

# INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ



## 1INFORME TÉCNICO DE RESIDENCIA PROFESIONAL

### PROYECTO PRESENTADO:

DETERMINACIÓN DE BTX EN *BROMELIA KARATAS* Y EVALUACIÓN DE BROMELIA COMO BIOCONTAMINADOR DE AIRE.

### PRESENTA:

BRENDA MAYELA VELÁZQUEZ NATARÉN

### LUGAR DE REALIZACION:

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ

### NO. DE CONTROL:

12270105

### ASESOR:

DR. SAMUEL ENCISO SAENZ

### REVISORES:

DR. JUAN JOSÉ VILLALOBOS MALDONADO

ING. LEONARDO GÓMEZ GUTIÉRREZ

### PERÍODO DE RELIZACIÓN:

AGOSTO-DICIEMBRE

TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS

# INDICE

RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN.....	2
JUSTIFICACIÓN.....	3
OBJETIVOS .....	4
GENERAL:.....	4
ESPECÍFICO: .....	4
1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA.....	5
1.1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA .....	5
1.2. MISIÓN.....	6
1.3. VISIÓN .....	6
1.4. VALORES.....	6
2. LOCALIZACIÓN DE LA EMPRESA .....	7
2.1. MARCO DE REFERENCIA .....	8
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	9
3.1. PROBLEMAS A RESOLVER .....	9
4. MARCO TEÓRICO.....	10
4.1. GENERALIDADES DE LOS BTX .....	10
4.2. BENCENO .....	11
4.2.1. USOS .....	12
4.2.2. TOXICIDAD .....	12
4.3. TOLUENO .....	13
4.3.1. APLICACIONES .....	14
4.3.2. TOXICIDAD .....	14
4.4. XILENO.....	15
4.4.1. APLICACIONES .....	16
4.4.2. TOXICOLOGÍA .....	16
5.1. FUENTES FIJAS .....	18
5.2. FUENTES MÓVILES .....	20
5.3. EQUIPO DE SEGURIDAD.....	22

5.3.1.	MASCARA ANTIGÁS.....	22
5.4.	GUANTES LATEX.....	23
6.1.	DEFINICIÓN.....	24
6.2.	TIPOS DE BIOINDICADORES.....	24
6.3.	IMPORTANCIA DE USO DE BIOINDICADORES.....	25
6.3.1.	BROMELIAS COMO ORGANISMOS BIOINDICADORES.....	25
6.4.	BRIÓFITOS, LÍQUENES Y BROMELIAS COMO ORGANISMOS ACUMULADORES PESADOS.....	26
6.5.	TIPOS DE METALES PESADOS ABSORBIDOS.....	26
7.	CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA.....	27
7.1.	TAXONOMÍA.....	27
7.2.	MORFOLOGÍA.....	28
7.3.	FISIOLOGÍA.....	30
7.4.	BROMELIA KARATAS.....	31
8.	FITORREMEDIACIÓN.....	32
9.	GENERALIDADES DEL SUSTRATO.....	34
9.1.	CONCEPTO.....	34
9.2.	SUSTRATOS ORGÁNICOS NATURALES.....	35
9.2.1.	TURBA.....	35
9.2.2.	PINOCHA.....	36
9.2.3.	RESACA Y ESTIÉRCOL.....	36
9.3.	CARACTERÍSTICAS DEL PEAT MOSS.....	37
10.	METODOLOGÍAS.....	39
10.1.	CROMATOGRAFÍA.....	39
10.2.	PRINCIPIOS Y ELEMENTOS BÁSICOS DE LA CROMATOGRAFÍA DE GASES 39	
10.2.1.	SISTEMA DE INYECCIÓN DE LA MUESTRA.....	40
10.2.2.	GAS PORTADOR.....	40
10.2.3.	CONFIGURACIÓN DE LA COLUMNA Y DEL HORNO.....	41
10.2.4.	DETECTORES.....	41
10.3.	CLASIFICACIÓN.....	42
11.	PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES.....	43

11.1	MATERIALES EMPLEADOS DURANTE LAS ACTIVIDADES.....	44
11.1.1.	MICROPIPETAS:.....	44
11.1.2.	VASO DE PRECIPITADO.....	45
11.1.3.	PROBETA.....	46
11.1.4.	CLOROFILOMETRO.....	47
11.1.5.	BALANZA ANALÍTICA.....	48
11.2.	SELECCIÓN DE BROMELIAS A TRASPLANTAR.....	49
11.3.	TRASPLANTE DE BROMELIAS.....	50
11.4.	MEDICIONES MORFOLÓGICAS:.....	51
11.5.	PREPARACIÓN DE MUESTRAS.....	52
11.5.1.	FITORREMEDIACIÓN DE PLOMO.....	53
11.5.2.	CALCULOS MEZCLA DE BTX 1:50.....	55
11.6.	NEBULIZACIÓN.....	56
11.7.	CROMATOGRAFÍA.....	57
12.	RESULTADOS Y GRÁFICAS.....	59
12.1.	VARIABLES MORFOMÉTRICAS:.....	59
12.2.	VARIABLES MORFOMETRICAS DE PB.....	61
12.3.	CROMATOGRAFÍAS DE BTX.....	64
14.	RECOMENDACIONES.....	67
15.	COMPETENCIAS DESARROLLADAS Y/O APLICADAS.....	68
16.	GALERÍAS FOTOGRÁFICAS.....	69
17.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	74

## RESUMEN.

La contaminación atmosférica es un fenómeno global, debido a la dispersión de gases emitidos por diversas fuentes como industrias o tráfico vehicular, produciendo riesgos en la salud de las personas. Los organismos epifitos (Bromelias, líquenes y briófitos) debido a sus características fisiológicas son capaces de acumular metales pesados presentes en la atmosfera y son muy sensibles a cambios ambientales.

Esta investigación se enfoca en evaluar la tolerancia y capacidad de la *Bromelia karatas* (*Bk*) como un bioindicador de Benceno, Tolueno y Xileno (BTX) presentes en el aire, exponiendo a la *Bromelia* con contaminantes de hidrocarburos provenientes de una mezcla de BTX, cuantificándolos en vegetal y sustrato mediante diferentes análisis y determinando respuestas de las variables morfométricas.

# INTRODUCCIÓN.

El siguiente informe técnico se refiere al tema de determinación de BTX en *Bromelia Karatas* y evaluación de Bromelia como biocontaminador de aire es propuesto en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.

La afectación de los BTX en los seres vivos procede de fuentes naturales (incendios forestales o emisiones volcánicas). El hecho de que se encuentren de manera natural en el petróleo y en sus derivados hace que la mayoría de procesos de combustión de hidrocarburos sean importantes fuentes de emisión de estos compuestos.

Para analizar esta problemática es necesario mencionar que la exposición ambiental de estos compuestos tales como el benceno es un problema para la salud, hay que destacar su carácter cancerígeno.

La investigación se realizó con el interés de conocer la cantidad emitida de BTX en la planta Bromelia Karatas mediante exposiciones de los contaminantes en cajas herméticamente cerradas y realizar una cromatografía para observar los gases emitidos en las hojas de la planta, además se realizaron mediciones morfológicas para conocer el daño de la experimentación.

## **JUSTIFICACIÓN.**

La contaminación del aire es uno de los problemas más frecuentes que se presentan en las zonas urbanas de nuestro país. Por sus cualidades tóxicas a la salud humana y a los ecosistemas, su carácter de precursores potenciales de ozono, y por ser de uso frecuente y extendido en diversos sectores productivos, los Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs), son un importante grupo de sustancias que comúnmente se encuentran como contaminantes atmosféricos.

Los COVs se encuentran por lo común en el ambiente externo, en los lugares de trabajo y en las viviendas. Los humanos están, por lo tanto, fácilmente expuestos a estos compuestos químicos a través de la piel, la respiración y la ingestión y aún a bajas concentraciones éstos presentan riesgos a la salud a largo plazo. En particular, el benceno ha sido identificado como un cancerígeno humano por la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer . De hecho, los tres BTX (el benceno, el tolueno y los xilenos) son los marcadores para la exposición humana a COVs por lo que, para proteger la salud humana es necesario establecer límites de exposición a estos compuestos.

## **OBJETIVOS.**

### **GENERAL:**

- Analizar la capacidad de Bromelia para bioacumular BTX y metales pesados

### **ESPECÍFICO:**

- Determinar la presencia de BTX y metales pesados (Pb) en la Bromelia en el tallo, hoja y raíz.
- Medir variables morfológicas (altura, número de hojas, clorofila).

# 1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA.

## 1.1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA.

El Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez (ITTG); es una universidad pública de tecnología, ubicada en la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. Es una Institución educativa pública de educación superior, que forma parte del Sistema Nacional de Institutos Tecnológicos de México. El Instituto también está afiliado a la Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior (ANUIES), zona Sur-Sureste.

Fue fundado el 22 de octubre de 1972, por el entonces Gobernador del Estado, Dr. Manuel Velasco Suárez, inicialmente con el nombre de Instituto Tecnológico Regional de Tuxtla Gutiérrez (ITRTG), posteriormente se llamaría el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez (ITTG).

Actualmente es considerado una de las dos máximas casas de estudios del estado de Chiapas. Su lema es *Ciencia y Tecnología con Sentido Humano* y su actual director es el M.E.H José Luis Méndez Navarro. .

Cuenta con tres extensiones en las ciudades de Chiapa de Corzo, Carranza y la otra en la ciudad de Bochil, además posee un Centro de Posgrado para estudios de Maestría en Ciencias en Mecatrónica, Maestría en Ciencias en Ingeniería Bioquímica y el Doctorado en Ciencias en Biotecnología.

## **1.2. MISIÓN.**

Formar de manera integral profesionistas de excelencia en el campo de la ciencia y la tecnología con actitud emprendedora, respeto al medio ambiente y apego a los valores éticos.

## **1.3. VISIÓN.**

Ser una Institución de Excelencia en la Educación Superior Tecnológica del Sureste, comprometida con el desarrollo socioeconómico sustentable de la región.

## **1.4. VALORES.**

- El ser humano
- El espíritu de servicio.
- El liderazgo.
- El trabajo en equipo.
- La calidad.
- El alto desempeño.
- Respeto al medio ambiente.



## **2.1. MARCO DE REFERENCIA.**

El área de trabajo se implementó en el invernadero del instituto y laboratorio de posgrado.

Este proyecto pertenece al área de posgrado del nivel maestría en ciencias en Ingeniería Bioquímica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez además es uno de los posgrados más importantes del estado de Chiapas y se encuentra dentro del Padrón Nacional de Programas de Calidad (PNPC) del CONACYT.

### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

La contaminación ambiental es un problema originado por la presencia en la atmósfera de gases nocivos para los seres vivos.

Los gases contaminantes son elementos que concentrados en altas cantidades en la atmósfera generan riesgos y problemas medioambientales y para los seres vivos. Una parte de los mecanismos de generación de estos gases contaminantes son de origen natural como los volcanes, pero el problema surge en los procesos industriales que implican combustión de elementos fósiles o el uso excesivo del transporte por carretera entre otros. La combustión de carburantes (carbón y derivados del petróleo) para producir energía provoca la emisión de gases contaminantes como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). La presencia de estos gases en la atmósfera en la atmósfera favorecen el efecto invernadero y por tanto el calentamiento global de la Tierra.

El efecto invernadero es el fenómeno que se produce cuando los gases contaminantes de la atmósfera impiden que se escape al exterior la energía que emite la superficie terrestre al calentarse por el sol. La primera consecuencia del efecto invernadero es el calentamiento global del planeta y por tanto el cambio climático.

#### **3.1. PROBLEMAS A RESOLVER.**

Los BTX son una fracción aromática de los compuestos orgánicos volátiles que se caracterizan por encontrarse en forma de vapor a temperatura ambiente y por ser insolubles en agua pero muy solubles en otras sustancias.

Los BTX hacen parte del grupo denominado compuestos orgánicos volátiles (COV) los cuales son liberados por la quema de combustibles, como gasolina, madera, carbón o gas natural. También son liberados por disolventes, pinturas y otros productos empleados y almacenados en la casa y el lugar de trabajo.

Es por ello que se ve la necesidad el proyecto de la determinación de BTX en la Bromelia Karatas conocida como piñuela se llevó mediante cromatografía para cuantificar la concentración del contaminante en la nebulización además de mediciones morfológicas durante el periodo de crecimiento.

## **4. MARCO TEÓRICO.**

### **4.1. GENERALIDADES DE LOS BTX.**

Los hidrocarburos aromáticos son compuestos frecuentemente utilizados como disolventes de aceites, grasas, caucho, resinas, etc., en las industrias de fabricación de pinturas y barnices, tintas, colas, adhesivos, así como materia prima de síntesis orgánica e industrias de carburantes.

Los BTX son un conjunto de moléculas formados por el benceno, el etilbenceno, el tolueno, el orto-xileno, el meta-xileno y el para-xileno. Los BTX hacen parte del grupo denominado Compuestos Orgánicos Volátiles (COV), los cuales son liberados por la quema de combustibles, como gasolina, madera, carbón o gas natural. También son liberados por disolventes, pinturas y otros productos empleados y almacenados en la casa y el lugar de trabajo.

La importancia de los COV reside en su capacidad como precursores del ozono troposférico y su papel como destructores del ozono estratosférico. Contribuyen a la formación del smog fotoquímico al reaccionar con otros contaminantes atmosféricos (como óxidos de nitrógeno) y con la luz solar.

