

# **PRÁCTICA EMPRESARIAL**

**APOYO AL LABORATORIO DE QUÍMICA DE LA FISCALÍA GENERAL DE LA  
NACIÓN SECCIONAL NORTE DE SANTANDER**

**FABIÁN STIVEN DÍAZ RAMÍREZ**



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA  
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA  
PAMPLONA, COLOMBIA  
2022**

# **PRÁCTICA EMPRESARIAL**

**APOYO AL LABORATORIO DE QUÍMICA DE LA FISCALÍA GENERAL DE LA  
NACIÓN SECCIONAL NORTE DE SANTANDER**

**FABIÁN STIVEN DÍAZ RAMÍREZ**

**Trabajo de investigación presentado como requisito para optar al título de  
Químico**

**Tutores**

**AMANDA LUCIA CHAPARRO GARCÍA**

Química, M.Sc., Ph.D.

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

**JOSÉ MANUEL MENDEZ HERNÁNDEZ**

Ingeniería química, Magister

**DIRECTOR LABORATORIO DE QUÍMICA FISCALÍA GENERAL DE LA NACIÓN  
SECCIONAL NORTE DE SANTANDER**



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA  
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA  
PAMPLONA, COLOMBIA**

**2022**

## DEDICATORIA

*A Dios primeramente por darme la salud, la vida para poder llevar a cabo este proyecto.*

*A mis padres Otilio Díaz y Nancy Ramírez quienes con su amor y esfuerzo me han permitido cumplir una meta más.*

*A toda mi familia, hermano Nelson Díaz y Katherine Díaz por su cariño, consejos y palabras de aliento que hicieron de mí una mejor persona.*

*Finalmente quiero dedicar este trabajo de grado a todas mis amistades por brindarme su apoyo cuando más los necesite y extendieron su mano en momentos difíciles.*

## AGRADECIMIENTOS

Agradecer primeramente a Dios por darme la salud para poder llevar a cabo este proyecto.

Mi profundo agradecimiento a todas las autoridades y personas que hacen parte del laboratorio de química de la Fiscalía general de la Nación sección Norte de Santander por confiar en mí y permitirme realizar todo el proceso investigativo.

De igual manera, mis agradecimientos a la Universidad de Pamplona, a todo el programa de química, a mis profesores quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que pudiera crecer cada día como futuro profesional.

Finalmente, a mis tutores Amanda Lucía Chaparro (docente de la Universidad de Pamplona) y al magister José Manuel Méndez (director laboratorio de química de la Fiscalía general de la Nación seccional Norte de Santander) por su dedicación, apoyo y acompañamiento durante la realización de mi trabajo de grado.

## CONTENIDO

DEDICATORIA .....	3
AGRADECIMIENTOS.....	4
LISTA DE TABLAS.....	8
LISTA DE FIGURAS.....	9
LISTA DE ABREVIATURAS.....	10
RESUMEN .....	11
ABSTRACT.....	12
INTRODUCCION .....	13
1. MARCO REFERENCIAL.....	14
1.1 SUSTANCIAS PSICOACTIVAS Y SU CLASIFICACIÓN.....	14
1.2 COCAÍNA.....	14
1.2.1 PROPIEDADES DE LA HOJA DE COCA ( <i>ERYTHROXYLUM COCA</i> ).....	15
1.2.2 FORMAS DE CONSUMO DE COCAÍNA .....	16
1.2.3 EFECTOS QUE PRODUCE EL CONSUMO DE COCAÍNA .....	16
1.2.4 RIESGOS QUE PRODUCE EL CONSUMO DE COCAÍNA .....	17
1.3 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA COCAÍNA.....	17
1.3.1 PROPIEDADES FÍSICAS: .....	18
1.3.2 VARIACIÓN DE ESTRUCTURA DE LA COCAÍNA ADULTERADA .....	18
1.4 PRODUCCIÓN DE COCA .....	19
1.5 MÉTODOS DE EXTRACCIÓN.....	21
1.5.1 EXTRACCIÓN ASISTIDA POR ULTRASONDIO.....	21
1.5.2 EXTRACCION SOLIDO-LIQUIDO.....	21
1.5.3 DISPERSIÓN DE LA MATRIZ EN FASE SÓLIDA (MSPD): .....	22
1.5.4 POLARIDAD DE LOS SOLVENTES.....	22
1.6 TÉCNICAS ANALÍTICAS INSTRUMENTALES .....	23
1.6.1 CROMATOGRAFÍA DE GASES CON DETECTOR DE ESPECTROMETRÍA DE MASAS (GC/MS) .....	23
2. OBJETIVOS .....	26
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	26
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	26
3. METODOLOGÍA.....	27
3.1 INDUCCIÓN DE LUGAR DE TRABAJO .....	27

3.2 SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD (SGC).....	27
3.3 MUESTREO .....	28
3.4 REACTIVOS.....	29
3.5 EQUIPOS, INSTRUMENTOS Y MÉTODOS .....	29
3.6 BLANCO .....	29
3.7 ESTÁNDAR DE COCAÍNA.....	29
3.8 MÉTODO DE EXTRACCIÓN DE COCAÍNA A PARTIR DE HOJAS DE COCA APLICADO ACTUALMENTE EN EL LABORATORIO DE QUÍMICA .....	29
3.9 EVALUACIÓN DE EFECTOS DEL TIEMPO Y SOLVENTE EN EXTRACCIÓN POR ULTRASONIDO..	31
3.9.1 EVALUACION DEL EFECTO DEL TIEMPO EN EXTRACCIÓN POR ULTRASONIDO.....	31
3.9.2 EVALUACION DEL EFECTO DEL SOLVENTE EN EXTRACCIÓN POR ULTRASONIDO.....	34
3.10 VERIFICACIÓN DEL EFECTO DEL TIEMPO Y SOLVENTE SELECCIONADO EN EXTRACCION DEL MÉTODO DE ULTRASONIDO.....	37
3.11 EXTRACCION SÓLIDO-LÍQUIDO .....	38
3.12 EXTRACCIÓN POR DISPERSIÓN DE MATRIZ EN FASE SÓLIDA (MSPD).....	39
3.13 COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE COCAÍNA A PARTIR DE HOJAS DE COCA .....	40
3.14 VERIFICACIÓN DEL MÉTODO ANALÍTICO .....	40
3.15 PROCESO DE DESCONGESTIÓN DE MUESTRAS QUE INGRESAN AL LABORATORIO.....	41
3.16 DOCUMENTACIÓN DE METODOLOGÍA .....	41
4. RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	42
4.1 SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD (SGC).....	42
4.2 BLANCO .....	42
4.3 ESTANDAR DE COCAÍNA.....	43
4.3 MÉTODO DE EXTRACCIÓN DE COCAÍNA A PARTIR DE HOJAS DE COCA APLICADO ACTUALMENTE EN EL LABORATORIO DE QUÍMICA .....	44
4.4 EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL TIEMPO Y SOLVENTE EN EXTRACCIÓN POR ULTRASONIDO..	45
4.4.1 EVALUACION DEL EFECTO DEL TIEMPO EN EXTRACCIÓN POR ULTRASONIDO.....	45
4.4.2 EVALUACION DEL EFECTO DEL SOLVENTE EN EXTRACCIÓN POR ULTRASONIDO.....	46
4.5 VERIFICACIÓN DEL EFECTO DEL TIEMPO Y SOLVENTE SELECCIONADO EN EXTRACCION DEL MÉTODO DE ULTRASONIDO.....	48
4.6 EXTRACCIÓN SÓLIDO-LÍQUIDO .....	49
4.7 EXTRACCIÓN POR DISPERSIÓN DE MATRIZ EN FASE SÓLIDA (MSPD).....	50
4.8 COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE COCAÍNA A PARTIR DE HOJAS DE COCA	52
4.9 VERIFICACIÓN DEL MÉTODO ANALÍTICO .....	54
4.10 PROCESO DE DESCONGESTIÓN DE MUESTRAS.....	54

4.11 DOCUMENTACIÓN DE METODOLOGÍA .....	55
CONCLUSIONES .....	56
RECOMENDACIONES .....	57
BIBLIOGRAFÍA .....	58
ANEXOS .....	62

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Parámetros para análisis de extracción de cocaína en hojas de coca. (Fiscalnet; 2022)....	30
<b>Tabla 2:</b> Número de etiqueta y pesado de muestras para la selección del tiempo en la extracción por ultrasonido. ....	32
<b>Tabla 3:</b> Cantidad de carbón activado adicionado a cada muestra de material vegetal en la selección del solvente en la extracción de ultrasonido. ....	33
<b>Tabla 4:</b> Número de etiqueta y pesado de muestras para la selección del tiempo en la extracción por ultrasonido. ....	34
<b>Tabla 5:</b> Cantidad de carbón activado adicionado a cada muestra de material vegetal en la selección del solvente en la extracción de ultrasonido. ....	35
<b>Tabla 6:</b> Número de etiqueta y pesado de muestras de confirmación en la extracción por ultrasonido. ....	37
<b>Tabla 7:</b> Cantidad de carbón activado adicionado a cada jeringa para extraer la muestra de material vegetal en las confirmaciones de extracción de ultrasonido. ....	38
<b>Tabla 8:</b> Número de etiqueta y pesado de muestras de extracción sólido-líquido. ....	38
<b>Tabla 9:</b> Cantidad de carbón activado adicionado a cada muestra de material vegetal en la selección del solvente en la extracción de ultrasonido. ....	39
<b>Tabla 10:</b> Especificaciones de muestra estándar y su tiempo de retención.....	44
<b>Tabla 11:</b> Datos de comparación del método establecido fiscalía y desarrollado en este documento .....	52
<b>Tabla 12:</b> Datos de comparación respecto a la validación del método utilizado .....	54

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Hojas de coca ( <i>Erythroxylum coca</i> ). (SEMAN; 2021) .....	14
<b>Figura 2:</b> Características microscópicas de las hojas de coca. (ONODC, C; 2022) .....	16
<b>Figura 3:</b> Estructura química de la cocaína (Trigo; 2022).....	17
<b>Figura 4:</b> Estructura química de la cocaína adultera en “corte”. (Raverta., C., 2015) .....	18
<b>Figura 5:</b> Hectáreas cultivadas de coca en los países de la región andina (CASTELLANOS; 2016) ...	19
<b>Figura 6:</b> Densidad de cultivos de coca en Colombia, 2020 (Correa Fajardo, H., 2021) .....	20
<b>Figura 7:</b> Instalaciones del laboratorio de química de la Fiscalía general de la nación seccional Norte de Santander. (fuente propia).....	27
<b>Figura 8:</b> Ubicación geográfica de muestreo de hojas de coca. (IGAC; 2018) .....	28
<b>Figura 9:</b> Montaje de extracción de cocaína en hojas de coca. (fuente propia).....	30
<b>Figura 10:</b> Procedimiento de tamizado en hojas de coca. (fuente propia).....	31
<b>Figura 11:</b> Muestra tamizadas de material vegetal adicionándose etanol. (fuente propia) .....	32
<b>Figura 12:</b> Muestras de material vegetal en ultrasonido. (fuente propia) .....	33
<b>Figura 13:</b> Cromatógrafo de gases con detector selectivo de masas (GC-MS) SHIMADZU modelo QP 2010-Ultra. (fuente propia).....	34
<b>Figura 14:</b> Adicionando el solvente a muestras tamizadas de material vegetal [A: Metanol, B: Acetona y C: Cloroformo]. (fuente propia) .....	35
<b>Figura 15:</b> Proceso de evaporización de cada uno de los solventes a temperatura ambiente. (fuente propia) .....	36
<b>Figura 16:</b> Muestra con solvente evaporado, y posteriormente adicionado etanol. (fuente propia) .....	36
<b>Figura 17:</b> Homogenización de material vegetal y dispersante [A: Sílice y B: Alúmina]. (fuente propia) .....	39
<b>Figura 18:</b> Montaje de extracción por dispersión de matriz en fase sólida. (fuente propia) .....	40
<b>Figura 19:</b> Cromatograma de muestra blanco analizada por GCMS (fuente propia) .....	42
<b>Figura 20:</b> [A] Cromatograma y [B] espectro de masas del estándar de cocaína. (fuente propia)...	43
<b>Figura 21:</b> Cromatograma de metodología utilizada en la Fiscalía. (fuente propia) .....	44
<b>Figura 22:</b> Cromatograma selección de tiempo de extracción [tiempos en ultrasonido]. (fuente propia) .....	46
<b>Figura 23:</b> Cromatograma selección del solvente de extracción. (fuente propia).....	47
<b>Figura 24:</b> Cromatograma verificación ultrasonido 5 min. (fuente propia).....	48
<b>Figura 25:</b> Cromatograma verificación solvente acetona. (fuente propia).....	49
<b>Figura 26:</b> Cromatograma extracción sólido-líquido [24 horas temperatura ambiente] (fuente propia) .....	50
<b>Figura 27:</b> Cromatograma muestras de sílice [A] y alúmina [B] (MSPD). (fuente propia) .....	51
<b>Figura 28:</b> Esquema del proceso MSPD. (Serrano Valenciano, M., 2017) .....	51
<b>Figura 29:</b> Cromatograma del método establecido en la fiscalía (fuente propia) .....	53
<b>Figura 30:</b> Cromatograma del método desarrollado en este documento (fuente propia).....	53
<b>Figura 31:</b> Proceso de descongestión de muestras (fuente propia) .....	55

## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>Abreviatura</b>	<b>Término</b>
GC-MS	Cromatografía de gases con detector selectivo de masas
MSPD	Dispersión de la matriz en fase solida
SGC	Sistema de gestión de la calidad
NPS	Nuevas sustancias psicoactivas
VOC	Compuestos orgánicos volátiles
SVOC	Compuestos orgánicos semivolátiles
PCB	Bifenilos policlorados
HAP	Hidrocarburos aromáticos policíclicos
RGA	Análisis de gases de refinería
DHA	Análisis detallado de hidrocarburos
FT	Fenoles totales
μ-ECD	Detector de microcaptura de electrones.
OMS	Organización Mundial de la Salud.

