



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE QUINTANA ROO

DIVISIÓN DE CIENCIAS, INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

---

ESTUDIO DE LA CONTAMINACIÓN POR  
AGROQUÍMICOS EN MUESTRAS DE SUELO DE  
UNA PARCELA DE CAÑA EN COROZAL  
RANCHITO, BELICE.

---

TESIS  
PARA OBTENER EL GRADO DE  
INGENIERA AMBIENTAL

PRESENTA  
ELSY ALEXI SMITH

DIRECTOR  
DR. JOSÉ MANUEL CARRIÓN JIMÉNEZ

ASESORES  
DR. JOEL OMAR YAM GAMBOA  
M.E.M. JOSÉ LUIS GONZÁLEZ BUCIO

DR. GRACIANO CALVA CALVA  
M.E.M WALTER MAGAÑA LANDERO



CHETUMAL QUINTANA ROO, MÉXICO, 11 DE OCTUBRE DE  
2022



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE QUINTANA ROO

## DIVISIÓN DE CIENCIAS, INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

TRABAJO DE TESIS TITULADO

“ESTUDIO DE LA CONTAMINACIÓN POR AGROQUÍMICOS EN MUESTRAS DE SUELO DE UNA  
PARCELA DE CAÑA EN COROZAL RANCHITO, BELICE.”

ELABORADO POR

**ELSY ALEXI SMITH**

BAJO SUPERVISIÓN DEL COMITÉ DEL PROGRAMA DE LICENCIATURA Y APROBADO COMO REQUISITO  
PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

**INGENIERA AMBIENTAL**

COMITÉ DE TESIS

DIRECTOR:

  
Dr. JOSÉ MANUEL CARRIÓN JIMÉNEZ  
DIRECTOR

ASESOR:

  
Dr. JOEL OMAR YAM GAMBOA  
ASESOR

ASESOR:

M.E.M. JOSÉ LUIS GONZÁLEZ BUCIO  
ASESOR

ASESOR SUPLENTE:

  
DR. GRACIANO CALVA CALVA

ASESOR SUPLENTE:

ASESOR  
M.E.M. WALTER MAGAÑA GONZÁLEZ  
ASESOR



# Índice

Capítulo 1 Introducción .....	1
1.1 Cromatografía de gases .....	5
1.2 ¿Qué son los Agroquímicos? .....	6
1.3 Actividades Agrícolas en Belice .....	7
1.4 Características del Suelo .....	8
1.4.1 Tipos de suelo.....	8
1.5 Objetivo General .....	9
1.5.1 Objetivos Específicos .....	9
Capítulo 2 Materiales y Métodos .....	10
2.1 Área de Estudio .....	10
2.2 Análisis Cromatográfico.....	11
2.3 Cromatógrafo de Gases condiciones experimentales .....	11
2.4 Caracterización del suelo.....	12
Capítulo 3 Resultados y Discusión .....	13
3.1 Muestreo.....	13
3.2 Caracterización del Suelo .....	15
3.3 Análisis Cromatográfico de las muestras de suelo.....	16
Capítulo 4 Conclusiones .....	24
Referencias y Bibliografía .....	26

## Índice de Tablas

Tabla 1 pH, fósforo extraíble (P) y conductividad eléctrica .....	12
Tabla 2 Resultados de la caracterización del suelo de la parcela analizada .....	15
Tabla 3 Tipo de herbicidas y sus ingredientes activos. ....	23

## Índice de Figuras

Figura 1 Estructura química del ácido aminometilfosfónico (AMPA). ....	2
Figura 2 Tipos de herbicidas utilizado en Belice .....	4
Figura 3 Diferentes variantes de suelo presentes en Belice. Fuente: (Asr, Belize Sugar, 2015).....	9
Figura 4 Coordenadas y ubicación de la parcela en Ranchito Corozal Belice. Fuente: Google maps	10
Figura 5 Ubicación de los puntos de muestreo en la parcela de caña. ....	13
Figura 6 Punto de muestreo M1 de la parcela de caña. ....	14
Figura 7 Plantación de caña en la parcela. ....	14
Figura 8 Cromatogramas de las muestras de suelo que dieron positivo a la presencia de glifosato. .....	20
Figura 9 Coordenadas de la parcela analizada y su colindancia con el Río Nuevo y la Bahía de Belice.....	21
Figura 10 Distancia de la parcela al Río Nuevo (2.47 km).....	21
Figura 11 Distancia de la parcela hacia a la bahía de Corozal (1.04km).....	22

## **Agradecimientos**

En primer lugar, me gustaría alabar y agradecer a Dios, el todopoderoso, quien ha otorgado innumerables bendiciones, conocimientos y oportunidades a mi persona, para que finalmente haya podido llevar a cabo la tesis.

A mi familia por todo su apoyo y confianza incondicional. Me gustaría expresar mi más profundo agradecimiento a mi padre (Ravey Olimpo Smith) por tomarse el tiempo para ayudar a obtener las muestras y asegurarse de que todo se cumpliera. También estoy agradecido con mi madre (Leydi Lilia Smith) por creerme y empujarme a luchar por el progreso, no por la perfección.

Quisiera expresar mi más profundo agradecimiento a mi director José Manuel Carrión Jiménez por apoyarme a lo largo de esta tesis, por tomarse el tiempo de orientarme y guiarme siempre en cada paso del camino. Realmente lo admiro por dejarme terminar este hito de mi carrera.

Me gustaría agradecer a mis asesores de tesis por toda su orientación a través de este proceso; su discusión, ideas y comentarios han sido absolutamente invaluable.

Mi agradecimiento también va para mis amigos por su aliento y apoyo a lo largo de mis estudios. Especialmente, mis amigos de la universidad y de Belice para su apoyo incondicional.

## **Resumen**

En este trabajo de tesis se presentan los resultados de la caracterización de muestras de suelo de una parcela de cultivo de caña en Ranchito, Corozal Belice. Para esto se analizaron 20 muestras de suelo mediante la medición de la conductividad, el pH, contenido de nitrógeno y fósforo extraíble. El pH promedio de las 20 muestras analizadas fue de  $6.94 \pm 0.07$  y para la conductividad se calculó un valor promedio de  $0.605 \pm 0.107$  dS/m. La concentración promedio de fósforo de las 20 muestras analizadas fue de  $18.70 \pm 3.26$  mg/kg. El objetivo principal de este trabajo fue analizar las muestras de suelo para detectar presencia de agroquímicos en ellas. El análisis cromatográfico reveló la presencia de glifosato como único compuesto presente en 14 muestras de las 20 muestras de suelo analizadas. La presencia de glifosato es un indicativo de que aún se sigue utilizando este herbicida catalogado como cancerígeno por el centro de investigación del cáncer. Adicionalmente conlleva un riesgo tanto para Belice como para Chetumal por la proximidad de los campos de cultivo con cuerpos de agua ubicados en estos lugares.

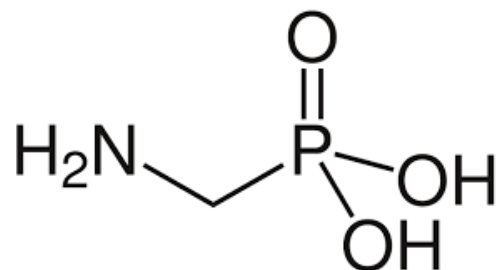
## **Capítulo 1 Introducción**

El uso de herbicidas y plaguicidas para la agroindustria cañera en la zona norte de Corozal Belice representa un grave problema de contaminación. Hay una gran gama de herbicidas y plaguicidas que han estado alterando la calidad del suelo. En años recientes la Junta de Control de Pesticidas (PCB por sus siglas en inglés) de Belice, el principal órgano regulatorio del uso y manejo de herbicidas y plaguicidas para uso agrícola, indica que desde los años ochenta se incrementó el uso de estos en campos agrícolas (Pesticides Control Board, 2022). Recientemente la junta de Control desarrolló un plan estratégico (2017-2021) para regular el uso de estos químicos contaminantes; sin embargo, esta reporta el uso actual de herbicidas y plaguicidas en actividades agrícolas como el glifosato, el diurón, el picloram, el Gramuron y el Ametryne.

