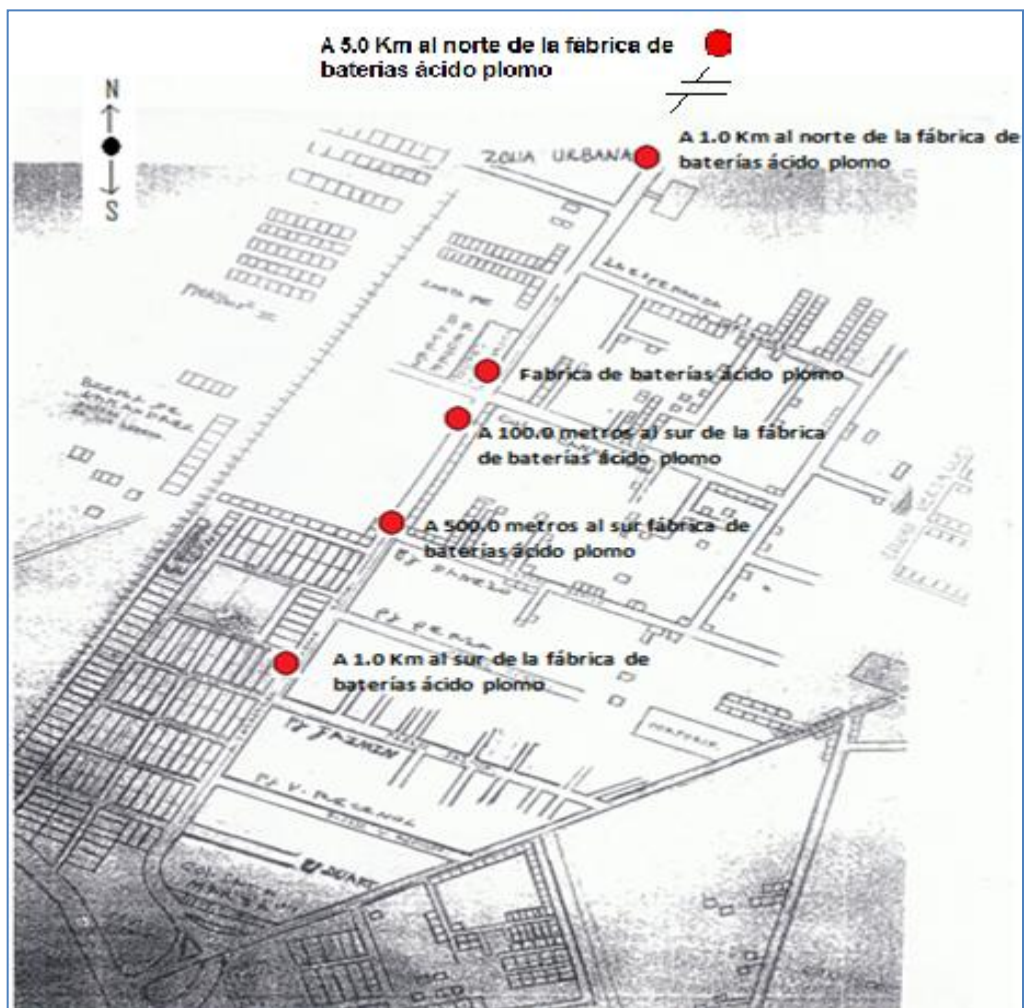


Fig. N° 15 Ubicación de puntos de muestreo en la Zona Urbana del Cantón Sitio del Niño, Municipio de San Juan Opico, Departamento de La Libertad.

5.3.3 Descripción de los puntos de muestreo

Punto de muestreo N° 1, representa una posible fuente de contaminación porque la fábrica de baterías ácido-plomo, aun tiene materiales sin el debido almacenaje y tratamiento para su posterior destrucción.

Los puntos de muestreo 2 y 3, se colocaron a 1.0 Km y 5.0 Km de distancia “respectivamente” al norte de la fábrica de baterías ácido-plomo con el propósito de conocer si existe la posibilidad que el plomo proveniente de dicha fabrica este contaminando sus alrededores según la dirección de los vientos en el país.

Puntos de muestreo N° 4, 5 y 6, se colocaron a 100.0 mts, 500 mts y 1.0 Km de distancia “respectivamente” al sur de la fábrica de baterías ácido-plomo con el propósito de conocer si existe la posibilidad que el plomo proveniente de dicha fabrica este contaminando sus alrededores según la dirección de los vientos en el país.

Punto de muestreo N° 7 es considerado como muestra testigo, por ser una zona con menor contaminación que cualquier otra en el país (ubicada en el Caserío las pilas, Municipio de San Ignacio, Chalatenango).

5.4 Muestreo

El muestreo experimental y sistematizado se baso, en las especificaciones dictadas por la Norma Salvadoreña Oficial 13.11.01:01 Calidad del aire ambiental inmisiones atmosféricas (Ver anexo N° 9). En la que establece dos limites de inmisión de $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de plomo para un periodo de muestreo anual y $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de plomo; para un periodo de muestreo trimestral.

El limite utilizado para la determinación de plomo en la zona de estudio (Cantón Sitio del Niño, Municipio de San Juan Opico, Departamento de La Libertad) fue de $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de plomo (trimestral, del 30 de Mayo al 30 de Agosto de 2009).

El estudio se realizó en época de invierno, considerando todo el material que se encontraba en la intemperie el cual es corroído por la acción del agua lluvia y posterior a esto dichos residuos fuesen transportados por la acción del viento a zonas más lejanas de la posible fuente de contaminación (Fabrica de Baterías Ácido-Plomo).



Fig. N° 16 Miembros de la Organización Movimiento Sin Plomo

5.4.1 Recolección de muestras y cuantificación de plomo absorbido por el biosensor vegetal *Tillandsia juncea* mediante Espectrofotometría de Absorción Atómica EAA

Al Finalizar los tres meses de estudio, las muestras se recolectaron y trasportaron en bolsas herméticas. Se les realizó un tratamiento previo de secado para eliminar residuos de agua y posteriormente fueron tratadas por el método AOAC 5.003 adaptado a material vegetal (1, 2). Y así cuantificar la cantidad de plomo que absorbió el biosensor vegetal tanto de la zona de estudio como de la zona testigo a través del método de análisis de Espectrofotometría de Absorción Atómica en la cual se preparó un blanco y una serie de estándares de 0.5 y 1.0 ppm para la calibración del equipo, se realizaron las lecturas a una longitud de onda (λ) de 283.3 nm.

Tabla N° 1 Concentraciones de los diferentes estándares y su respectiva lectura a una longitud de onda de 283.3 nm (Ver anexo N° 12)

Concentración de los estándares ppm	Lectura de absorción ($\lambda = 283.3$)
Blanco	0
0.5	0.005
1.0	0.010

Curva de calibración

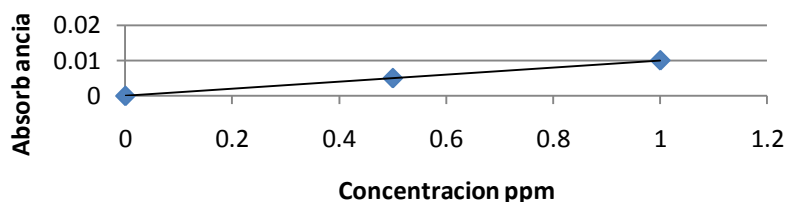


Fig. N° 17 Gráfica de absorbancia de los diferentes estándares para la calibración del equipo Espectrofotometría de Absorción atómica.

5.4.2 Lectura de plomo

Las concentraciones de las muestras analizadas se expresan en unidades de microgramos por mililitro ($\mu\text{g}/\text{mL}$) en el cuadro N° 1

Cuadro N° 1. Lectura de plomo obtenidas ppm ($\mu\text{g}/\text{mL}$). (Ver anexo N° 12)

Identificación de la muestra	Lectura de plomo ppm ($\mu\text{g} / \text{mL}$)
Mx1 Fuente emisora	0.68
Mx2 Fuente emisora	0.75
Mx3 Fuente emisora	0.76
Mx1 a 1 km norte	0.28
Mx2 a 1 Km norte	0.29
Mx3 a 1 Km norte	0.31
Mx1 a 5 Km norte	0.22
Mx2 a 5 km norte	0.19
Mx3 a 5 Km norte	0.25
Mx1 a 100 mts sur	0.38
Mx2 a 100 mts sur	0.54
Mx3 a 100 mts sur	0.56
Mx1 a 500 mts sur	0.33
Mx2 a 500 mts sur	0.36
Mx3 a 500 mts sur	0.29
Mx1 a 1 Km sur	0.12
Mx2 a 1 Km sur	0.26
Mx3 a 1 km sur	0.29
Mx1 testigo	0.10
Mx2 testigo	0.09
Mx3 testigo	0.08

5.4.3 Conversión de unidades de concentración de las muestras de P/V a P/P

Como se visualiza en el cuadro N° 1 los resultados obtenidos de la concentración de las muestras están expresadas en $\mu\text{g}/\text{mL}$ debido a que la Norma Salvadoreña Oficia 13.11.01:01 01 Calidad del aire ambiental inmisiones atmosféricas, establece un sistema de unidades expresadas en $\mu\text{g} / \text{m}^3$, se

deben realizar las conversiones necesarias para poder compararlas con las unidades utilizadas en la norma. (Ver anexo N° 13)

Ejemplo de cálculo:

Mx1 testigo 0.10 µg / mL ó mg / L

$$\text{ppm de Pb} = \frac{\text{Lectura de CMx} \cdot \text{Volumen inicial}}{\text{Peso de Mx}} \quad \text{Ec. N° 6}$$

Sustituyendo la fórmula para la muestra 1 testigo se obtiene:

$$\text{ppm de Pb} = \frac{(0.10 \text{ µg / mL})(25.0 \text{ mL})}{0.60 \text{ g}}$$

Eliminando unidades se obtiene

$$\text{ppm de Pb} = 4.16 \text{ µg / g}$$

Se realizó el mismo cálculo para cada una de las muestras obteniéndose los resultados en el cuadro N° 2

Cuadro N° 2: conversión de lecturas de las muestras analizadas de ppm a peso/peso ($\mu\text{g} / \text{g}$) de los diferentes puntos de muestreo.