## RESUMEN

La Fiscalía General de la Nación Seccional Norte de Santander, es una entidad del poder público judicial. Una de sus obligaciones, corresponde el proceso de caracterización de drogas ilícitas en el país, dentro de las que se encuentran la marihuana, cocaína, heroína, entre otros. Por su parte el laboratorio de química de la Fiscalía General de la Nación, seccional Norte de Santander, trabaja en la identificación y caracterización de estas sustancias, haciendo uso de la técnica cromatografía de gases con detector selectivo de masas (GC-MS). Dentro de estos análisis se encuentra la extracción de cocaína, en hojas de coca incautadas, utilizando la técnica de ultrasonido, pero este proceso de extracción arrastra impurezas, tales como la clorofila y otros compuestos orgánicos que se extraen junto al analito de interés, que contaminan las columnas del cromatógrafo y desgastan partes importantes dentro del analizador de masas. Debido a este problema, se hace necesario mejorar el método de extracción, por lo cual se realizaron estudios a diferentes tiempos en el ultrasonido (5 min, 10 min y 20 min), diferentes solventes (metanol, cloroformo, acetona) y el método de dispersión de la matriz en fase sólida (MSPD). Finalmente se compararon los métodos de extracción evaluados, seleccionando el tiempo 5 min de la muestra en el ultrasonido y utilizando acetona, estos resultados fueron verificados en su espectro de masas, dando resultados en comparación mayores al 90% respecto a la espectroteca forense y tiempos semejantes al material de referencia. Por último, se apoyó en la descongestión de sustancias vegetales con características similares a la hoja de coca y en la actualización del sistema de gestión de la calidad (SGC) en la implementación de la norma 17025:2017.

**Palabras Claves:** GC-MS, cocaína, ultrasonido, polaridad, MSPD, SGC, incautados.

## ABSTRACT

The Attorney General's Office of Norte de Santander is an entity of the judicial public power. One of its duties is the process of characterization of illicit drugs in the country, including marijuana, cocaine, heroin, among others. For its part, the chemistry laboratory of the Attorney General's Office, Norte de Santander, works in the identification and characterization of these substances, using the gas chromatography technique with mass selective detector (GC-MS). Among these analyses is the extraction of cocaine from seized coca leaves using the ultrasound technique, but this extraction process drags impurities, such as chlorophyll and other organic compounds, that are extracted together with the analyte of interest, contaminating the chromatograph columns and wearing out important parts of the mass analyzer. Due to this problem, it is necessary to improve the extraction method, so studies were performed at different times in ultrasound (5 min, 10 min and 20 min), different solvents (methanol, chloroform, acetone) and solid phase matrix dispersion method (MSPD). Finally, the extraction methods evaluated were compared, selecting the time 5 min of the sample in the ultrasound and using acetone, these results were verified in their mass spectra, giving results in comparison greater than 90% with respect to the forensic spectrophotometer and times similar to the reference material. Finally, support was provided in the decongestion of plant substances with similar characteristics to coca leaf and in the updating of the quality management system (QMS) in the implementation of the 17025:2017 standard.

**Keywords:** GC-MS, cocaine, ultrasound, polarity, MSPD, SGC, seized.

## INTRODUCCION

La Fiscalía General de la Nación se fundó en 1991 con la promulgación de una nueva constitución política e inició sus operaciones el 1 de julio de 1992. Es una entidad del poder público judicial, con plena autonomía administrativa y presupuestaria, cuyas funciones están encaminadas a brindar a los ciudadanos una completa y eficaz administración de justicia (Fiscalía, 2022).

Esta organización pública garantiza el derecho de los habitantes del territorio nacional al acceso a la justicia mediante la investigación de los hechos punibles, la realización de procesos penales y la revocatoria de dominio en el marco del debido proceso. Asimismo, protege los derechos de las víctimas a la verdad y reparación, a participar activamente en el desarrollo e implementación de la política criminal nacional.

La fiscalía general de la nación para el año 2024 tiene como visión ser reconocida como una organización confiable, transparente y eficiente basada en innovaciones en los métodos de investigación, con presencia oportuna en todo el territorio, y contribuye a una sociedad libre de violencia. (Fiscalía, 2022) Dentro de sus obligaciones como entidad del Poder Judicial, le corresponde el proceso de caracterización de drogas ilícitas en el país, entre ellas se encuentra la marihuana, la cocaína, la heroína, entre otros.

Las drogas ilícitas de origen natural y semisintéticas, se encuentra la cocaína, droga que se puede encontrar en su forma básica como en forma de sal (clorhidrato). El clorhidrato es soluble en agua, prestándose para su uso por medio de inyección o inhalación. Los usuarios de esta droga usualmente acuden a transformaciones in situ usando sustancias tales como ácido cítrico para asegurarse que la sustancia este totalmente en forma de sal y así lograr su disolución total. (M. Justicia; 2016)

Los casos de consumo de drogas ilícitas en el departamento de Norte de Santander, especialmente en la ciudad de Cúcuta, presentan un alto índice en comparación con las demás ciudades del país. Varias entidades públicas del departamento trabajan de la mano para disminuir la producción, venta y consumo de estupefacientes. (M. Justicia; 2016)

## 1. MARCO REFERENCIAL

### 1.1 SUSTANCIAS PSICOACTIVAS Y SU CLASIFICACIÓN

Organización Mundial de la Salud (2022), las sustancias psicoactivas producen una alteración del funcionamiento del sistema nervioso central, pudiendo producir reacciones negativas, en la conciencia, física y el estado de ánimo de la persona que ingiere esta sustancia. Las sustancias psicoactivas tienen diferentes formas de clasificación:

#### **Según sus efectos en el sistema nervioso central:**

Estimulantes: Excitan la actividad del sistema nervioso central y adicionalmente incrementan el ritmo de otros órganos y sistemas orgánicos. Depresoras: Disminuye el ritmo de las funciones corporales, de la actividad psíquica y del sistema nervioso central. Alucinógenas: Capaz de alterar y distorsionar estado de conciencia de la persona el cual consume este tipo de droga.

#### **Según su origen:**

Origen Natural: Estas drogas son producidas por personas, sin necesidad que utilicen un proceso químico. Sintéticas: sustancias producidas en laboratorios utilizando procesos químicos. (Minjusticia; 2022)

#### **Nuevas sustancias psicoactivas**

Estas sustancias Incluyen, cambio de presentación, patrón de uso, pureza , que pueden implicar una amenaza para la salud pública.. (Minjusticia; 2022)

### 1.2 COCAÍNA

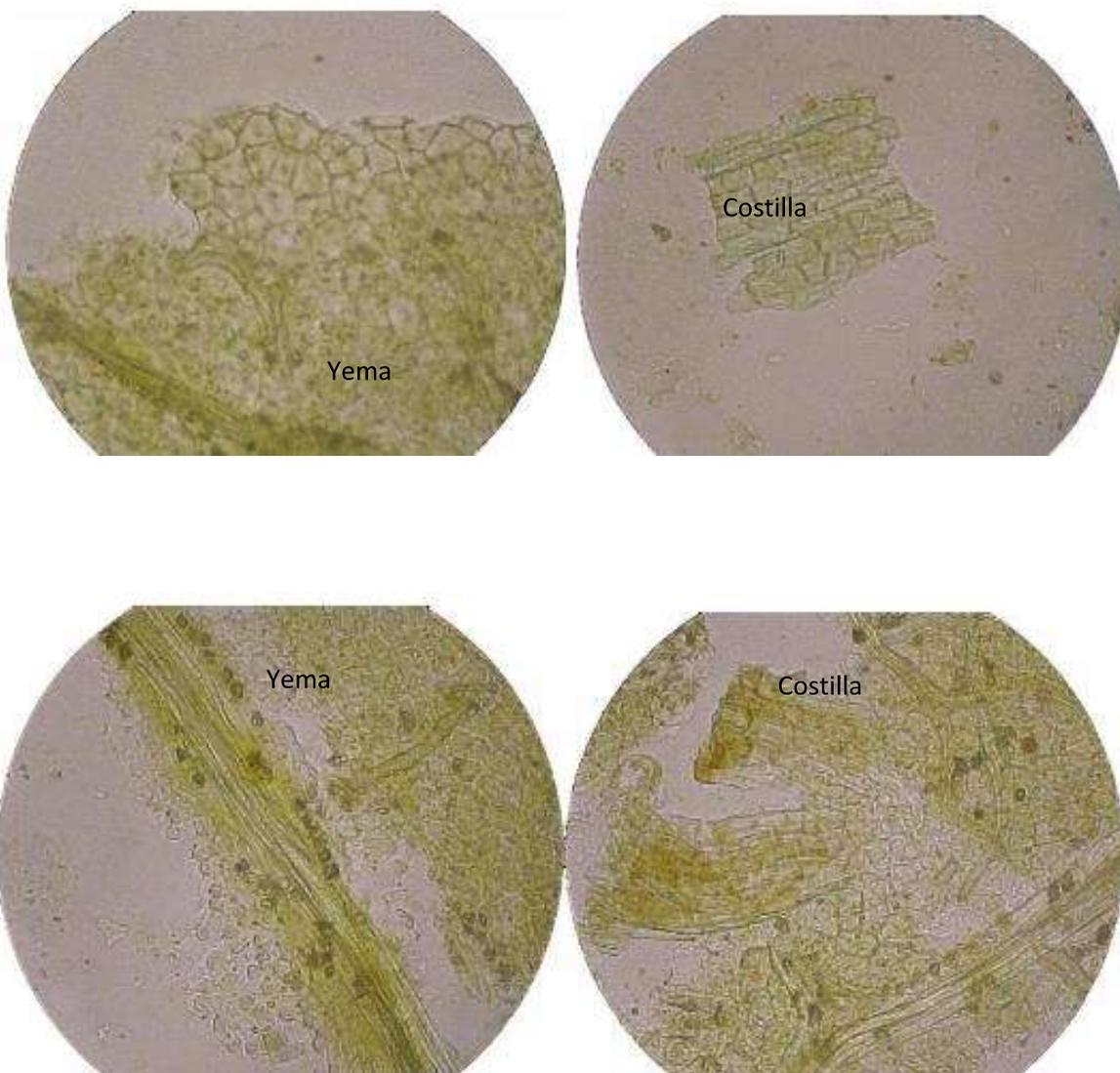
La cocaína es una sustancia natural, está ubicada en las hojas de la planta de coca (*Erythroxylum coca*) figura 1. Es originaria de América del Sur, México, Indonesia y el Caribe. La cocaína tiene acciones complejas en el sistema nervioso simpático, conducción nerviosa, y sobre el sistema nervioso central. (Cañas Torres, E; 2021)

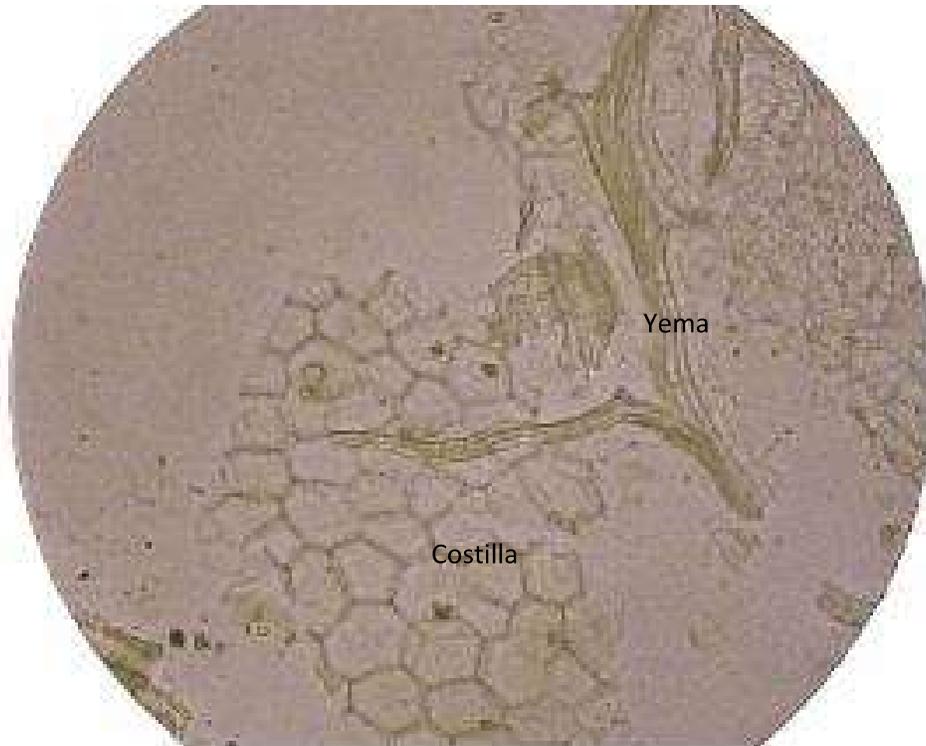


**Figura 1:** Hojas de coca (*Erythroxylum coca*). (SEMAN; 2021)

### 1.2.1 PROPIEDADES DE LA HOJA DE COCA (*Erythroxylum coca*)

Las hojas de coca (*Erythroxylum coca*) son de color verde parduzco y de contorno oval, tiene un tamaño de 4 a 8 cm de largo y de 1,5 a 4 cm de ancho. Ambas superficies de las hojas (el haz y el envés) son lampiñas; el margen es entero, el ápice es agudo, el nervio medio se prolonga como una punta diminuta, sin embargo, frecuentemente se ha desprendido por romperse. El nervio tiene color pardo rojizo, está deprimido en la superficie superior y coronado por una costilla alzada y neto, como desde la base del ápice de la hoja en una posición aproximadamente a un tercio de distancia desde el nervio medio de la margen. Este nervio se forma en la hoja joven, cada una de las mitades está enrollada en la yema y forma una costilla estrechamente adjunta a la costilla similar de la otra mitad de la hoja como se observa en la figura 2. (ONODC, C; 2022)





**Figura 2:** Características microscópicas de las hojas de coca. (ONODC, C; 2022)

### 1.2.2 FORMAS DE CONSUMO DE COCAÍNA

La cocaína es consumida por vía intranasal, esnifada y fumada (crack). Las personas consumidoras de esta droga, mezclan la cocaína con la heroína (speedball), buscando obtener los efectos rápidos de la cocaína y los sedantes de la heroína.