## 4.2. BENCENO.

El benceno es un hidrocarburo aromático de fórmula molecular C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>, es un líquido incoloro con olor dulce, originariamente a él y sus derivados se le denominaban compuestos aromáticos debido al olor característico que poseen. Su representación esquemática se muestra en la figura 1-1

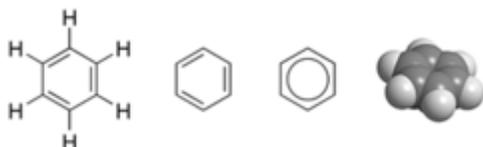


Figura 4.2. Representación esquemática del benceno.

El benceno presenta una presión de vapor de 94.8 mm de Hg a 25 °C, por lo que la volatilización es el proceso más importante para su distribución en el ambiente. Se evapora fácilmente desde la superficie de suelos y aguas; y presenta una baja tendencia de adsorción en sedimentos.

### Propiedades físicas

Apariencia	Incoloro
Densidad	878.6 kg/m <sup>3</sup> ; 0,8786 g/ cm <sup>3</sup>
Masa molar	78,1121 g/mol
Punto de fusión	278,6 K (5° C)
Punto de ebullición	353,2 K (80 °C)
viscosidad	0,662 mPa*s(20°C)

### Propiedades químicas

Solubilidad en agua	1,79
Momento dipolar	0 D

### Termoquímica

$\Delta_f H^0_{\text{gas}}$	82,93 kJ/mol
$\Delta_f H^0_{\text{líquido}}$	48,95 kJ/mol
$S^0_{\text{líquido, 1 bar}}$	150 J·mol <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup>

### **4.2.1.USOS.**

Algunas industrias usan el benceno como punto de partida para manufacturar otros productos químicos usados en la fabricación de plásticos, resinas, nilón y fibras sintéticas como lo es el kevlar y en ciertos polímeros. También se usa benceno para hacer ciertos tipos de gomas, lubricantes, tinturas, detergentes, medicamentos y pesticidas.

Los volcanes e incendios forestales constituyen fuentes naturales de benceno. El benceno es también un componente natural del petróleo crudo y la gasolina. Se encuentra también en el humo de cigarrillo y otros materiales orgánicos que se han quemado. Puede obtenerse mediante la destilación fraccionada del alquitrán de hulla.

### **4.2.2.TOXICIDAD.**

Respirar niveles de benceno muy altos puede causar la muerte, mientras que niveles bajos pueden causar somnolencia, mareo y aceleración del latido del corazón o taquicardia. Comer o tomar altos niveles de benceno puede causar vómitos, irritación del estómago, mareo, somnolencia o convulsiones y, en último extremo, la muerte.

La exposición de larga duración al benceno se manifiesta en la sangre. El benceno produce efectos nocivos en la médula ósea y puede causar una disminución en el número de hematíes, lo que conduce a padecer anemia. El benceno también puede producir hemorragias y daños en el sistema inmunitario, aumentando así las posibilidades de contraer infecciones por inmunodepresión.

Los efectos nocivos del benceno aumentan con el consumo de bebidas alcohólicas.<sup>6</sup>

El Departamento de Salud y Servicios Sociales de los Estados Unidos (DHHS) ha determinado que el benceno es un reconocido carcinógeno en seres humanos y otros mamíferos lactantes. La exposición de larga duración a altos niveles de benceno en el aire puede producir leucemia así como cáncer de colon.

En el organismo, el benceno es transformado en productos llamados metabolitos. Ciertos metabolitos pueden medirse en la orina o en las heces. Sin embargo, este examen debe hacerse con celeridad después de la exposición y el resultado del análisis no indica a que concentración de benceno se estuvo expuesto, ya que los metabolitos en la orina pueden originarse a partir de otras fuentes.

### 4.3. TOLUENO.

El tolueno, o metilbenceno, ( $C_6H_5CH_3$ ) es la materia prima a partir de la cual se obtienen derivados del benceno, el ácido benzoico, el fenol, la caprolactama, la sacarina, el TDI (diisocianato de tolueno), tiene efectos en el sistema nervioso central de trabajadores y es causante de malos olores. La concentración ambiental promedio varía de 5 a 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (OMS, 2004). Su representación esquemática se muestra en la Figura 1-2

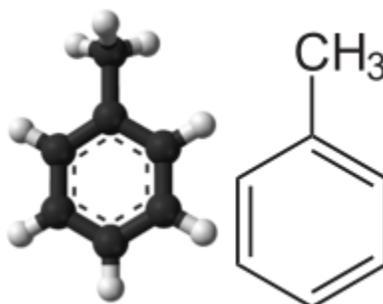


Figura 4.3. Esquematización de tolueno

El tolueno es un líquido incoloro transparente con un olor característico. Es un buen solvente y se añade a la gasolina junto con el benceno y el xileno, con el fin de aumentar el octanaje mejorando la su capacidad antidetonante.

#### PROPIEDADES FISICAS Y TERMODINAMICAS:

Punto de ebullición:	111°C
Punto de fusión:	-95 °C
Densidad:	0.87 g/ml (a 20 °C), 0.8623 ( a 25 °C)
Densidad de vapor:	3.14
Presión de vapor (a 30 oC):	37.7 mm de Hg
Índice de refracción (a 20 oC):	1.4967
Punto de inflamación en copa cerrada (Flash point ):	4 °C
Temperatura de autoignición:	530- 600 oC
Límites de explosividad:	1.27- 7 % (en volumen en el aire)
Solubilidad:	Muy poco soluble en agua (0.05 g/100 ml), miscible con éter, acetona, etanol, cloroformo, ácido acético glacial, disulfuro de carbono y aceites.
Temperatura crítica:	318.64 °C.

Presión crítica:	40.55 atm
Volumen crítico:	0.317 l/mol
Calor de combustión (a 25 oC y presión constante):	934.5 Kcal/mol
Calor de vaporización (a 25 oC):	9.08 Kcal/mol.
Capacidad calorífica (cal/g K) :	0.2688 (gas ideal), 0.4709 (líquido a 1 atm)
Tensión superficial (mN/m):	27.92 (a 25 °C)
Calor de formación (Kcal/mol) :	11.950 (gas), 2.867 (líquido).
Energía libre de formación (Kcal/K):	22.228as), 27.282 (líquido)

### 4.3.1. APLICACIONES.

El tolueno se adiciona a los combustibles (como antidetonante) y como disolvente para pinturas, revestimientos, caucho, resinas, diluyente en lacas nitrocelulósicas y en adhesivos. Se utiliza en la manufactura de ácido benzoico, benzaldehído y otros compuestos orgánicos.

El tolueno es el producto de partida en la síntesis del TNT (2,4,6-trinitrotolueno), un conocido explosivo. De igual modo, el tolueno es un disolvente ampliamente utilizado en síntesis. También se puede utilizar en la fabricación de colorantes.

### 4.3.2. TOXICIDAD.

El tolueno es una sustancia nociva aunque su toxicidad es muy inferior a la del benceno. Los epóxidos generados en la oxidación del anillo aromático (y al que se atribuye el poder cancerígeno del benceno) sólo se forman en una proporción inferior al 5%.

El cuerpo elimina el tolueno en forma de ácido benzoico y ácido hipúrico.

El tolueno se comporta como depresor del sistema nervioso central y periférico. En la exposición crónica, no hay un solo tejido u órgano blanco, sino varios, como hígado y riñón. Puede ser causante de hepatopatías, tubulopatía proximal y distal, ataxia, temblores y alteraciones del comportamiento y polineuropatías.<sup>2</sup>

Los vapores de tolueno presentan un ligero efecto narcótico e irritan los ojos. Inhalar niveles altos de tolueno durante un período breve puede hacer que uno se sienta mareado o somnoliento. Puede causar, además, pérdida del conocimiento y, en casos extremos, la muerte.

La concentración máxima permitida de los vapores del tolueno en los lugares de trabajo es de 50 ppm (partes por millón) (192 mg/m<sup>3</sup>).

El tolueno es biodegradable, hecho que se aprovecha por ejemplo en los biofiltros para la eliminación de sus vapores. Sin embargo presenta una cierta toxicidad sobre la vida acuática y por lo tanto es catalogado como sustancia peligrosa para estos sistemas.

## 4.4. XILENO.

El xileno, xilol o dimetilbenceno,  $C_6H_4(CH_3)_2$  es un derivado dimetilado del Benceno. Es un líquido inflamable incoloro de olor dulce. El término xilenos totales se refiere a los tres isómeros del xileno (m-, o-, y p-xileno). La mezcla de xileno contiene los tres isómeros y generalmente también contiene 6 a 15% de etilbenceno. Su representación esquemática se muestra en la Figura

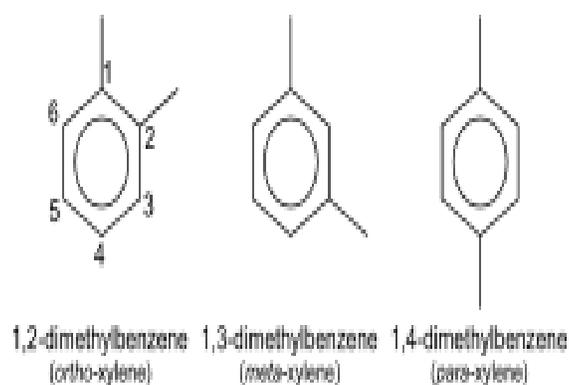


Fig. 4.4. Esquema del xileno

Propiedades:

<b>Apariencia</b>	Incoloro
Densidad	865,kg/m <sup>3</sup> ; 0,865 g/cm <sup>3</sup>
Masa molar	106,16 g/mol
Punto de ebullición	417,15 K (144 °C)
Viscosidad	0.620-0.810 (20 °C)
Solubilidad en agua	Insoluble en agua, soluble en alcohol, éter y otros compuestos orgánicos.
Punto de inflamabilidad	300 K (27 °C)
Temperatura de autoignición	736,9 K (464 °C)

#### **4.4.1. APLICACIONES.**

Los xilenos son buenos disolventes y se usan como tales. Además forman parte de muchas formulaciones de combustibles de gasolina donde destacan por su elevado índice octano.

En química orgánica son importantes productos de partida en la obtención de los ácidos ftálicos que se sintetizan por oxidación catalítica.

Un inconveniente es la dificultad de separación de los isómeros que tienen puntos de ebullición casi idénticos (o-xileno: 144 °C; m-xileno: 139 °C; p-xileno: 138 °C).

En histología se emplea en los pasos iniciales como solvente de la parafina en los cortes (desparafinización) y en los últimos pasos de preparado de muestras (tinción y montaje) como líquido intermediario o "aclarante", esto debido a que las proteínas fijadas y deshidratadas tienen igual índice de refracción que el xileno, por ello las muestras aparecen transparentes o "aclaradas". También permite el uso de medios de montaje hidrófobos (resinas sintéticas) para la preservación de la muestra teñida.

Por su capacidad para disolver el poliestireno es el componente básico, o incluso el único, de los pegamentos utilizados en plastimodelismo.

#### **4.4.2. TOXICOLOGÍA.**

Los xilenos son nocivos. Sus vapores pueden provocar dolor de cabeza, náuseas y malestar general. Al igual que el benceno, es un agente narcótico. Las exposiciones prolongadas a este producto puede ocasionar alteraciones en el sistema nervioso central y en los órganos hematopoyéticos. Como el xilol se encuentra en los marcadores de tinta permanente, estos productos pueden ser nocivos para la salud. El xilol constantemente se encuentra en los marcadores permanentes y puede afectar al olfato, por eso es recomendable que cuando los marcadores u otro producto tenga xilol, es mejor no olerlos.

## 5. MARCO NORMATIVO EN MATERIA DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS.

La Ley General de Salud establece en su *Título Séptimo*, “Promoción de la Salud” *Capítulo IV*, “Efectos del Ambiente en la Salud” (Artículos 116 y ss) que, en materia de efectos del ambiente en la salud de la población, corresponde a las autoridades de salubridad establecer normas, tomar medidas y realizar actividades tendientes a proteger la salud humana ante los riesgos y daños que pudieran ocasionar las condiciones del ambiente, así como determinar los valores de concentración máxima permisibles para el ser humano de los contaminantes atmosféricos. Con base en lo anterior, la Secretaría de Salud ha emitido diversas Normas Oficiales Mexicanas.

NOM-020-SSA1-1993: Salud ambiental. Criterio para evaluar el valor límite permisible para la concentración de ozono (O<sub>3</sub>) de la calidad del aire ambiente.

NOM-021-SSA1-1993: Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al monóxido de carbono (CO). Valor permisible para la concentración de monóxido de carbono (CO) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.

NOM-022-SSA1-1993: Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). Valor normado para la concentración de bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población".

NOM-023-SSA1-1993: Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al bióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>). Valor normado para la concentración de bióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.

NOM-025-SSA1-1993: Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto a las partículas menores de 10 micras (pm<sub>10</sub>). Valor permisible para la concentración de partículas menores de 10 micras (pm<sub>10</sub>) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.

NOM-026-SSA1-1993: Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al plomo (PB). Valor normado para la concentración de plomo (PB) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.