Identificación de la muestra	Lectura de plomo ($\mu\text{g} / \text{g}$)
Mx1 Fuente emisora	28.33
Mx2 Fuente emisora	31.25
Mx3 Fuente emisora	31.67
Mx1 a 1 km norte	11.66
Mx2 a 1 Km norte	12.08
Mx3 a 1 Km norte	12.92
Mx1 a 5 Km norte	9.16
Mx2 a 5 km norte	7.92
Mx3 a 5 Km norte	10.41
Mx1 a 100 mts sur	15.83
Mx2 a 100 mts sur	22.50
Mx3 a 100 mts sur	23.33
Mx1 a 500 mts sur	13.75
Mx2 a 500 mts sur	15.00
Mx3 a 500 mts sur	12.08
Mx1 a 1 Km sur	5.00
Mx2 a 1 Km sur	10.83
Mx3 a 1 km sur	12.08
Mx1 testigo	4.16
Mx2 testigo	3.75
Mx3 testigo	3.33

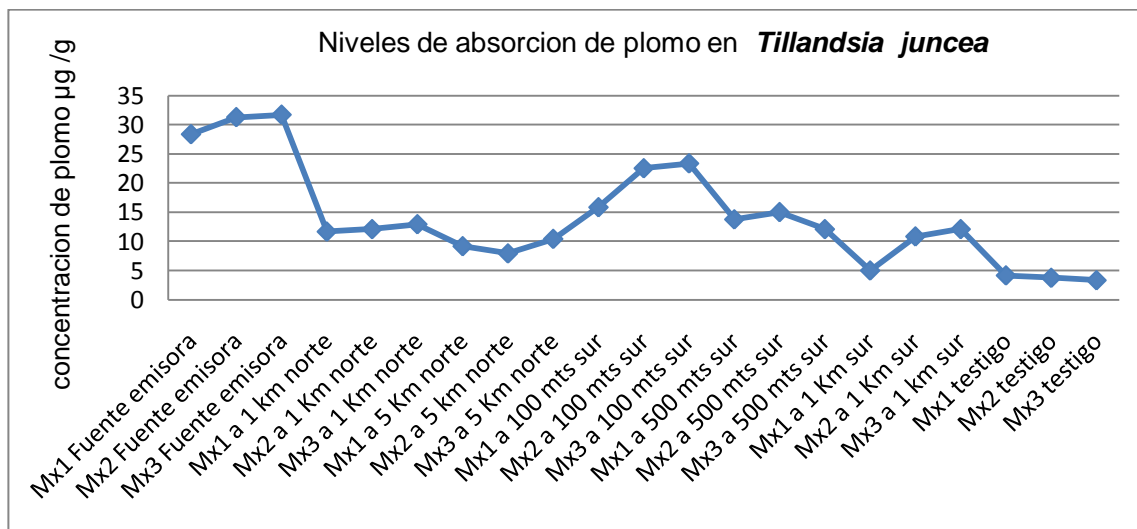


Fig. N° 18 Gráfica de los niveles de absorción de plomo en $\mu\text{g} / \text{g}$ de las muestras de *Tillandsia juncea* en los diferentes puntos de muestreo.

En la figura N° 13 se observa que la planta testigo 1, 2 y 3 ubicadas en el Caserío Las Pilas, Municipio de San Ignacio, Departamento de Chalatenango reportaron una acumulación de plomo de 4.16, 3.75 y 3.33 $\mu\text{g/g}$ respectivamente presentando los niveles más bajos de plomo, comparados con las muestras expuestas en la zona de contaminación (Cantón Sitio del Niño, Municipio de San Juan Opico, Departamento de La Libertad, obteniéndose, un incremento en la concentración de plomo en el biosensor vegetal *Tillandsia juncea* con una lectura mínima de 5.0 $\mu\text{g/g}$ y una máxima de 31.67 $\mu\text{g/g}$.

Estos datos evidencian los cambios de la concentración de plomo en los diferentes puntos de muestreo siendo más altos en las muestras que representan la fuente emisora de plomo en la zona de estudio (Fabrica de baterías ácido-plomo).

Una vez obtenidas las unidades P/P ($\mu\text{g/g}$), se procedió a convertir las unidades a microgramos/metro cúbico ($\mu\text{g/m}^3$) (Ver anexo N° 13), y así comparar con la Norma Salvadoreña Oficial (NSO) 13.11.01:01 01Calidad del aire ambiental inmisiones atmosféricas mediante la siguiente ecuación.

$$\mu\text{g}/\text{m}^3 = \frac{\text{ppm} * \text{Peso Molecular} * P}{R * T * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}}} \quad \text{Ec. N° 7}$$

Donde:

P = Presión atmosférica en atm

T = Temperatura en °K

$$R = 0.08208 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

En condiciones estándar: P = 1 atm, T = 298 °K, el valor de R es una constante; sustituyendo en ecuación N° 7 la lectura de la muestra testigo.

$$\mu\text{g} / \text{m}^3 = \frac{4.16 \text{ Ppm} * 207.2 \text{ g/mol} * 1 \text{ atm}}{0.08208 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{°K}} * 298 \text{ °K} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}}}$$

$$\mu\text{g} / \text{m}^3 = 35181.71$$

Aplicando la fórmula para cada punto se obtiene los siguientes valores.

Cuadro N° 3: Lectura de plomo en microgramos por metro cubico ($\mu\text{g} / \text{m}^3$)

Identificación de la muestra	Lectura de plomo ($\mu\text{g} / \text{m}^3$)
Mx1 Fuente emisora	239590.8571
Mx2 Fuente emisora	264285.7143
Mx3 Fuente emisora	267837.7143
Mx1 a 1 km norte	98610.2857
Mx2 a 1 Km norte	102162.2857
Mx3 a 1 Km norte	109266.2857
Mx1 a 5 Km norte	77467.2857
Mx2 a 5 km norte	66980.5714
Mx3 a 5 Km norte	88038.8571
Mx1 a 100 mts sur	133876.5714
Mx2 a 100 mts sur	190285.7143
Mx3 a 100 mts sur	197305.1429
Mx1 a 500 mts sur	116285.7143
Mx2 a 500 mts sur	126857.1429
Mx3 a 500 mts sur	102162.2857
Mx1 a 1 Km sur	42285.7142
Mx2 a 1 Km sur	91590.8571
Mx3 a 1 km sur	102162.2857
Mx1 testigo	35181.7142
Mx2 testigo	31714.2857
Mx3 testigo	28162.2857

Los resultados obtenidos de los cálculos de Plomo en ($\mu\text{g} / \text{m}^3$) del cuadro N° 3 nos permite evidenciar valores aparentes del nivel de concentración de plomo en el biosensor vegetal, por lo que deben de ser corregidos por un Factor de Acumulación de Aire con sus siglas en ingles AAF; con el objetivo de estimar y conocer el valor real de la cantidad retenida de partículas de Plomo de la atmosfera por *Tillandsia juncea*, y así obtener los valores reales de Plomo acumulados en el biosensor vegetal.

La ecuación a utilizar se plantea de la siguiente manera. (3,7)

$$AAF^* = \frac{PAc \frac{mg}{g} \text{ peso seco}}{CA \frac{mg}{m^3}} \quad \text{Ec. N° 8}$$

Donde:

PAc = Contribución atmosférica de metales en plantas

CA = Concentración del metal en la atmósfera

AAF* = Valor de acumulación adimensional de 48493.9431, determinado mediante estudios en especies de *Tillandsias* a nivel mundial.

$$CA = \frac{PAc}{AAF^*}$$

$$CA = \frac{35181.7142}{48493.9431}$$

$$CA = 0.7255$$

Sustituyendo el valor de cada punto de muestreo en la ecuación N° 8, se obtuvieron los valores del cuadro N° 4

Cuadro N° 4: Valores para cada muestra en microgramos por metro cubico ($\mu\text{g} / \text{m}^3$) corregidos mediante AAF (Ver anexo N° 13)

Identificación de la muestra	PAC ($\mu\text{g} / \text{m}^3$)	PAC / AAF*
Mx1 Fuente emisora	239590.8571	4.94
Mx2 Fuente emisora	264285.7143	5.45
Mx3 Fuente emisora	267837.7143	5.52
Mx1 a 1 km norte	98610.2857	2.03
Mx2 a 1 Km norte	102162.2857	2.11
Mx3 a 1 Km norte	109266.2857	2.25
Mx1 a 5 Km norte	77467.2857	1.60
Mx2 a 5 km norte	66980.5714	1.38
Mx3 a 5 Km norte	88038.8571	1.82
Mx1 a 100 mts sur	133876.5714	2.76
Mx2 a 100 mts sur	190285.7143	3.92
Mx3 a 100 mts sur	197305.1429	4.07
Mx1 a 500 mts sur	116285.7143	2.40
Mx2 a 500 mts sur	126857.1429	2.62
Mx3 a 500 mts sur	102162.2857	2.11
Mx1 a 1 Km sur	42285.7142	0.87
Mx2 a 1 Km sur	91590.8571	1,89
Mx3 a 1 km sur	102162.2857	2.11
Mx1 testigo	35181.7142	0.73
Mx2 testigo	31714.2857	0.65
Mx3 testigo	28162.2857	0.58

Utilizando el factor de acumulación de Aire AAF se obtuvieron los valores corregidos de las lecturas de plomo y se calcularon los valores promedio (Ver anexo N° 13) por cada punto de muestreo para ser comparados con el nivel permitido según la Norma Salvadoreña Oficial (NSO) 13.11.01:01 01Calidad del aire ambiental inmisiones atmosféricas (Ver cuadro N° 5)

Cuadro N° 5: Valores promedio de cada punto de muestreo comparados con el límite de la Norma Salvadoreña Oficial (NSO) 13.11.01:0101 Calidad del aire ambiental inmisiones atmosféricas

Identificación de la muestra	Promedios de concentración de Plomo en $\mu\text{g} / \text{m}^3$	Límite permitido según NSO 13.11.01:01 Periodo de muestreo trimestral
Punto 1 (Fuente Emisora)	5.30	1.5 $\mu\text{g} / \text{m}^3$
Punto 2 (a 1 km norte)	2.13	
Punto 3 (a 5 Km norte)	1.60	
Punto 4 (a 100 mts sur)	3.58	
Punto 5 (a 500 mts sur)	2.38	
Punto 6 (a 1 Km sur)	1.62	
Punto 7 Testigo	0.65	

Gráficamente se expresa de la siguiente manera.

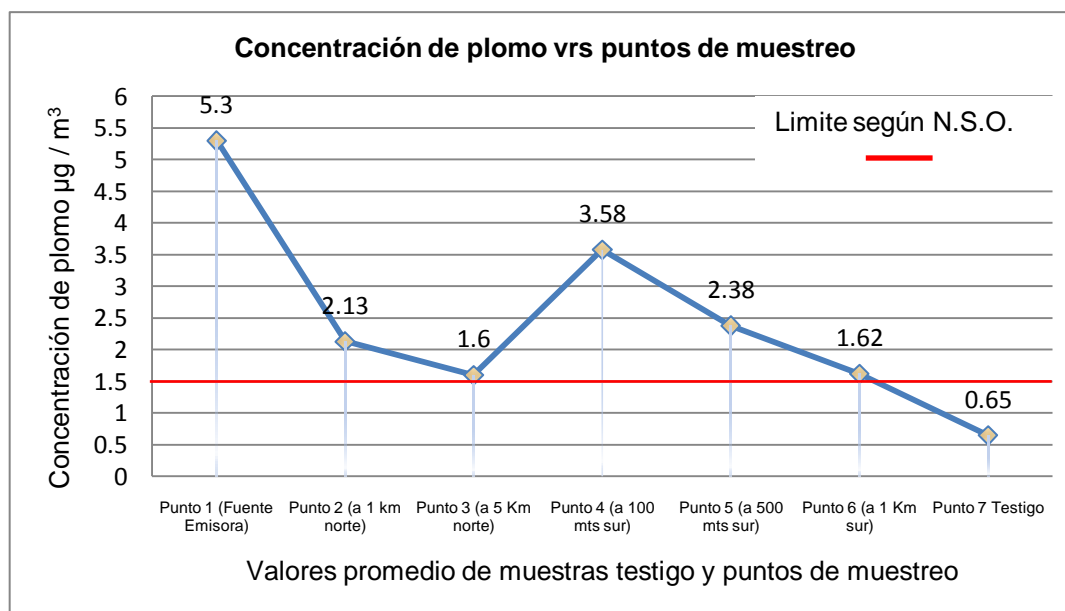


Figura N° 19 Grafica de comparación entre niveles de plomo absorbidos por *Tillandsia juncea* en los diferentes puntos de muestro vrs límite permitido según NSO 13.11.01:01 Calidad del aire ambiental inmisiones atmosféricas

En la figura N° 19 se graficarón los niveles promedio de plomo de cada punto

de muestreo siendo más intenso el punto N° 1 en la fuente emisora de plomo Fabrica de baterías ácido-plomo (Punto N° 1), sobrepaso el límite de la norma, con una concentración promedio de plomo de $5.30 \mu\text{g} / \text{m}^3$ siendo el valor más alto en el estudio por lo que se demuestra que el nivel de contaminación por plomo en la zona se debe a los materiales sin tratamiento ni almacenamiento adecuado presentes en este.