#### **Formas de consumo:**

**Recreativo:** Los consumidores ingieren dosis altas y concentradas en tiempos cortos. **Compulsivo:** El consumo es diario. **Policonsumo:** La cocaína es la segunda sustancia más consumida, después del alcohol. (Infodrogas. 2022)

### 1.2.3 EFECTOS QUE PRODUCE EL CONSUMO DE COCAÍNA

Infodrogas (2022), describió los efectos que trae la cocaína a la hora de consumirla. Entre ellos se encuentra: sensación de euforia y excitación, inestabilidad del estado de ánimo, menor percepción de la fatiga, hiperactividad verbal (verborrea) y motora, aumento de la sociabilidad. Una vez terminado el proceso de ese estado, produce cansancio y apatía, estimando al consumidor a ingerir nuevamente esta droga.

La cocaína, ocasiona problemas de elevación de la frecuencia cardiaca, presión arterial, reducción del sueño, pérdida del apetito, elevación de la temperatura corporal ocasionado sudoración y fatiga muscular.

Otros de los efectos que trae el consumo de estas sustancias, es presentar impotencias sexuales, alteraciones del ciclo menstrua, infertilidad.

#### 1.2.4 RIESGOS QUE PRODUCE EL CONSUMO DE COCAÍNA

Esta sustancia, puede traer riesgos a la salud tale como: Problemas de tipo cardiovascular, pulmonares, problemas en el embarazo, complicaciones renales, complicaciones otorrinolaringológicas, problemas psiquiátricos e infecciones por la vía de consumo.

Las personas que hacen uso crónico de esta droga, suelen tener episodios de agresividad, agitación, irritabilidad, cansancio e impulsividad, finalmente una urgencia psiquiátrica, depresivos, complicaciones nasales, desnutrición, deshidrataciones y convulsiones debido a los problemas de conciencia que causas esta sustacias. (Infodrogas. 2022)

#### 1.3 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA COCAÍNA

La cocaína (clorhidrato de cocaína y sulfato de cocaína), son productos más recurrentes dentro del proceso de refinación de la coca. Esta sustancia se encuentra en la planta junto a otros alcaloides como: bezoilecgonina, metilecgonina y ecgonina. La cocaína ( $C_{17}H_{21}NO_4$ ) es considerada un metilester de bezoilecgonina, con una denominación IUPAC (1R, 2R, 3S, 5S)-3-(benzoiloxi)-8-metil-8-azabicyclo [3.2.1] octano-2-carboxilato de metilo, siendo un éster del ácido benzoico y una base que contiene nitrógeno (INTERIOR.GOB. 2016)

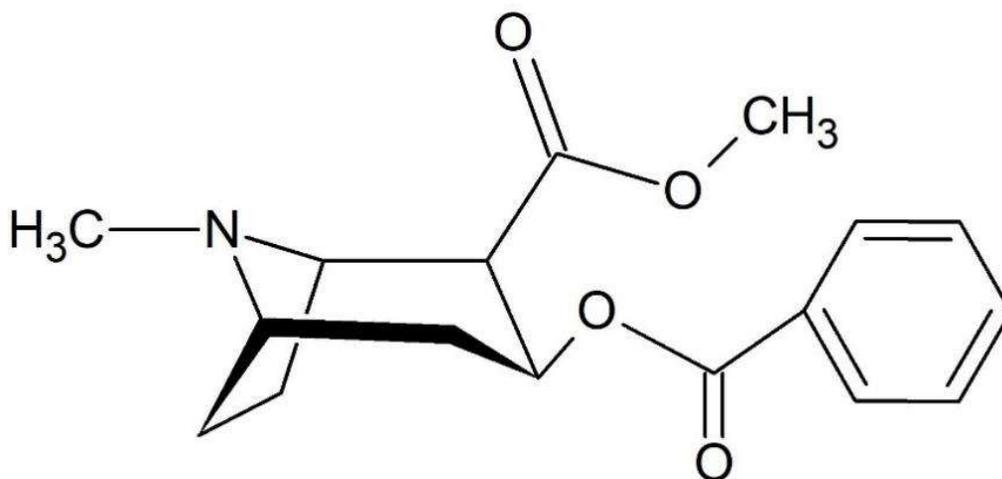


Figura 3: Estructura química de la cocaína (Trigo; 2022)

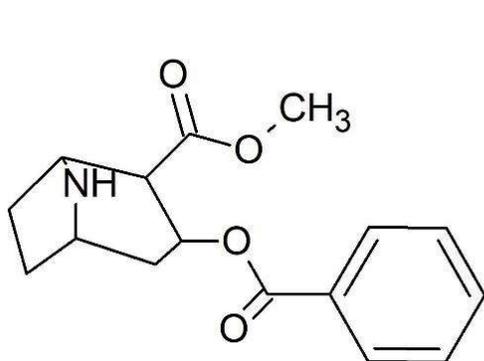
### 1.3.1 PROPIEDADES FÍSICAS:

Las propiedades físicas de cocaína, son las siguiente:

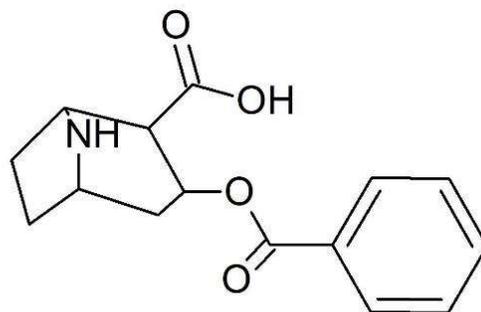
Peso molecular: 303,4 g/mol (base); 339,8 g/mol (clorhidrato), punto de Fusión: 98°C (base), 195°C (clorhidrato), Solubilidad (g/ml): ligeramente soluble en agua (1 en 600) forma básica y clorhidrato soluble (1 en 0,4). (Raverta., C., 2015)

### 1.3.2 VARIACIÓN DE ESTRUCTURA DE LA COCAÍNA ADULTERADA

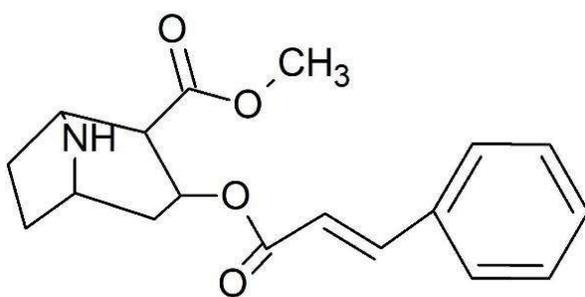
Las propiedades físicas descritas pertenecen a la cocaína en estado puro; una vez la cocaína es adulterada por sustancias distintas “de corte”, cambian sus estructuras como se observa en la figura 4. (Raverta., C., 2015)



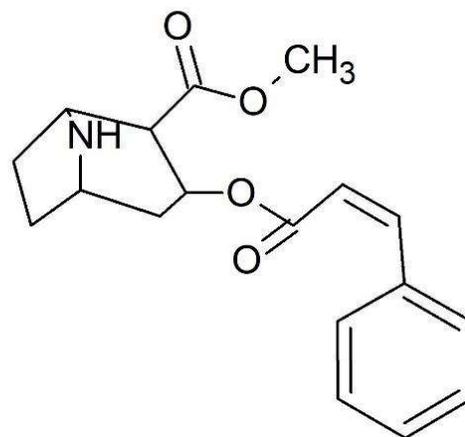
**Cocaina**



**Benzoileogonina**



**Trans-cinamoilcocaina**



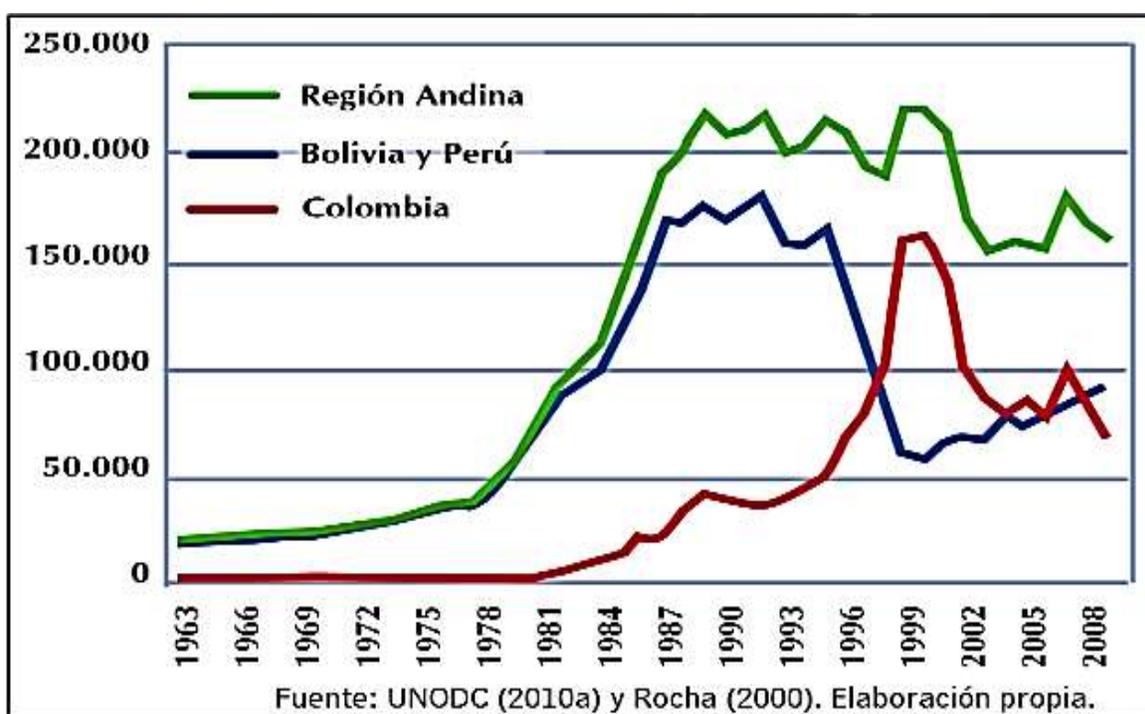
**Cis-cinamoilcocaina**

Figura 4: Estructura química de la cocaína adultera en “corte”. (Raverta., C., 2015)

## 1.4 PRODUCCIÓN DE COCA

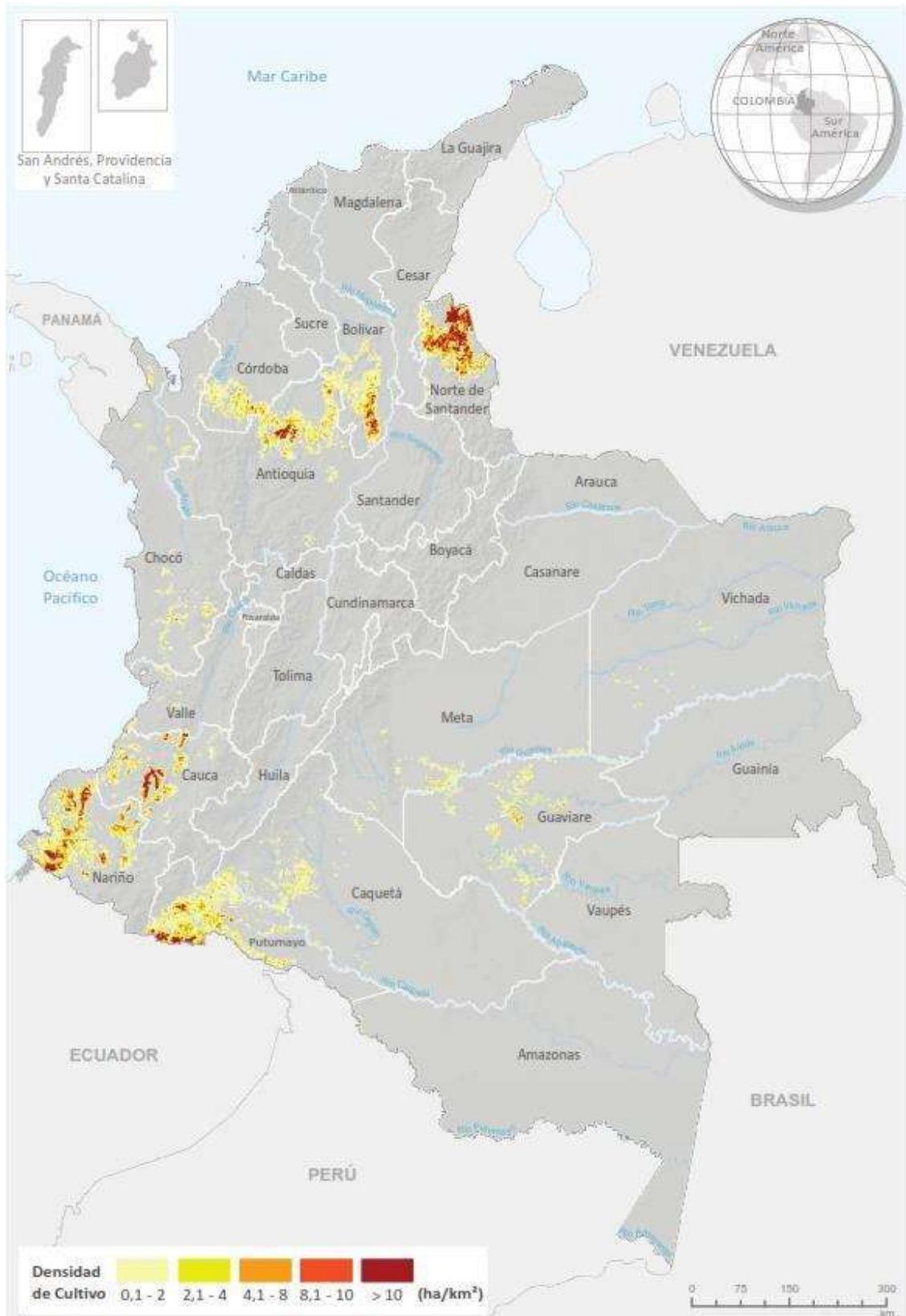
Castellanos (2016), en su descripción de las producciones de coca, mencionó los cultivos ilícitos han predominado en América Latina. En lo que se refiere a la producción de cultivo de hoja, los países con mayor producción de cultivos de hojas de coca son Colombia, Perú y Bolivia.