Reglamento en materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera de la LGEEPA, señala en el Artículo 7° fracción IV, que es competencia de la Secretaría responsable del sector ambiental (actualmente SEMARNAT), la expedición de normas "para la certificación de la autoridad competente de los niveles de emisión de contaminantes a la atmósfera provenientes de fuentes determinadas" ; para tal efecto la Secretaría ha emitido las siguientes normas en lo que respecta a monitoreo ambiental, fuentes fijas y fuentes móviles:

<b>Monitoreo Norma Oficial Mexicana *</b>	<b>Método de medición y calibración de equipo para la determinación de las concentraciones de:</b>
NOM-034-SEMARNAT-1993. En modificación	Monóxido de carbono
NOM-035-SEMARNAT-1993	Partículas suspendidas totales
NOM-036-SEMARNAT-1993	Ozono
NOM-037-SEMARNAT-1993	Bióxido de nitrógeno
NOM-038-SEMARNAT-1993	Bióxido de azufre

## 5.1. FUENTES FIJAS

<b>Norma Oficial Mexicana</b>	<b>Niveles máximos permisibles de emisiones a la atmósfera</b>
NOM-039-SEMARNAT-1993	Bióxido y trióxido de azufre y neblinas de ácido sulfúrico en plantas productoras de ácido sulfúrico.
NOM-040-SEMARNAT-2002	Protección ambiental-Fabricación de cemento hidráulico- Niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera. <i>Modificación DOF 20-ABRIL-2004.</i>
NOM-043-SEMARNAT-1993	Niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas sólidas provenientes de fuentes fijas.
NOM-046-SEMARNAT-1993	Bióxido de azufre, neblinas de trióxido de azufre y ácido sulfúrico en plantas productoras de ácido dodecilbencensulfónico.
NOM-075-SEMARNAT-1995	Compuestos orgánicos volátiles (COVs), separadores agua-aceite. Establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de compuestos orgánicos volátiles, de los separadores agua-aceite utilizados en las refinerías de petróleo.  Norma en proceso de modificación, el objetivo es regular de manera más eficiente las emisiones de las refinerías de petróleo, en particular los compuestos orgánicos volátiles y los compuestos de azufre. Fechas estimadas de inicio y terminación:

	enero a diciembre de 2010.
NOM-085-SEMARNAT-1994	<p>Humos, partículas suspendidas totales, óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno en fuentes fijas que utilizan combustibles fósiles.</p> <p>(Modificación DOF 11-noviembre -1997). Proyecto de modificación de la Norma. La modificación tiene por objeto principal actualizar los niveles máximos permisibles de emisión de contaminantes a la atmósfera (humos, partículas, monóxido de carbono, dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno) para los equipos de combustión nuevos. Asimismo establecerá precisiones técnicas referentes a los métodos analíticos y frecuencia de medición, e incluirá el Procedimiento de Evaluación de la Conformidad. Se busca que el establecimiento de nuevos niveles coadyuven al desarrollo sustentable del sector energía y en general de la planta industrial del país, teniendo en cuenta los avances tecnológicos. Fechas estimadas de inicio y terminación: enero a diciembre de 2010.</p>
NOM-092-SEMARNAT-1995	<p>Requisitos de los sistemas de recuperación de vapores de gasolina en estaciones de servicio y de autoconsumo ubicadas en el Valle de México.</p> <p>Norma en proceso de modificación, el objetivo es regular la instalación y puesta en marcha de sistemas de recuperación de vapores de gasolina en estaciones de servicios y autoconsumo. Fechas estimadas de inicio y terminación: enero a diciembre de 2010.</p>
NOM-093-SEMARNAT-1995	Eficiencia de laboratorio de los sistemas de recuperación de vapores de gasolina en estaciones de servicio y de autoconsumo.
NOM-097-SEMARNAT-1995	<p>Límites máximos permisibles de emisión a la atmósfera de material particulado y óxidos de nitrógeno en los procesos de fabricación de vidrio en el país.</p> <p>(1a. aclaración DOF 01-julio-1996. y 2a. aclaración DOF 16-octubre-1996).</p>
NOM-105-SEMARNAT-1996	Partículas sólidas totales y compuestos de azufre reducido total en plantas de fabricación de celulosa.
NOM-121-SEMARNAT-1997	<p>Límites máximos permisibles de emisión a la atmósfera de compuestos orgánicos volátiles (COVs) provenientes de las operaciones de recubrimiento de carrocerías nuevas en planta de automóviles, unidades de uso múltiple, de pasajeros y utilitarios; carga y camiones ligeros, así como el método para calcular sus emisiones.</p> <p>(Aclaración DOF 09-septiembre-1998).</p>
NOM-123-SEMARNAT-1998	Compuestos orgánicos volátiles (COVs) en pinturas. Establece el contenido máximo permisible de COVs en la fabricación de pinturas de secado al aire base disolvente para uso doméstico y los procedimientos para la determinación del contenido de los mismos en pinturas y recubrimientos.
NOM-137-SEMARNAT-2003	<p>Establece las especificaciones y los requisitos del control de emisiones de las plantas desulfuradoras de gas y condensados amargos, así como los métodos de prueba para verificar el cumplimiento de la misma.</p> <p>Norma en proceso de modificación, el objetivo es simplificar la redacción de la norma para facilitar su aplicación y la vigilancia de su cumplimiento. Fechas estimadas de inicio y terminación: enero a diciembre de 2010.</p>
NOM-148-	Contaminación atmosférica- recuperación de azufre proveniente de los procesos de

SEMARNAT-2006	refinación de petróleo.
NOM-86-SEMARNAT-SENER-SCFI 2005	Especificaciones de los combustibles fósiles para la protección ambiental. Norma en proceso de modificación, el objetivo es revisar las especificaciones de los combustibles fósiles. Fecha estimada de inicio y terminación: enero a diciembre de 2010.

## 5.2. FUENTES MÓVILES.

<b>Norma Oficial Mexicana</b>	<b>Niveles máximos permisibles de emisiones contaminantes</b>
NOM-042-SEMARNAT-2003	Hidrocarburos no quemados, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos evaporativos provenientes del escape de vehículos en planta a gasolina o gas.
NOM-047-SEMARNAT-1999	Características de equipo y procedimientos de medición para la verificación de contaminantes en vehículos a gasolina, gas LP, gas natural u otros combustibles alternos. Norma en proceso de modificación, el objetivos es establece las características del equipo y los procedimientos para la medición para la verificación de los límites máximos permisibles de emisión de hidrocarburos, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, oxígeno y bióxido de carbono; además de definir el intervalo permisible de dilución y el nivel lambda en los vehículos de combustión interna que utilizan gasolina. Fecha estimada de inicio y terminación: enero a diciembre de 2010.
NOM-048-SEMARNAT-1993	Niveles máximos de emisión de hidrocarburos, monóxido de carbono y humos en motocicletas a gasolina o gasolina-aceite. Norma en proceso de modificación, el objetivo es derivado del incremento de vehículos en circulación de este medio de transporte en todo el territorio nacional, sin control ambiental tanto como para su importación como en circulación, así como la falta de observación de las NOM, s vigentes por lo complicado de los protocolos de verificación establecidos, las autoridades de los gobiernos Estatales que manejan Programas Ambientales solicitaron se formara un grupo de trabajo para la modificación de la NOM-048-SEMARNAT-1993 y NOM-049-SEMARNAT-1993. Fecha estimada de inicio y terminación: enero a diciembre de 2010.
NOM-049-SEMARNAT-1993	Características de equipo y procedimiento de medición para la verificación de contaminantes en motocicletas a gasolina o gasolina-aceite en circulación.
NOM-050-SEMARNAT-	Emisión de gases contaminantes provenientes de vehículos en circulación a gas LP o gas natural.

1993	
NOM-076-SEMARNAT-1995	<p>Establece los niveles máximos permisibles de emisión de hidrocarburos no quemados, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno provenientes del escape, así como de hidrocarburos evaporativos provenientes del sistema de combustible, que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural y otros combustibles alternos y que se utilizaran para la propulsión de vehículos automotores, con peso bruto vehicular mayor de 3,857 kilogramos nuevos en planta.</p> <p>(Se complementa con un "Acuerdo" DOF 29-diciembre-2003)</p> <p>Norma en proceso de modificación, pretende actualizar, con base en nuevas tecnologías, los niveles máximos permisibles de emisión señalados en la Norma Oficial Mexicana, establecer los métodos de prueba y el procedimiento para la evaluación de la conformidad con la norma; en coordinación con la Secretaría de Economía. Fechas estimadas de inicio y terminación: enero a diciembre de 2010.</p>
NOM-041-SEMARNAT-2006	<p>Establece los límites máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina como combustible.</p> <p>Norma en proceso de modificación, el objetivo es establecer los límites máximos permisibles de emisión de hidrocarburos, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, oxígeno y bióxido de carbono; además de definir el intervalo permisible de dilución y el nivel lambda en los vehículos de combustión interna que utilizan gasolina.</p>
NOM-044-SEMARNAT-2006	<p>Establece los límites máximos permisibles de emisión de hidrocarburos totales, hidrocarburos no metano, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, partículas y opacidad de humos provenientes del escape de motores nuevos que usan diesel como combustible.</p> <p>Norma en proceso de modificación, el objetivo es actualizar con base a nuevas tecnologías, los límites máximos permisibles de emisión señalados en la Norma Oficial Mexicana, establecer los métodos de prueba y el procedimiento para la evaluación de la conformidad con la norma. Fecha estimada de inicio y terminación: enero a diciembre de 2010.</p>
NOM-045-SEMARNAT-2006	<p>Protección ambiental- vehículos en circulación que usan diesel como combustible. Límites máximos permisibles de opacidad, procedimiento de prueba y características técnicas del equipo de medición.</p> <p>Norma en proceso de modificación, el objetivo es ajustar los límites máximos permisibles de opacidad de humo, incorporación de un método adicional de medición de los RPM y precisiones al procedimiento de prueba y al equipo de medición. Fecha de inicio y terminación: enero a diciembre de 2010.</p>

## **5.3. EQUIPO DE SEGURIDAD.**

### **5.3.1.MASCARA ANTIGÁS.**

Una máscara antigás es un dispositivo de uso individual, que se ajusta a la cabeza para proteger de vapores y gases venenosos.

Consta de un cuerpo fabricado de un material flexible que se adapta a la cara, unas protecciones plásticas para los ojos y una válvula para expulsar el aire.

A la máscara se le conecta por medio de una rosca un filtro que es diferente según sean los requerimientos de protección. Este consta típicamente de un cuerpo cilíndrico con dos aperturas, una de ellas con una rosca que se conecta a la máscara.



Fig. 5.3.1 Mascara Antigás.

## 5.4. GUANTES LÁTEX.

Los guantes de látex tienen la característica de ofrecer una mayor facilidad en los gestos del trabajo a desarrollar, de esta manera, permite obtener comodidad del soporte textil y una buena resistencia al desgarro. El uso de los guantes de látex para auxiliar un accidentado es cada vez más común para evitar el contagio de enfermedades. En la mayoría de los cursos de primeros auxilios y socorrismo, se enseñan técnicas para ponerse y sacarse los guantes evitando que la sangre o fluido sobre el guante entre en contacto con la piel o la ropa del socorrista.

Tienen su principal uso en los trabajos relacionados con elementos químicos y/o que requieren limpieza.

Algunas de las reglas básicas que se enseñan son: revisar los guantes para estar seguros que no estén rotos, no dejar que ninguna persona entre en contacto con material contaminado, tirar los guantes en una bolsa marcada para no confundirlo con basura común; lavarse las manos luego de sacarse los guantes; etc.



Fig.5.4. Guantes de Látex

## **6. BIOINDICADORES DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.**

### **6.1. DEFINICIÓN.**

Un bioindicador es todo organismo vivo, que permite determinar y evaluar las condiciones del medio en el cual se desarrolla, permitiendo conocer el índice de contaminación de un lugar, ya sea, atmosfera, agua o suelo.

### **6.2. TIPOS DE BIOINDICADORES.**

Existen diversos tipos de Bioindicadores que se clasifican dependiendo de varios criterios:

Según el grado de sensibilidad: permiten obtener información de acuerdo al grado de afectación, como de los ocurridos o el nivel de intensidad del cambio ambiental. Se pueden clasificar en especies muy sensibles, sensibles, poco sensibles y resistentes.

b. según la capacidad de respuesta a estímulos, se clasifican en:

**Detectores:** son organismos que viven en un área determinada y muestran respuestas tales como cambios en la vitalidad, mortalidad, capacidad reproductora, abundancia, etc.

**Explotadores:** son entidades que permiten identificar con una mayor probabilidad la presencia de una perturbación, los mismos se localizan en zonas perturbadas por la no existencia de competidores.

**Centinelas:** son bioindicadores muy sensibles, los cuales se los coloca en un área determinada y son generalmente utilizados como alarmas debido a que detectan rápidamente un cambio.

**Acumuladores:** son organismos resistentes a diversos contaminantes, pudiendo absorberlos y acumularlos en cantidades apropiadas.

**Organismos test o bioensayo:** usualmente son Bioindicadores que permiten detectar la contaminación en laboratorios, al igual, estos pueden ser usados para establecer listas de contaminantes según su toxicidad.

Según el poder de cuantificar las respuestas, existen:

Bioindicadores en el sentido estricto: son aquellos que con su presencia o ausencia indican los efectos de un factor ambiental de forma cualitativa, como por ejemplo, aquellas plantas que viven en lugares donde hay ciertos metales pesados y que con la presencia de las mismas indican la existencia de contaminación en el entorno donde se encuentren.

Biomonitores: son especies que indican la presencia de contaminantes de forma cualitativa y cuantitativa, porque sus reacciones son de alguna manera proporcionales al grado de perturbación. Es decir, permiten la acumulación de contaminantes obtener cantidades medibles de metales pesados

### **6.3. IMPORTANCIA DE USO DE BIOINDICADORES.**

Los efectos de la contaminación atmosférica sobre los briófitos y líquenes provocan alteraciones tanto en su crecimiento como su morfología, además de ocasionar afecciones en su potencial de reproducción, respiración y fotosíntesis.