El glifosato es un herbicida usado ampliamente a nivel mundial para el control de maleza y es un herbicida de amplio espectro no selectivo y sistémico por lo que se encuentra en todos los tejidos de los vegetales rociados con este herbicida. El glifosato y su metabolito de degradación el ácido aminometilfosfónico (AMPA) son compuestos contaminantes; un informe de la Agencia Internacional del Cáncer (IARC) concluyó que existían datos y estudios suficientes para establecer una relación entre la exposición al glifosato y determinados cánceres en animales (IARC, 2020), donde existen varios estudios científicos que demuestran que hay pruebas suficientes de que el glifosato es un compuesto cancerígeno (Andreotti y col., 2018, Berry, 2020, Mink y col., 2012). Se han detectado niveles de glifosato y su principal metabolito, ácido aminometilfosfónico (AMPA), en el aire, el suelo, el agua y los alimentos. (medicine, 2017). El glifosato altera fuertemente la biología del suelo, ya que es tóxico para la microflora beneficiosa y las lombrices de tierra.

El ácido aminometilfosfónico (AMPA), cuya fórmula estructural es  $\text{CH}_6\text{NO}_3\text{P}$  (Figura 1), es un producto de degradación del glifosato y su principal metabolito. La ruta principal de desactivación del glifosato es la hidrólisis al ácido aminometilfosfónico (AMPA). Este compuesto presenta un ácido orgánico débil de baja toxicidad con un

grupo de ácido fosfórico. Este presenta un carácter polar y alta solubilidad en agua. Su periodo de vida media es de aproximadamente 3 años. El AMPA fue descubierto en lechuga y cebada cultivadas en un año tras el tratamiento del suelo con glifosato.



*Figura 1 Estructura química del ácido aminometilfosfónico (AMPA).*

El diurón es un herbicida para controlar malezas persistentes. Este herbicida pertenece a la familia de las ureas y actúa como un inhibidor de la fotosíntesis de las plantas, de acuerdo a la Agencia de Protección Ambiental (EPA por sus siglas en inglés), el diuron ha provocado un aumento de números de cánceres de vejiga, riñón y en el útero (Intertox, 2017).

El picloram es un herbicida sistémico utilizado para el control de plantas leñosas y malezas de hoja ancha y es considerado un herbicida muy tóxico. Con base en estudios, picloram se clasificó como un químico del "Grupo E", uno que muestra evidencia de no carcinogenicidad para los humanos.

El gramuron es un herbicida de contacto post-emergente no selectivo para controlar gramíneas y malezas de hoja ancha.

El ametryne es utilizado para el control de preemergencia y postemergencia de malezas monocotiledóneas y dicotiledóneas en caña de azúcar.

El uso de estos herbicidas y plaguicidas en uso agrícola representa un riesgo para la salud humana donde estos contaminantes pueden bioacumularse en las plantas y adicionalmente por escorrentía hacia cuerpos de agua. Adicionalmente la acidificación del suelo por el uso en cultivo de caña de azúcar es otro problema



debido al uso de fertilizantes con nitrógeno y fósforo y la mineralización de la materia orgánica (El Chamy y *col.*, 2020).

Las plaguicidas y herbicidas han causado la contaminación del medio ambiente por sus aplicaciones directas en los cultivos agrícolas. Las actividades más comunes son el lavado de tanques y contenedores, filtraciones en los depósitos de almacenamiento y residuos descargados y dispuestos en el suelo, el uso inadecuado de los mismos en actividades agrícolas que al entrar en contacto con el ser humano provocan daños a la salud.

La Figura 2 es una información acerca de las herbicidas que se utilizan en Belice, esta información fue proporcionada por Sugar Industry Research and Development Institute (SIRDI).

**Herbicides approved for use in the sugarcane crop (Belize)**

<b>Ingrediente Activo (1) Marcas o formulaciones en el mercado (2)</b>	<b>Modo de acción</b>	<b>Maleza que controla</b>	<b>Mejor tiempo de aplicación para mayor efectividad</b>	<b>Observaciones</b>
(1) <b>2,4-D amine</b> (2) 2,4-D amine 60 SL      2,4-D amine 72 SL DMA 68,3 SL      Elimina 60 SL      Elimina 72 SL Fullmina 60 SL      Jiamine 60 SL      Kuron 16 SL Matamina 60 SL      Rimaxil 60 SL	Sistémico Post-emergente Hormonal	Hoja ancha	Cualquier época	Selectivo a la caña; no se debe aplicar directamente encima de la caña
(1) <b>Combinación dicamba y 2,4-D</b> (2) Weedmaster 46.5 SL	Sistémico	Hoja ancha	Cualquier época	Selectivo a la caña; se absorbe por las hojas y raíces; se puede mezclar con otros herbicidas para control de zacates.
(1) <b>Combinación picloram y 2,4-D</b> (2) Tordon 30,4 SL      Bullgrass 30,4 SL	Sistémico Post emergente	Hoja ancha	Se aplica cuando las malezas están en crecimiento activo.	Selectivo a la caña; se absorbe por las raíces y hojas
(1) <b>ametryne</b> (2) Ametrex 50 SC      Ametrex 80 WG Ametryne 50 SC      Gesapax 50 SC Ametrex 80 WP	Sistémico Post-emergente Residual	Hoja ancha Zacates	Cuando las malezas están pequeñas; caña recién cortada	Necesita humedad en el suelo; se absorbe por las hojas y raíces; selectivo a la caña
(1) <b>Combinación ametryne y terbutryne</b> (2) Amigan 65 WG	Sistémico Pre y post-emergente Residual	Zacates Hoja ancha	Cuando las malezas están pequeñas; caña recién cortada	Selectivo a la caña; se absorbe por las hojas y raíces; controla zacates duros como witch grass
(1) <b>Combinación ametryne y trifloxysulfuron</b> (2) Krismat 75 WG	Sistémico Post-emergente	Zacates y cyperaceas Hoja ancha	Cualquier tiempo	Selectivo a la caña; no se debe mezclar con otros plaguicidas.
(1) <b>asulam</b> (2) Asulox 40 SL	Sistémico Pre y post-emergente	Zacates Hoja ancha	Cuando las malezas están pequeñas.	Selectivo a la caña; se absorbe por las hojas y raíces.
(1) <b>atrazina</b> (2) Atranez 90 WG      Gesaprim 90 WG	Pre y post-emergente; sistémico, residual	Hoja ancha Zacates	Cuando las malezas están pequeñas; caña recién cortada	Necesita humedad en el suelo; se absorbe mas por las raíces; selectivo a la caña
(1) <b>diuron</b> (2) Diuron 48 SC      Diuron 80 WG      Diuron 80 SC Diuron 80 WP      Diurex 80 WG	Pre y post-emergente Sistémico Residual	Zacates Hoja ancha	Cuando las malezas están pequeñas; caña recién cortada	Necesita humedad; efecto sinérgico con 2,4-D; selectivo a la caña.
(1) <b>glufosinate ammonium</b> (2) Basta 15 SL      Finale 15 SL	Contacto con cierta acción sistémica	Hoja ancha Zacates	Cualquier época	No es selectivo a la caña; se necesita buena cobertura de la maleza.
(1) <b>glyphosate</b> (2) Ranger 28,6 SL      Ciphosate 35,6 SL Estelar 36 SL      Glifosato Aleman 35,6 SL Glyphogan 35,6 SL      Glyphosate 35,4 SL (Jiangsu) Glyphosate 48 SC (Indukern)      Glyphosate 69,8 GR (Jiangsu) Helosate 36,5 SL      Jaripeo 68 SG Kila 44,9 WP      Latigo 9 SL      Nock-Out 35,6 SL Ranger Plus 68 SG      Rimaxato 35,6 SL Roundup 35,6 SL      Roundup EZ 74,7 WG Roundup Max 68 SG      Touchdown Forte 50 SL Wipeout 35,6 SL	Sistémico De amplio espectro Post-emergente	Toda maleza , anual y perenne)	Cualquier época	No es selectivo a la caña
(1) <b>halosulfuron-methyl</b> (2) Sempra 75 WG	Sistémico Pre y post-emergente	Hoja ancha y cyperaceas	Cualquier época	Selectivo a la caña; se absorbe por las hojas, retoños y raíces.
(1) <b>isoxaflutole</b> (2) Merlin 75 WG	Sistémico Pre-emergente Residual	Hoja ancha Zacates	Después del corte, antes de la germinación de las malezas.	Selectivo a la caña; se puede mezclar con otros herbicidas para aumentar el control de zacates duros de matar.
(1) <b>metribuzin</b> (2) Sencor 70 WP	Sistémico Pre y post-emergente	Hoja ancha Zacates	Cualquier época	Selectivo; se absorbe principalmente por las raíces.
(1) <b>terbutryn</b> (2) Igran 50 SC      Terbutrex 50 SC	Sistémico Pre y post-emergente	Zacates Hoja ancha	Cuando las malezas están pequeñas.	Selectivo a la caña; controla zacates duros de matar.