En la figura 5, se observa un cambio en la mitad de la década de 1990, época en la cual los cultivos de hoja de coca presentaron un crecimiento en Colombia, disminución en Perú y Bolivia. En el año 1999 aproximadamente, Colombia presentó una disminución de estos cultivos, debido a la implementación del Plan Colombia.



**Figura 5:** Hectáreas cultivadas de coca en los países de la región andina (CASTELLANOS; 2016)

En el año 2020 Colombia, se identificaron 143.000 hectáreas sembradas con coca; Aunque, estos cultivos continúan estando en los valores más altos de la serie histórica 2001-2020. Los departamentos Norte de Santander, Nariño, Putumayo, Cauca y Antioquia de Colombia concentran el 84 % del área total con coca en 2020 como se observa en la figura 6. Norte de Santander es el departamento con mayores zonas sembrada en el país, con 40.084 ha; Nariño es la segunda zona con mayores cultivos de coca, 31.067 hectareas (Correa Fajardo, H., 2021)



**Figura 6:** Densidad de cultivos de coca en Colombia, 2020 (Correa Fajardo, H., 2021)

## **1.5 MÉTODOS DE EXTRACCIÓN**

### **1.5.1 EXTRACCIÓN ASISTIDA POR ULTRASONIDIO**

El ultrasonido es una técnica que puede reemplazar otras técnicas para activar reacciones químicas, como el calor, la presión, la luz o la electricidad, aumentando la velocidad y el rendimiento. (TALQ., 2021), su funcionamiento es debido a los efectos mecánicos y efectos químicos, que ayudan a disolver una muestra sólida en una fase líquida bajo la irradiación de los ultrasonidos. (Priego-Capote, 2016)

Las ondas acústicas en el ultrasonido son mecánicas (cavitación), propagándose a través de una serie de olas de compresión y expansión que viajan a través de un medio, para romper las fuerzas de cohesión de las moléculas del líquido, separándolas localmente, creando allí una verdadera microcavidad o burbuja, estas van creciendo para atrapar vapores o gases del medio.

La cavitación puede estar aumentado, debido a la expansión es ligeramente más grande que el encogimiento durante la compresión. En este punto, la cavidad puede crecer rápidamente durante un ciclo acústico adquiriendo una medida inestable con la que ya no puede absorber energía eficientemente.

La compresión de los gases y vapores dentro de la burbuja genera temperaturas y presiones enormes, de hasta 5000 °C y 1000 atm, respectivamente. Dado que las burbujas son muy pequeñas en comparación con el volumen del líquido que hay alrededor, el calor generado se “disipa” muy rápidamente ( $> 10^{10} \text{ °C} \times \text{s}^{-1}$ ), con lo cual las condiciones ambientales se mantienen esencialmente inalteradas. (TALQ, 2021)

La técnica de ultrasonido tiene usos en la tecnología de extracción limpia y ecológica para diversas moléculas químicas, como polisacáridos, aceites esenciales, proteínas, péptidos, productos químicos finos y moléculas bioactivas de importancia comercial. Esta técnica tiene aplicaciones específicas en la química alimentaria, medioambiental, farmacéutica y analítica, ambiental, farmacéutica y química analítica, con un enfoque en los fines analíticos. (Tiwari, B., 2015)

### **1.5.2 EXTRACCION SOLIDO-LIQUIDO**

La extracción o filtración sólido-líquido, es un proceso que permite la extracción componentes solubles de un sólido utilizando un solvente.

Esta técnica de extracción es utilizada en la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética, minería, geología, mineralogía y agricultura. (Noguera, B., 2020)

#### **1.5.2.1 FACTORES QUE AFECTAN LA EXTRACCIÓN SÓLIDO-LÍQUIDO**

Los principales factores que afectan la extracción sólido-líquido, son:

##### **Agitación**

Una buena agitación facilita mayor la difusión del soluto hacia el solvente, evitando sedimentación y apelmazamiento de partículas.

#### **Disolvente**

La polaridad del disolvente debe ser similar a la del soluto a separar, así se logrará extraer de manera más efectiva el analito de interés, elevando la selectividad.

#### **Tamaño de partícula**

Se recomienda tener el soluto en partículas pequeñas, aumentando así la interacción entre las fases, y lograr tener más efectiva la separación.

#### **Temperatura**

El límite de temperatura se fija en el punto de ebullición del disolvente. A mayores temperaturas el disolvente se evapora, (Noguera, B., 2020)

### **1.5.3 DISPERSIÓN DE LA MATRIZ EN FASE SÓLIDA (MSPD):**

La dispersión en matriz en fase sólida (MSPD) fue introducida por Barker en 1989, ha tenido gran aplicación en aquellos procesos analíticos que requieren de una preparación, extracción y separación en muestras sólidas, semi-sólidas o altamente viscosas (SIMÓ PEIRÓ, J., 2018). Es un procedimiento de preparación de muestras que implica la disrupción y extracción de varios materiales sólidos y semisólidos. (Dawidowicz, A., 2019). Esta técnica se ha utilizado principalmente en el análisis de muestras biológicas y de alimentos. Consiste en la minuciosa mezcla (En este caso en un mortero) de una muestra y relleno sólido (sorbente dispersante). (Śmiełowska, M. 2019)

La técnica dispersión en fase sólida de matriz es alternativa a los métodos tradicionales para la preparación de muestras. Ofrece varias ventajas como la simplicidad y la flexibilidad. Los métodos de preparación de muestras basados en MSPD se han aplicado eficientemente a la determinación de una amplia variedad de microcontaminantes (PCBs, DEPH, etoxilatos, pesticidas, etc.,) en matrices biológicas complejas como los mejillones. (R Cañadas; 2021)

### **1.5.4 POLARIDAD DE LOS SOLVENTES**

**Solventes polares:** Son sustancias en cuyas moléculas la distribución de la nube electrónica es asimétrica; por lo tanto, la molécula presenta un polo positivo y otro negativo separados por una cierta distancia. Hay un dipolo permanente. El ejemplo clásico de solvente polar es el agua. Los alcoholes de baja masa molecular también pertenecen a este tipo.

Los disolventes polares se pueden subdividir en solventes próticos y solventes apróticos. Un disolvente polar prótico contiene un enlace del O-H o del N-H. Un disolvente polar aprótico es un disolvente polar que no tiene enlaces O-H o N-H. Agua (H-O-H), etanol (CH<sub>3</sub>-CH<sub>2</sub>-OH) y ácido acético (CH<sub>3</sub>-C(=O)-OH) son disolventes polares próticos. La acetona (CH<sub>3</sub>-C(=O)-CH<sub>3</sub>) es un disolvente polar aprótico.

**Solventes apolares:** En general son sustancias de tipo orgánico y en cuyas moléculas la distribución de la nube electrónica es simétrica; por lo tanto, estas sustancias carecen de polo positivo y negativo en sus moléculas. No pueden considerarse dipolos permanentes. Esto no implica que algunos de sus enlaces sean polares. Todo dependerá de la geometría de sus moléculas. Si los momentos dipolares individuales de sus enlaces están compensados, la molécula será, en conjunto, apolar. Algunos solventes de este tipo son: el dietiléter, cloroformo, benceno, tolueno, xileno, cetonas, hexano, ciclohexano, tetracloruro de carbono es el que disuelve o va a disolver, etc. Un caso especial lo constituyen los líquidos fluorosos, que se comportan como disolventes más apolares, que los disolventes orgánicos convencionales. (Química.es; 2022)

## **1.6 TÉCNICAS ANALÍTICAS INSTRUMENTALES**

### **1.6.1 CROMATOGRAFÍA DE GASES CON DETECTOR DE ESPECTROMETRÍA DE MASAS (GC/MS)**

La Cromatografía de Gases acoplada a Espectrometría de Masas (GCMS) es una técnica analítica dedicada a la separación, identificación y cuantificación de mezclas de sustancias volátiles y semivolátiles. (García B.; 2022). Esta técnica es utilizada para el análisis de moléculas orgánicas más pequeñas y volátiles como bencenos, alcoholes y aromáticos, y moléculas simples como esteroides, ácidos grasos y hormonas, también se puede aplicar en el estudio de muestras líquidas, gaseosas y sólidas. (ISASA, L., 2019)

#### **1.6.1.1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE GC-MS**

##### **VENTAJAS**

Gran sensibilidad y especificidad. Método de referencia para análisis confirmatorio. (VALDERRAMA SANZ, S., 2019)

##### **DESVENTAJAS**

Es necesario la preparación de la muestra. Análisis de muestras una a una. Análisis con derivatización de compuestos polares y lábiles. Necesidad de personal experto en mantenimiento y reparación instrumental, así como en la interpretación de los resultados. (VALDERRAMA SANZ, S., 2019)

#### **1.6.1.2 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA**

En el proceso de preparación de la muestra se debe tener en cuenta los siguientes pasos:

##### **1.6.1.2.1 INFORMACIÓN SOBRE LA MUESTRA:**

Los analitos por analizar deben ir claramente indicados en la hoja de solicitud de análisis con sus correspondientes m/z. Tener indicado la presencia de otras sustancias que puedan interferir en los resultados. (IEUA, 2020).

#### **1.6.1.2.2 CONDICIONES DE LAS MUESTRAS:**

Las muestras deben estar adecuadamente etiquetadas e identificadas. La cantidad mínima necesaria para realizar el análisis es de 0.5 mL de muestra. Las muestras se entregarán disueltas en los disolventes adecuados para GC-MS y filtradas a 0.45  $\mu\text{m}$ . Los patrones deben estar preparados en las mismas condiciones de las muestras. (IEUA, 2020.)

#### **1.6.1.3 PROCEDIMIENTO DEL ANALÍTICO POR GC-MS**

La técnica comienza con el cromatógrafo de gases, donde la muestra se volatiliza. Esto vaporiza efectivamente la muestra a fase gaseosa y separa sus diversos componentes utilizando una columna capilar llena con una fase estacionaria (sólida) y un gas portador inerte como argón, helio o nitrógeno. A medida que los componentes se separan, se eluyen de la columna en diferentes momentos, lo que se conoce como sus tiempos de retención.

Los componentes salen de la columna de GC, y se ionizan por el espectrómetro de masa, que utiliza fuentes de ionización química o electrónica. Las moléculas ionizadas se aceleran a través del analizador de masas del instrumento, que es un cuadrupolo o una trampa de iones. Aquí los iones se separan en función de sus diferentes relaciones masa/carga ( $m/z$ ).

Al final de este proceso se realiza la detección y el análisis de iones, con picos compuestos que aparecen en función de sus relaciones  $m/z$ . Las alturas de los picos, son proporcionales a la cantidad del compuesto correspondiente. Una muestra compleja producirá varios picos diferentes, generando el espectro de masas. Es posible la cuantificación e identificación de compuestos y analitos desconocidos, mediante búsqueda automatizada en bibliotecas. (ISASA, L., 2019)

#### **1.6.1.4 APLICACIONES DE GC-MS**

Estas son las aplicaciones de la cromatografía de gases con detector selectivo de masas:

Desde la detección de posibles sustancias químicas tóxicas en los alimentos hasta la cuantificación de contaminantes orgánicos en el agua o el análisis de productos derivados del petróleo durante el procesamiento del aceite, la GC-MS se puede utilizar para una variedad de aplicaciones. Explore las siguientes secciones para conocer algunos de los análisis más comunes realizados con estos sistemas. (Sciences, I., 2022.)

##### **Análisis de alimentos y bebidas:**

El análisis GC-MS es integral para garantizar la seguridad y autenticidad de los alimentos que comemos y las bebidas que bebemos. Desde la determinación de residuos de pesticidas hasta la caracterización de ingredientes, los sistemas GC-MS brindan a los fabricantes y agencias reguladoras información valiosa sobre la seguridad de nuestro suministro de alimentos.

**Análisis ambiental:**

GC-MS es una poderosa herramienta para monitorear contaminantes en el aire, el agua y el suelo. Es particularmente útil para la cuantificación de compuestos orgánicos volátiles (VOC) y compuestos orgánicos semivolátiles (SVOC), bifenilos policlorados (PCB), pesticidas organoclorados, retardantes de llama bromados e hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP).

**Metabolómica:**

GC-MS ofrece algunas de las tecnologías analíticas sofisticadas requeridas para análisis metabolómicos complejos. Permite a los investigadores explorar más profundamente el metaboloma y obtener una cobertura completa de los metabolitos para respaldar la investigación de metabolitos primarios y secundarios en plantas, animales y microbios. Como demuestran las siguientes aplicaciones, GC-MS es especialmente adecuado para el desafío de la identificación de metabolitos no dirigidos.