El biomonitoreo de la calidad del aire, es importante porque se puede realizar directa o indirectamente o a través de modelos, de la misma manera se requiere de métodos complementarios, es decir, la utilización de bioindicadores los cuales ayudan a conocer el grado de contaminación y permiten obtener un análisis apropiado así como también conseguir información sobre alteraciones ambientales debido a que tienen la capacidad de absorber agua y nutrientes, y además presentan un alto grado de sensibilidad hacia la contaminación. Debido a esto, los bioindicadores se han venido utilizando cada vez con más frecuencia como un instrumento de diagnóstico, monitoreo y gestión de la contaminación ambiental.

#### **6.3.1. BROMELIAS COMO ORGANISMOS BIOINDICADORES.**

Las bromelias pueden absorber y acumular elementos en sus tejidos, debido a sus tallos y hojas que están cubiertos por tricomas (escamas) que absorben agua y nutrientes directamente de la atmósfera.

Debido a sus características fisiológicas particulares, diferentes especies de bromelias, han sido utilizadas para el biomonitoreo de la contaminación del aire en varios países por ejemplo Brasil la especie *Tillandsia usneoides* demostró ser bioindicador eficaz de la contaminación atmosférica principalmente por metales pesados.

## **6.4. BRIÓFITOS, LÍQUENES Y BROMELIAS COMO ORGANISMOS ACUMULADORES PESADOS.**

El uso de briófitos, líquenes y bromelias epífitos como indicadores atmosféricos de metales pesados se desarrolló para ser un complemento de métodos tradicionales físico-químicos ya existentes; el monitoreo de metales pesados permite realizar mediciones directamente en el ambiente y facilitan la cuantificación debido a las altas concentraciones que presentan en sus tejidos.

Además, estos organismos captan altas concentraciones de zinc y plomo, son eficaces debido a que la corteza de los árboles son pobres en nutrientes, por lo que estos organismos no dependen del sustrato. Asimismo, pueden ser trasplantadas desde áreas libre de contaminación hacia áreas desconocidas dañadas por este factor, de esta forma se puede controlar muchas variables y mejorar sus evaluaciones.

## **6.5. TIPOS DE METALES PESADOS ABSORBIDOS.**

Los metales presentan características peculiares, los mismos pueden ser beneficios pero a la vez tóxicos en cantidades que exceden los niveles de concentración. continuación se describe a algunos de ellos:

Plomo (Pb): es un componente natural conocido desde la antigüedad, el mismo que ha sido estudiado ampliamente por sus efectos tóxicos (nocivo para las funciones renal y hepática, sistemas hematopoyéticos, nervio central y periférico) la gran utilización de este elemento en diferentes actividades para la industria se ha convertido en uno de los mayores contaminantes del aire.

## 7. CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA.

Las bromelias, junto con las orquídeas, helechos, aráceas y gesneriáceas, constituyen el principal componente epífito vascular que contribuye en gran medida a la alta diversidad biótica en muchas formaciones vegetales tropicales; asimismo, constituyen el hábitat de muchos otros gremios de animales y contribuyen a la biomasa de selvas tropicales, además de presentar una gran diversidad de mecanismos que les permiten adaptarse con éxito al ambiente epífito, caracterizado por pulsos cortos de agua, altas intensidades lumínicas e inestabilidad de los forofitos.

Por la belleza de su follaje y sus flores, por la facilidad de su cultivo y por la resistencia a muchas plagas, numerosas especies de bromelias tienen un alto valor ornamental a nivel mundial. Sin embargo en México, son pocas las especies nativas que se aprovechan con este fin.

Debido a la importancia de esta familia en México y su amplio potencial ornamental, se desarrolla el presente diagnóstico, con el fin de que se utilice como base para el tratamiento de un plan estratégico de conservación y aprovechamiento de las especies de este grupo en nuestro país.

### 7.1. TAXONOMÍA.

Las bromelias reportadas en México sobrepasan las 363 especies, organizadas en 18 géneros; de éstas aproximadamente 70% son endémicas. Al considerar la extraordinaria riqueza de las plantas vasculares y la heterogeneidad medioambiental presentes en el país, destaca la diversidad de especies endémicas de los géneros *Tillandsia* L. subgénero *Tillandsia*, *Hechtia* Klotszch y *Pitcairnia* L'Hér., y se propone que el país es un posible centro de diversificación de esos grupos.

## 7.2. MORFOLOGÍA.

Las bromelias son plantas herbáceas, terrestres, litófitas que crecen sobre rocas (figura 7.2) o epífitas sobre árboles y otras en cables (figura 7.2.1), usualmente en forma arrosetada y sin tallo, con inflorescencias que por lo general emergen del centro de la roseta y muy rara vez de las axilas de las hojas; las flores y los frutos tienen colores muy vistosos y por lo general son de larga duración. Presentan varias características morfológicas casi únicas de la familia, como el desarrollo de una estructura tipo “tanque”, formada por el solapamiento de las bases de las hojas. Allí se acumulan agua de lluvia y materia orgánica, que dan forma a un hábitat que permite el desarrollo de varios insectos y arácnidos, así como de ranas, pequeñas serpientes, etc.; además, sirve como fuente de alimento para otros vertebrados. Este tipo de estrategia para la captura de agua y nutrimentos, se ha registrado en especies de las tres subfamilias y en lugares donde la precipitación media anual sobrepasa los 1 000 mm. Otra estrategia única de la familia es la presencia de tricomas foliares peltados muy visibles sobre todo en forma de un manto aterciopelado de color grisáceo, en especies que ocupan hábitats extremadamente secos y con altas radiaciones solares.



Figura 7.2. *Tillandsia brachycaulos* creciendo sobre rocas.

Estos tricomas o pelos que también se observan en las diferentes brácteas de la inflorescencia, así como en algunas estructuras florales, se especializan en la captura de agua y nutrimentos de la lluvia, del rocío o de la escorrentía por las ramas de sus forofitos, llevando el agua a sus tejidos internos para la ejecución de

sus funciones vitales. Es necesario destacar que en la gran mayoría de las epífitas, si no es que en todas, las raíces sólo sirven de soporte en estadíos adultos, pasando la función de absorción a los tricomas peltados. Muchas plantas terrestres, principalmente de la subfamilia *Pitcairnioideae*, no desarrollan tanques y sus tricomas no son altamente especializados en la absorción; sin embargo, tienen raíces bien desarrolladas, aunque algunas son terrestres de sitios muy lluviosos pero con suelos pobres; además, combinan tricomas foliares absorbentes y tanques bien desarrollados. Asimismo, es característica de algunas especies la reducción vegetativa, donde el cuerpo de la planta carece de tallo, por ejemplo, el heno *T. usneoides*

A nivel genérico, son muy importantes los caracteres florales para delimitar especies, por ejemplo el color y la forma de los pétalos, la carina de los sépalos y el grado de unión de los mismos, así como la forma, el color y el tamaño de las brácteas florales, entre otros. Sin embargo, varios caracteres como la pubescencia a lo largo de la planta, el tamaño de las plantas, hojas, escapos e inflorescencias, el número de ramas y flores, así como la coloración en las rosetas, son muy variables dependiendo de las condiciones ambientales; como ejemplo están los casos de especies de *Aechmea*, *Pitcairnia* y *Tillandsia*.



Fig. 7.2.1. *Bromelia Karatas*

### 7.3. FISIOLOGÍA.

Las bromelias se encuentran en una gran diversidad de hábitats y presentan características fisiológicas que les han permitido conquistar ambientes altamente restrictivos desde el punto de vista hídrico y nutricional. Una de las principales características es la presencia de metabolismo CAM (metabolismo ácido de crasuláceas, por sus siglas en inglés), el cual es un proceso de fijación de CO<sub>2</sub> que se realiza principalmente en la noche, evitando una pérdida excesiva de agua. Por otro lado, aunque se han reportado igualmente plantas con metabolismo C<sub>3</sub>, existen modificaciones morfológicas y anatómicas que les permiten también ser exitosas. Otras de las características que se pueden mencionar son tanto la presencia de hojas suculentas con tejido almacenador de agua, como de tricomas foliares peltados altamente especializados en la toma rápida e intermitente de agua, los cuales son mucho más desarrollados y complejos en las epífitas que en las terrestres, especialmente de los géneros *Tillandsia L.* y *Vriesea Lindl.* En las especies de estos últimos taxones su sistema radical pierde la capacidad de absorción en la madurez, función tomada principalmente por las hojas, donde la presencia y el desarrollo de los tricomas foliares son más conspicuos. También hay diferentes especies que cuentan con el desarrollo de una estructura acumuladora de agua y nutrimentos conocida como “tanque”. A las rosetas de este tipo también se les llama fitotelmata debido a la acumulación de agua que por una parte es utilizada por la planta y por la otra, permite el desarrollo de comunidades de insectos y arácnidos, cuyos desechos las nutren.

#### 7.4. **BROMELIA KARATAS.**

La familia *Bromeliaceae* comprende 3 subfamilias, 51 géneros y cerca de 1500 especies entre terrestres y xerófitas, como la piñuela (*Bromelia karatas*) o *Dickia* y otras autótrofas desprovistas de raíz como *T. usneoides*, conocida popularmente como “musgo español”. Basado en sus hábitos de crecimiento y otras características, las bromeliáceas se dividen en las subfamilias *Pitcairnioideae*, *Tillandsioideae* y *Bromelioideae* . El género *Bromelia* a la cual pertenece la piñuela, comprende 50 especies, algunas rizomatosas, nativas de Centro y Sudamérica y de las Antillas, Centro América y Norte de Sudamérica. La Flora Mesoamericana indica que el género *Bromelia* L. se distribuye desde México a Argentina y en Las Antillas.



Fig. 7.4. *Bromelia Karatas*.

Es una planta terrestre de bosques y matorrales entre 50–1500 msnm , florece en los meses de junio a julio y es propia de bosques seco, estacionalmente seco a bosques húmedos (más raramente), de hábito terrestre. La planta *Bromelia Karatas* crece en suelos pobres y se encuentra en estado silvestre o cultivado como cercas vivas.

En Colombia, la piñuela (*Bromelia Karatas*) se destaca como especie promisoría que ha sido poco estudiada y casi desconocida, es reconocida como alimento autóctono, principalmente en la región del valle del Patía. Esta fruta reúne características especiales de acidez, aroma y resistencia al transporte, lo cual la convierte en un recurso potencial para su uso y aprovechamiento agroindustrial, donde se le puede dar alto valor agregado. Esta planta silvestre es resistente a la sequía, plagas y enfermedades, crece en suelos marginales y la mayoría de los agricultores siembran “piñuelares” para cercar sus terrenos, actualmente no es aprovechada en la región porque se desconocen sus usos y potencialidades como recurso promisorio.

## 8. FITORREMEDIACIÓN.

Los metales pesados pueden presentarse en el suelo bajo diferentes formas: solubles en la solución del suelo, como iones intercambiables de los coloides que integran el complejo de cambio, formando complejos con la materia orgánica, adsorbidos en los óxidos e hidróxidos de Fe, Mn y Al, sulfuros y fosfatos y como constituyentes de los minerales del suelo. A su vez, dichas formas de retención representan diferentes grados de disponibilidad relativa para organismos del suelo, vegetación, etc.

Sin embargo, la disponibilidad de los metales en el suelo, depende de diversos factores tales como el pH, la capacidad de intercambio de cationes, el potencial redox, el propio tipo y especiación química de los elementos metálicos o el material carbonatado, etc.. En particular, en la cuenca Mediterránea es común la presencia de suelos carbonatados en uno o varios de sus horizontes que, junto con la alternancia de periodos húmedos y secos y la existencia de un larga estación cálida, favorece la retención metálica en el suelo. Sin embargo, la acción de los organismos del suelo y/o cambios en las condiciones ambientales (ej., una disminución del pH del suelo) pueden favorecer un incremento en la disponibilidad de la concentración de metales pesados.

Las técnicas de fitorremediación se basan en el empleo de especies tolerantes a los metales. El término de especies metalofitas agrupa a una gran variedad de especies de plantas capaces de resistir, tolerar y sobrevivir en suelos con altos niveles de metales. Son endémicas de suelos con afloramientos naturales de minerales metálicos y pueden colonizar suelos degradados por actividades antrópicas, si tienen la oportunidad y el tiempo necesario. Sin embargo, tienen restringida supervivencia en zonas no mineralizadas y sobreviven específicamente en entornos contaminados por metales concretos. Las especies pseudometalófitas, de ámbito de distribución más extenso, son capaces de sobrevivir en suelos metalíferos en los que se han especializado tolerando los efectos tóxicos de los metales. Por otro lado, se pueden distinguir distintos mecanismos por los que las especies vegetales pueden sobrevivir en suelos con altos niveles de metales, y se habla de especies exclusoras, haciendo referencia a aquellas especies que desarrollan estrategias por las que impiden la entrada de metales pesados en la raíz y su transporte a los tejidos fotosintéticos; y de especies hiperacumuladoras cuando se especializan en acumular metales en sus tejidos aéreos llegando a superar el 2% de su peso seco.