MS/April 2009

**Figura 2 Tipos de herbicidas utilizado en Belice**

## 1.1 Cromatografía de gases

La cromatografía es un método de separación física de los componentes de una mezcla. Se trata de un conjunto de técnicas muy variadas, pero en todas ellas hay una fase móvil (una muestra constituida por una mezcla que contiene el compuesto deseado en el disolvente), que pasa a través de una fase estacionaria sólida. Los componentes de la muestra interactúan en distinta forma con la fase estacionaria, atravesándola a diferentes velocidades, y separándose en el tiempo. Una técnica muy importante es la cromatografía de gases.

En la cromatografía de gases (CG), la muestra, que puede ser un gas o un líquido, se inyecta en una corriente de una fase móvil gaseosa inerte (a menudo denominada gas portador). La muestra se transporta a través de una columna capilar o empaquetada donde los componentes de la muestra se separan en función de su capacidad para distribuirse entre la fase móvil y la fase estacionaria.

### Fase móvil

Las fases móviles más comunes para la CG son el He, Ar y N<sub>2</sub>, ya que tienen la ventaja de ser químicamente inertes frente a la muestra y la fase estacionaria.

### Fase Estacionaria

La selectividad en la cromatografía de gases está influenciada por la elección de la fase estacionaria. El orden de elución en la CG está determinado principalmente por el punto de ebullición del soluto y en menor grado por la interacción del soluto con la fase estacionaria; solutos con puntos de ebullición significativamente diferentes se separan fácilmente. Por otro lado, dos solutos con puntos de ebullición similares pueden separarse solo si la fase estacionaria interactúa selectivamente con uno de los solutos. En general, los solutos no polares se separan más fácilmente con una fase estacionaria no polar, y los solutos polares son más fáciles de separar usando una fase estacionaria polar.

Una de las aplicaciones más importantes de la cromatografía de gases en el área ambiental es en el análisis de numerosos contaminantes orgánicos en aire, agua,

suelo y aguas residuales. Con la cromatografía de gases se puede analizar pesticidas organoclorados en agua como el metoxicloro, Propachlor, DCPA, el aldrine y las cis-permetina entre otros.

En cuanto al glifosato su detección en el suelo utilizado para la siembra de alimentos es importante por los problemas de contaminación que genera esta herbicida. Debido a las características previamente mencionadas del glifosato, es difícil su detección teniendo en cuenta que el glifosato presenta un carácter anfotérico, alta polaridad, volatilidad nula y falta de grupos cromóforos en su estructura química; por lo que su detección en la actualidad se ha realizado con éxito con Cromatografía de Gases acoplada con Espectrometría de Masas (GC-MS) (Liao y col., 2018).

## 1.2 ¿Qué son los Agroquímicos?

Un agroquímico es una sustancia producida sintéticamente, que suele ser usada por el hombre para mejorar el rendimiento de la explotación agrícola. Estos productos se utilizan para disminuir, controlar y erradicar una plaga o cualquier organismo patógeno que afecte los cultivos, y para colaborar en el desarrollo rápido de las plantas (Ninja, 2014).

Contaminación agrícola es Cuando se hace un uso excesivo y descontrolado de productos químicos y sintéticos perjudiciales a medio y largo plazo para la salud del suelo, se está contribuyendo a incrementar la contaminación. A este tipo de contaminación se le denomina contaminación agrícola (MAYA, 2019).

Fertilizantes y plaguicidas es uno de los principales que causa la contaminación por agrícolas. El uso de los cada vez más comercializados plaguicidas y fertilizantes industriales para evitar plagas estacionarias es uno de los motivos más evidentes de la contaminación agrícola. Este tipo de plaguicidas, cada vez más fuertes tras la llegada de especies invasoras más resistentes, acaban filtrándose por el suelo y las plantas, por lo que la salud de animales y consumidores finales puede verse afectada peligrosamente.

Adicionalmente se puede presentar un empobrecimiento de suelos el cual es un deterioro natural en la calidad del suelo y la utilidad de las tierras que perjudica la producción de alimentos, los medios de ganarse el sustento, la producción y suministro de otros bienes y servicios de los ecosistemas. Esto es causado principalmente por condiciones climáticas extremas, como sequía y actividades humanas que contaminan. En efecto el empobrecimiento de los suelos se ve acelerado por aplicación de tecnologías para aumentar la producción agrícola y ganadera, así como por la urbanización y deforestación (OMS, 2020).

### **1.3 Actividades Agrícolas en Belice**

Los principales tipos de exportación de Belice son los mariscos, el azúcar, los productos cítricos y las bananas. Desde la década de 1990, Belice ha tenido un defecto comercial sustancial en bienes (Britannica, 2019). La industria de procesamiento de alimentos es la refinería de azúcar en Tower Hill, cuya producción contribuye a la elaboración de azúcar. Son como alrededor de dos tercios de las exportaciones totales.

Los principales cultivos de Belice son azúcar, banano, y cítricos, con pastos ocupando una proporción significativa de la explotación suelo. El Censo de 2010 muestra que, de los 79.492 hogares encuestados, 23.243 (29 por ciento) se dedicaban a alguna forma de actividades agropecuarias (William Foster, 2017).

Según la junta de control de plaguicidas Las funciones están orientadas hacia el control integral de plaguicidas en Belice (Board, 2016). Los pesticidas se utilizan principalmente en agricultura y salud pública para el control de plagas y enfermedades. Si bien los pesticidas juegan un papel importante en el mantenimiento de nuestro suministro de alimentos y para el control de enfermedades humanas transmitidas por vectores, también pueden ser peligrosos para la salud humana y el medio ambiente si no se usan según lo previsto.

## 1.4 Características del Suelo

De acuerdo con la página de Belize sugar el territorio cañero de Belice se compone principalmente de suelos ligeramente que son ácidos a alcalinos con alto contenido de carbonato. Estos suelos son relativamente jóvenes con una textura predominante franco arcillosa a arcillosa. Las principales limitaciones de estos suelos son la baja profundidad efectiva, el mal drenaje, la compactación, el anegamiento y las deficiencias de micronutrientes (Asr, 2015). Hay 4 tipos de suelos que se han estudiado en la azúcar de caña son los siguientes:

### 1.4.1 Tipos de suelo

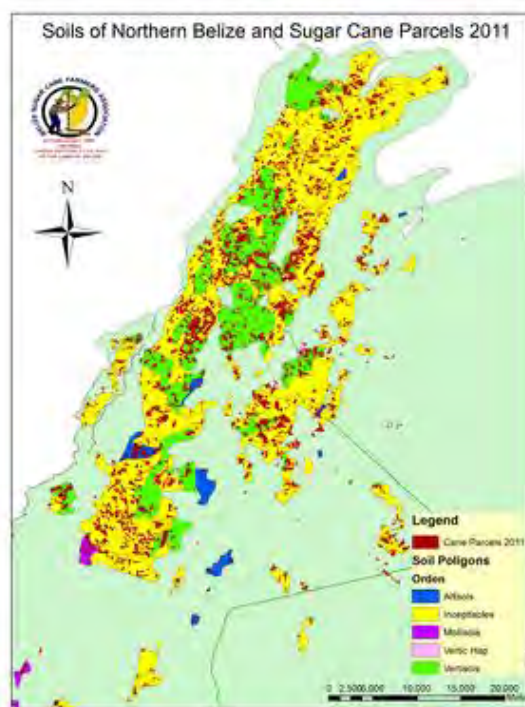
Inceptisoles ocupa el 71,9% del área total de caña de azúcar. Se encuentra principalmente en la porción noreste de las Industrias Azucareras de Belice, coincidiendo con las ramas de Corozal. Este tipo de suelo tienen textura media a gruesa, generalmente de drenaje moderado a bueno, buen contenido de materia orgánica y un pH ligeramente ácido. (Asr, Belize Sugar, 2015)

Vertisoles ocupa el 24,50% del área total de caña de azúcar. Se encuentra principalmente en la porción centro sur del BSCFA, coincidiendo con los ramales de San Narciso, San José, Orange Walk y Yo Creek. Su pH también es ligeramente ácido a neutro y su contenido de materia orgánica es medio a alto. Este tipo de suelo tiene una textura media a fina y el drenaje es generalmente moderado a imperfecto.