**Análisis de petróleo y gas:**

GC-MS se puede utilizar durante muchas etapas de los flujos de trabajo de análisis de petróleo y gas natural para determinar el contenido de energía, H<sub>2</sub>S/contenido de azufre orgánico de gas natural y condensados de gas natural. Además, el análisis GC-MS se puede utilizar en el análisis de gases de refinería (RGA) y el análisis detallado de hidrocarburos (DHA) para detectar compuestos oxigenados, aromáticos, BTEX y PAH en el petróleo crudo. (Sciences, I., 2022.)

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Apoyar al laboratorio de química de la fiscalía general de la nación seccional norte de Santander en la ciudad de Cúcuta en los procesos del sistema de gestión de la calidad implementando norma 17025:2017, mejoramiento del método de extracción y descongestión de muestras incautadas.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Apoyar en los diferentes procesos del sistema de gestión de la calidad (SGC).
- Evaluar métodos de extracción de cocaína en hojas de coca alternos para su análisis mediante cromatografía de gases acoplada por espectrometría de masas (GC-MS).
- Contribuir en los procesos de descongestión ocasionada por un número significativo de muestra que ingresan al laboratorio.

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1 INDUCCIÓN DE LUGAR DE TRABAJO

Se realizó la inducción durante un día del laboratorio de química, oficinas y zonas de reactivos de la Fiscalía General de la Nación, seccional Norte de Santander (figura 7), también se llevó a cabo la capacitación de validación, calibración, verificación, operación del cromatógrafo de gases con detector selectivo de masas (SHIMADZU modelo QP 2010-Ultra) y metodologías de análisis de estupefacientes y sustancias controladas, durante dos días, por parte del director técnico del laboratorio, asimismo se capacito en los procesos del sistema de gestión de calidad (SGC), formatos y actualizaciones, por parte del facilitador de calidad del grupo de criminalística durante dos días.



**Figura 7:** Instalaciones del laboratorio de química de la Fiscalía general de la nación seccional Norte de Santander. (fuente propia)

#### 3.2 SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD (SGC)

Se recibieron capacitaciones respecto al tema confidencialidad, manejo y actualización de documentos interno del laboratorio de química de la Fiscalía General de la Nación, Seccional Norte de Santander, para realizar el acompañamiento y apoyo a la actualización de los registros del sistema de gestión de calidad, relacionado con:

- Difusión de documentos.
- Actualización de hojas de vida instrumentos.
- Actualización de estados de calibración y verificación de los equipos.
- Actualización y verificación de las etiquetas de los reactivos, de usos diario en el laboratorio.
- Socialización de la metodología, para dar cumplimiento a los indicadores a capacitaciones internas del laboratorio de química de la Fiscalía. (anexo 5)

### 3.3 MUESTREO

Se recolectaron seiscientas (600) sustancias de material vegetal, estas tienen aspectos similares a la hoja de coca, provenientes de incautaciones realizadas en el departamento Norte de Santander (figura 8), desde septiembre de 2021 a mayo de 2022. Se tomó una muestra de 30 gramos de forma aleatoria, posteriormente almacenadas en bolsa plástica, bajo las condiciones ambientales del laboratorio de química, de la Fiscalía general de la nación seccional Norte de Santander, para realizar su posterior análisis.



**Figura 8:** Ubicación geográfica de muestreo de hojas de coca. (IGAC; 2018)

### **3.4 REACTIVOS**

Para el siguiente estudio se empleó el estándar de cocaína (Marca: LIPOMED, No. Lote: 1561B223, grado de pureza HPLC: 99.2%), etanol (Marca: MERCK, No. Lote: K52915583, grado de pureza HPLC: 99.9%), metanol (Marca: MERCK, No. Lote: I0942018, grado de pureza HPLC: 99.9%), acetona (Marca: MERCK, No. Lote: K53284314, grado de pureza HPLC: 99.9%), cloroformo (Marca: MERCK, No. Lote: K52886245, grado de pureza HPLC: 99.9%), agua destilada, agua desionizada, sílice (MERCK), alúmina (MERCK) y carbón activado (SIGMA).

### **3.5 EQUIPOS, INSTRUMENTOS Y MÉTODOS**

Las extracción y los análisis cromatográficos se llevaron a cabo mediante un cromatógrafo de gases con detector selectivo de masas (SHIMADZU modelo QP 2010-Ultra), Balanza analítica (OHAUS/DISCOVERY), Balanza (OHAUS/AV213C), Masa 1 g (Tecnipesaje Ltda), ultrasonido (BRANSON 3510), nevera (THERMOSCIENTIFÍC 2010), mufla (BINDER), Dispensador (MRAD), pipetas Pasteur, vasos de precipitado de (10 y 50 mL), viales cromatográficos, filtro pirinola de 0,45  $\mu\text{m}$ , jeringas de 10 mililitros, gradilla, mortero y pistilo.

### **3.6 BLANCO**

Se adicionaron 1,5 mL de etanol etanol (Marca: MERCK, No. Lote: K52915583, grado de pureza HPLC: 99.9%) a un vial cromatográfico, y se inyectó 0,4  $\mu\text{L}$  al cromatógrafo de gases con detector selectivo de masas, aplicando método de análisis NARCO-SCAN 2 y parámetros que se observa en la tabla 1, el blanco se utilizó para observar que el etanol no contenga sustancias orgánicas y el cromatógrafo no esté contaminado, si el cromatograma del blanco sale con bandas, es recomendable realizar de nuevo el proceso, ya que hay una posible contaminación del equipo o del etanol.

### **3.7 ESTÁNDAR DE COCAÍNA**

Se inyectó 0,4  $\mu\text{L}$  de un estándar de cocaína (Marca: LIPOMED, No. Lote: 1561B223, grado de pureza HPLC: 99.2%) al cromatógrafo de gases con detector selectivo de masas, aplicando método de análisis NARCO-SCAN 2 y parámetros que se observa en la tabla 1, este se utilizó como material de referencia para el análisis de identificación de cocaína en hojas de coca.

### **3.8 MÉTODO DE EXTRACCIÓN DE COCAÍNA A PARTIR DE HOJAS DE COCA APLICADO ACTUALMENTE EN EL LABORATORIO DE QUÍMICA**

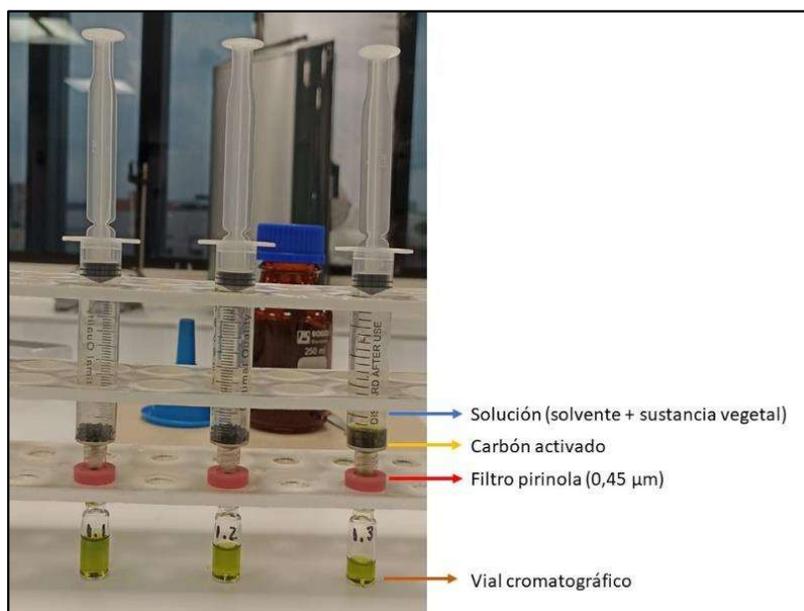
Ingresadas las muestras al laboratorio de química de la Fiscalía General de la Nación, seccional Norte de Santander, se secan las hojas de coca en un horno durante 24 horas a 60 °C (temperatura mayor

a 60 °C descompone la molécula de cocaína). Transcurrido el secado, la muestra se tamiza y el resultante de este se deposita en un recipiente, se adicionan 5 mL de etanol. La mezcla anterior se somete al ultrasonido durante 10 min, por último, se filtran como se observa en la figura 9, se adiciona carbón activado (peso registrado en la tabla 2), finalmente se transvasaron las sustancias a viales cromatográficos y se analizaron por GC-MS, la cual hace parte del presente documento en el anexo 1 (Fiscalnet; 2022). Este método de extracción está establecido actualmente por la Fiscalía, teniendo en cuenta el **protocolo análisis de estupefacientes y sustancias controladas FGN- MS02-14-PR01 (anexo 3)**.

El análisis de identificación de cocaína en hojas de coca por GC-MS, se inyectó 0,4 µL de las sustancias filtradas y se aplicó el método de análisis NARCO-SCAN 2 (tabla 1).

**Tabla 1:** Parámetros para análisis de extracción de cocaína en hojas de coca. (Fiscalnet; 2022).

EQUIPO	GC-MS (SHIMADZU modelo QP 2010-Ultra)
Columna	Capilar Fase DB o Fase 5-MS. Longitud 30 m. Diámetro Interno 0,25 mm. Espesor de película 0,1 µm.
Gas de arrastre	Helio - 1,5 mL/min.
Temperatura	Programa del Horno. 180 °C mantener por 1 min. Rampa 15 °C/min hasta 210 °C, mantener por 0,5 min. Rampa 30 °C/min hasta 310 °C, mantener por 0,8 min.
Parámetros de inyección	modo Split, volumen 0,4 µL.
Modo de adquisición	SCAN (40 u a 500 u).



**Figura 9:** Montaje de extracción de cocaína en hojas de coca. (fuente propia)

### 3.9 EVALUACIÓN DE EFECTOS DEL TIEMPO Y SOLVENTE EN EXTRACCIÓN POR ULTRASONIDO

Para llevar a cabo la evaluación de efectos del tiempo y solvente en extracción de cocaína en hojas de coca por ultrasonido, se realizó el mismo procedimiento 3.8, pero evaluando diferentes solventes al etanol (polaridad: 5,2), tales como: metanol (5,1), acetona (5,1) y cloroformo (4,1) siendo este último un solvente con diferente valor de polaridad (Sacristán, M; 2016), finalmente se evaluaron diferentes tiempos en la extracción por ultrasonido (5 min, 10 min y 20 min).

#### 3.9.1 EVALUACION DEL EFECTO DEL TIEMPO EN EXTRACCIÓN POR ULTRASONIDO

Como primera medida se realizó la selección del tiempo para la extracción de cocaína. Transcurrido el tiempo de secado de las muestras de material vegetal se tamizaron (figura 10), se pesaron 9 muestras clasificadas como se observa en la tabla 2, se transvasaron a envases, finalmente se adicionaron 5 mL de etanol a cada muestra (figura 11).



**Figura 10:** Procedimiento de tamizado en hojas de coca. (fuente propia)

**Tabla 2:** Número de etiqueta y pesado de muestras para la selección del tiempo en la extracción por ultrasonido.

TÉCNICA DE EXTRACCIÓN	TIEMPO	ETIQUETA DE MUESTRA	PESADO DE MUESTRAS (GRAMOS)
Ultrasonido	5 min	1-1	1,080
		1-2	1,150
		1-3	1,138
	10 min	2-1	1,140
		2-2	1,123
		2-3	1,197
	20 min	3-1	1,010
		3-2	1,072
		3-3	1,171



**Figura 11:** Muestra tamizadas de material vegetal adicionándose etanol. (fuente propia)

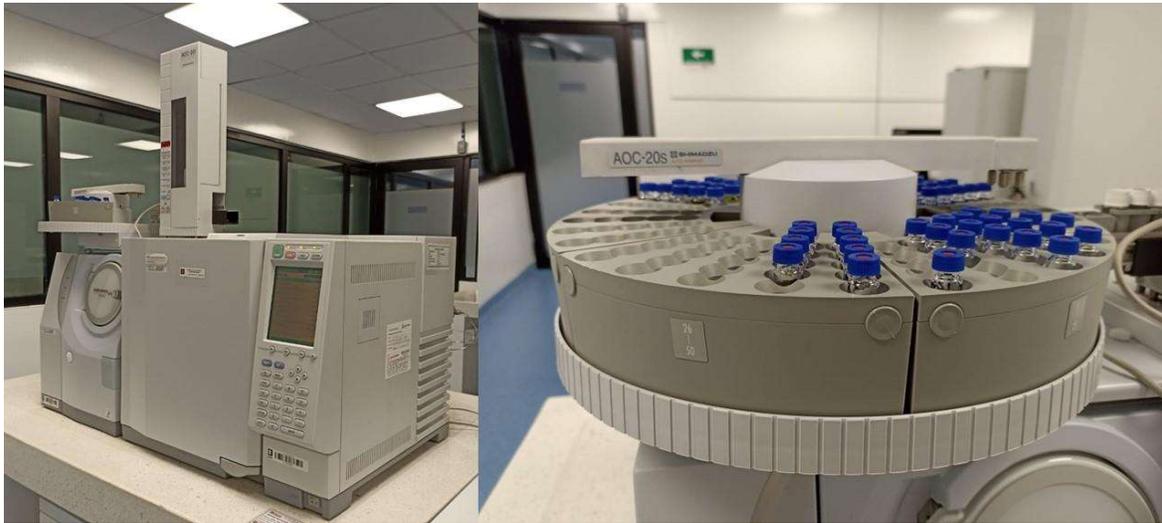
Transcurrido el tiempo en el ultrasonido (figura 12), se filtraron como se observa en la figura 9, adicionándose carbón activado (peso registrado en la tabla 3), finalmente se transvasaron las sustancias a viales cromatográficos y se analizaron por GC-MS (parámetros tabla 1) ver diagrama en anexo 2. Para seleccionar el tiempo en la extracción por ultrasonido, se realizó un análisis del porcentaje de semejanza respecto al materia de referencia.