La fitorremediación contempla seis procesos básicos a través de los cuales las plantas pueden contribuir a la recuperación de suelos, sedimentos y aguas contaminadas (figura 1). Dependiendo de la estrategia de recuperación, estos procesos darán lugar a la contención o a la eliminación de los contaminantes del suelo. La fitoestabilización y la fitoinmovilización corresponden a la primera de las dos estrategias, mientras que la fitoextracción y fitodegradación, fitovolatilización y rizofiltración representan procesos de eliminación.

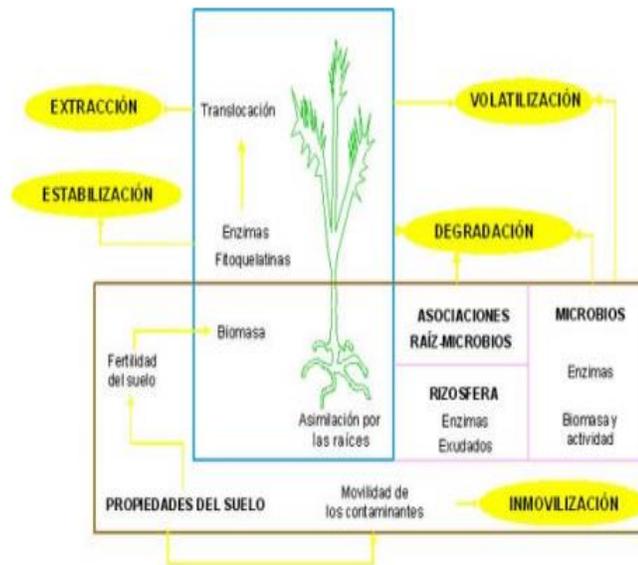


Fig.8. Procesos implicados en la fitorremediación de suelos contaminados

## **9. GENERALIDADES DEL SUSTRATO.**

### **9.1. CONCEPTO.**

Los sustratos son una materia sólida, diferente al suelo, que permiten el anclaje de la planta, siendo el lugar donde se desarrollan las raíces, de donde obtienen el agua y los nutrientes, para su crecimiento y desarrollo.

#### **Principal función de los sustratos:**

- Corregir el PH del suelo.
- Mejorar la aireación.
- Cambiar y mejorar la estructura y propiedades del suelo

#### **Los sustratos se clasifican en:**

##### **1- Naturales:**

- orgánicos (turba-pinocha-resaca de río-estiércol).
- inorgánicos (arena-vermiculita) y minerales (tierras abonadas-suelos).

**2- Industrializados:** perlita–compost-lombricompuesto.

**3- Sintéticos:** los polímeros.

#### **Características de un buen sustrato:**

- No poseer sustancias tóxicas.
- No poseer patógenos, ni malezas.
- Buena retención de humedad.
- Adecuada porosidad (aireación-densidad).
- Buena retención de nutrientes.
- Ser homogéneo.

## **9.2. SUSTRATOS ORGÁNICOS NATURALES.**

Dentro de los sustratos orgánicos se encuentran: la turba, pinocha, resaca de río y el estiércol.

Los sustratos orgánicos, son el principal fertilizante natural (libre de compuestos químicos) que se utilizan en las huertas y cultivos orgánicos. Lo ideal es incorporar como tarea de mantenimiento de las plantas realizar un aporte del sustrato más adecuado, según las necesidades de cultivo de las especies. Ya que los sustratos, como también, el suelo, se van lavando a través de los riegos, perdiendo sus nutrientes naturales y necesitan ser repuestos, para poder continuar con su correcto crecimiento y desarrollo y sobre todo, sanas y fuertes.

### **9.2.1. TURBA.**

La turba está formada por restos de vegetación acuática. Existen 2 tipos de turba: rubias y negras. Las turbas rubias poseen un mayor contenido en materia orgánica y están menos descompuestas; las turbas negras están más mineralizadas, teniendo un menor contenido en materia orgánica. Para preparar la mezcla se humedece antes de incorporarla, ya sea a un contenedor o a un hoyo, para que hidrate correctamente. La turba es un sustrato orgánico de tipo fibroso.

Principales características de la turba:

- Posee bajo PH.
- Permeabilidad alta.
- Aireación alta.
- Retención hídrica variable. Muy alta si proviene del musgo.
- Rica en materia orgánica.
- No posee capacidad buffer.
- No tiene C.I.C.

Hay plantas que entre sus necesidades, requieren suelos con PH bajo, para estas especies, se suele agregar turba o en su defecto pinocha.

### **9.2.2.PINOCHA.**

La pinocha se obtiene de los montes de pinos, generalmente lo que se comercializa son las acículas de pino trituradas y comportadas.

Principales características de la pinocha:

- Posee bajo PH.
- Alta permeabilidad.
- Alta aireación.
- Baja retención hídrica.
- Rica en materia orgánica, a largo plazo.
- No posee capacidad buffer.
- No tiene C.I.C.

### **9.2.3.RESACA Y ESTIÉRCOL.**

Existen varios tipos de estiércol (excremento de animales) es importante que proceda de animales cuya alimentación sea vegetal, como caballos, vacas, cabras, etc. El estiércol debe estar seco, curado y cribado.

El estiércol se utiliza principalmente para mejorar las propiedades físicas del suelo. La resaca de río mejora el drenaje en las mezclas y aporta nutrientes.

Tanto el estiércol como la resaca de río:

- Poseen alta permeabilidad.
- Alta aireación.
- Tienden a acidificar el suelo.
- No poseen capacidad buffer.
- Tienen bajo C.I.C. (capacidad de intercambio catiónico).
- Ricos en materia orgánica.

A diferencia del estiércol, que posee una alta retención hídrica, la resaca de río posee una baja retención hídrica.

### 9.3. CARACTERÍSTICAS DEL PEAT MOSS

El Peat Moss es un musgo que pertenece al género Sphagnum, el cual cuenta con otras especies de musgos que van de las 150 a 350 diferentes, comúnmente conocidos como musgos de turbera (Peat moss). Se forman en regiones nórdicas con pantanos, de una masa esponjosa y ligera en la que se pueden observar los componentes vegetales que la originaron.

El Peat Moss es un sustrato cuya característica principal es que retiene muy bien la humedad y presenta un adecuado intercambio de aire.

Existen distintas presentaciones de Peat moss por lo que debemos elegir la más adecuada de acuerdo al clima en donde nos encontremos y las características necesarias para el desarrollo de cada tipo de cultivo.

Se describe como un material orgánico compacto, de color pardo claro hasta oscuro y rico en carbono, tiene propiedades físicas y químicas variables en función de su origen, los miembros de este género pueden retener grandes cantidades de agua dentro de sus células, algunas especies pueden retener más de 20 veces su peso seco en agua.

Se pueden clasificar en dos grupos:

Turbas rubias: las cuales tienen un mayor contenido en materia orgánica y están menos descompuestas.

Turbas negras: están más mineralizadas teniendo un menor contenido en materia.

Peat moss fino:

se utiliza para que la semilla o esqueje tenga una óptima penetración en el medio para germinar y pueda enraizar adecuadamente; gracias a sus características permite tener la humedad, temperatura y porosidad adecuada para la producción de diversos cultivos.



Fig. 9.3. Peat moss

Características de Peat moss:

PREMIER PEAT-MOSS - OTRAS CARACTERÍSTICAS						
Densidad en Seco	Contenido humedad	Porosidad % V/V	Retención de Agua W/W	Densidad húmedo	Humedad W/W peso fresco	Materia Orgánica
- g/l	35-45 %	92-94 %	800-1100 %	100-130 kg/m3	35-45 %	92-96 %
V/V = Volumen/Volumen en maceta de 6" W/W = Peso/Peso						

## **10. METODOLOGÍAS.**

### **10.1.CROMATOGRAFÍA.**

La cromatografía de gases es una técnica muy utilizada para separar los diferentes compuestos volátiles de una muestra. La fase móvil es un gas inerte, (nitrógeno o helio) que transporta la muestra volatilizada en el inyector a través de la columna cromatográfica. La fase estacionaria generalmente está constituida por una columna de metil polisiloxano, o derivados de éste. Los diferentes compuestos se separan en función de su grado de volatilidad (punto de ebullición, peso molecular) y su afinidad por la fase estacionaria. Entre los detectores más utilizados caben mencionar el detector FID (ionización de llama) que por su alta versatilidad, hace posible la detección de un elevado tipo de compuestos.

### **10.2.PRINCIPIOS Y ELEMENTOS BÁSICOS DE LA CROMATOGRAFÍA DE GASES.**

La cromatografía de gases es una técnica analítica que permite separar mezclas de compuestos fácilmente volatilizables y térmicamente estables en sus componentes individuales. En todas las separaciones cromatográficas, la muestra se desplaza con una fase móvil, a través de una fase estacionaria con la que es inmisible fijada a una columna o a una superficie sólida. Las dos fases se eligen de tal forma que los componentes de la muestra se distribuyan de modo distinto entre ambas. Aquellos componentes fuertemente retenidos por la fase estacionaria se mueven lentamente con el flujo de la fase móvil; por el contrario, los componentes que se unen débilmente se mueven con rapidez. Como consecuencia de la distinta movilidad, los componentes de la muestra se separan en bandas que pueden identificarse cualitativa y/o determinarse cuantitativamente. La clasificación más frecuente en cromatografía, la marca el tipo de fase móvil, en este sentido la cromatografía de gases emplea como fase móvil un gas. En cromatografía de gases (CG), la muestra se volatiliza y se inyecta en la cabeza de una columna cromatográfica. La elución se produce por el flujo de una fase móvil de gas inerte, la fase móvil no interacciona con las moléculas del analito cuya única función es la del transporte de este a través de la columna. En este punto se produce la separación de los componentes de la mezcla, que finalmente son determinados gracias a un detector que amplifica la señal integrándola y dando lugar a los resultados analíticos.

Existen fundamentalmente dos tipos de cromatografía de gases: Cromatografía Gas-Sólido (CGS) cuya fase estacionaria es un sólido y el tipo de equilibrio con la fase móvil es una adsorción. Cromatografía Gas-Líquido (CGL) cuya fase estacionaria es un líquido adsorbido sobre un sólido, el equilibrio lo marca el coeficiente de reparto.

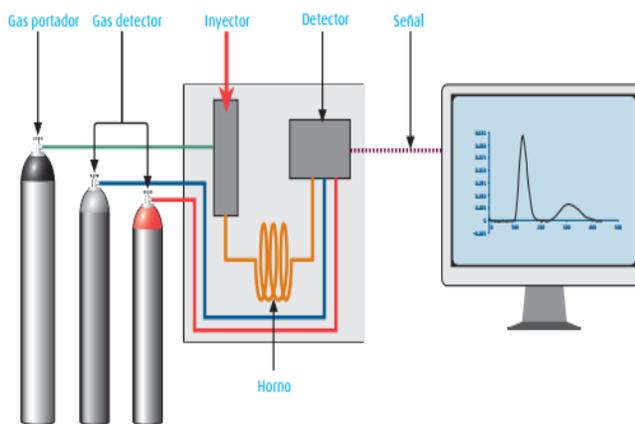


Fig.10.2.Representación de Cromatografía.

### 10.2.1. SISTEMA DE INYECCIÓN DE LA MUESTRA

La eficacia de la columna requiere una muestra de tamaño adecuado. La inyección lenta de muestras demasiado grandes provoca un endanchamiento de las bandas y una pobre resolución. El uso de microjeringas para la inyección de muestras líquidas o gaseosas a través de un septum es el método más eficaz. La muestra pasa a una cámara de vaporización instantánea situada en la cabeza de la columna.

### 10.2.2. GAS PORTADOR.

Los gases portadores cuya única función es la de transportar el analito a través de la fase estacionaria, deben ser químicamente inertes y no reaccionar ni con los analitos a determinar ni con la fase estacionaria de la columna. Comúnmente se utiliza el helio, el nitrógeno y el hidrógeno. La elección del gas portador queda determinada no sólo por el tipo de detector a utilizar sino por la eficiencia de la separación, así como por su velocidad. En este sentido el hidrógeno al tener la más baja viscosidad de todos los gases propuestos proporciona una alta movilidad originando tiempos de análisis cortos. Sin embargo es el helio el que proporciona en la mayoría de los casos las mejores resoluciones, y es el más usado. Otro punto a tener presente en la elección del gas portador, es su pureza. Impurezas como hidrocarburos originan ruido en la línea base disminuyendo la sensibilidad y los límites de detección de la separación.

De igual modo, trazas de agua y oxígeno pueden descomponer la fase estacionaria y con ello la destrucción prematura de la columna. Con el suministro del gas se encuentran asociados los materiales necesarios para la correcta incorporación de los gases al cromatógrafo (reguladores de presión, manómetros y caudalímetros).

### **10.2.3. CONFIGURACIÓN DE LA COLUMNA Y DEL HORNO.**

En CG se emplean dos tipos de columnas, las empaquetadas y las capilares. Estas columnas varían desde 2 a 50m de longitud están construidas en acero inoxidable, vidrio, sílice fundida o teflón. La temperatura de la columna es una variable importante para un trabajo preciso, por ello se introduce en el interior de un horno de temperatura controlada. La temperatura óptima de la columna depende del punto de ebullición de la muestra y del grado de separación requerido. Para muestras cuyo componentes presentan un amplio intervalo de temperaturas de ebullición, a menudo es conveniente emplear una programación de temperaturas. En general, la resolución óptima se asocia con una temperatura mínima; en contrapartida la reducción de temperatura produce un aumento en el tiempo de elución, y por tanto el tiempo que se necesita para completar el análisis.