Mollisoles ocupa el 0,99% del área total de caña de azúcar. Se encuentra principalmente en la porción suroeste de BSI, coincidiendo con el ramal de San Lázaro. Es un suelo oscuro profundo con alto contenido de materia orgánica y una relación de saturación superior al 50 por ciento. Tiene una compactación de leve a severa, una textura arcillosa a arcilla y drenaje moderado a imperfecto.

Alfisoles ocupa el 2,61% del área total de caña de azúcar. Se encuentra principalmente en la porción sureste de BSI, coincidiendo con las ramas de Orange Walk, San Lazaro y Guinea Grass. Es un suelo profundo promedio con coloración

rojiza. Tiene una compactación ligera a pesada, una textura arcillosa a arcilla y un drenaje moderado. Este tipo de suelo también tiene una reacción ácida del suelo y un contenido de materia orgánica media a baja.



*Figura 3 Diferentes variantes de suelo presentes en Belice. Fuente: (Asr, Belize Sugar, 2015)*

## 1.5 Objetivo General

Realizar un estudio de la contaminación por agroquímicos en muestras de suelo mediante cromatografía HPLC en una parcela de caña de dos hectáreas en Corozal Ranchito, Belice.

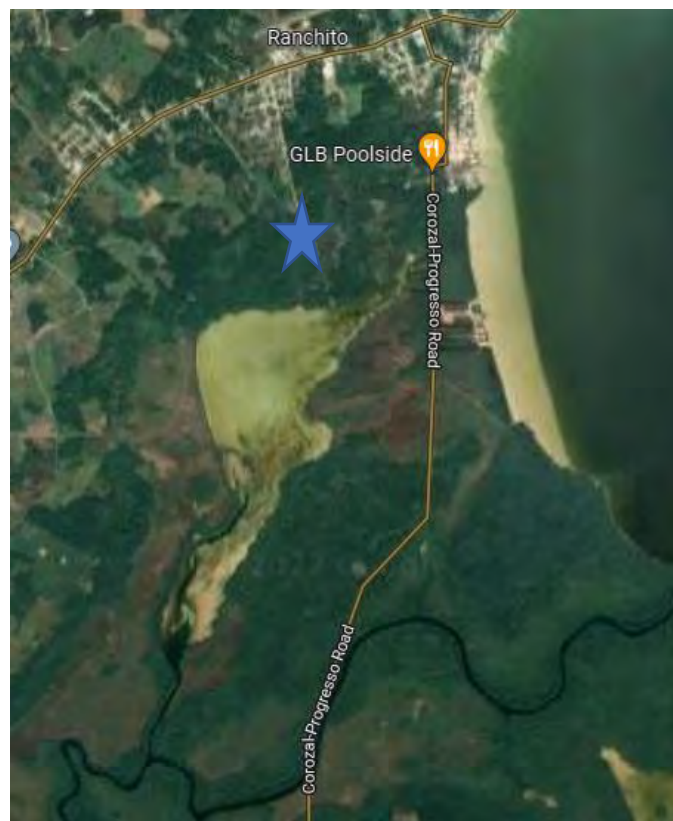
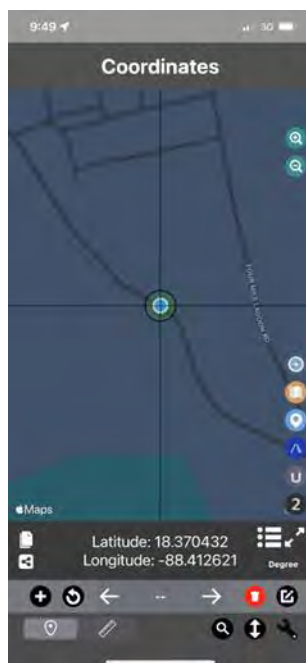
### 1.5.1 Objetivos Específicos

- Medir la conductividad y pH en muestras de suelo de la parcela de caña.
- Medir la concentración de nitrógeno y fósforo en las muestras de suelo analizadas.
- Cuantificar la presencia de compuestos agroquímicos mediante cromatografía HPLC.
- Realizar un análisis estadístico de los resultados.

## Capítulo 2 Materiales y Métodos

### 2.1 Área de Estudio

20 muestras de suelo fueron colectadas de una parcela de caña de azúcar de 2 hectáreas (200 x 100 m) ubicado en el poblado de Ranchito Corozal Belice con coordenadas de Latitud  $18^{\circ}21'48.1''$  Norte y  $88^{\circ}24'30.2''$  oeste. Las coordenadas y ubicación de la parcela se muestran en la Figura 4. Las muestras fueron colectadas el 26 de marzo del 2022, durante ese mes no se presentaron precipitaciones pluviales.



**Figura 4** Coordenadas y ubicación de la parcela en Ranchito Corozal Belice. Fuente: Google maps



## 2.2 Análisis Cromatográfico

20 muestras de suelo fueron colectadas en frascos de plástico de 200 ml y fueron tamizadas para retirar piedras. Se tomaron 10 g. de suelo tamizado y se le adicionó 100 ml de diclorometano para posteriormente colocarlo en un rotavapor a 40°C y 300 rpm para evaporar el diclorometano a sequedad y posteriormente se diluyeron en 30 µl de diclorometano y para su análisis se inyectaron 5 µl de forma manual.

## 2.3 Cromatógrafo de Gases condiciones experimentales

Se utilizó un cromatógrafo de gases Perkin Elmer serie 9000 equipado con detector de flama ionizada para el análisis de las muestras de suelo las condiciones experimentales fueron las siguientes:

- Temperatura del inyector: 250°C
- Programa de temperatura: inició a 70°C durante 2 min, con un incremento de temperatura de 10°C/min hasta 200°C (10 min) @ 10°C/ min hasta 280°C (10 min)

Condiciones del Acoplamiento a masas

- Temperatura de la fuente de ionización: 230°C
- Temperatura de la línea de transferencia: 250°C
- Energía de ionización: 70 eV

## 2.4 Caracterización del suelo

Las muestras de suelo fueron caracterizadas siguiendo los métodos que se indican en la siguiente tabla pH, fósforo extraíble (P) y conductividad eléctrica.

**Tabla 1 pH, fósforo extraíble (P) y conductividad eléctrica**

Parámetro	Técnica	Referencia
pH	relación suelo: agua 1:2	NOM-021-RECNAT-2000
fosforo extraíble	Procedimiento de Bray y Kurtz	NOM-021-RECNAT-2000
conductividad eléctrica	relación suelo: agua 1:5	NOM-021-RECNAT-2000

### Conductividad y pH de suelo

Se midieron mediante el método propuesto en la NOM-021-RECNAT-2000, que consistió en preparar un extracto acuoso de suelo (1:2 p/v) y medir el pH y conductividad del extracto con un medidor de pH y un medidor de conductividad. Se pesaron 10 g de suelo y se vertieron 20 ml de agua desionizada. La mezcla se dejó durante 30 minutos, con agitaciones manuales cada 5 minutos. El extracto de suelo se filtró dos veces con un filtro de poro cerrado y se midió pH y conductividad con un medidor de pH y conductividad portátil Hanna.