**Figura 12:** Muestras de material vegetal en ultrasonido. (fuente propia)

**Tabla 3:** Cantidad de carbón activado adicionado a cada muestra de material vegetal en la selección del solvente en la extracción de ultrasonido.

ETIQUETA DE MUESTRA	PESADO DE CARBÓN ACTIVADO (GRAMOS)
1-1	0,522
1-2	0,525
1-3	0,511
2-1	0,543
2-2	0,527
2-3	0,528
3-1	0,540
3-2	0,508
3-3	0,501



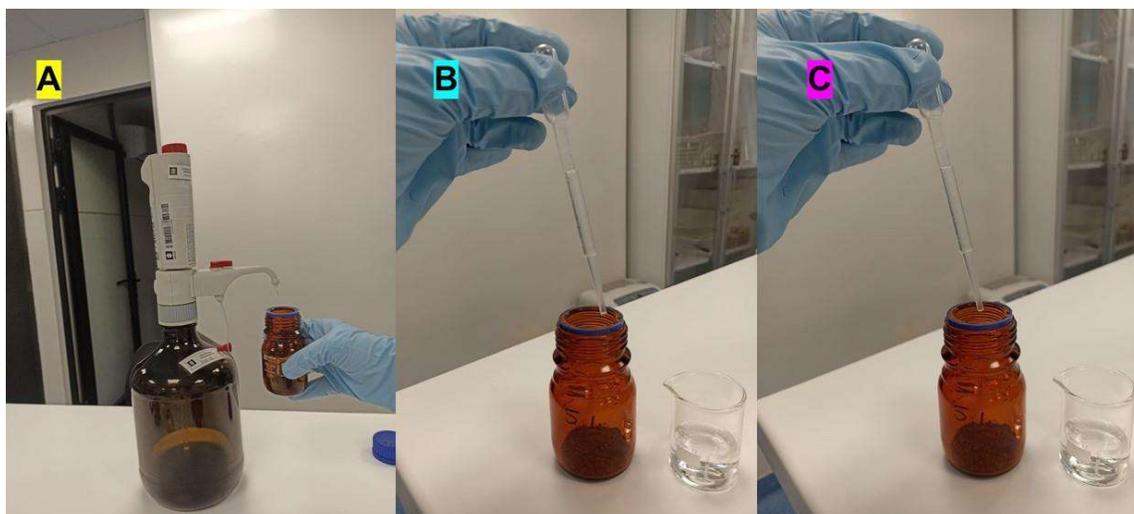
**Figura 13:** Cromatógrafo de gases con detector selectivo de masas (GC-MS) SHIMADZU modelo QP 2010-Ultra. (fuente propia)

### 3.9.2 EVALUACION DEL EFECTO DEL SOLVENTE EN EXTRACCIÓN POR ULTRASONIDO

Seleccionado el tiempo de sonicación de la muestra, se procedió a analizar los diferentes solventes (metanol, acetona y cloroformo). Transcurrido el tiempo de secado de las muestras de material vegetal se tamizaron (figura 10), se pesaron 9 muestras clasificadas como se observa en la tabla 4, se transvasaron a envases, finalmente se adicionaron 5 mL de cada solvente asignado a cada muestra como se observa en la figura 14.

**Tabla 4:** Número de etiqueta y pesado de muestras para la selección del tiempo en la extracción por ultrasonido.

SOLVETE	ETIQUETA DE MUESTRA	PESADO DE MUESTRAS (GRAMOS)
Metanol	4-1	1,070
	4-2	1,063
	5-3	1,032
Acetona	5-1	1,035
	5-2	1,030
	5-3	1,038
Cloroformo	6-1	1,042
	6-2	1,033
	6-3	1,035

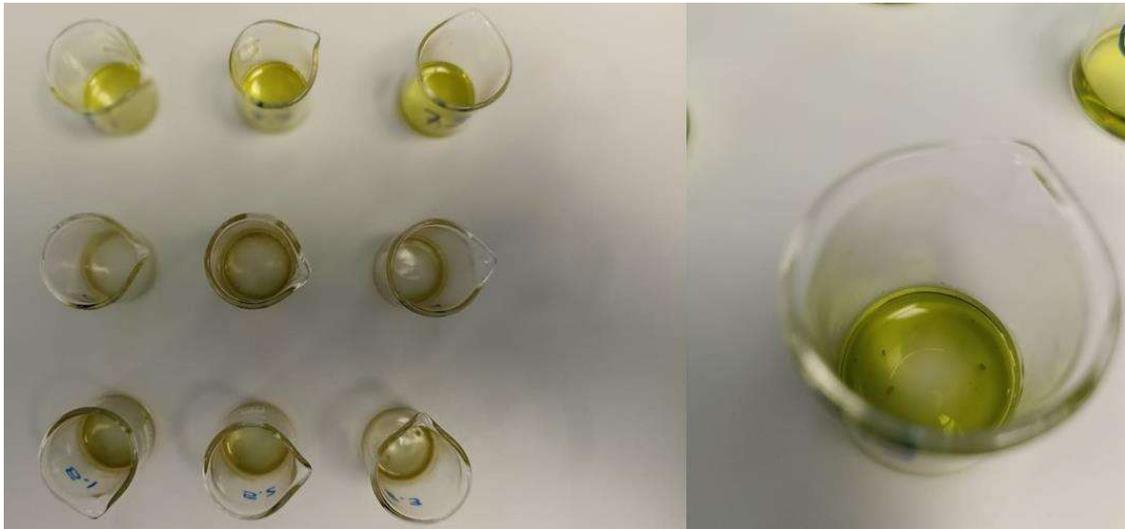


**Figura 14:** Adicionando el solvente a muestras tamizadas de material vegetal [A: Metanol, B: Acetona y C: Cloroformo]. (fuente propia)

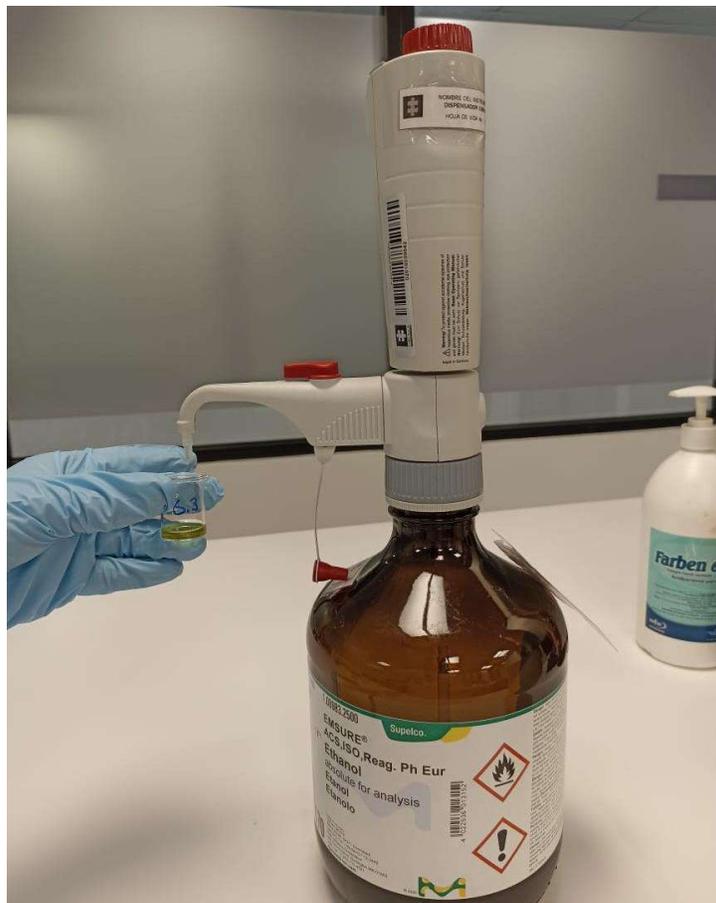
Transcurrido el tiempo de las muestras en el ultrasonido se procedió a realizar el montaje de filtración como se puede observar en la figura 9, se adicionó carbón activado (peso registrado en la tabla 5). Finalmente, las muestras filtradas se dejaron a temperatura ambiente (condiciones climáticas de la ciudad de Cúcuta-Norte de Santander), para lograr la evaporación de cada uno de los solventes (figura 15), cada muestra se le adicionó 1,5 mL de etanol (figura 16), con el objetivo de no cambiar el método analítico validado. Las muestras limpias se transvasaron a viales cromatográficos y se analizaron por GC-MS (parámetros tabla 1) ver diagrama anexo 3. Para seleccionar el solvente en la extracción por ultrasonido, se realizó un análisis de los resultados de cada solvente con menor identificación de sustancias orgánicas diferentes al analito de interés (cocaína) en el cromatograma.

**Tabla 5:** Cantidad de carbón activado adicionado a cada muestra de material vegetal en la selección del solvente en la extracción de ultrasonido.

ETIQUETA DE MUESTRA	PESADO DE CARBÓN ACTIVADO (GRAMOS)
4-1	0,504
4-2	0,519
4-3	0,516
5-1	0,523
5-2	0,505
5-3	0,530
6-1	0,519
6-2	0,506
6-3	0,525



**Figura 15:** Proceso de evaporización de cada uno de los solventes a temperatura ambiente. (fuente propia)



**Figura 16:** Muestra con solvente evaporado, y posteriormente adicionado etanol. (fuente propia)

### 3.10 VERIFICACIÓN DEL EFECTO DEL TIEMPO Y SOLVENTE SELECCIONADO EN EXTRACCION DEL MÉTODO DE ULTRASONIDO

Seleccionado el tiempo (5 min en el ultrasonido) y el solvente (acetona), se procedió a realizar verificaciones de los resultados más efectivos, reflejados en reducción de materia orgánica diferente al analito de interés (cocaína), identificadas en los cromatogramas y repetibilidad del tiempo de retención para la cocaína.

Se pesaron 6 muestras, dividiéndose de la siguiente manera: tres muestras (7-1, 7-2 y 7-3) para el tiempo en el ultrasonido, tres muestras (8-1, 8-2 y 8-3) para el solvente como se observa en la tabla 6, y se adicionaron a envases.

**Tabla 6:** Número de etiqueta y pesado de muestras de confirmación en la extracción por ultrasonido.

ETIQUETA DE MUESTRA	PESADO DE MUESTRAS (GRAMOS)
7-1	1,001
7-2	1,020
7-3	1,019
8-1	1,016
8-2	1,006
8-3	1,014

Terminado el proceso de pesado de las sustancias vegetales, se verifico el efecto del tiempo de la muestra en el ultrasonido. Se adicionaron 5 mL de etanol a tres muestras (7-1, 7-2 y 7-3), posteriormente se sonicaron durante 5 min, se filtraron como se observa en la figura 9, adicionándose carbón activado (peso registrado en la tabla 6), finalmente se transvasaron a viales cromatográficos y se analizaron por GC-MS ver figura 13 (parámetros tabla 1).

Para la verificación de los efectos del solvente por ultrasonido, se adicionaron 5 mL de acetona a tres muestras (8-1, 8-2 y 8-3), posteriormente se sonicaron durante 5 min, se filtraron como se observa en la figura 9, adicionándose carbón activado (peso registrado en la tabla 7). Las muestras filtradas se dejaron a temperatura ambiente (condiciones climáticas de la ciudad de Cúcuta-Norte de Santander), para lograr la evaporación de la acetona, consecutivamente se adicionaron 1,5 mL de etanol, por último, las muestras limpias se transvasaron a viales cromatográficos y se analizaron por GC-MS (parámetros tabla 1).

**Tabla 7:** Cantidad de carbón activado adicionado a cada jeringa para extraer la muestra de material vegetal en las confirmaciones de extracción de ultrasonido.

ETIQUETA DE MUESTRA	PESADO DE CARBÓN ACTIVADO (GRAMOS)
7-1	0,514
7-2	0,501
7-3	0,515
8-1	0,503
8-2	0,508
8-3	0,506

### 3.11 EXTRACCION SÓLIDO-LÍQUIDO

Transcurrido el tiempo de secado de las muestras de material vegetal se tamizaron (figura 10), se pesaron 3 muestras clasificadas como se observa en la tabla 2, se transvasaron a envases, finalmente se adicionaron 5 mL de etanol a cada muestra y se dejaron 24 horas a temperatura ambiente (a condiciones climáticas de la ciudad de Cúcuta-Norte de Santander).

**Tabla 8:** Número de etiqueta y pesado de muestras de extracción sólido-líquido.

TÉCNICA DE EXTRACCIÓN	TIEMPO	ETIQUETA DE MUESTRA	PESADO DE MUESTRAS (GRAMOS)
Sólido-líquido	24 horas, temperatura ambiente	9-1	1,089
		9-2	1,133
		9-3	1,176

Transcurrido el tiempo de las muestras con etanol, se filtraron como se observa en la figura 9, adicionándose carbón activado (peso registrado en la tabla 9), finalmente se transvasaron las sustancias a viales cromatográficos y se analizaron por GC-MS (parámetros tabla 1).

**Tabla 9:** Cantidad de carbón activado adicionado a cada muestra de material vegetal en la selección del solvente en la extracción de ultrasonido.