A 1.0 Km hacia el norte (Punto N° 2) el valor promedio de plomo absorbido por el biosensor vegetal es de $2.13 \mu\text{g} / \text{m}^3$ en contrastes con el punto 6 y a pesar que se encuentra a la misma distancia este presenta un valor más alto, pero en este punto en especial se presenta un estacionamiento vehicular relativamente grande ocupado por vehículos de carga pesada ya que allí se encuentran muchas industrias tales como TROPIGAS de El Salvador, KIMBERLY CLARK El Salvador, Textilera DURAFLEX entre otras por lo que posiblemente contribuyan en parte a la emisión de plomo en aire por el uso de combustible que aun presenta este aditivo.

A 5.0 Km hacia el norte (Punto N° 3), Parque Arqueológico Joya de Cerén), representa el lugar menos poblado y con menos tráfico vehicular, reportando un valor promedio de plomo absorbido por el biosensor vegetal de $1.60 \mu\text{g} / \text{m}^3$ de este se esperaba un valor menor en comparación con el límite establecido en la NSO, tomando en cuenta la distancia y los parámetros mencionados anteriormente, sin embargo el valor sigue estando por arriba de lo establecido en la Norma Salvadoreña Oficial lo que con lleva a decir que el alcance que

tiene la contaminación atmosférica por plomo se expande a grandes extensiones de terreno perjudicando así a la población, los animales y la vegetación de los alrededores.

A 100 mts hacia el sur (Punto N° 4) el valor promedio absorbido por el biosensor vegetal es de $3.58 \mu\text{g} / \text{m}^3$ reportándose como el segundo valor más alto, siempre por encima de él límite permitido en la Norma Salvadoreña Oficial NSO 13.11.01:01 Calidad del aire ambiental inmisiones atmosféricas , evidenciando que la contaminación puede trasportarse por la acción de las corrientes de aire que circulan de norte a sur.

A 500 mts hacia el sur (Punto N° 5) el valor promedio absorbido por el biosensor vegetal es de $2.38 \mu\text{g} / \text{m}^3$ este dato nos permite evidenciar que a medida se va alejando de la fuente generadora de contaminación por plomo (Fabrica de baterías ácido-plomo) los niveles de contaminación van en disminución con respecto a la distancia, sin embargo sobrepasa el límite permitido por la Norma Salvadoreña Oficial (NSO) de calidad de aire, aunque el nivel de plomo es menor en comparación con lo puntos anteriores es esta zona (Más densamente poblada) en la que las cifras de habitantes más afectados por los efectos adversos (Saturnismo en recién nacidos, manchas de color metálico en las encillas de los habitantes, color grisáceo en la piel, etc.). Ocasionado por la exposición constante de dicho metal en el aire, agua y suelo.

A 1.0 Km hacia el sur (Punto N° 6) reporta un valor promedio de $1.62 \mu\text{g} / \text{m}^3$ siendo este uno de los dos valores bajos en el estudio, dando por hecho la

afirmación realizada en estudios anteriores de esta índole que a mayor distancia de el punto o foco de contaminación menor es el valor promedio de concentración de plomo absorbido por el biosensor vegetal en este caso ***Tillandsia juncea*** ⁽³⁾.

En el gráfico anterior en la zona testigo (punto N° 7), Caserío Las Pilas, Municipio de San Ignacio, Departamento de Chalatenango) se obtuvo un resultado promedio de $0.65 \mu\text{g} / \text{m}^3$ que es un valor que se encuentra por debajo del límite establecido por la NSO 13.11.01:01 Calidad del aire ambiental inmisiones atmosféricas, indicando que aunque el plomo está presente en el aire se encuentra en niveles aceptables, por lo que se puede decir que este posiblemente no proviene de fuentes generadoras o contaminantes de plomo, sino de fuentes naturales como el suelo o rocas de la zona ⁽¹⁵⁾.

5.5 Funcionamiento de la ***Tillandsia juncea*** como biosensor vegetal comparado con la Norma Salvadoreña Oficial NSO 13.11.01:01 Calidad del aire ambiental inmisiones atmosféricas

Luego de cuantificado los niveles de contaminación de plomo por el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica, se observó que el biosensor vegetal es sensible a la concentración de plomo presente en el aire, ya que sobrepaso el límite permitido por la NSO 13.11.01:01 (Ver anexo N° 9) y a su vez comparado con una muestra testigo el cual se encuentra por debajo de dicha norma.

5.6 Método estadístico Análisis de Varianza (ANOVA)

Nos permitió analizar estadísticamente los niveles promedio de plomo absorbidos por el biosensor vegetal (*Tillandsia juncea*) si en los puntos de muestreo son iguales en sí, al grupo de muestras que representan el punto de muestreo fuente generadora de contaminación (Fabrica de baterías ácido-plomo).

5.6.1 Tamaño de la muestra

Para el análisis estadístico ANOVA el tamaño de muestra que se tomo, corresponde al total de muestras en cada punto de muestreo siendo $n = 3$ (Ver metodología de selección en Pág. N° 62).

5.6.2 Calculo de razón F ó F promedio de prueba

Obtenido el valor promedio de la concentración de plomo absorbido por el biosensor vegetal se procede a calcular el F de prueba (Ver anexo N° 14),

5.6.2.1 Calculo de media de la población.

$$\hat{\mu} = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \dots + \bar{X}_K}{K}$$

$$\hat{\mu} = \frac{(3.58 + 2.38 + 1.62 + 2.13 + 1.60 + 5.30)}{6}$$

$$\hat{\mu} = 2.77$$

Calculada la media poblacional podemos obtener procedemos a calcular la varianza de los valores medios de las muestras.

Punto N° 2 a 100 mts de la Fuente emisora de plomo

$$S_{\bar{X}}^2 = \frac{\sum(\bar{X}_i - \hat{\mu})^2}{K - 1}$$

$$S_{\bar{X}}^2 = \frac{(3.58 - 2.77)^2}{6 - 1}$$

$$S_{\bar{X}}^2 = 0.13$$

Obteniéndose la tabla siguiente

Cuadro N° 6. Varianza de los valores medios de las muestras por cada punto de muestreo

Puntos de muestreo	varianza de los valores medios de las muestras ($S_{\bar{X}}^2$)
Punto N° 1 Fuente emisora de plomo	1.28
Punto N° 2 a 1 Km norte de fuente emisora	0.08
Punto N° 3 a 5 Km norte de fuente emisora	0.27
Punto N° 4 a 100 mts sur de fuente emisora	0.13
Punto N° 5 a 500 mts sur de fuente emisora	0.03
Punto N° 6 a 1 Km sur de fuente emisora	0.26

Con los valores obtenidos del cuadro N°6 calculamos la varianza intra-muestras (S_W^2)

$$S_W^2 = \frac{S_1^2 + S_2^2 + \dots + S_K^2}{K}$$

$$S_W^2 = \frac{1.28 + 0.08 + 0.27 + 0.13 + 0.03 + 0.26}{6}$$

$$S_W^2 = 0.34$$

Una vez calculada la varianza intra-muestras procedemos a calcular la varianza inter-muestras con la ecuación N° 4 (Ver pág. 64).

Punto N° 2 a 100 mts sur de la fuente emisora de plomo.

$$S_b^2 = (n) \cdot S_{\bar{x}}^2$$

$$S_b^2 = (3) \cdot (0.13)$$

$$S_b^2 = 0.39$$

Cuadro N° 7. Varianza intra-muestras (S_b^2)

Puntos de muestreo	varianza intra-muestras (S_b^2)
Punto N° 1 Fuente emisora de plomo	3.84
Punto N° 2 a 1 Km norte de fuente emisora	0.24
Punto N° 3 a 5 Km norte de fuente emisora	0.81
Punto N° 4 a 100 mts sur de fuente emisora	0.39
Punto N° 5 a 500 mts sur de fuente emisora	0.09
Punto N° 6 a 1 Km sur de fuente emisora	0.78

Para el cálculo del F de prueba procedemos a dividir los valores obtenidos en el cuadro anterior sobre el valor obtenido en la ecuación N° 4 (varianza inter-muestras).

5.6.2.2 Calculo de la razón F ó promedio de prueba (17).

Punto N° 2 a 100 mts sur de la fuente emisora de plomo

$$F_{\text{prueba}} = \frac{\text{varianza inter - muestras}(S_b^2)}{\text{varianza intra - muestras}(S_w^2)}$$

$$F_{\text{prueba}} = \frac{0.39}{0.34}$$

$$F_{\text{prueba}} = 1.15$$

Cuadro N° 8. Razón F (F_{prueba})

Puntos de muestreo	Razón F (F_{prueba})
Punto N° 1 Fuente emisora de plomo	11.29
Punto N° 2 a 1 Km norte de fuente emisora	0.70
Punto N° 3 a 5 Km norte de fuente emisora	2.38
Punto N° 4a 100 mts sur de fuente emisora	1.15
Punto N° 5 a 500 mts sur de fuente emisora	0.26
Punto N° 6 a 1 Km sur de fuente emisora	2.29

Según los resultados obtenidos en la cuadro N° 8, la diferencia que existe de los valores individuales del (F_{prueba}) refleja una diferencia significativa en los niveles promedios de plomo absorbidos por cada grupo de muestreo.