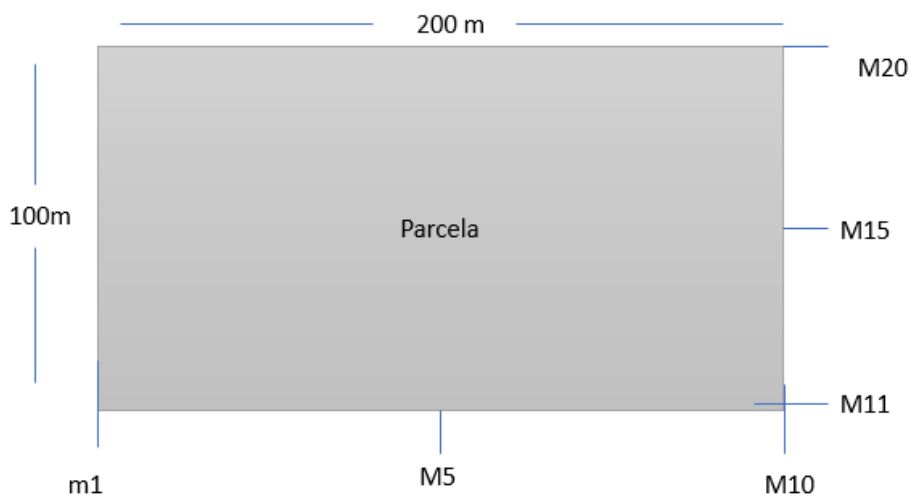
### Determinación de Nitrógeno amoniacal

El nitrógeno amoniacal se midió en muestras de suelo mediante el método Nessler utilizando una relación suelo agua de 1:10 y filtrado. Las mediciones se realizaron con un espectrofotómetro Hach DR50000.

## Capítulo 3 Resultados y Discusión

### 3.1 Muestreo

Se tomaron muestras de suelo de la parcela sin plantas. La siguiente figura presenta la ubicación de los puntos de muestreo en la parcela analizada. Las muestras de suelo fueron etiquetadas como M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13, M14, M15, M16, M17, M18, M19 y M20 y se recolectaron a una distancia de 20 metros de distancia entre ellas.



**Figura 5 Ubicación de los puntos de muestreo en la parcela de caña.**

En la Figura 6 se puede observar el punto de muestreo para la muestra de suelo M1 de la parcela. Durante este estudio de campo se observó que las plantas de caña estaban en condiciones de ser cosechadas como se muestra en la Figura 7. La parcela fue muestreada el 26 de marzo del 2022 siguiendo el método de muestreo simple indicado en la norma NOM-021-RECNAT-2000.



***Figura 6 Punto de muestreo M1 de la parcela de caña.***



***Figura 7 Plantación de caña en la parcela.***

Se tuvo una entrevista con el agricultor dueño de la parcela donde este afirmó que no se utilizan herbicidas prohibidos por la agencia de Belice adicionalmente mencionó que usan fertilizantes nitrogenados químicos.

### 3.2 Caracterización del Suelo

Los resultados de las determinaciones en suelo de las muestras analizadas se presentan en la Tabla 2. El pH promedio de las 20 muestras analizadas fue de  $6.94 \pm 0.07$  este resultado indica que el pH del suelo de la parcela fue neutro de acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000. No se encontró diferencia significativa de pH entre las 20 muestras analizadas ( $\alpha = 0.10$ ). En cuanto a los valores de la conductividad se calculó un valor promedio de  $0.605 \pm 0.107$  dS/m, de acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000 conductividades menores a 0.8 dS/m corresponden a suelos con una salinidad baja por lo que el suelo presenta condiciones ideales para cualquier cultivo. La concentración promedio de fósforo de las 20 muestras analizadas fue de  $18.70 \pm 3.26$  mg/kg. Estas concentraciones de fosforo en el suelo son adecuadas para cualquier cultivo según la norma NOM-021-RECNAT-2000 por lo cual este tipo de suelo no presenta deficiencia de este nutriente.

**Tabla 2 Resultados de la caracterización del suelo de la parcela analizada**

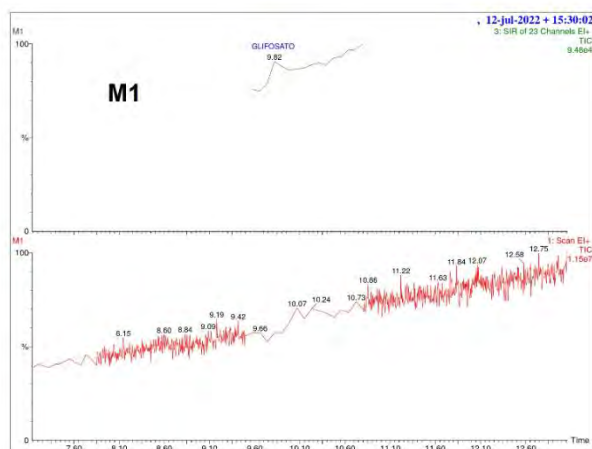
Muestra	PH	Conductividad (dS/m)	P (mg/kg)
1	6.80	0.343	19.89
2	6.92	0.652	12.78
3	7.04	0.581	18.61
4	6.78	0.474	15.37
5	6.98	0.521	16.43
6	6.91	0.792	21.59
7	6.92	0.663	18.37
8	7.01	0.574	21.12
9	6.94	0.553	20.68
10	6.93	0.692	18.74
11	6.98	0.638	16.46
12	7.04	0.529	21.36

13	6.95	0.682	20.98
14	6.99	0.699	17,85
15	7.01	0.593	22.72
16	6.93	0.602	21.87
17	6.98	0.588	19.04
18	6,91	0.497	18.77
19	6.87	0.622	19.69
20	6.91	0.801	21.74

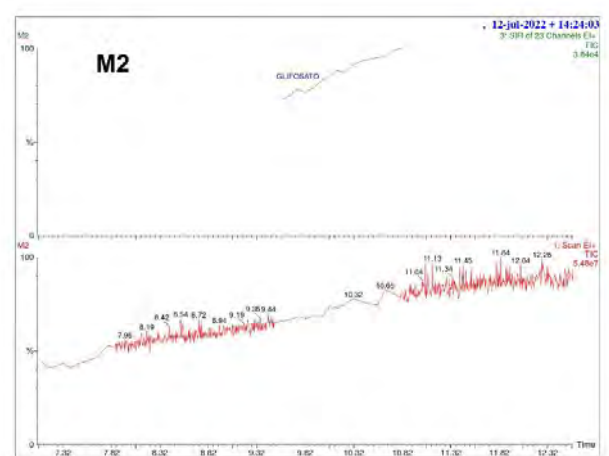
### 3.3 Análisis Cromatográfico de las muestras de suelo

El uso excesivo del glifosato y su impacto en el medio ambiente ha promovido el análisis químico del glifosato en el agua, el suelo y alimentos. Debido a la complejidad y características específicas de la molécula para ser analizada en primera etapa esta debe ser detectada y posteriormente cuantificada. En el caso de muestras de suelos y agua su detección es particularmente más difícil debido a que esta puede diluirse concentraciones muy pequeñas. En el análisis de la parcela objeto de este estudio de tesis los cromatogramas obtenidos para las muestras M1, M2, M3, M4, M6, M7, M8, M10, M14, M16, M17, M18, M19 y M20 confirmaron la presencia del herbicida glifosato los cuales son mostrados en la Figura 8. Esto es un indicativo del uso al menos de este herbicida en el control de maleza para el cultivo de caña en la parcela analizada. El glifosato es un compuesto que no contiene una estructura química compleja, pero al tener cuatro grupos altamente polares se dificulta el análisis por métodos convencionales, los resultados obtenidos muestran que se presentan concentraciones traza de este herbicida y los cromatogramas para las muestras M16, M19 y M20 presentan los picos más altos de glifosato. Para las muestras M5, M9, M11, M12, M13, M15 no se detectó presencia de glifosato esto puede ser por que el transporte de las muestras se realizó vía terrestre, donde primero debieron ser transportadas desde la parcela en Ranchito Corozal hasta el laboratorio de Química ambiental en Chetumal para su posterior traslado vía paquetería al laboratorio de Ingeniería Metabólica del Centro