ETIQUETA DE MUESTRA	PESADO DE CARBÓN ACTIVADO (GRAMOS)
9-1	0,550
9-1	0,509
9-1	0,501

### 3.12 EXTRACCIÓN POR DISPERSIÓN DE MATRIZ EN FASE SÓLIDA (MSPD)

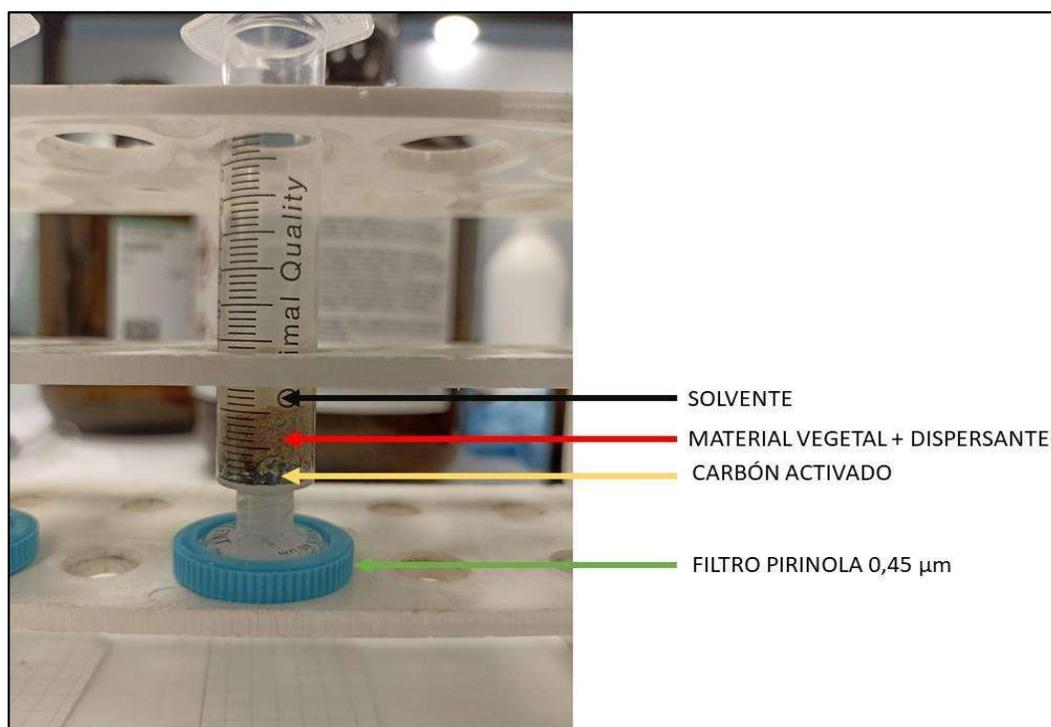
En un mortero (A) se adicionaron 0,205 g de hojas de coca y 0,803 g de sílice; en un mortero (B) se adicionaron 0,201 g de hojas de coca y 0,804 g de alúmina (relación 4:1), cada mezcla se maceró como se observa en la figura 17.



**Figura 17:** Homogenización de material vegetal y dispersante [A: Sílice y B: Alúmina]. (fuente propia)

Se tomó una jeringa (en este caso de 10 mL) y se le colocó en la parte inferior un filtro pirinola de 0,45  $\mu\text{m}$ , posteriormente, se le agregó carbón activado (0,503 g para la sílice y 0,502 para la alúmina), finalmente, se le adicionó la mezcla macerada de materia vegetal y el dispersante (ver figura 17), esta se empacó como una columna, procedimiento similar a la cromatografía de columna.

Se adicionaron 3,5 mL de solvente (etanol) para humedecer la columna como se ve en la figura 18, finalmente se transvaso la dilución en un vial cromatográfico y se analizó por GCMS (parámetros tabla 1).



**Figura 18:** Montaje de extracción por dispersión de matriz en fase sólida. (fuente propia)

### 3.13 COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE COCAÍNA A PARTIR DE HOJAS DE COCA

Se realizó una comparación del método establecido en la Fiscalía (anexo 4), método ultrasonido (anexo 5), Método solido-líquido y Dispersión en matriz en fase solida (MSPD), se observó que el método de ultrasonido tubo una reducción a la mitad del tiempo de sonicación, respecto al método establecido en la Fiscalía (anexo 4), teniendo en cuenta los siguientes criterios: Cantidad utilizada de sustancia vegetal, solvente, cantidad de solvente y tiempo de sonicación de la muestra, siguiendo los mismos parámetros del cromatógrafo (tabla 1).

### 3.14 VERIFICACIÓN DEL MÉTODO ANALÍTICO

Para realizar la verificación del método analítico, se comparó la metodología de extracción de cocaína en hojas de coca, aplicada actualmente en la Fiscalía de la ciudad de Cúcuta (anexo 4), con la metodología desarrollada en esta investigación (anexo 5), que consiste en confirmar mediante la aportación de evidencia objetiva, de que se han cumplido los requisitos específicos, tales como: solvente de inyección, tiempo de retención, porcentaje de semejanza del materia de referencia,

selectividad y tailing, siguiendo los mismos parámetros del cromatógrafo, esto es para garantizar la confianza de los resultados obtenidos.

### **3.15 PROCESO DE DESCONGESTIÓN DE MUESTRAS QUE INGRESAN AL LABORATORIO**

En el laboratorio de química de la Fiscalía, se evidenció la congestión que ascendía a dos mil (2000) muestras en solicitudes para análisis de estupefacientes, relacionado en presencia de cocaína en hojas de coca, incautadas en el departamento Norte de Santander.

Se realizaron capacitaciones respecto al análisis de estupefacientes, relacionado con la cadena de custodia de elementos materia de prueba y evidencia física, método de identificación de cocaína en hojas de coca y manejo del cromatógrafo de gases acoplado con detector selectivo de masas (SHIMADZU modelo QP 2010-Ultra), se procedió a realizar el proceso de descongestión desde la extracción de cocaína, hasta la identificación mediante la técnica GC-MS, en presencia de personal del laboratorio.

### **3.16 DOCUMENTACIÓN DE METODOLOGÍA**

Desarrollada la metodología de identificación de cocaína en hojas de coca en esta investigación, se elaboró una guía “extracción de cocaína en hojas de coca” (anexo 5), teniendo en cuenta aspectos, tales como: objetivos, alcance, definiciones y siglas, desarrollo de las actividades propuestas para la extracción de cocaína en hojas de coca, revisión, aprobación y anexos. Finalmente será propuesta como una acción de mejora del laboratorio de química de la Fiscalía General de Nación, seccional Norte de Santander.

## 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 4.1 SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD (SGC)

Para llevar a cabo este procedimiento, se realizó capacitaciones respecto al tema confidencialidad, manejo y actualización de documentos interno del laboratorio. Se permite realizar la actualización de difusión de documentos, actualización de hojas de vida instrumentos, actualización documentos de estados de calibración y verificación de los equipos, actualización y verificación de las etiquetas de los reactivos de usos diario en el laboratorio de química de la Fiscalía, por parte del facilitador de calidad del grupo de criminalística, acompañó y orientado por el facilitador de calidad.

El procedimiento de gestión de la calidad, enriqueció mi conocimiento científico como futuro químico, así también se realizó una socialización de la metodología desarrolla, para dar cumplimiento a los indicadores a capacitaciones internas de laboratorio de química de la Fiscalía.

### 4.2 BLANCO

Actualmente el laboratorio de química de la Fiscalía general de la Nación, seccional Norte de Santander, está presentando inconvenientes en el proceso de extracción de cocaína a partir de hojas de coca, ocasionando problemas de contaminación de la columna e interferencias en el analizador de masas, debido a componentes como la clorofila y otras sustancias orgánicas que se extraen junto con el analito de interés (cocaína).

Para mejorar el método de extracción de cocaína en hojas de coca, se procedió inicialmente a analizar una muestra blanco por GC-MS (ver figura 19), esta se corrió solo el solvente de etanol, se observó la ausencia de sustancias orgánicas, otorgarle validez a la metodología de identificación de cocaína en hojas de coca.

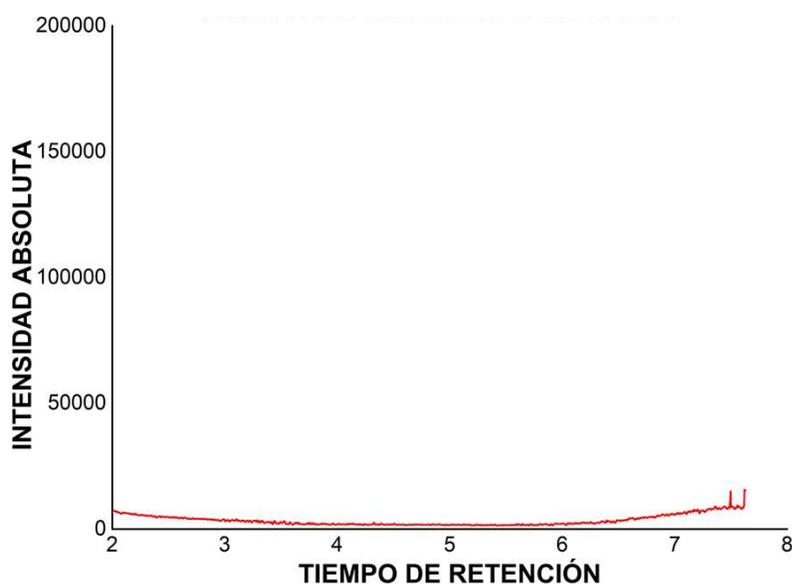


Figura 19: Cromatograma de muestra blanco analizada por GCMS (fuente propia)

E. Coto, C (2020) explicó la importancia de una muestra blanco en investigaciones científicas en el curso de introducción al conocimiento científico experimentado. Un blanco de análisis es una muestra que no contienen el analito de interés, o un análisis sin la muestra, es fundamental incluir en cada experimento, cualquiera sea su naturaleza, un blanco, para otorgarle validez a la metodología y análisis desarrollado.

### 4.3 ESTANDAR DE COCAÍNA

Terminado este proceso se analizó un estándar de cocaína por GC-MS, presentando un tiempo de retención para este analito de 4,806 min (tabla 10) verificado por su espectro de masas, como se observa en la figura 20.

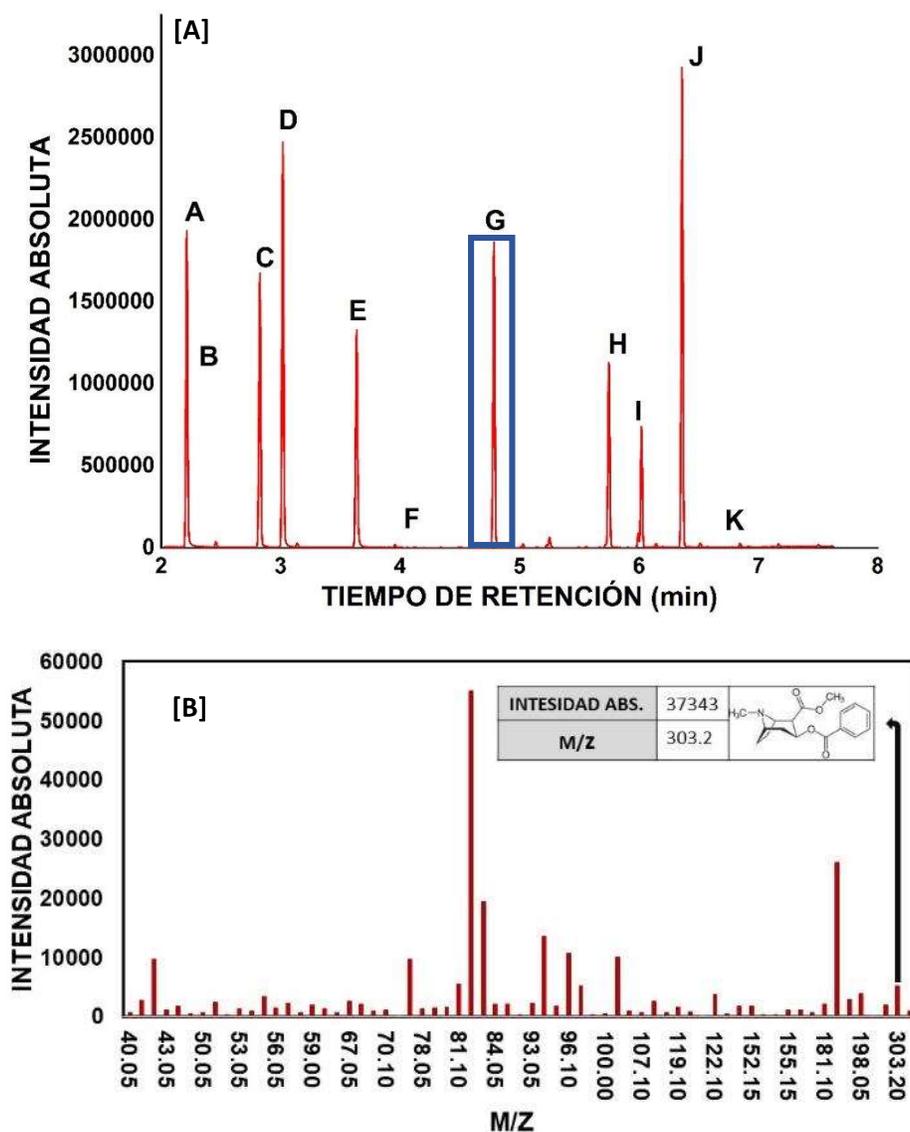


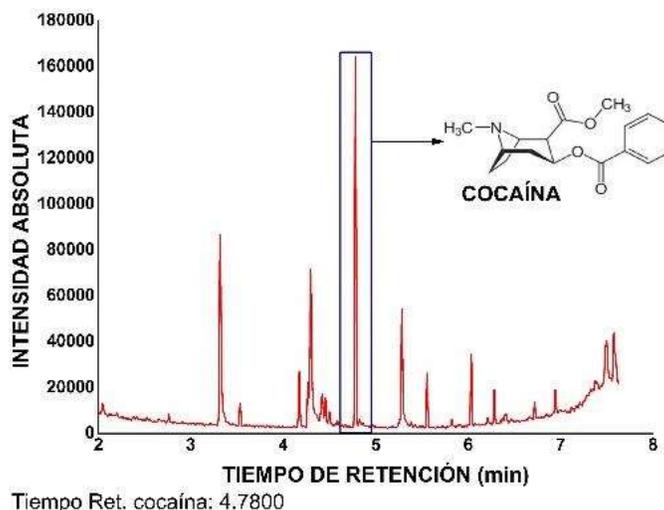
Figura 20: [A] Cromatograma y [B] espectro de masas del estándar de cocaína. (fuente propia)

**Tabla 10:** Especificaciones de muestra estándar y su tiempo de retención.

ESPECIFICACIONES DE MUESTRA ESTÁNDAR		
IDENTIFICACIÓN	NOMBRE	TIEMPO RETENCIÓN (min)
A	Paracetamol	2,100
B	Fenacetina	2,225
C	Cafeína	2,842
D	Lidocaína	3,033
E	Levamisol	3,658
F	Procaína	3,933
G	Cocaína	4,806
H	Codeína	5,583
I	Morfina	5,740
J	Heroína	6,383
K	Papaverina	6,952

#### 4.3 MÉTODO DE EXTRACCIÓN DE COCAÍNA A PARTIR DE HOJAS DE COCA APLICADO ACTUALMENTE EN EL LABORATORIO DE QUÍMICA

Corrida la muestra del estándar de cocaína, se analizó el método actualmente utilizado en la fiscalía, como se observa en la figura 21, verificado por su espectro de masas en la figura 20, obteniendo una similitud con el estándar del 94%. En este cromatograma se observan sustancias diferentes al analito de interés [Sorbitol (tiempo de retención: 2,408 min), ácido mirístico (tiempo de retención: 3,317 min), Triclosán (tiempo de retención: 4,173 min), Eicosano (tiempo de retención: 6,497 min) y Di-n-decilsulfona (tiempo de retención: 7,479 min)]; siendo estas las sustancias orgánicas más recurrentes en el análisis de identificación de cocaína, que están afectando a las columnas y partes importantes dentro del analizador de masas.