No así cuando se calcula una razón F ó F_{prueba} promedio según la siguiente ecuación 9.

$$F_{(prueba) \text{ promedio}} = \frac{\sum F_{xi}}{n} \quad \text{Ec. N° 9}$$

$$F_{(prueba) \text{ promedio}} = \frac{11.29 + 0.70 + 2.38 + 1.15 + 0.26 + 2.29}{6}$$

$$F_{(prueba) \text{ promedio}} = 3.01$$

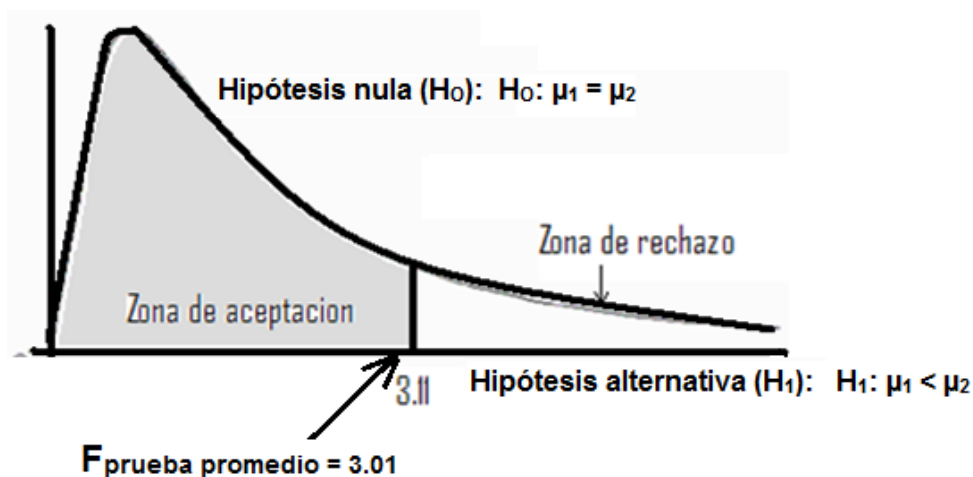


Fig. N° 20 Ubicación de razón F (F_{prueba}), para los puntos de muestreo dentro del gráfico de Anova.

La razón F (F_{prueba}) promedio de los grupos de muestras da como resultado un valor de 3.01 y según como se muestra en la grafica este valor está por debajo del F_{critico} o F de tablas lo que demuestra que la diferencia entre grupos se debe a factores ambientales tales como el viento, el nivel de contaminación de plomo que pueda existir en el agua, suelo; existencia de fabricas emisoras de plomo que puedan estar instaladas en las zonas muestreadas.

Evidenciándose la sensibilidad del biosensor vegetal a la captación de contaminantes metálicos (plomo), pero dicho resultado solo refleja que la diferencia de los valores promedio de plomo absorbidos en cada punto de muestreo se debe a factores externos antes mencionados pero más que todo al factor distancia que como antes se había dicho en la bibliografía; el biosensor responde con mayor rapidez y eficiencia a medida este se encuentre

más cerca del foco de contaminación en este caso la fábrica de baterías ácido-plomo.

CAPITULO VI
CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

1. Al ser comparado los especímenes vegetales con muestras de referencia en el Jardín Botánico Plan de La Laguna; se concluye que pertenece a la especie de *Tillandsia juncea* de la familia de las Bromelaceas. Esta es una planta epífita capaz de acumular los nutrientes presentes en el aire para su desarrollo y la captación de metales pesados tales como el plomo, el cual permite detectar si existe o no contaminación, siendo este un tipo de biosensor de bajo costo el cual crece y se adapta fácilmente a otras zonas.
2. El Caserío Las Pilas, Municipio de San Ignacio, Departamento de Chalatenango por ser una zona protegida presenta muy bajos niveles de contaminación, se considero una zona testigo idónea para el estudio realizado, el cual presentó un nivel de Plomo de $0.65 \mu\text{g} / \text{m}^3$ valor que no sobrepasa el $1.5 \mu\text{g} / \text{m}^3$ que establece la Norma Salvadoreña Oficial (NSO) N°13.11.01:01 Calidad del aire ambiental inmisiones atmosféricas.
3. En la Fábrica de Baterías ácido-plomo (Fuente Emisora de contaminación) la cual está ubicada en el Cantón Sitio del Niño, Municipio de San Juan Opico, Departamento de La Libertad, el nivel promedio de Plomo es de $5.30 \mu\text{g} / \text{m}^3$ es el más alto comparado con los demás puntos de muestreo y con el límite de la Norma Salvadoreña Oficial 13.11.01:01 Calidad del aire ambiental inmisiones atmosféricas, debido a que las escorias de plomo,

material utilizado para la fabricación de las baterías se encuentran a la intemperie sin tratamiento ni almacenamiento adecuado, expuestas a todo tipo de condiciones climáticas de aire, sol y lluvia.

4. Los puntos de muestreo a 100 mts, 500 mts y 1 Km al Sur de la Fuente Emisora, el nivel promedio de Plomo es de $3.58 \mu\text{g} / \text{m}^3$, $2.38 \mu\text{g} / \text{m}^3$ y $1.62 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente, sobrepasando el límite establecido de $1.5 \mu\text{g} / \text{m}^3$ que establece la Norma Salvadoreña Oficial N° 13.11.01:01. Calidad del aire ambiental inmisiones atmosféricas. Estos valores nos permiten evidenciar que la contaminación se mueve por la acción de las corrientes de aire que circulan en el país de norte a sur y disminuye, a medida se alejan de la fuente de contaminación.

5. Los puntos de muestreo a 1 Km y 5 Km al norte de la Fuente Emisora, el nivel promedio de Plomo obtenido es de $2.13 \mu\text{g} / \text{m}^3$ y $1.60 \mu\text{g} / \text{m}^3$ se esperaba que la contaminación en estos puntos fuese menor debido al movimiento de los vientos en el país, esta contaminación se debió probablemente a otras fuentes de contaminación dado que a 1.0 Km. Norte se encuentra un estacionamiento vehicular grande ocupado por vehículos de carga pesada de diferentes industrias como: TROPIGAS de El Salvador, KIMBERLY CLARK El Salvador y la Textilera DURAFLEX entre otras industrias por lo que existe la posibilidad de que la emisión de Plomo

en el aire sea proveniente de combustible que aun presente este aditivo y de otras fuentes de contaminación no identificadas.

6. Comparando el $F_{\text{crítico}}$ de tablas con nivel de significación de 0.05 del Análisis de Varianza (ANOVA) con un valor de 3.11 y el $F_{\text{prueba promedio}}$ de los puntos de muestreo con un valor de 3.01 que cae dentro de la zona de aceptación de la hipótesis nula que especifica: que si el nivel medio de plomo absorbido por los biosensores en cada punto de muestreo de la zona monitoreada es igual o mayor que el nivel medio de plomo absorbido por el biosensor testigo. Por lo que se acepta la hipótesis nula.
7. Con el análisis estadístico ANOVA se comprueba que la contaminación de plomo en el aire en la zona monitoreada es generada por las escorias de plomo que se encuentran a la intemperie en la fábrica de baterías ácido-plomo ubicada en el Cantón Sitio del Niño, Municipio de San Juan Opico, Departamento de La Libertad.

CAPITULO VII
RECOMENDACIONES

RECOMENDACIONES.

1. Emplear el método de muestreo por biosensores por ser factible, selectivo, de bajo costo, fácil manejo, y la especie botánica por crecer en toda la región es de fácil adquisición e identificación por expertos en el país y además se pueden utilizar otras especies de la familia de las Bromelaceas, siendo recomendable realizar siempre un estudio botánico de la especie a utilizar.
2. Realizar otras investigaciones similares en otras zonas industriales de El Salvador para determinar los contaminantes presentes en la atmosfera, y tomar las acciones de remediación que garanticen la salud de los trabajadores que en ellas laboran y otras personas que viven en los alrededores de las diferentes industrias del país.
3. Realizar la técnica de extracción de plomo de la muestra por el método de análisis de AOAC 5.003 modificado para tejido vegetal por ser un método que se adapta al tipo de muestra.
4. Emplear el método de análisis de Espectrofotometría por Absorción Atómica para la cuantificación de plomo de la muestra analizada realizando las lecturas de las muestras y estándares, considerando las especificaciones del manual del equipo en la que se detalla a que longitud

de onda es más sensible la determinación de cantidades trazas de plomo en las muestras.

5. Que el Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) implemente y delimite zonas industriales para establecer este tipo de industrias de fabricación de baterías ácido-plomo y de cualquier otro tipo en donde no hayan zonas residenciales, animales, mantos acuíferos y tierras cultivables.
6. Exigir que las Fábricas presenten un manual de procedimientos para el tratamiento de desechos y que cumplan con las condiciones de seguridad para evitar accidentes laborales y de contaminación.
7. Que las instituciones competentes monitoreen la zona continuamente para cuantificar la contaminación por Plomo atmosférico en el Cantón Sitio del Niño, Municipio de San Juan Opico Departamento de La Libertad, utilizando Biosensores Vegetales, para que sirvan como antecedentes en futuras investigaciones.
8. Realizar una evaluación completa por parte del Ministerio de Salud Pública del estado de salud de los habitantes de esta zona, que se les brinde tratamiento y seguimiento de salud.

9. Declarar el Cantón Sitio del Niño, Municipio de San Juan Opico, Departamento de La Libertad como lugar no habitable y que se realicen las gestiones necesarias para la remediación del lugar y se les de tratamiento médico a las personas que viven en las cercanías de la zona contaminada por plomo.

10. Dar tratamiento químico adecuado a las escorias del plomo seguido de encapsulación ó siguiendo las directrices que establece la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (con sus siglas en ingles EPA), para evitar la continúa contaminación por plomo proveniente de la Fábrica de baterías Acido-plomo en el lugar de muestreo.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFÍA

1. Ardon Guerrero, S. Cuantificación de los Niveles de Plomo Atmosférico por Medio de Absorción Atómica Utilizando *Tillandsia vicentina standl* como Biosensor Vegetal. [Tesis de Licenciatura en Química y Farmacia]. San Salvador, El Salvador, Centroamérica: Universidad de El Salvador; 2008. p. 27-50
2. Association of Official Analytical Chemist. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist, 14th ed, Arlington, USA: AOAC, Edited by Sidney Williams; 1984.
3. Bernal S. y otros. Tendencia de los Niveles de Plomo en PTS en la Atmosfera en la Ciudad de Maracaibo (2000-2005). Unidad Educativa Rafael Yepes Trujillo. San Francisco, Maracaibo, Venezuela Junio 2006. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos-pdf/niveles-plomo-maracaibo/niveles-plomo-maracaibo.pdf> [Consultado el 12 de marzo de 2009].
4. Cervantes, L. (Lourdes.cervantes@inin.gob.mx). Biomonitores y Técnicas Analíticas Nucleares Aplicados a Estudios de Contaminación Atmosférica. Disponible en:

<http://www.inin.mx/publicaciones/documentospdf/50BIOMONITORES.pdf>. [Consultado el 29 de enero de 2009].

5. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) Norma Salvadoreña Oficial NSO 13.11.01:01 Calidad del Aire Ambiental, Inmisiones Atmosféricas. Disponible en:

<http://www.ccad.ws/documentos/legislacion/ES/NSO13110101.pdf>.

[Consultado el 22 de octubre de 2008].

6. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). Anteproyecto de la Norma Salvadoreña NSO 13.11.02:07 Emisiones Atmosféricas, Fuentes Fijas Puntuales. Disponible en:

http://www.puntofocal.gov.ar/notific_otros_miembros/slv117_t.pdf

[Consultado el 22 de octubre de 2008].

7. Do Nascimento F. y otros. Biomonitorio: Caracterización Espacial de la Concentración de Plomo en Asunción. Marzo 2001 Disponible en:

<http://recyt.ibict.br/files/PremioMercosul/2000PA/DocumentoCompleto>

.pdf. [Consultado el 26 de octubre de 2008].

8. Facultad de Ciencia Químicas, Universidad Autónoma de Chihuahua. Espectrometría de absorción atómica., México. Disponible en:

www.fcq.uach.mx/index.php/gestor-de-documentos/category/2-analisis-instrumental?download=12%3Alectura-9. [Consultado el 13 de marzo de 2009].