### **10.2.4. DETECTORES.**

Las características de un detector ideal deben ser las siguientes: Adecuada sensibilidad, buena estabilidad y reproducibilidad, respuesta lineal, amplio intervalo de temperatura de trabajo, tiempo de respuesta corto, alta fiabilidad y manejo sencillo y no destructivo. A día de hoy, no existe un detector que reúna todas estas características. Por el contrario existen en la actualidad un gran número de detectores cuya elección depende del tipo de componente a determinar.

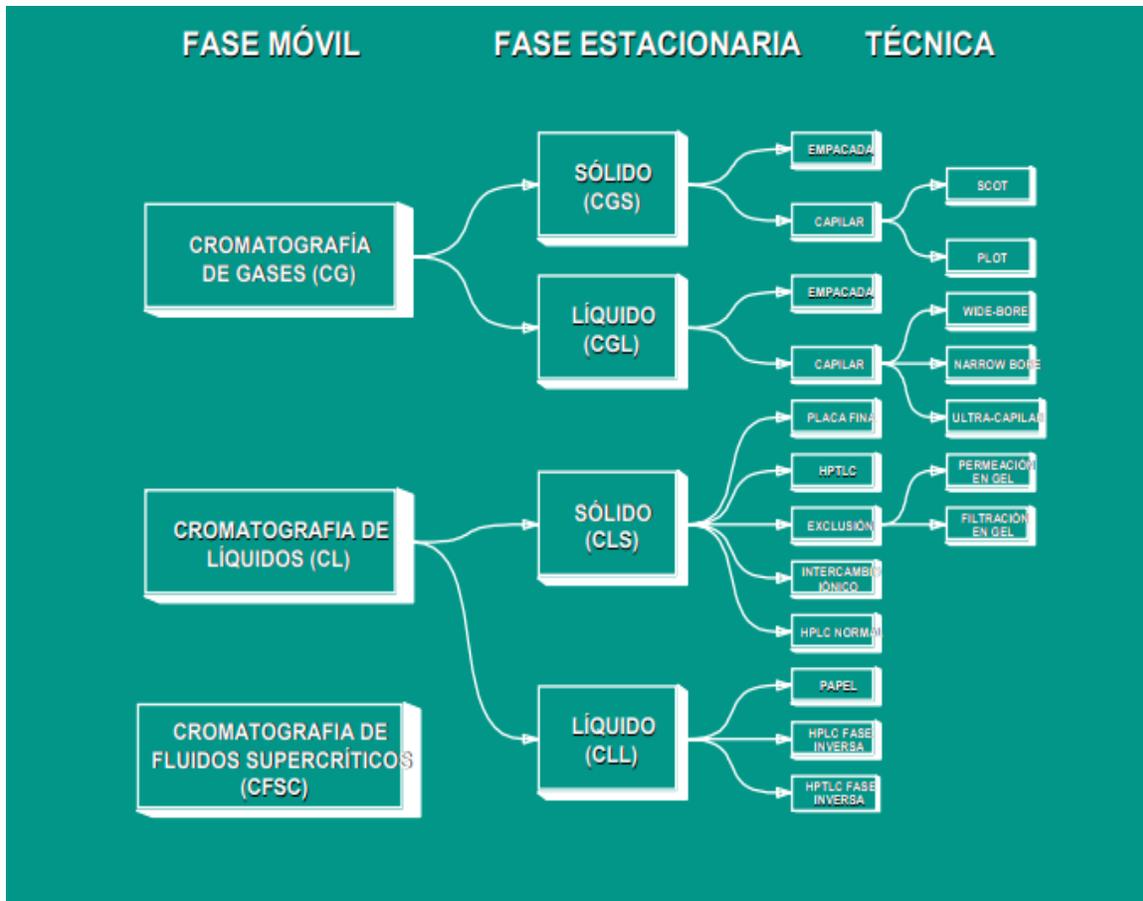
Los más comunes son:

Detector de Ionización de Llama (FID), Detector de Conductividad Térmica (TCD), Detector de Captura Electrónica (ECD), Detector de Nitrógeno/Fósforo (NPD), Detector de Quimioluminiscencia del Azufre, Detector de Emisión Atómica (AED), Detector Termiónico (TID), Detector Fotométrico de Llama (FPD), Detector de Fotoionización (PID), etc.

Los detectores por lo general necesitan de gases auxiliares de alta pureza para su buen funcionamiento, independientes de los gases portadores. De este modo FID, NPD y FPD necesitan una mezcla de aire sintético e hidrógeno para crear la llama, ECD funciona con una mezcla de metano en argón o nitrógeno. Los TCD emplean los mismos gases portadores del sistema. En la siguiente tabla se representan los gases portadores y de detección necesarios para cada uno de los detectores empleados en CG.

## 10.3. CLASIFICACIÓN.

Clasificación de las técnicas cromatográficas:



## 11. PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES.



## 11.1 MATERIALES EMPLEADOS DURANTE LAS ACTIVIDADES.

### 11.1.1. MICROPIPETAS.

La micropipeta es un instrumento de laboratorio empleado para succionar y transferir pequeños volúmenes de líquidos y permitir su manejo en las distintas técnicas analíticas.

Los volúmenes captables por estos instrumentos varían según el modelo: los más habituales, denominados p20, p200 y p1000, admiten un máximo de 20; 200 y 1000  $\mu\text{l}$ , respectivamente.

Es de destacar que el uso de micropipetas permite emplear distintos líquidos sin tener que lavar el aparato: para ello, se emplean puntas desechables, de plástico, que habitualmente son estériles. Existen varios tipos de puntas: por ejemplo, las amarillas para pipetear volúmenes pequeños (por ejemplo, 10  $\mu\text{l}$ ), y las azules para pipetear volúmenes grandes (por ejemplo, 800  $\mu\text{l}$ ).



Fig. 11.1 Micropipeta.

### 11.1.2. VASO DE PRECIPITADO.

Un vaso de precipitado es un recipiente cilíndrico de vidrio borosilicatado fino que se utiliza muy comúnmente en el laboratorio, sobre todo, para preparar o calentar sustancias, medir o traspasar líquidos. Son cilíndricos con un fondo plano; se les encuentra de varias capacidades, desde 1 ml hasta de varios litros. Normalmente son de vidrio, de metal o de un plástico en especial y son aquellos cuyo objetivo es contener gases o líquidos. Tienen componentes de teflón u otros materiales resistentes a la corrosión.

Suelen estar graduados, pero esta graduación es inexacta por la misma naturaleza del artefacto; su forma regular facilita que pequeñas variaciones en la temperatura o incluso en el vertido pasen desapercibidas en la graduación. Es recomendable no utilizarlo para medir volúmenes de sustancias, ya que es un material que se somete a cambios bruscos de temperatura, lo que lo descalibra y en consecuencia nos entrega una medida errónea.



Fig. 11.1.2. Vaso de precipitado.

### 11.1.3. PROBETA.

La probeta es un instrumento volumétrico que consiste en un cilindro graduado de vidrio borosilicatado que permite contener líquidos y sirve para medir volúmenes de forma aproximada.

Está formado por un tubo generalmente transparente de unos centímetros de diámetro y tiene una graduación desde 5 ml hasta el máximo de la probeta, indicando distintos volúmenes. En la parte inferior está cerrado y posee una base que sirve de apoyo, mientras que la superior está abierta (permite introducir el líquido a medir) y suele tener un pico (permite verter el líquido medido). Generalmente miden volúmenes de 25 o 50 ml, pero existen probetas de distintos tamaños; incluso algunas que pueden medir un volumen hasta de 2000 ml.

Puede estar constituido de vidrio (lo más común), o de plástico. En este último caso puede ser menos preciso; pero posee ciertas ventajas, por ejemplo, es más difícil romperla, y no es atacada por el ácido fluorhídrico (ácido que no se puede poner en contacto con el vidrio ya que se corroe, en cuyo caso la probeta sí lo soporta). Esta adicionalmente se utiliza para las mediciones del agua y otros líquidos.



Fig. 11.1.3 Probeta.

#### 11.1.4. CLOROFILOMETRO.

Registra valores correspondientes al contenido relativo en las hojas, estima en forma instantánea el contenido relativo de este compuesto en las hojas, sin destruir el tejido. Este valor se calcula en base a la cantidad de luz transmitida por la hoja en dos longitudes de onda, en las cuales la absorbancia de la luz, (que es inversamente proporcional a la reflectancia) es diferente.

El SPAD-502 plus sirve para una amplia variedad de plantas.



Fig. 11.1.4 Clorofilometro.

Ventajas:

- Este medidor es más rápido en estimar el contenido de nitrógeno que el análisis foliar tradicional.
- No rompe tejidos ni se necesita tomar muestras de hojas
- Las muestras pueden ser tomadas frecuentemente y se pueden repetir las veces necesarias si existieran dudas respecto a los valores obtenidos
- Es una herramienta fina en el manejo de N, reduciendo el riesgo de sobre- o subfertilizar.

### 11.1.5. BALANZA ANALÍTICA.

Una balanza analítica es una clase de balanza de laboratorio diseñada para medir pequeñas masas, en un principio de un rango menor del miligramo (y que hoy día, las digitales, llegan hasta la diezmilésima de gramo: (0,0001 g o 0,1 mg). Los platillos de medición de una balanza analítica están dentro de una caja transparente provista de puertas para que no se acumule el polvo y para evitar que cualquier corriente de aire en la habitación afecte al funcionamiento de la balanza.

Las balanzas analíticas modernas, que pueden ofrecer valores de precisión de lectura de 0,1  $\mu\text{g}$  a 0,1 mg, están bastante desarrolladas de manera que no es necesaria la utilización de cuartos especiales para la medida del peso. Aun así, el simple empleo de circuitos electrónicos no elimina las interacciones del sistema con el ambiente. De estos, los efectos físicos son los más importantes porque no pueden ser suprimidos.



Fig. 11.1.5 Balanza Analítica.

## 11.2. SELECCIÓN DE BROMELIAS A TRASPLANTAR

Se seleccionaron Bromelias al azar con mayor crecimiento para realizar la experimentación, para ellos se realizó la ubicaron para su respectivo riego



### 11.3. TRASPLANTE DE BROMELIAS.

Para su respectivo trasplante a las macetas se seleccionaron 15 plantas con mayor crecimiento en 3 tratamientos y 1 control para las de contaminantes con presencia de BTX y 10 plantas con 3 tratamientos contaminados de Pb y un control.



Se le agrego 1 kg del sustrato (Peat moss) añadiéndoles 250 ml de agua a las macetas de Pb y 300 ml de agua a las de la mezcla de BTX.

Posteriormente se llevaron a cajas herméticamente cerradas.



## 11.4.MEDICIONES MORFOLÓGICAS

En la experimentación se realizaron mediciones morfológicas a la planta durante su crecimiento (altura, número de hojas y clorofila) y se realizó cada 10 días después de iniciar la experimentación; esto para observar los cambios que presentaba la planta con los contaminantes presentes en la caja.

Los equipos que se emplearon para las mediciones fueron: clorofilómetro, vernier y flexómetro.



## 11.5.PREPARACIÓN DE MUESTRAS.

Se realizaron mediciones volumétricas para la soluciones respectivas de las cajas (300, 600, 900 ppm)

Materiales empleados:

- ✓ Micropipeta
- ✓ Vasos de precipitados
- \* Gradilla
- \* Tubos de Ensayo



### 11.5.1. FITORREMEDIACIÓN DE PLOMO.

Descripción del proceso

Se obtuvieron 3 tratamientos (con 10 unidades experimentales) y 1 testigo

T1: 2000mg / Pb

T2: 3000 mg / Pb

T3: 4000 mg / Pb

Testigo: 0 mg / Pb

Durante este proceso se requirió un control del suministro a las macetas expuestas con plomo:

Peso de la maceta: 63 gr

Sustrato total: 1 kg Peat Moss (se realizó 300 gr para la mezcla y luego se combinó la cantidad restante para trasplantar)

Cantidad de agua: se realizó cada viernes 250 ml

Se realizaron 10 unidades experimentales por cada tratamiento y se analizó la capacidad de bioacumular a cierto tiempo después haber iniciado la fase experimental.

Para los tratamientos

Tratamiento 1(2000 mg/kg)

$$\frac{2000mg}{1kg} = \frac{600 mg}{0.3 kg} \quad 600 mg Pb = 0.9590 gr Pb(NO_3)_2$$

Tratamiento 2 (3000 mg/kg)

$$\frac{3000mg}{1kg} = \frac{900 mg}{0.3 kg} \quad 900 mg Pb = 1.4386 gr Pb(NO_3)_2$$

Tratamiento 3 (4000 mg/kg)

$$\frac{4000mg}{1kg} = \frac{1200 mg}{0.3 kg} \quad 1200 mg Pb = 1.9181 gr Pb(NO_3)_2$$

Si

$$1 \text{ gr Pb (NO}_3\text{)}_2 = 625.6 \text{ mg Pb}$$

$$x = 600 \text{ mg Pb}$$

$$x = 0.9590 \text{ mg Pb}$$

Se obtuvo:

<b>[Pb (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>] mg</b>	<b>Pb ( mg)</b>
4.9181	1200
1.2788	800
0.63 90	400

## 11.5.2. CALCULOS MEZCLA DE BTX 1:50

300 PPM

BENCENO: 0.52 ML	}	1.85 ML
TOLUENO: 0.62 ML		
XILENO: 0.71 ML		

600 PPM

BENCENO: 1.04 ML	}	3.70ML
TOLUENO: 1.24 ML		
XILENO: 1.42 ML		

900 PPM

BENCENO: 1.56 ML	}	5.55 ML
TOLUENO: 1.86 ML		
XILENO: 2.14 ML		

## 11.6.NEBULIZACIÓN.

En este proceso se colocaron las 15 plantas, colocándose 5 plantas de manera vertical para una mejor distribución de los contaminantes, se colocaron 3 cajas a diferentes concentraciones: 300, 600 y 900 ppm

Cuando se colocaron las macetas de *Bromelia con BTX* en las cajas fue necesario colocar periódico para que no contaminara directamente la raíz de la planta.