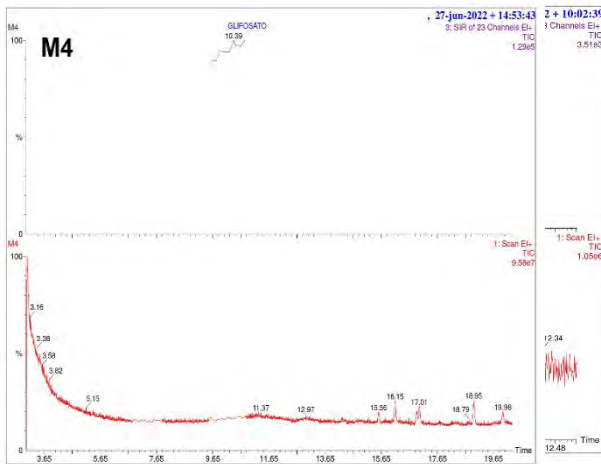
de Investigaciones y de Estudios Avanzados del IPN (CINVESTAV) para su análisis cromatográfico. Es importante recalcar este traslado, ya que al no contar con laboratorio de cromatografía en la Universidad de Quintana Roo el análisis tuvo que ser realizado en dicho centro de investigación, por lo cual otros compuestos químicos como plaguicidas o herbicidas que pudieran estar presentes probablemente se volatilizaron, esto podría ser confirmado en posterior estudio. Sin embargo, la importancia de este trabajo radica en el hecho de que a pesar de afirmarse por algunos cañeros que el glifosato no es usado actualmente; los cromatogramas para las muestras antes mencionadas evidencian el uso de este herbicida tóxico y cancerígeno. El uso de este herbicida conlleva problemas para México dado la colindancia de Belice con Chetumal. En efecto la parcela analizada representa apenas el 20 % de las 2000 hectáreas de parcelas utilizadas en Corozal para la siembra de caña y dado su cercanía con Chetumal, el Río Nuevo y la Bahía de Belice y Chetumal tal como se puede observar en las Figuras 9 , 10 y 11; este herbicida y otros compuestos químicos que pudieran seguir siendo utilizados representarían problemas de contaminación para Belice y Chetumal.



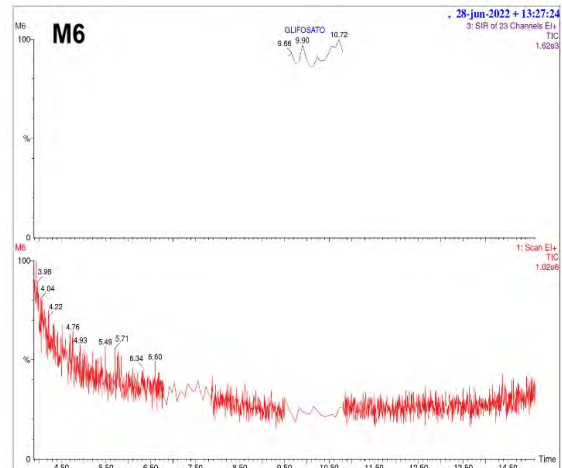
(a)



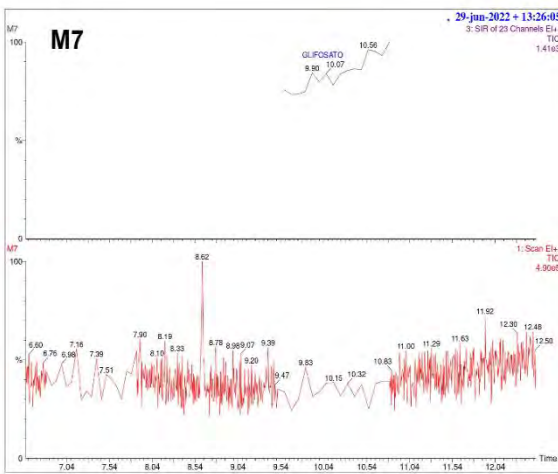
(b)



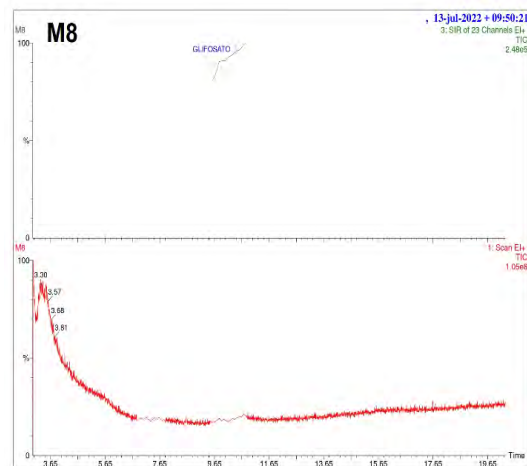
(c)



(d)

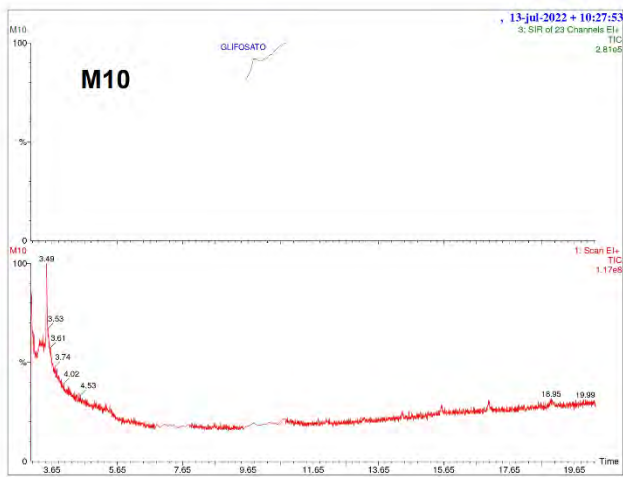


(e)

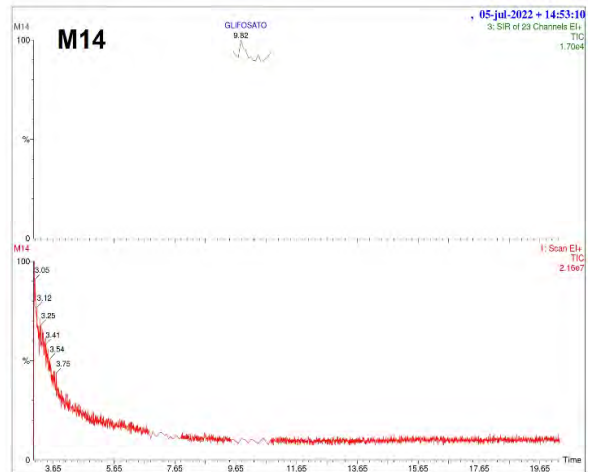


(f)

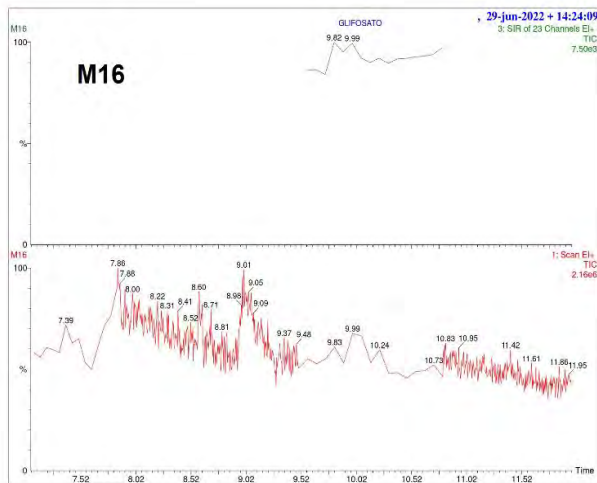




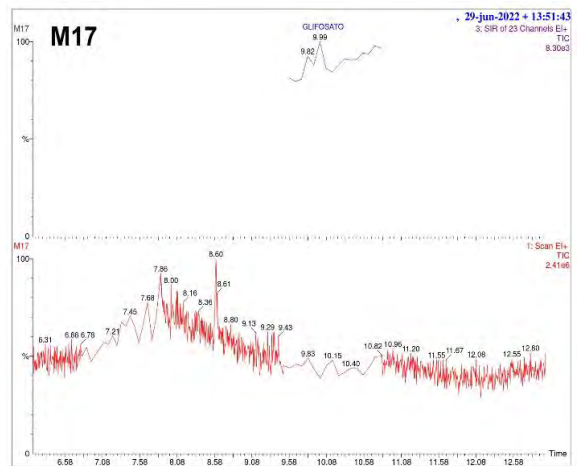
(g)