9. Franco Baires G. Elaboración de Una Guía Práctica Para la Preparación de Reactivos Químicos y Estándares de Uso Frecuente en el Análisis Químico. [Tesis de Licenciatura en Química y Farmacia]. San Salvador, El Salvador, Centroamérica: Universidad de El Salvador; 2003. p. 42, 44, 46.

10. Hernández, R. Manejo Ambientalmente Adecuado de Baterías Acido-Plomo Usadas en Centroamérica y el Caribe. Diagnóstico de El Salvador, Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador (MARN). Centro Regional Para el Convenio de Basilea Para Centroamérica y Mexico (CRCB-CAM) Abril 2002, Disponible en: http://www.ilmc.org/Basel%20Project/El%20Salvador/Project%20Reports/Spanish/m15_PROYECTO%20BATER%CDAS%20ACIDO%20PLOMO_esa2.pdf [Consultado el 22 de septiembre de 2008].

11. Kenneth, W. y otro, 2001. Contaminación del Aire, Origen y Control, 9 ed, México, Editorial Limusa, Noriega Editores, p. 79-81

12. Klaassen, Curtis D. Metales Pesados y Sus Antagonistas. En: Hardman J, Limbird L, Molinoff R, Ruddon R, Goodman A, eds. Goodman & Gilman. Las Bases Farmacológicas de la Terapéutica. 10 ed. México DF: Mc Graw-Hill Interamericana; 2001. p. 1874-1879.
13. Larreynaga de Torres R. Determinación por Absorción Atómica del Contenido Total de Plomo por Agotamiento en Loza Vidriada en Medio Acido y Medio Alcalino. [Trabajo de Graduación]. San Salvador, El Salvador, Centroamérica: Facultad de Ciencias Puras y Aplicadas, Universidad Nueva San Salvador; 1988. p. 7-9
14. Murray R. Spiegel. Probabilidad y Estadística. Bogotá, Colombia: Editorial Schaum; 1975. p. 306-309
15. Organización Panamericana de la Salud (OPS), Oficina Sanitaria Panamericana, Organización Mundial de la Salud. Criterios de Salud Ambiental Tres, Plomo. Edición en Español Preparada y Publicada por el Servicio y Documentación de la OPS/OMS México 1979. p. 3-83
16. Salomón U. Determinación por Espectroscopia de Absorción Atómica de Cadmio, Estaño y Plomo en Conservas de Pescado Elaboradas en el País. [Tesis de Licenciatura en Química y Farmacia]. San

Salvador, El Salvador, Centroamérica: Universidad de El Salvador;
1988. p. 19-24.

17. Taro Yamane. Estadística. 3^{ra} ed. México: Harla, 1979. p. 739

18. <http://www.arboretum.ufm.edu/plantas/familias.asp?id=340&familia=Brumeliaceae> [Consultado el 7 de Abril de 2009].

19. <http://www.alcaldiasanjuanopico.gob.sv/mapa.php> [Consultado el 20 de junio de 2009].

20. www.cab.cnea.gov.ar/cab/cq/material/absorc_atom.pdf [Consultado el 7 de Abril de 2009].

21. <http://es.wikipedia.org/> [Consultado el 5 de abril de 2009].

22. <http://es.wikipedia.org-epifita> [Consultado el 7 de Abril de 2009].

23. <http://es.wikipedia.org-litofita> [Consultado el 7 de Abril de 2009].

24. <http://es.wikipedia.org/wiki/Tillandsia> [Consultado el 7 de Abril de 2009].

25. http://es.wikipedia.org/wiki/San_Ignacio_%28El_Salvador%29

[Consultado el 10 de junio de 2009].

GLOSARIO

GLOSARIO (20, 21, 22)

Biomonitor/Biosensor: Sistema basado en el acoplamiento de biomoléculas responsables del reconocimiento específico de las especies moleculares por determinar, con un transductor físico químico que suministra una señal eléctrica de salida amplificable electrónicamente.

Biomonitoreo: Vigilancia continúa de un afluente (o una dilución del mismo) usando organismos vivos, para corroborar la calidad del agua en un cuerpo receptor, sujeto a una descarga residual. A diferencia de los bioensayos, esta prueba se realiza in situ (en el mismo lugar).

Contaminante: Toda materia o energía en cualquiera de sus estados físicos o formas, que al incorporarse o actuar en la atmósfera, agua, suelo, flora o fauna o cualquier elemento natural, altere o modifique su composición y condición natural.

Hoja complanadas: Hojas laterales levemente asimétricas, distribuidas espiralmente tienen forma de lamina las cuales están agrupadas por debajo del tallo.

Epifita: m.l.f. (ecol.) vegetal que vive sobre otra planta, sin alimentarse a expensas de esta, como por ejemplo musgos y líquenes.

Escapo: es el tallo que está desprovisto de hojas y trae las flores en el ápice. Los escapos son frecuentes en las Monocotiledóneas (Clase Liliopsida), en cuyo caso habrá nacido de un rizoma o bulbo.

Hijuelos: son las plantas de nueva generación que crecen alrededor de la planta que las origina.

Hoja imbricadas: En botánica, hoja que se solapa por los bordes con la más cercana.

Litofita: f. (ecol.) vegetal que vive en superficies rocosas

Monocotiledónea: Planta angiosperma con un solo cotiledón en el embrión, también denominada liliópsida.

Hoja lepidotas: Cubierto de tricomas-escamas de color ferruginoso (óxido de hierro) y de tipo filiforme o filamento. Los tricomas (escamas) son de color gris-azulado.

Oliguria: f. (patol. General) secreción de orina por debajo de lo normal

Parestesia: fuente (patol. General) Sensación o conjunto de sensaciones y especialmente el hormigueo, adormecimiento o ardor que experimentan en la piel ciertos enfermos.

Polutantes: Contaminante

Tricoma: (botánica) proyección en forma de pelo que tienen las plantas en sus superficies

ANEXOS

Anexo N° 1

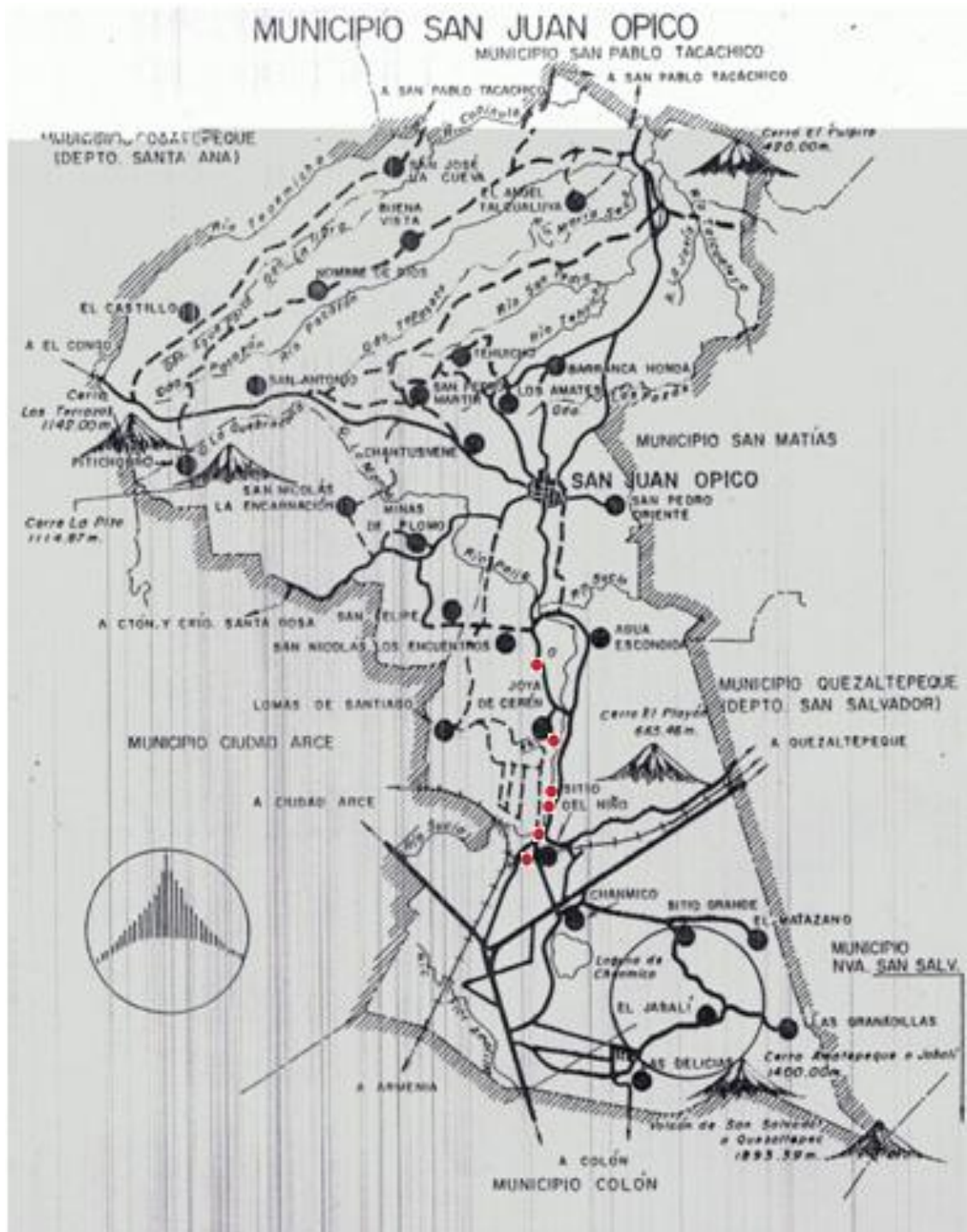


Fig. N° 1 Mapa del Municipio de San Juan Opico y puntos de muestreo. (18)