Exposición con la mezcla de BTX

La exposición de los contaminantes mediante la nebulización se llevó a cabo durante 10 minutos cada caja, el lugar donde se llevó la experimentación fue en el invernadero de instituto tecnológico de Tuxtla Gutiérrez y el horario correspondiente que se empezó a nebulizar fue a las 5:30 pm.



## 11.7.CROMATOGRAFÍA

Por cada experimento en exposición de contaminantes de las cajas se tomaron 5 plantas de *Bromelia Karatas*, se tomaron 4 gr de las hojas por cada experimento con exposición de BTX.

### Técnica para dos muestras:

1. 15 grs. de muestra de hoja fresca
2. colocarlas en un mortero, junto con el solvente extractante (acetona).

Triturar la mezcla hasta que las hojas se decoloren y el disolvente adquiera un color verde intenso.

3. Tomar 4 gr de la muestra
4. Llevar a tubo con 50 ml de acetona/hexano (1:1 v/v)
5. Vortex durante 60 seg.
6. Baño de ultrasonidos  
T: 35 °C - 40 °C  
t: 60 min
7. Centrifugar por 20 minutos a 3500 rpm
8. separar
9. Los pigmentos se irán separando según su adsorción o afinidad con los solventes.

Al observar el tubo de ensayo donde se encuentran los dos solventes, vemos dos zonas, que corresponden a los distintos pigmentos fotosintéticos presentes en las hojas de la Bromelia. Según el grado de solubilidad con el alcohol y el hexano se reconocen estas zonas heterogéneas y no miscibles.



Posteriormente se llevó a cromatografía para obtener la cantidad de la mezcla de BTX.



## 12. RESULTADOS Y GRÁFICAS.

### 12.1.VARIABLES MORFOMÉTRICAS:

27 DICIEMBRE DEL 2017

CONTROL (Sin Exposición a BTX)			
VARIABLES	PROMEDIO	VARIANZA	DESV. EST.
NO DE HOJAS	16.2	4.6222222	2.1499354
ALTURA	11.16	2.5715556	1.6036071
COLOROFILA	47.59	12.360259	3.515716

Tratamiento 1 (300 ppm de BTX)			
VARIABLES	PROMEDIO	VARIANZA	DESV. EST.
NO DE HOJAS	17	1.5555556	1.2472191
ALTURA	12.19	1.5187778	1.232387
COLOROFILA	43.03	9.2579753	3.0426921

Tratamiento 2 (600 ppm de BTX)			
VARIABLES	PROMEDIO	VARIANZA	DESV. EST.
NO DE HOJAS	18	6.1777778	2.4855136
ALTURA	11.94	2.6648889	1.6324487
COLOROFILA	47.73	21.811963	4.6703279

Tratamiento 3 (900 ppm de BTX)			
VARIABLES	PROMEDIO	VARIANZA	DESV. EST.
NO DE HOJAS	18	4.6666667	2.1602469
ALTURA	12.84	4.296	2.0726794
COLOROFILA	41.55	8.4886914	2.9135359

17 DICIEMBRE DEL 2017

CONTROL (Sin Exposición a BTX)			
VARIABLES	PROMEDIO	VARIANZA	DESV. EST.
NO DE HOJAS	14.8	3.4571429	1.8593394
ALTURA	10.586667	3.7826667	1.9449079
COLOROFILA	51.22	10.315206	3.2117295

Tratamiento 1 (300 ppm de BTX)			
VARIABLES	PROMEDIO	VARIANZA	DESV. EST.
NO DE HOJAS	16.266667	2.6380952	1.6242214
ALTURA	12.566667	1.9009524	1.3787503
COLOROFILA	47.51	13.653915	3.6951205

Tratamiento 2 (600 ppm de BTX)			
VARIABLES	PROMEDIO	VARIANZA	DESV. EST.
NO DE HOJAS	16.133333	5.6952381	2.3864698
ALTURA	10.48	4.5102857	2.1237433
COLOROFILA	49.28	25.604995	5.0601378

Tratamiento 3 (900 ppm de BTX)			
VARIABLES	PROMEDIO	VARIANZA	DESV. EST.
NO DE HOJAS	17.066667	2.4952381	1.5796323
ALTURA	11.946667	4.6940952	2.1665861
COLOROFILA	43.86	20.577693	4.5362642

07 DICIEMBRE DEL 2017

CONTROL (Sin Exposición a BTX)			
VARIABLES	PROMEDIO	VARIANZA	DESV EST.
NO DE HOJAS	13.8	4.8857143	2.2103652
ALTURA	46.986667	43.686952	6.6096106
COLOROFILA	34.79	5.9379683	2.4367947

Tratamiento 1 (300 ppm de BTX)			
VARIABLES	PROMEDIO	VARIANZA	DESV EST.
NO DE HOJAS	16.4	1.4	1.183216
ALTURA	48.7	17.58	4.1928511
COLOROFILA	36.06	5.8850582	2.4259139

Tratamiento 2 (600 ppm de BTX)			
VARIABLES	PROMEDIO	VARIANZA	DESV EST.
NO DE HOJAS	15.666667	4.5238095	2.1269249
ALTURA	46.24	36.026857	6.0022377
COLOROFILA	36.06	35.223241	5.9349171

Tratamiento 3 (900 ppm de BTX)			
VARIABLES	PROMEDIO	VARIANZA	DESV EST.
NO DE HOJAS	15.533333	15.838095	3.9797104
ALTURA	43	10.545714	3.2474166
COLOROFILA	33.55	7.1020423	2.6649657

27 NOVIEMBRE DEL 2017

CONTROL (Sin Exposición a BTX)			
VARIABLES	PROMEDIO	VARIANZA	DESV EST.
NO DE HOJAS	14.4	2.5428571	1.5946339
ALTURA	9.9933333	2.8149524	1.677782
COLOROFILA	41.8	21.981566	4.6884503

Tratamiento 1 (300 ppm de BTX)			
VARIABLES	PROMEDIO	VARIANZA	DESV EST.
NO DE HOJAS	15.933333	1.2095238	1.0997835
ALTURA	11.886667	1.4726667	1.2135348
COLOROFILA	42.14	7.2648995	2.6953477

Tratamiento 2 (600 ppm de BTX)			
VARIABLES	PROMEDIO	VARIANZA	DESV EST.
NO DE HOJAS	15.933333	3.0666667	1.7511901
ALTURA	10.713333	2.9640952	1.7216548
COLOROFILA	41.02	8.9404444	2.9900576

Tratamiento 3 (900 ppm de BTX)			
VARIABLES	PROMEDIO	VARIANZA	DESV EST.
NO DE HOJAS	15.733333	3.7809524	1.9444671
ALTURA	11.786667	2.5055238	1.5828846
COLOROFILA	40.12	22.60559	4.7545336

## 12.2.VARIABLES MORFOMETRICAS DE PB

17 NOVIEMBRE DEL 2017			
CONTROL (Sin Plomo Pb)			
VARIABLES	PROMEDIO	VARIANZA	DESV. EST
NO DE HOJAS	9.3	1.12	1.06
ALTURA	11.72	2.61	1.62
COLOROFILA	35.58	23.39	4.84

01 DIDIEMBRE DEL 2017			
CONTROL (Sin Plomo Pb)			
VARIABLES	PROMEDIO	VARIANZA	DESV. EST
NO DE HOJAS	10	0.89	0.94
ALTURA	8.5	1.35	1.16
COLOROFILA	35.2	16.3	4.04

TRATAMIENTO 1 (2000 mg Pb / Kg sustrato )			
VARIABLES	PROMEDIO	VARIANZA	DESV. EST
NO DE HOJAS	10.2	1.51	1.23
ALTURA	10.71	2.26	1.5
COLOROFILA	33.43	40.72	6.38

TRATAMIENTO 1 (2000 mg Pb / Kg sustrato )			
VARIABLES	PROMEDIO	VARIANZA	DESV. EST
NO DE HOJAS	10.6	1.6	1.26
ALTURA	8.76	2.47	1.57
COLOROFILA	31.39	12.73	3.57

TRATAMIENTO 2 (3000 mg Pb / Kg sustrato )			
VARIABLES	PROMEDIO	VARIANZA	DESV. EST
NO DE HOJAS	10.1	0.54	0.74
ALTURA	12.05	7.06	2.66
COLOROFILA	38.32	22.08	4.7

TRATAMIENTO 2 (3000 mg Pb / Kg sustrato )			
VARIABLES	PROMEDIO	VARIANZA	DESV. EST
NO DE HOJAS	10.6	1.38	1.17
ALTURA	9.57	2.89	1.7
COLOROFILA	33.5	12.59	3.55

TRATAMIENTO 3 (4000 mg Pb / Kg sustrato )			
VARIABLES	PROMEDIO	VARIANZA	DESV. EST
NO DE HOJAS	9.7	2.01	1.42
ALTURA	11.72	5.53	2.35
COLOROFILA	36.79	31.65	5.63

TRATAMIENTO 3 (4000 mg Pb / Kg sustrato )			
VARIABLES	PROMEDIO	VARIANZA	DESV. EST
NO DE HOJAS	9.7	1.57	1.25
ALTURA	8.92	3.98	1.99
COLOROFILA	37.81	487.32	22.08

08 DICIEMBRE DEL 2017			
CONTROL (Sin Plomo Pb)			
VARIABLES	PROMEDIO	VARIANZA	DESV. EST
NO DE HOJAS	9.8	1.51	1.23
ALTURA	9.96	2.09	1.45
CLOROFILA	41.42	7.19	2.68

15 DICIEMBRE DEL 2017			
CONTROL (Sin Plomo Pb)			
VARIABLES	PROMEDIO	VARIANZA	DESV. EST
NO DE HOJAS	10.3	1.79	1.34
ALTURA	9.59	2.46	1.57
CLOROFILA	36.27	3.3	1.82

TRATAMIENTO 1 (2000 mg Pb / Kg sustrato )			
VARIABLES	PROMEDIO	VARIANZA	DESV. EST
NO DE HOJAS	10.2	1.96	1.4
ALTURA	9.83	1.88	1.37
CLOROFILA	36.71	16.5	4.06

TRATAMIENTO 1 (2000 mg Pb / Kg sustrato )			
VARIABLES	PROMEDIO	VARIANZA	DESV. EST
NO DE HOJAS	10.7	1.57	1.25
ALTURA	9.38	2.26	1.5
CLOROFILA	32.28	26.22	5.12

TRATAMIENTO 2 (3000 mg Pb / Kg sustrato )			
VARIABLES	PROMEDIO	VARIANZA	DESV. EST
NO DE HOJAS	10.5	0.94	0.97
ALTURA	10.69	4.64	2.15
CLOROFILA	39.63	4.24	2.06

TRATAMIENTO 2 (3000 mg Pb / Kg sustrato )			
VARIABLES	PROMEDIO	VARIANZA	DESV. EST
NO DE HOJAS	11	0.67	0.82
ALTURA	9.91	2.92	1.71
CLOROFILA	33.87	7.04	2.65

TRATAMIENTO 3 (4000 mg Pb / Kg sustrato )			
VARIABLES	PROMEDIO	VARIANZA	DESV. EST
NO DE HOJAS	10.2	2.18	1.48
ALTURA	9.82	1.67	1.29
CLOROFILA	36.83	13.81	3.72

TRATAMIENTO 3 (4000 mg Pb / Kg sustrato )			
VARIABLES	PROMEDIO	VARIANZA	DESV. EST
NO DE HOJAS	10	1.78	1.33
ALTURA	9.23	1.96	1.4
CLOROFILA	31.25	7.31	2.7

22 DICIEMBRE DEL 2017			
CONTROL (Sin Plomo Pb)			
VARIABLES	PROMEDIO	VARIANZA	DESV. EST
NO DE HOJAS	11.6	2.93	1.71
ALTURA	8.97	2.28	1.51
CLOROFILA	42.7	10.42	3.23

29 DICIEMBRE DEL 2017			
CONTROL (Sin Plomo Pb)			
VARIABLES	PROMEDIO	VARIANZA	DESV. EST
NO DE HOJAS	12.2	3.07	1.75
ALTURA	8.82	2.26	1.5
CLOROFILA	42.27	9.32	3.05

TRATAMIENTO 1 (2000 mg Pb / Kg sustrato )			
VARIABLES	PROMEDIO	VARIANZA	DESV. EST
NO DE HOJAS	10.8	6.18	2.49
ALTURA	9.02	2.82	1.68
CLOROFILA	38.56	29.4	5.42

TRATAMIENTO 1 (2000 mg Pb / Kg sustrato )			
VARIABLES	PROMEDIO	VARIANZA	DESV. EST
NO DE HOJAS	11.5	2.72	1.65
ALTURA	8.44	1.84	1.36
CLOROFILA	38.92	17.09	4.13