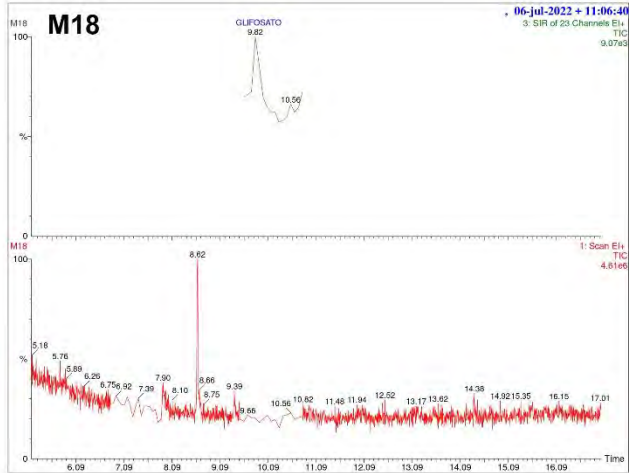
(h)



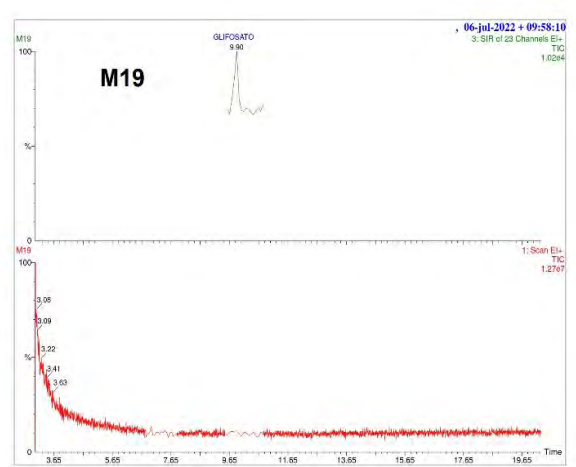
(i)



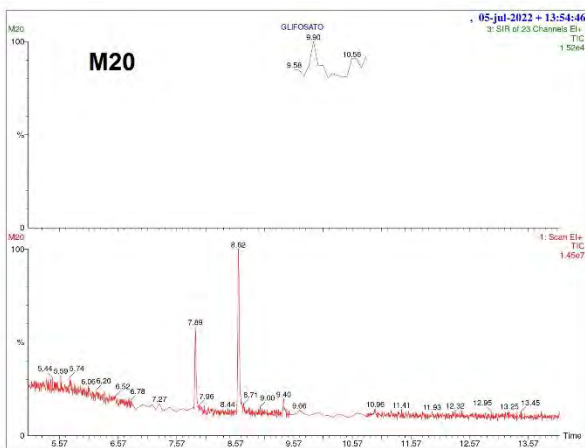
(j)



(k)

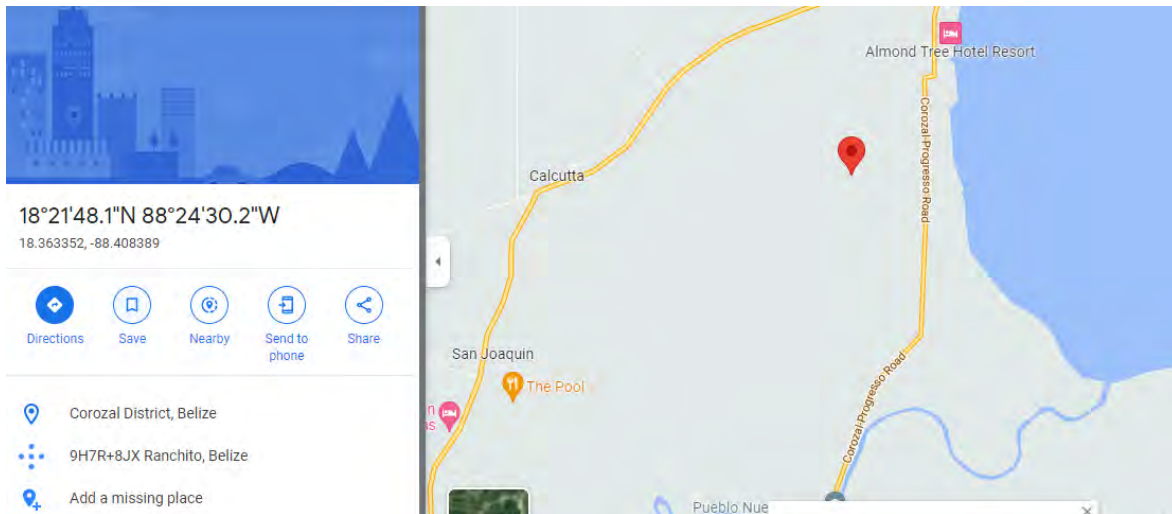


(l)

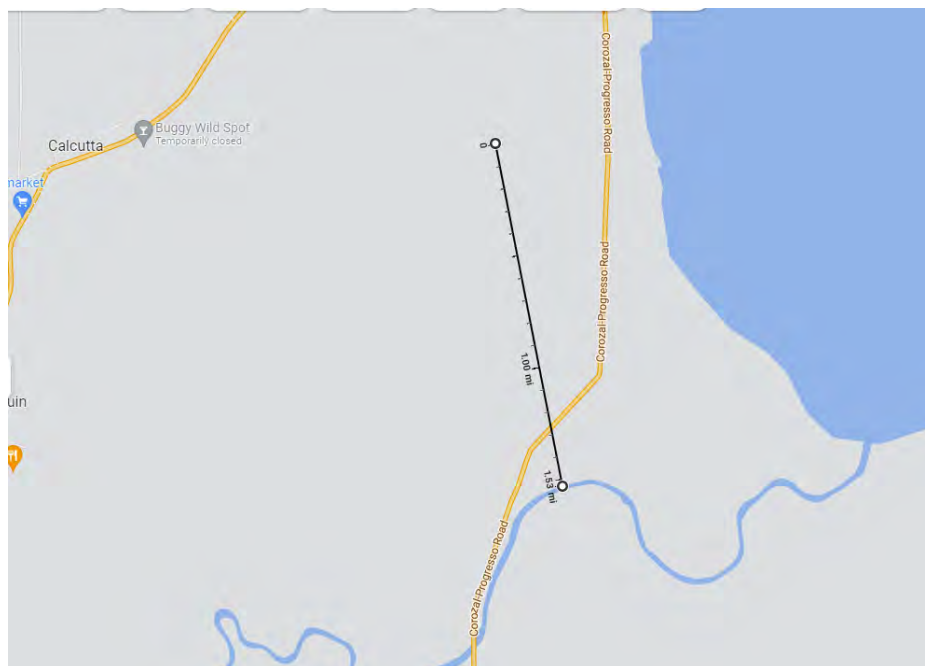


(m)