Anexo N° 2

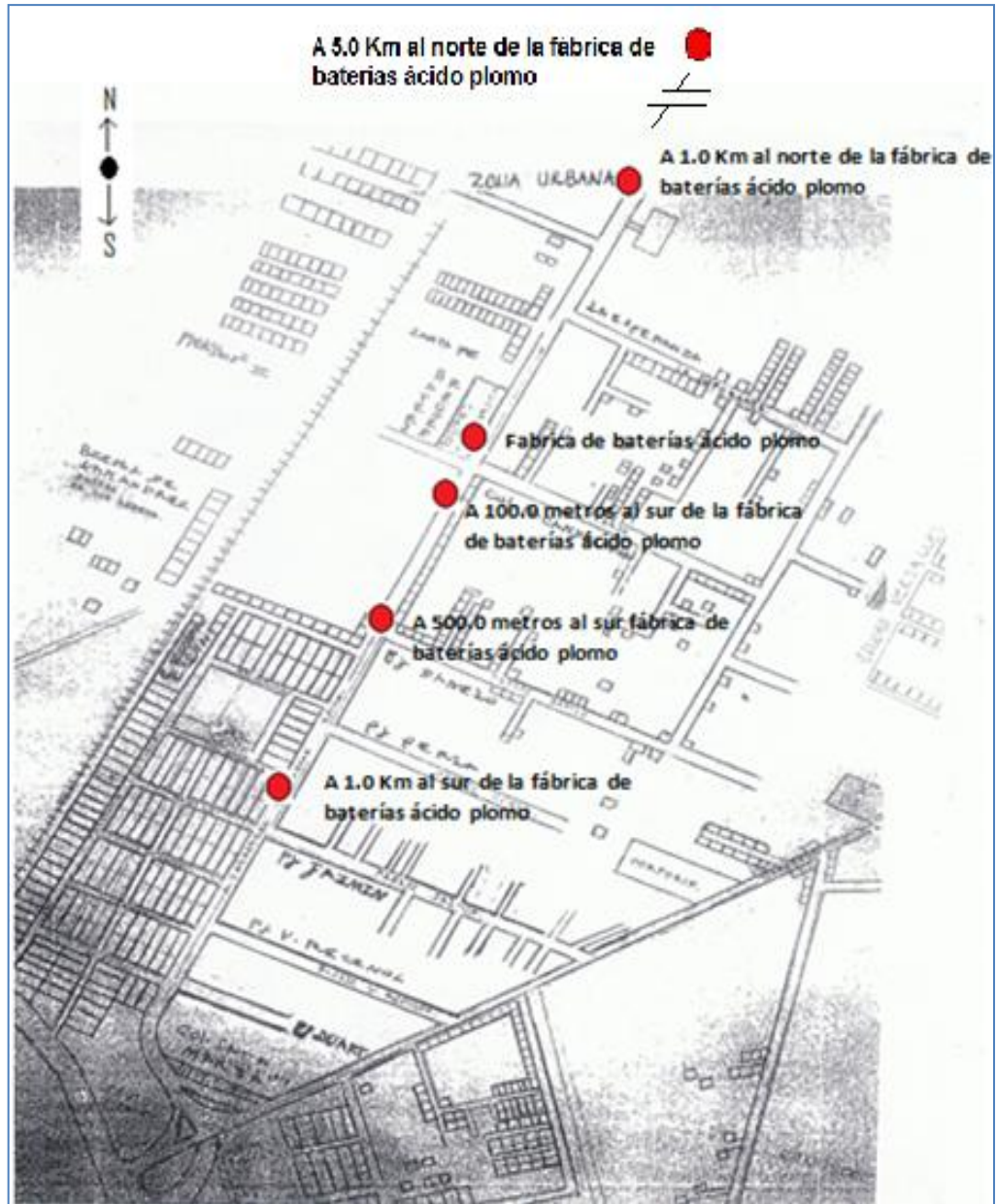
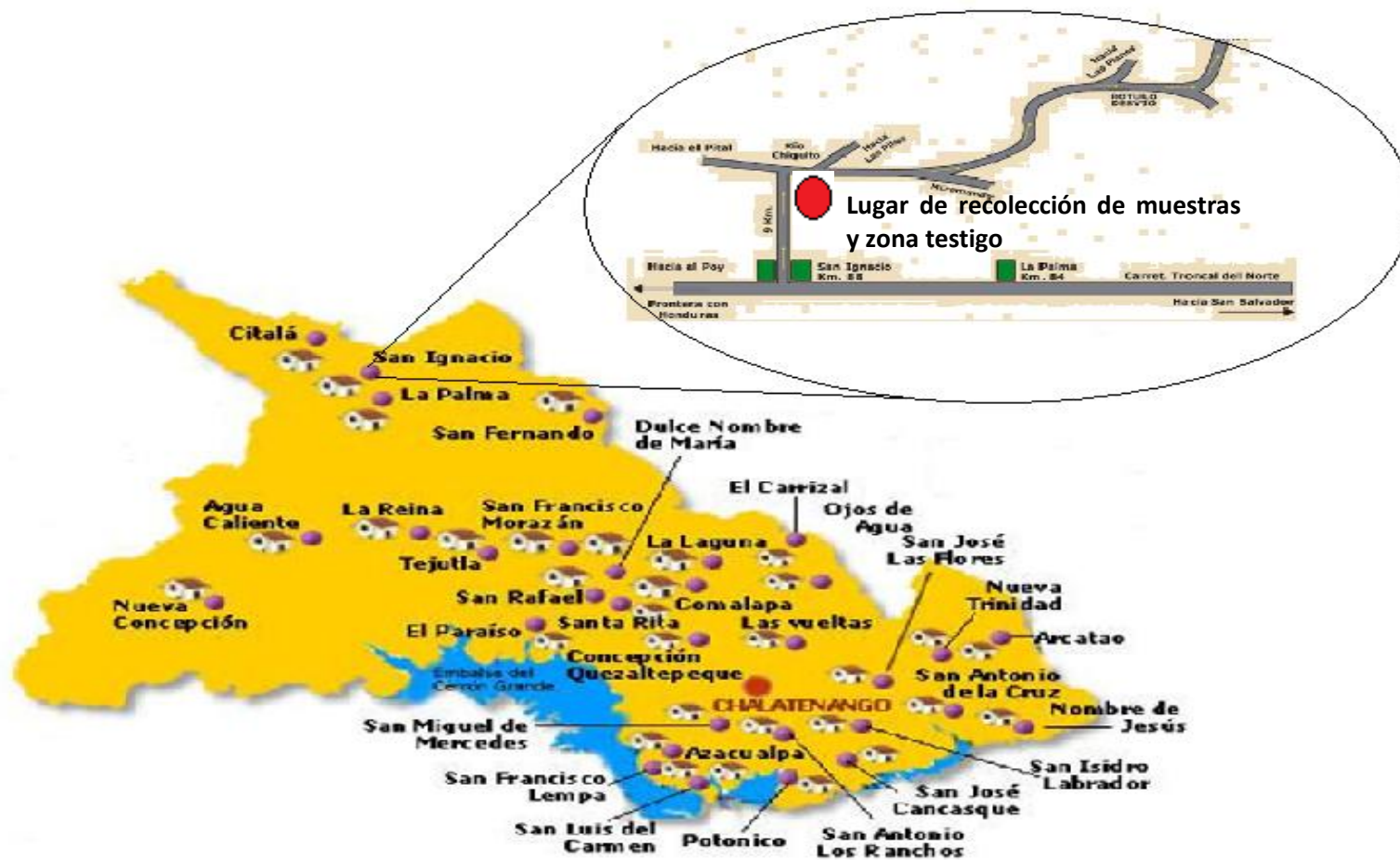


Fig. N° 2 Ubicación de puntos de muestreo en la Zona Urbana del Cantón Sitio del Niño, Municipio de San Juan Opico, La Libertad. (18)



Anexo N° 3

Fig. N° 3 Lugar de recolección de muestras y zona testigo, Caserío Las Pilas, Municipio de San Ignacio, Chalatenango⁽²⁴⁾

Anexo N° 5

Antiguo Cuscatlán, 5 de mayo de 2009

A quien interese:

Por este medio hago constar que los alumnos de la carrera de Química y Farmacia de la Universidad de El Salvador Keny Lissethe Pérez y Juan Albertico Portillo Córdova se hicieron presentes a las instalaciones de nuestro herbario solicitando la identificación de una muestra botánica, la cual después de revisada y comparada con nuestra colección de referencia, corresponde a la especie *Tillandsia juncea* de la familia Bromeliaceae.

Y para los usos que los interesados estimen convenientes se extiende la presente nota.

Atentamente.



Lic. Jorge Alberto Monterrosa Salomón
Jardín Botánico La Laguna
Sección Técnica Científica
Herbario LAGU
Curador



Fig. N° 5 Copia autenticada por el herbario del Jardín Botánico La Laguna de *Tillandsia juncea*.

ANEXO N° 6

Cuadro N° 1. Registro de pesos individuales de muestras húmedas

Muestras húmedas	Peso (gramos)
Fuente emisora de contaminación	18.6
Fuente emisora de contaminación	15.2
Fuente emisora de contaminación	17.1
Mx ₁ A 1.0 Km hacia el norte	13.1
Mx ₂ A 1.0 Km hacia el norte	10.3
Mx ₃ A 1.0 Km hacia el norte	10.0
Mx ₁ A 5.0 Km hacia el norte	11.7
Mx ₂ A 5.0 Km hacia el norte	13.9
Mx ₃ A 5.0 Km hacia el norte	14.8
Mx ₁ A 100 metros hacia el sur	18.3
Mx ₂ A 100 metros hacia el sur	17.0
Mx ₃ A 100 metros hacia el sur	13.5
Mx ₁ A 500 metros hacia el sur	12.3
Mx ₂ A 500 metros hacia el sur	19.4
Mx ₃ A 500 metros hacia el sur	9.1
Mx ₁ A 1.0 Km hacia el sur	12.5
Mx ₂ A 1.0 Km hacia el sur	20.7
Mx ₃ A 1.0 Km hacia el sur	10.7
Testigo 1	18.7
Testigo 2	18.0
Testigo 3	19.5

ANEXO N° 7

Cuadro N° 2. Registro de pesos individuales de muestras deshidratadas

Muestras secas	Peso (gramos)
Fuente emisora de contaminacion	16.4
Fuente emisora de contaminacion	14.5
Fuente emisora de contaminacion	16.2
Mx ₁ A 1.0 Km hacia el norte	11.8
Mx ₂ A 1.0 Km hacia el norte	8.2
Mx ₃ A 1.0 Km hacia el norte	8.0
Mx ₁ A 5.0 Km hacia el norte	8.7
Mx ₂ A 5.0 Km hacia el norte	11.1
Mx ₃ A 5.0 Km hacia el norte	13.2
Mx ₁ A 100 metros hacia el sur	14.0
Mx ₂ A 100 metros hacia el sur	15.0
Mx ₃ A 100 metros hacia el sur	12.6
Mx ₁ A 500 metros hacia el sur	11.2
Mx ₂ A 500 metros hacia el sur	17.5
Mx ₃ A 500 metros hacia el sur	7.8
Mx ₁ A 1.0 Km hacia el sur	11.3
Mx ₂ A 1.0 Km hacia el sur	18.8
Mx ₃ A 1.0 Km hacia el sur	8.3
Testigo 1	14.2
Testigo 2	14.4
Testigo 3	15.7

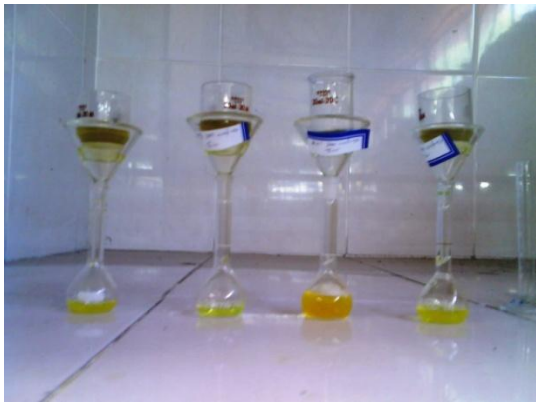
Anexo N° 8



a) Proceso de digestión de material vegetal



b) Sedimentación de material orgánico



b) Filtración en embudo Buchner



d) Rotulación y transporte de muestras para lecturas en Espectrofotómetro de Absorción Atómica

Fig. N° 6 Método de Tratamiento AOAC 5.003

Anexo N° 9

**NORMA
SALVADOREÑA**



NSO 13.11.01:01

**CALIDAD DEL AIRE
AMBIENTAL INMISIONES
ATMOSFÉRICAS.**

CORRESPONDENCIA:

ICS 13.040

Editada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CONACYT, Colonia Médica, Avenida Dr. Emilio Alvarez, Pasaje Dr. Guillermo Rodríguez Pacas, No.51, San Salvador, El Salvador, Centro América. Teléfonos: 226-2800, Fax 225-6255; e-mail: info@conacyt.gob.sv

Derechos Reservados.