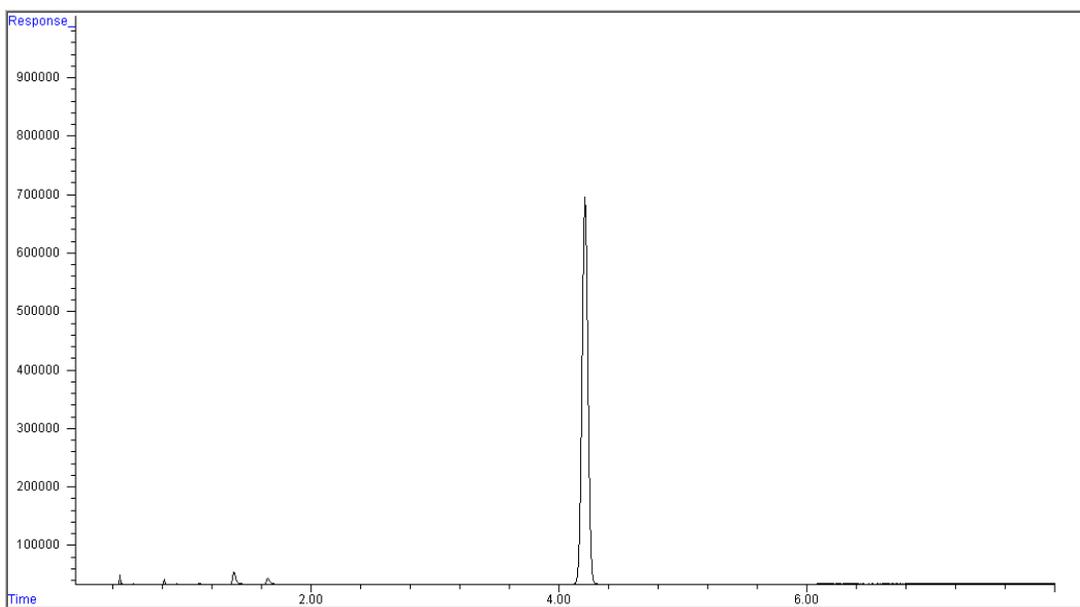
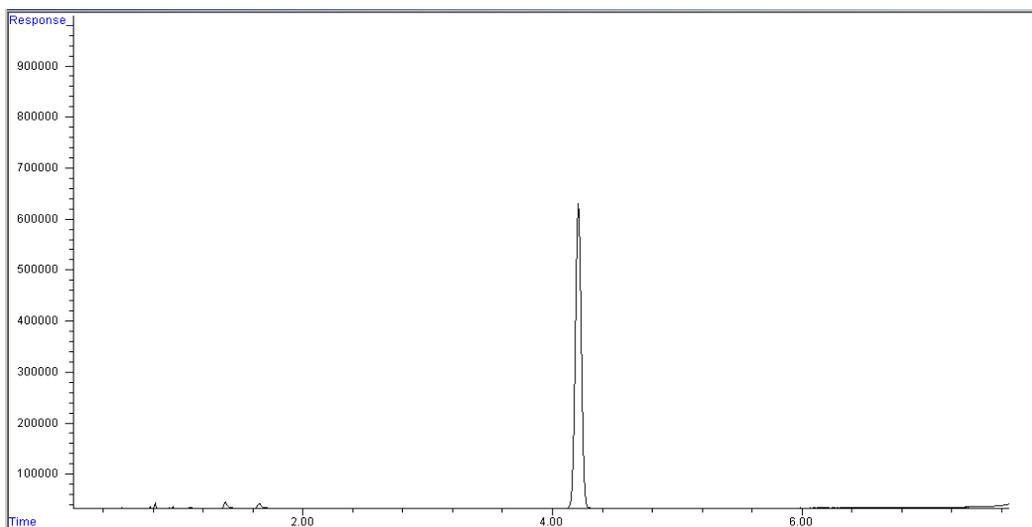
TRATAMIENTO 2 (3000 mg Pb / Kg sustrato )			
VARIABLES	PROMEDIO	VARIANZA	DESV. EST
NO DE HOJAS	11.9	0.77	0.88
ALTURA	9.63	2.5	1.58
CLOROFILA	38.9	6.74	2.6

TRATAMIENTO 2 (3000 mg Pb / Kg sustrato )			
VARIABLES	PROMEDIO	VARIANZA	DESV. EST
NO DE HOJAS	11.4	1.82	1.35
ALTURA	9.09	1.86	1.36
CLOROFILA	40.57	7.8	2.79

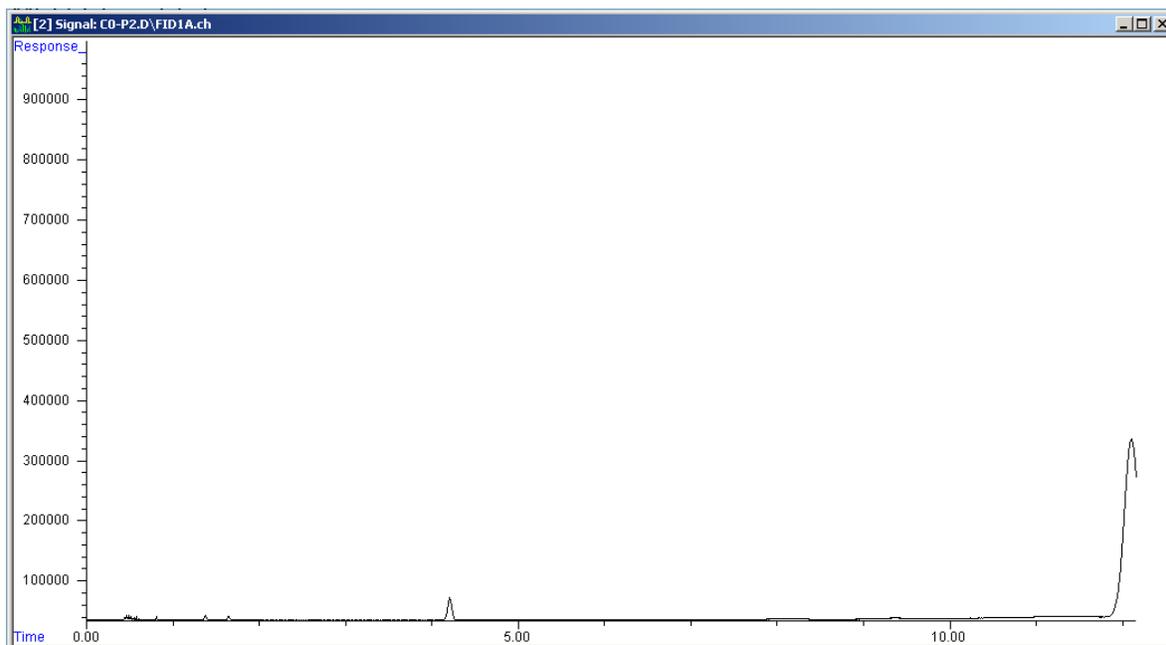
TRATAMIENTO 3 (4000 mg Pb / Kg sustrato )			
VARIABLES	PROMEDIO	VARIANZA	DESV. EST
NO DE HOJAS	10.7	2.01	1.42
ALTURA	8.93	2.02	1.42
CLOROFILA	34.42	8.27	2.88

TRATAMIENTO 3 (4000 mg Pb / Kg sustrato )			
VARIABLES	PROMEDIO	VARIANZA	DESV. EST
NO DE HOJAS	10.7	2.68	1.64
ALTURA	8.35	1.76	1.33
CLOROFILA	37.23	3.67	1.92

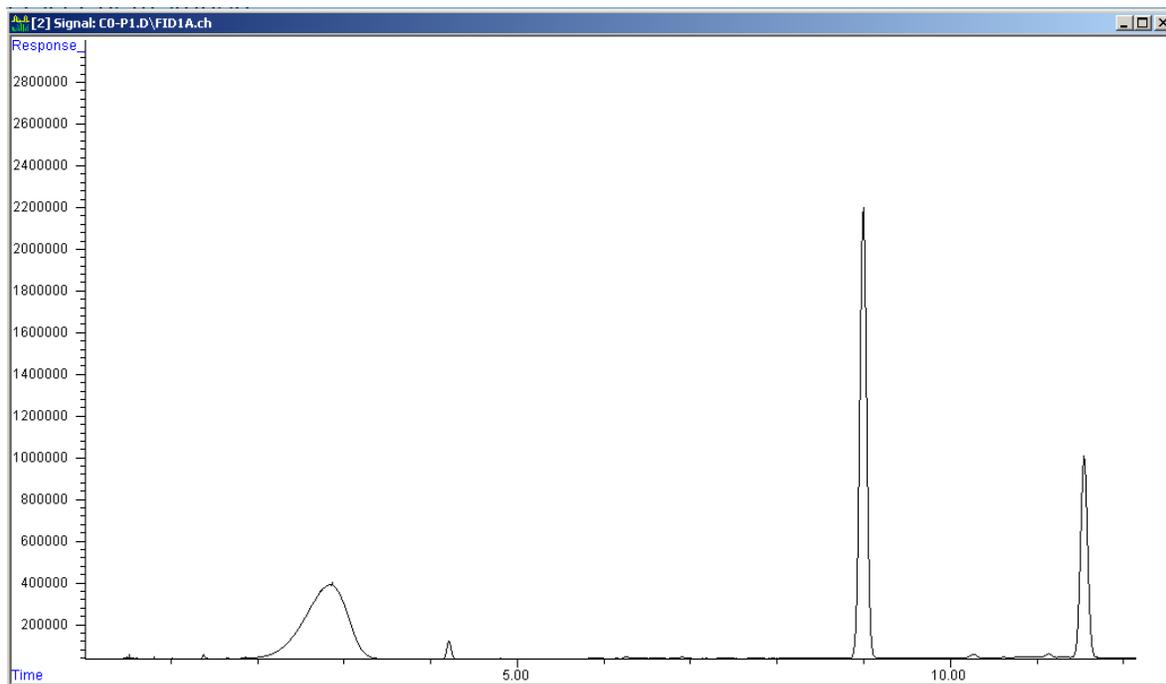
## 12.3.CROMATOGRAFÍAS DE BTX



### Cromatografía 3



### Cromatografía 4



## 13. CONCLUSIONES.

El ritmo creciente del consumo de combustibles fósiles conlleva una carga de contaminación y deterioro ambiental cuyos efectos se manifiestan progresivamente en relación, por ejemplo, con las amenazas sobre el cambio del clima y con la sustentabilidad de la vida sobre el planeta. El empleo de carbón y de hidrocarburos en la combustión industrial y en los vehículos es el componente de la cadena que implica mayores riesgos ecológicos y sanitarios debidos a la magnitud creciente de la demanda y a la liberación de gran diversidad de sustancias contaminantes con diferentes niveles de toxicidad.

Al inicio del proyecto se plantearon objetivos los cuales se realizó un análisis de las hojas de la Bromelia Karatas donde se encontró por medio de cromatografía presencia de la mezcla de BTX , sin embargo se tuvo limitantes con respecto al crecimiento de las hojas de la fitorremediación de Pb para el análisis cromatográfico.

Las variables morfométricas ayudaron a observar la variación de exposición de la mezcla de BTX durante las nebulizaciones y la fitorremediación de Pb, teniendo en cuenta que la Bromelia ha soportado durante este período la presencia de los contaminantes y bioacumularlas.

## **14. RECOMENDACIONES.**

Se recomienda continuar con el monitoreo de las plantas durante las exposiciones de la mezcla de gases en la nebulización así como también la variación morfológica de las bromelias con las experimentaciones de Pb y BTX y comparar las cromatografías donde se establecen las curvas de concentración de BTX en la Bromelia Karatas con los sensores dentro de las cajas, para así observar si es homogénea la mezcla de gases en las cajas.

## **15. COMPETENCIAS DESARROLLADAS Y/O APLICADAS.**

- ✓ Ética.
- ✓ Compromiso.
- ✓ Decisión.
- ✓ Tenacidad.
- ✓ Automotivación.
- ✓ Adaptabilidad.
- ✓ Trabajo en equipo.
- ✓ Reconocer los éxitos y aportaciones de otros.
- ✓ Análisis de problemas.
- ✓ Comunicación.

## 16. GALERÍAS FOTOGRÁFICAS.











## 17. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- ✓ [www.semarnat.gob.mx/leyes-y-normas/normas-oficiales-mexicanas](http://www.semarnat.gob.mx/leyes-y-normas/normas-oficiales-mexicanas)
  
- ✓ FUNTIONAL AND RHEOLOGICAL PROPERTIES OF PIÑUELA (BROMELIA KARATAS) IN TWO RIPENING STAGES.
  
- ✓ COMPUESTOS VOLÁTILES DE PLANTAS. ORIGEN, EMISIÓN, EFECTOS, ANÁLISIS Y APLICACIONES.
  
- ✓ APLICACIÓN DE SISTEMAS DE BIORREMEDIACION DE SUELOS Y AGUAS CONTAMINADAS POR HIDROCARBUROS.
  
- ✓ DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DE BROMELIA KARATAS.
  
- ✓ PROPIEDADES, USO Y MANEJO DE SUSTRATOS DE CULTIVO PARA LA PRODUCCIÓN DE PLANTAS EN MACETA R. I. CABRERA DEPARTMENT OF PLANT SCIENCE, THE STATE UNIVERSITY OF NEW JERSEY, RUTGERS. 59 DUDLEY ROAD, NEW BRUNSWICK, NEW JERSEY. USA.
  
- ✓ APLICACIÓN DE LA FITORREMEDIACIÓN A SUELOS CONTAMINADOS POR METALES PESADOS.