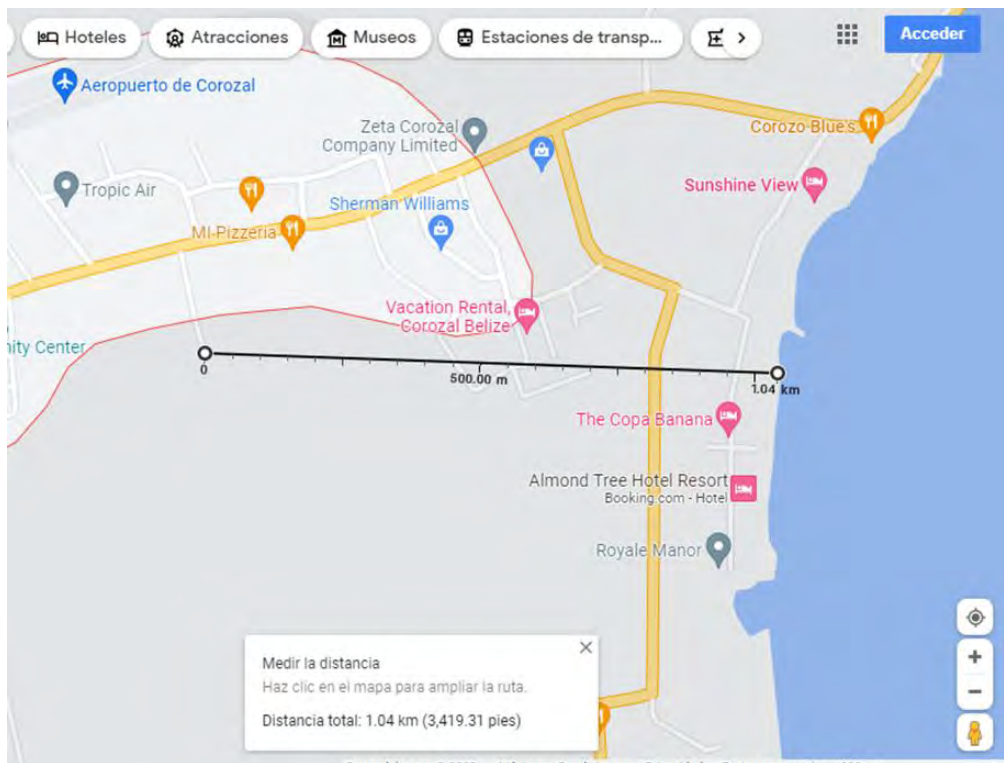
Figura 8 Cromatogramas de las muestras de suelo que dieron positivo a la presencia de glifosato.



**Figura 9** Coordenadas de la parcela analizada y su colindancia con el Río Nuevo y la Bahía de Belice.



**Figura 10** Distancia de la parcela al Río Nuevo (2.47 km).



**Figura 11** Distancia de la parcela hacia a la bahía de Corozal (1.04km).

El área de ranchito hay varios cultivos de caña de ranchito en donde varios cañeros tienen sus cultivos en esa área, ya que esa área es muy pantanosa, con un total de 14 hectáreas de cultivos representa un riesgo de contaminación por su cercanía con el río nuevo y también a la bahía de corozal. La zona de estudio tiene una distancia aproximada de 2.47km al río nuevo y a la Bahía de corozal es de 1.04km.

La Lista de Vigilancia de Pesticidas (Tabla 3) muestra los riesgos potenciales a la salud y el medio ambiente por ingredientes activos que se utilizan en Belice donde se muestran químicos que no están prohibidos pero que tienen un riesgo potencialmente grave y/o acumulativo para la salud humana y/o el medio ambiente (UTZ, 2015).

**Tabla 3 Tipo de herbicidas y sus ingredientes activos.**

Pesticides Watchlist (by active ingredient)								
No	Active ingredient	Acute toxicity	Chronic Toxicity		Environmental toxicity			
		H 330 (Fatal if inhaled)	Probably likely carcinogenic (US EPA)	EDC (EU)	Very bioaccumulative	Very persistent in water, soil, sediment	Very toxic to aquatic organisms	Highly toxic to bees
21	Fenarimol			x				
22	Fenbutatin-oxide	x				x	x	
23	Fenitrothion			x				
24	Fenpropathrin	x						x
25	Fenoxycarb							x
26	Fipronil							x
27	Flusilazole**							
28	Glufosinate-ammonium**							
29	<b>Glyphosate</b>		x					
30	Imidacloprid*							x
31	loxynil			x				
32	Isopyrazam		x			x	x	
33	Lambda-cyhalothrin	x		x				x
34	Lufenuron				x	x	x	
35	Malathion							x
36	Mancozeb			x				

## **Capítulo 4 Conclusiones**

Se logró evidenciar la presencia de glifosato en 14 de las muestras de suelo analizadas esto a pesar de los problemas de traslado de las muestras para su análisis respectivo. Los campos de cultivo de caña en corozal han estado expuestos al uso del herbicida glifosato desde hace más de 20 años ya que los agricultores lo utilizan para el control de malezas. Los resultados obtenidos de acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000 han demostrado que el pH en el suelo es neutro y su conductividad es baja y las mediciones de nitrógeno y fósforo indican un suelo de buena calidad para el cultivo de caña.

El presente estudio se realizó a nivel laboratorio donde se pudo detectar la presencia de la herbicida de glifosato que presenta un riesgo al medio ambiente y con la cercanía del río nuevo y de la bahía de corozal.

Cuando se usa un herbicida para controlar malezas, a veces la mayoría del compuesto termina en el medio ambiente, ya sea en el suelo, el agua, la atmósfera o en los productos cosechados. Debido al uso generalizado de estos químicos a lo largo de los años, hay una acumulación de estos residuos en el medio ambiente, lo que está provocando contaminaciones alarmantes en los ecosistemas y daños negativos a la biota. Hay mucho más que aprender sobre el destino del glifosato, incluida su sorción, degradación y lixiviación. Además de los riesgos ambientales, el glifosato también está asociado con riesgos para la salud. Esto hace que sea necesario desarrollar una estrategia ecológica para la biorremediación. Varios ecosistemas y sus componentes abióticos y bióticos, incluidos animales, plantas y microbios, se ven afectados negativamente por el uso indiscriminado de glifosato.

El fósforo en el suelo compite con el glifosato por la sorción, lo que finalmente afecta la retención y degradación del glifosato. La absorción previa de fosfatos casi elimina las posibilidades de absorción de glifosato en algunos suelos. Aunque en algunos suelos se encuentra que la disponibilidad de fósforo acelera la degradación del

glifosato. Una mejor comprensión de la acción del glifosato y el uso de adyuvantes para un mejor efecto general deberían ser otros enfoques para diseñar futuras formulaciones de glifosato. Todavía hay más, y esta brecha debe estudiarse más a fondo.

### **Recomendaciones**

Un análisis cromatográfico de las muestras de suelo de estos campos de cultivo posterior a su colecta sería recomendable con el objetivo de detectar otros compuestos agroquímicos que se pudieran volatilizar.

## Referencias y Bibliografía

- Andreotti, G., Koutros, S., Hofmann, J., Sandler, D., Lubin, J., Lyn, C., . . .  
Freeman, L. (2018). Glyphosate Use and Cancer Incidence in the. *Journal  
Cancer Natianl Inst*, 509-516.
- Asr, B. (7th de April de 2015). *Belize Sugar* . Obtenido de Belize Sugar:  
[http://www.sugarindustryofbelize.com/new-blog-1/2015/4/7/soil-types-in-belizes-sugar-cane-area#:~:text=The%20predominant%20soils%20identified%20by,%2C%20V  
ertisols%2C%20Mollisols%20and%20Alfisols.](http://www.sugarindustryofbelize.com/new-blog-1/2015/4/7/soil-types-in-belizes-sugar-cane-area#:~:text=The%20predominant%20soils%20identified%20by,%2C%20Vertisols%2C%20Mollisols%20and%20Alfisols.)
- Berry, C. (2020). Glyphosate and cancer: the importance of the picture. *Pest  
management Science*, 2874-2877.
- Board, P. C. (2016). *Pesticide Control Board* . Obtenido de Pesticide Control Board  
: <https://www.pcbbelize.com/organizational-structure/>
- IARC. (febrero de 2020). [https://www.iarc.who.int/cards\\_page/iarc-publications/](https://www.iarc.who.int/cards_page/iarc-publications/).  
Recuperado el julio de 2022
- Intertox, O. S. (2017). *Roadside Vegetation Management Herbicide Fact Sheet*.  
Washington State Department of Transportation's.
- Koldo Hernández, F. P. (2021). *Contaminación por glifosato por el medio ambiente*  
. España: Ecologistas en Acción.
- medicine, T. i. (2017). The institute for functional medicine. *Exposure to Pesticides,  
Herbicides, & Insecticides: Human Health Effects*.
- Mink, P., Mandel, J., Sceurmann, B., & Lundin, J. (2021). Epidemiologic studies of  
glyphosate and cancer: A review. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*,  
440-452.
- NATURALES, S. D. (2002). *NORMA Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000*.  
Mexico: DIARIO OFICIAL.
- UTZ. (2015). *LIST OF BANNED PESTICIDES AND PESTICIDES WATCHLIST*.  
UTZ.