6. CARACTERÍSTICAS Y ESPECIFICACIONES DE LAS INMISIONES

En la Tabla 1 se especifican los límites de inmisiones de los principales contaminantes del aire.

Tabla 1 Norma de Calidad de aire ambiente (inmisiones)

Contaminante	Símbolo	Unidad	Límite de inmisión	Periodo de medición
Dióxido de azufre	SO ₂	µg/Nm ³	80	Anual
			365	24 horas
Monóxido de carbono	CO	µg/Nm ³	10 000	8 horas
			40 000	1 hora
Oxidos de nitrógeno	NO _x	µg/Nm ³	100	Anual
			150	24 horas
Ozono	O ₃	µg/Nm ³	235	1 hora
			120	8 horas
			60	Anual
Partículas inhalables	PM ₁₀	µg/Nm ³	50	Anual
			150	24 horas
	PM _{2,5}	µg/Nm ³	15	Anual
			65	24 horas
Partículas Totales Suspendidas	PTS	µg/Nm ³	75	Anual
			260	24 horas
Plomo	Pb	µg/Nm ³	0,5	Anual
			1,5	Trimestral

Nm³ = Metros cúbicos a CNPT

7. CUMPLIMIENTO Y VERIFICACIÓN

Corresponde la vigilancia del cumplimiento de esta norma obligatoria al MARN en su calidad de autoridad competente. En situaciones de emergencia ambiental relacionada con la calidad del aire, el MARN podrá tomar medidas temporales para superar dichas Emergencias.

8. DOCUMENTOS DE REFERENCIA

- **Propuesta de Norma de Emisiones al Aire.**
Dirección Salud Ambiental, Ministerio de Salud Pública y Asistencial Social, Diciembre de 1997.
- **Decreto 833/1975, de febrero, que desarrolla la Ley 38/1972 de Protección del Ambiente Atmosférico.** Boletín Oficial de Estado, Numero 96, de 22 de abril de 1975, Estado Español.

Anexo N° 10



Santa Tecla, 04 de Enero de 2010

Lic. Odette Rauda
Coordinadora General de Trabajos de Graduación

Estimada Lic. Rauda:

Por este medio le comunicamos que el Laboratorio de Servicios Analíticos de PROCAFE realiza la determinación de plomo en diferentes tipos de muestras utilizando un equipo de Absorción Atómica marca Perkin Elmer a una longitud de onda de 283.3 nm como lo establece el Manual del equipo debido a que esta longitud de onda tiene mayor sensibilidad para el análisis de plomo en las condiciones del Laboratorio.

Además le manifiesto que a los Bachilleres Juan Albertico Portillo Córdova y Keny Lisseth Pérez quienes realizan su tesis sobre Determinación de plomo Atmosférico utilizando un biosensor vegetal Tillandsia juncea en el cantón Sitio del Niño, Municipio de San Juan Opico, Departamento de la Libertad se les realizó la lectura de plomo en muestras preparadas por ellos

No omito manifestarle que según el manual del equipo existen varias longitudes de onda a la cual se puede determinar el plomo para lo cual le adjuntamos la copia de las especificaciones

Atentamente,



Lic. Reina Elizabeth Funes de Cruz
Coordinadora del Laboratorio de Servicios Analíticos

Fig. N° 7 Carta aclaratoria del laboratorio de análisis PROCAFE

Pb (82)**Standard Atomic Absorption Conditions for Pb**

Wavelength (nm)	Slit (nm)	Relative Noise	Characteristic Concentration (mg/L)	Characteristic Concentration Check (mg/L)	Linear Range (mg/L)
283.3	0.7	0.43	0.45	20.0	20.0
217.0	0.7	1.0	0.19	9.0	20.0
205.3	0.7	1.4	5.4	250.0	---
202.2	0.7	1.8	7.1	350.0	---
261.4	0.7	0.35	11.0	500.0	---
368.3	0.7	0.40	27.0	1200.0	---
364.0	0.7	0.33	67.0	3000.0	---

1. Recommended Flame: air-acetylene, oxidizing (lean, blue)
2. Data obtained with a standard nebulizer and flow spoiler. Operation with a High Sensitivity nebulizer or impact bead will typically provide a 2-3 × sensitivity improvement.
3. Characteristic Concentration with a $N_2O-C_2H_2$ flame at 283.3 nm: 2.7 mg/L
4. Table contains HCL data. EDL sensitivity values approximately the same.

Standard Flame Emission Conditions for Pb

Wavelength (nm)	Slit (nm)	Flame
405.8	0.2	Nitrous oxide-acetylene

LEAD, 1000 mg/L. Dissolve 1.598 g of lead nitrate, $Pb(NO_3)_2$, in 1% (v/v) HNO_3 and dilute to 1 liter with 1% (v/v) HNO_3 .

This element is toxic and should be handled with extra care.

Both Electrodeless Discharge Lamps (EDLs) and Hollow Cathode Lamps are available for lead. EDLs provide greater light output and longer life than Hollow Cathode Lamps. For lead, both EDLs and Hollow Cathode Lamps provide approximately the same sensitivity and detection limit. With multielement lamps containing copper, the Cu 216.5 nm resonance line may interfere with lead determinations at the lead 217.0 nm line. The lead 283.3 nm line should be used instead.

Large excesses of other elements (e.g., 10,000 mg/L Fe) may interfere with the lead signal.

Stock Standard
Solution



Warning

Light Sources

Interferences

Fig. N° 8 Especificaciones de estándares según manual de equipo de Perkin Elmer

Anexo N° 11

alfa = 0.05		Grados de libertad del numerador										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20	
1	161.45	199.5	215.71	224.58	230.16	233.99	236.77	238.88	240.54	241.88	248.02	
2	18.513	19	19.164	19.247	19.296	19.329	19.353	19.371	19.385	19.396	19.446	
3	10.128	9.5521	9.2766	9.1172	9.0134	8.9407	8.8867	8.8452	8.8123	8.7855	8.6602	
4	7.7086	6.9443	6.5914	6.3882	6.2561	6.1631	6.0942	6.041	5.9988	5.9644	5.8025	
5	6.6079	5.7861	5.4094	5.1922	5.0503	4.9503	4.8759	4.8183	4.7725	4.7351	4.5581	
6	5.9874	5.1432	4.7571	4.5337	4.3874	4.2839	4.2067	4.1468	4.099	4.06	3.8742	
7	5.5915	4.7374	4.3468	4.1203	3.9715	3.866	3.7871	3.7257	3.6767	3.6365	3.4445	
8	5.3176	4.459	4.0662	3.8379	3.6875	3.5806	3.5005	3.4381	3.3881	3.3472	3.1503	
9	5.1174	4.2565	3.8625	3.6331	3.4817	3.3738	3.2927	3.2296	3.1789	3.1373	2.9365	
10	4.9646	4.1028	3.7083	3.478	3.3258	3.2172	3.1355	3.0717	3.0204	2.9782	2.774	
11	4.8443	3.9823	3.5874	3.3567	3.2039	3.0946	3.0123	2.948	2.8962	2.8536	2.6464	
12	4.7472	3.8853	3.4903	3.2592	3.1059	2.9961	2.9134	2.8486	2.7964	2.7534	2.5436	
13	4.6672	3.8056	3.4105	3.1791	3.0254	2.9153	2.8321	2.7669	2.7144	2.671	2.4589	
14	4.6001	3.7389	3.3439	3.1122	2.9582	2.8477	2.7642	2.6987	2.6458	2.6022	2.3879	
15	4.5431	3.6823	3.2874	3.0556	2.9013	2.7905	2.7066	2.6408	2.5876	2.5437	2.3275	
16	4.494	3.6337	3.2389	3.0069	2.8524	2.7413	2.6572	2.5911	2.5377	2.4935	2.2756	
17	4.4513	3.5915	3.1968	2.9647	2.81	2.6987	2.6143	2.548	2.4943	2.4499	2.2304	
18	4.4139	3.5546	3.1599	2.9277	2.7729	2.6613	2.5767	2.5102	2.4563	2.4117	2.1906	
19	4.3808	3.5219	3.1274	2.8951	2.7401	2.6283	2.5435	2.4768	2.4227	2.3779	2.1555	
20	4.3513	3.4928	3.0984	2.8661	2.7109	2.599	2.514	2.4471	2.3928	2.3479	2.1242	
21	4.3248	3.4668	3.0725	2.8401	2.6848	2.5727	2.4876	2.4205	2.3661	2.321	2.096	
22	4.3009	3.4434	3.0491	2.8167	2.6613	2.5491	2.4638	2.3965	2.3419	2.2967	2.0707	
23	4.2793	3.4221	3.028	2.7955	2.64	2.5277	2.4422	2.3748	2.3201	2.2747	2.0476	
24	4.2597	3.4028	3.0088	2.7763	2.6207	2.5082	2.4226	2.3551	2.3002	2.2547	2.0267	
25	4.2417	3.3852	2.9912	2.7587	2.603	2.4904	2.4047	2.3371	2.2821	2.2365	2.0075	
26	4.2252	3.369	2.9752	2.7426	2.5868	2.4741	2.3883	2.3205	2.2655	2.2197	1.9898	
27	4.21	3.3541	2.9603	2.7278	2.5719	2.4591	2.3732	2.3053	2.2501	2.2043	1.9736	
28	4.196	3.3404	2.9467	2.7141	2.5581	2.4453	2.3593	2.2913	2.236	2.19	1.9586	
29	4.183	3.3277	2.934	2.7014	2.5454	2.4324	2.3463	2.2782	2.2229	2.1768	1.9446	
30	4.1709	3.3158	2.9223	2.6896	2.5336	2.4205	2.3343	2.2662	2.2107	2.1646	1.9317	
40	4.0847	3.2317	2.8387	2.606	2.4495	2.3359	2.249	2.1802	2.124	2.0773	1.8389	
50	4.0343	3.1826	2.79	2.5572	2.4004	2.2864	2.1992	2.1299	2.0733	2.0261	1.7841	
60	4.0012	3.1504	2.7581	2.5252	2.3683	2.2541	2.1665	2.097	2.0401	1.9926	1.748	
70	3.9778	3.1277	2.7355	2.5027	2.3456	2.2312	2.1435	2.0737	2.0166	1.9689	1.7223	
80	3.9604	3.1108	2.7188	2.4859	2.3287	2.2142	2.1263	2.0564	1.9991	1.9512	1.7032	
90	3.9469	3.0977	2.7058	2.4729	2.3157	2.2011	2.1131	2.043	1.9856	1.9376	1.6883	
100	3.9362	3.0873	2.6955	2.4626	2.3053	2.1906	2.1025	2.0323	1.9748	1.9267	1.6764	
200	3.8884	3.0411	2.6498	2.4168	2.2592	2.1441	2.0556	1.9849	1.9269	1.8783	1.6233	
300	3.8726	3.0258	2.6347	2.4017	2.2441	2.1288	2.0402	1.9693	1.9112	1.8623	1.6057	
400	3.8648	3.0183	2.6272	2.3943	2.2366	2.1212	2.0325	1.9616	1.9033	1.8544	1.5969	

Fig. N° 9 Tabla de distribución F ₍₁₄₎

Anexo N° 12



FUNDACIÓN SALVADOREÑA PARA INVESTIGACIONES DEL CAFÉ
LABORATORIO DE SERVICIOS ANALITICOS
SECCIÓN ESPECIALES



INFORME No. : EC-169

PROPIETARIO: Juan Albertico Portillo Cordoba
 DIRECCIÓN: 7ª.av. sur casa #5 Bo. Sn. Antonio Sn.Sebastián
 TELÉFONO: 78607914 Sn. Vicente


FECHAS	
RECEPCION:	09/10/2009
ANALISIS:	10/10/2009
EMISION:	10/10/2009

CÓDIGO DELABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	LECTURA DE PLOMO (mg/L)
EC-1175	Mx1 TESTIGO	0.10
EC-1176	Mx2 TESTIGO	0.09
EC-1177	Mx3 TESTIGO	0.08
EC-1178	Mx1 100 mts. Sur	0.38
EC-1179	Mx2 100 mts Sur	0.54
EC-1180	Mx3 100 mts Sur	0.56
EC-1181	Mx1 1 Km Sur	0.12
EC-1182	Mx2 1 Km Sur	0.26
EC-1183	Mx3 1 Km Sur	0.29
EC-1184	Mx1 5 Km Norte	0.22
EC-1185	Mx2 5 Km Norte	0.19
EC-1186	Mx3 5 Km Norte	0.25
EC-1187	Mx1 1 Km Norte	0.28
EC-1188	Mx2 1 Km Norte	0.29
EC-1189	Mx3 1 Km Norte	0.31
EC-1190	Mx1 500 mts Sur	0.33
EC-1191	Mx2 500 mts Sur	0.36
EC-1192	Mx3 500 mts Sur	0.29
EC-1193	Mx1 Fuente emisora	0.68
EC-1194	Mx2 Fuente emisora	0.75
EC-1195	Mx3 Fuente emisora	0.76
	Estándar 0.50 (absorbancia 0.005)	0.50
	Estándar 1.00 (absorbancia 0.010)	1.00

NOTA ACLARATORIA: El resultado del análisis corresponde a la muestra enviada por usted (es) a este Laboratorio. El muestreo es responsabilidad del usuario. El Laboratorio no autoriza la reproducción parcial sin la debida autorización por escrito.




 Lic. Reina Elizabeth Funes de Cruz
 Coordinador del Laboratorio de Servicios Analíticos



Lic. Julio César Chávez
 Técnico Analista

El Café es Vida

Avenida Manuel Gallardo, y 13 Calle Poniente, Santa Tecla, la libertad, El Salvador, C.A.
 PBX: (503)2288-3088, FAX(503) 2228-0669, E-mail info@procafe.com.sv, <http://www.procafe.com.sv>

Fig. N° 10 Cuadro de resultados obtenidos en las lecturas de las muestras en el laboratorio de análisis PROCAFÉ

Anexo N° 13

Calculo de unidades de ppm a $\mu\text{g} / \text{m}^3$ (unidades que expresa la Norma Salvadoreña Oficial 13.11.01:01)

Mx1 testigo 0.10 $\mu\text{g} / \text{mL}$ ó mg / L

$$\text{Ppm de Pb} = \frac{\text{Lectura de CMx} \cdot \text{Volumen inicial}}{\text{Peso de Mx}} \quad \text{Ec. N° 6}$$

Sustituyendo la fórmula para la muestra 1 testigo se obtiene:

$$\text{Ppm de Pb} = \frac{(0.10 \mu\text{g} / \text{mL})(25.0 \text{ mL})}{0.60 \text{ g}}$$

Eliminando unidades se obtiene

$$\text{Ppm de Pb} = 4.16 \mu\text{g} / \text{g}$$

Una vez obtenidas las unidades P/P ($\mu\text{g}/\text{g}$), se procedió a convertir las unidades a microgramos/metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

$$\mu\text{g} / \text{m}^3 = \frac{\text{Ppm} \cdot \text{Peso Molecular} \cdot \text{P}}{\text{R} \cdot \text{T} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}}} \quad \text{Ec. N° 7}$$

Donde:

P = Presión atmosférica en atm

T = Temperatura en °K

$$\text{R} = 0.08208 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

En condiciones estándar: P = 1 atm, T = 298 °K, el valor de R es una constante;

$$\mu\text{g} / \text{m}^3 = \frac{4.16 \text{ Ppm} * 207.2 \text{ g/mol} * 1 \text{ atm}}{0.08208 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}} * 298 \text{ K} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}}}$$

$$\mu\text{g} / \text{m}^3 = 35181.71$$

Los resultados obtenidos de los cálculos de Plomo en ($\mu\text{g} / \text{m}^3$) del cuadro anterior nos permite evidenciar valores aparentes del nivel de concentración de plomo en el biosensor vegetal, por lo que deben de ser corregidos por un Factor de Acumulación de Aire con sus siglas en ingles AAF de acuerdo a la ecuación siguiente

$$AAF^* = \frac{P_{Ac} \frac{\text{mg}}{\text{g}} \text{ peso seco}}{CA \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}} \quad \text{Ec. N}^\circ 8$$

Donde:

P_{Ac} = Contribución atmosférica de metales en plantas

CA = Concentración del metal en la atmósfera

AAF* = Valor de acumulación adimensional de 48493.9431, determinado mediante estudios en especies de **Tillandsias** a nivel mundial.

$$CA = \frac{P_{Ac}}{AAF^*}$$

$$CA = \frac{35181.7142}{48493.9431}$$

$$CA = 0.7255$$

Anexo N° 14

Calculo de la razón F ó F_{prueba}

Calculo de media de la población.

$$\hat{\mu} = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \dots + \bar{X}_K}{K}$$
$$\hat{\mu} = \frac{(3.58 + 2.38 + 1.62 + 2.13 + 1.60 + 5.30)}{6}$$
$$\hat{\mu} = 2.77$$

Calculo de la varianza de los valores medios de las muestras.

Punto N° 1 Fuente emisora de plomo

$$S_{\bar{X}}^2 = \frac{\sum(\bar{X}_i - \hat{\mu})^2}{K - 1}$$
$$S_{\bar{X}}^2 = \frac{(5.30 - 2.77)^2}{6 - 1}$$
$$S_{\bar{X}}^2 = 1.28$$

Realizar cálculo para cada promedio de muestras

Calculo de la varianza intra-muestras (S_w²)

$$S_w^2 = \frac{S_1^2 + S_2^2 + \dots + S_K^2}{K}$$
$$S_w^2 = \frac{0.13 + 0.03 + 0.26 + 0.08 + 0.27 + 1.28}{6}$$
$$S_w^2 = 0.34$$

Calculo de varianza inter-muestras (S_b^2)

Punto N° 1 Fuente emisora de plomo

$$S_b^2 = (n) \cdot S_{\bar{X}}^2$$

$$S_b^2 = (3) \cdot (1.28)$$

$$S_b^2 = 3.84$$

Realizar cálculo para cada punto de muestreo.

Calculo de la razón F (F_{prueba})

$$F_{prueba} = \frac{\text{varianza inter - muestras}(S_b^2)}{\text{varianza intra - muestras}(S_w^2)}$$

$$F_{prueba} = \frac{3.84}{0.34}$$

$$F_{prueba} = 11.29$$

Realizar cálculo para cada punto de muestreo.

Anexo N° 15

Cristalería, material, equipo y reactivos.

Cristalería

- Tubos de ignición
- Tubos de ensayo con rosca
- Mortero y pistilo
- Probetas de 10.0 mL, 25.0 mL y 100.0 mL
- Agitadores de vidrio
- Balones volumétricos de 25.0 mL
- Balones volumétricos de 1000.0 mL
- Beaker de 50 mL, 100 mL, 250 mL y 600 mL
- Embudo Goosh 4M
- Embudo Buchner

Material

- Pinzas de sostén
- Pinzas de extensión
- Soporte metálico
- Baño de María
- Perlas de ebullición
- Papel Watman
- Papel glacin
- Papel periódico
- Papel toalla
- Tirro, etiquetas
- Detergente
- Toallas

Equipo

- Balanza analítica
- Balanza granataria
- Espectrofotómetro de absorción de Atómica (Perkin Elmer Modelo 3110)
- Cámara de gases
- Estufa
- Hot plate
- Cocina eléctrica

Reactivos

- Agua bidestilada
- Agua destilada
- Acido nítrico concentrado
- Acido sulfúrico 3.0 N
- Acido clorhídrico 3.0

Anexo N° 16

Preparación de Reactivos

Preparación del ácido sulfúrico 3.0 N ⁽⁹⁾

Procedimiento:

1. Medir cuidadosamente, 20.8 mL de ácido sulfúrico (realizarlo en cámara de extracción de gases)
2. Adicionar con agitación constante a 100.0 mL de agua destilada
3. Dejar enfriar a una temperatura de 25 °C.
4. Diluir y aforar a 250.0 mL con agua destilada en un balón volumétrico de 250.0 mL.
5. Envasar, guardar en frasco de vidrio color ambar y etiquetar.

Cálculos:

Partiendo de una normalidad de 36.0 N del Ácido Sulfúrico.

$$C_1 = 3.0 \text{ N}$$

$$V_1 = 250.0 \text{ mL}$$

$$C_2 = 36.0 \text{ N}$$

$$V_2 = ?$$

$$\% \text{ de pureza} = 37\%$$

$$\text{Densidad} = 1.19$$

$$V_1 C_1 = V_2 C_2$$

$$(250.0 \text{ mL}) (3.0 \text{ N}) = V_2 (36.0 \text{ N})$$

$$(250.0 \text{ mL}) (3.0 \text{ N}) / (36.0 \text{ N}) = V_2$$

$$20.8 \text{ mL de ácido clorhídrico para } 250.0 \text{ mL} = V_2$$

Preparación del ácido clorhídrico 3.0 N ⁽⁹⁾

Procedimiento:

1. Medir cuidadosamente 62.5 mL de ácido clorhídrico en una probeta con capacidad para 100.0 mL (realizarlo en cámara de extracción de gases).
2. Agregar los 62.5 mL de ácido clorhídrico con agitación a 100.0 mL de agua destilada.
3. Diluir y llevar al aforo de 250.0 mL con agua destilada en balón volumétrico de 250.0 mL.
4. Envasar, guardar en frasco de vidrio color ambar y etiquetar.

Cálculos:

Partiendo de una normalidad de 12 N para el ácido clorhídrico.

Datos:

$$C_1 = 3.0 \text{ N}$$

$$C_2 = 12 \text{ N}$$

$$V_1 = 250.0 \text{ mL}$$

$$V_2 = ?$$

$$\% \text{ de Pureza} = 97\%$$

$$\text{Densidad} = 1.84$$

$$V_1 C_1 = V_2 C_2$$

$$(1000.0 \text{ mL}) (3.0 \text{ N}) = V_2 (12 \text{ N})$$

$$(1000.0 \text{ mL}) (3.0 \text{ N}) / (12 \text{ N}) = V_2$$

$$62.5 \text{ mL de ácido clorhídrico para } 250.0 \text{ mL} = V_2$$