**Figura 21:** Cromatograma de metodología utilizada en la Fiscalía. (fuente propia)

#### 4.4 EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL TIEMPO Y SOLVENTE EN EXTRACCIÓN POR ULTRASONIDO

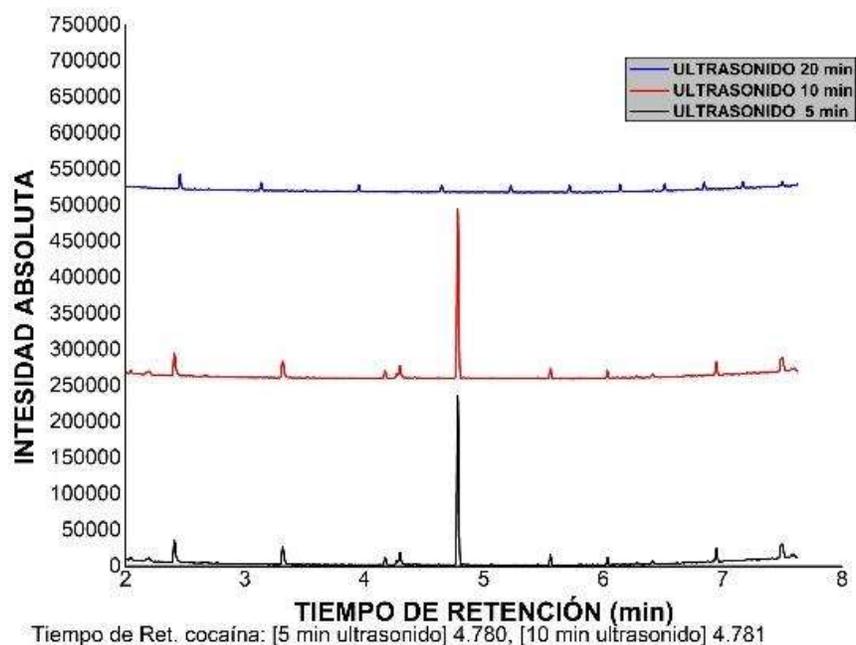
##### 4.4.1 EVALUACION DEL EFECTO DEL TIEMPO EN EXTRACCIÓN POR ULTRASONIDO

Observado los problemas de identificación de sustancias orgánicas, diferentes al analito de interés (cocaína) en el método que se está utilizando actualmente en el laboratorio de química de la Fiscalía, se evaluaron los efectos de tiempo (5 min, 10 min, 20 min), se analizaron por triplicado, mostrando los siguientes resultados como se puede observar en la figura 22. Se observó que en el de 5 min de las muestras en el ultrasonido se obtuvo una similitud con el estándar del 93% en las tres muestras. En el tiempo de 10 min se obtuvo una similitud con el estándar del 94% en las tres muestras. Para el tiempo de 20 min no se observó el analito de interés. Esto se debe a los efectos químicos que se puede producir por esta técnica debido a las colisiones, inestabilidad producto de la cavitación, induciendo una reactividad química específica, cambiando la naturaleza de los productos de reacción. Todo el proceso, tiene una rápida compresión adiabática de gases en las cavidades produciendo altas temperaturas y presiones, estimadas de ser unos 5.000 °C y aproximadamente 100 MPa, respectivamente. Las altas temperaturas y presiones provocan la formación de radicales libres y otros compuestos (Campo Vera et al 2018). Cada uno de los resultados anteriores, se verificaron con su espectro de masas con la espectroteca del laboratorio de química de la Fiscalía como se observa en la figura 20, dando resultados en comparación mayores al 90% y tiempos de retención semejantes del material de referencia.

Campo Vera et al (2018), desarrollaron una metodología del ultrasonido en el procesamiento (homogenización, extracción y secado). Observando la desintegración de algunas moléculas previo a los experimentos con mora, flores de *Hemerocallis citrina*. Esta reducción atribuyó a la energía mecánica que el ultrasonido genera en el proceso de cavitación; provocando la disminución de la resistencia interna y externa a la transferencia de materia y la aparición de fenómenos como la generación de microcorrientes en las interfases o las compresiones y descompresiones en el material sólido contribuyen a facilitar la salida de agua de la matriz.

Torres Valenzuela, L. et al (2021) evaluaron las condiciones de extracción asistida por ultrasonido de compuestos bioactivos de cáscara de pitahaya amarilla. Observaron, que el tiempo puede ser una variable que afecta la extracción de componentes bioactivos, pues una elevada exposición a la ultrasonicación puede influir en la calidad y el rendimiento de extracción del compuesto de interés, debido a que al dejar las muestras sonicando, el fenómeno de cavitación puede incrementar la temperatura y en consecuencia permitirá la degradación del material vegetal.

Como puede observar, en estos trabajos, la cavitación afecta en cierta manera los resultados, debido a la elevación de la temperatura, presión y energía mecánica permitiendo la degradación de materiales vegetales, obteniendo resultados similares a los reportados en este trabajo, en la evaluación del efecto del tiempo de 20 min en extracción por ultrasonido.



**Figura 22:** Cromatograma selección de tiempo de extracción [tiempos en ultrasonido]. (fuente propia)

Observando los resultados anteriores, se seleccionó el tiempo de 5 min, ya que no hay una variabilidad significativa respecto al porcentaje de semejanza de material de referencia, comparados con los demás tiempos de extracción. Cabe resaltar, que todavía hay identificación de sustancias orgánicas diferentes al analito de interés.

#### 4.4.2 EVALUACION DEL EFECTO DEL SOLVENTE EN EXTRACCIÓN POR ULTRASONIDO

Seleccionado el tiempo de cuanto se va a dejar la muestra en el ultrasonido, se procedió a cambiar el solvente (etanol) actualmente utilizado por metanol, acetona y cloroformo, cada uno de ellos se tomó por triplicado, mostrando los resultados que se aprecian en la figura 23. Con el metanol se obtuvo una similitud con el estándar del 94% en las tres muestras. Para el caso de la acetona se obtuvo una similitud con el estándar del 94%. Por último, con el cloroformo se obtuvo una similitud con el estándar del 93%. Es importante resaltar el proceso de la acetona se observó principalmente el analito de interés (cocaína). Cada uno de los resultados anteriores, se verificaron con su espectro de masas con la espectroteca del laboratorio de química de la Fiscalía como se observa en la figura 20, dando resultados en comparación mayores al 90% y tiempos de retención semejantes del material de referencia.

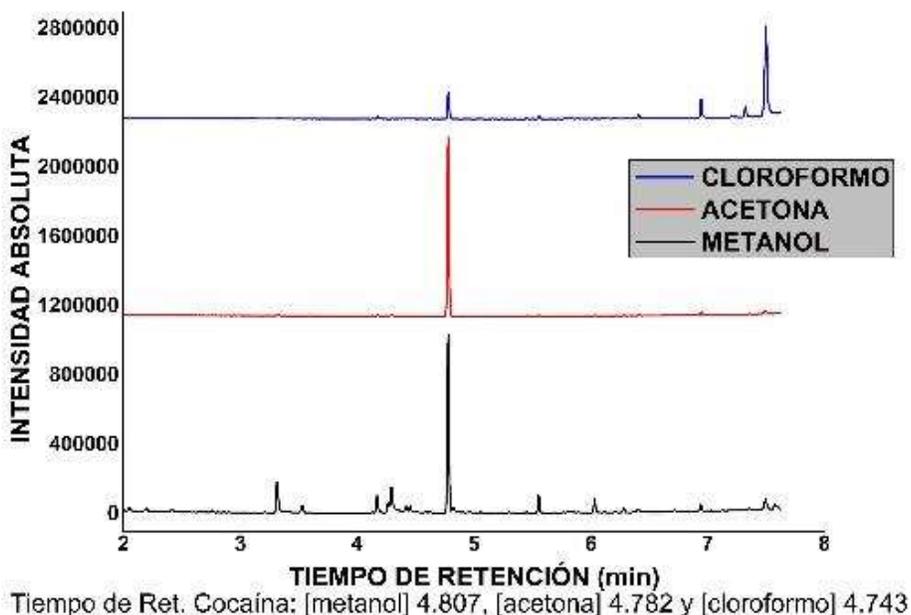
El metanol mostró otras sustancias que eluyen junto con el analito de interés [ Ácido palmítico (tiempo de retención: 3.317 min), metanosulfonato (tiempo de retención: 2.636 min y 2.067 min), sorbitol (tiempo de retención: 2.426 min) y piperidina (tiempo de retención: 2.208 min)]. El cloroformo [cis-cinamoilcocaína (tiempo de retención: 5.557 min y 6.034 min)], siendo de diferente

nivel de polaridad, estas impurezas son registradas al final de la corrida, ya que sus moléculas no ejercen completamente su interacción con las del soluto, y la acetona se observó principalmente la banda de cocaína. Las impurezas son registradas en esta técnica GC-MS mayores al 90%.

UC Davis, (2020), explico la importancia de las características físicas de los disolventes utilizados en química orgánica. Entre los más importantes están si los solventes son polares o no polares, y si son próticos o apróticos. Los solventes polares se caracterizan por tener constantes dieléctricas superiores a 5 y los solventes no polares inferiores a 5. Encontrando que los solventes polares próticos, son el etanol (contante dieléctrica: 24,3) y el metanol (contante dieléctrica: 32,6), los solventes polares apróticos, es la acetona (contante dieléctrica: 21) y los solventes apolares, el cloroformo (contante dieléctrica: 4,8).

Benavides Guerrero (2020), su objetivo fue evaluar el contenido de fenoles totales (FT) y actividad antioxidante de dos variedades de papas (*Solanum phujera*) nativas cultivadas al sur de Colombia. Realizaron dos diseños experimentales, el primero para determinar el mejor solvente para extraer los FT (acetona y metanol) y el segundo para evaluar el efecto del uso de ultrasonido en la extracción de FT. Dentro de sus resultados, encontraron que el rendimiento de extracción por ultrasonido de polifenoles con acetona al 50 % fue mayor que el obtenido con metanol al 50 y al 75 %. La polaridad del disolvente desempeña un papel clave en el aumento de la solubilidad de fenoles; en general, se ha encontrado que el metanol es más eficiente en la extracción de polifenoles de peso molecular más bajo, mientras que la acetona acuosa es buena para la extracción de flavonas de peso molecular más alto.

Los resultados en estas investigaciones, se observa que el nivel de polaridad de los solventes, ejercen efectos significativos sobre los resultados finales, siendo la acetona seleccionada respecto al metanol y cloroformo, por su comportamiento en polaridad similar al soluto de cada extracción y por sus propiedades físicas (constante dieléctrica), proceso similar a los reportados en este trabajo.



**Figura 23:** Cromatograma selección del solvente de extracción. (fuente propia)

Finalmente, se debe tener en cuenta que se logró mejorar el método de extracción, con respecto a la metodología actualmente utilizada en el laboratorio de química de la Fiscalía General de la Nación, 5 min en el ultrasonido y utilizando acetona como solvente, reduciendo el tiempo de extracción a la mitad, disminuyendo considerablemente el nivel de contaminación a la columna del GC-MS.

#### 4.5 VERIFICACIÓN DEL EFECTO DEL TIEMPO Y SOLVENTE SELECCIONADO EN EXTRACCION DEL MÉTODO DE ULTRASONIDO

Seleccionado el tiempo (5 min en el ultrasonido) y el solvente (acetona) de extracción de cocaína por ultrasonido, se realizaron verificaciones de los resultados más efectivos, este es para confirmar los rendimientos y poder realizar análisis más efectivo, cada uno de ellos se tomó por triplicado, mostrando los siguientes efectos: En el tiempo de 5 min en el ultrasonido se obtuvo una similitud respecto al estándar del 93% en las tres muestras como se observa en la figura 24, para el caso de la acetona se obtuvo una similitud 94% con el estándar en las tres muestras (figura 25). Cada uno de los resultados anteriores, se verificaron con su espectro de masas con la espectroteca del laboratorio de química de la Fiscalía como se observa en la figura 20, dando resultados en comparación mayores al 90% y tiempos de retención semejantes del material de referencia.

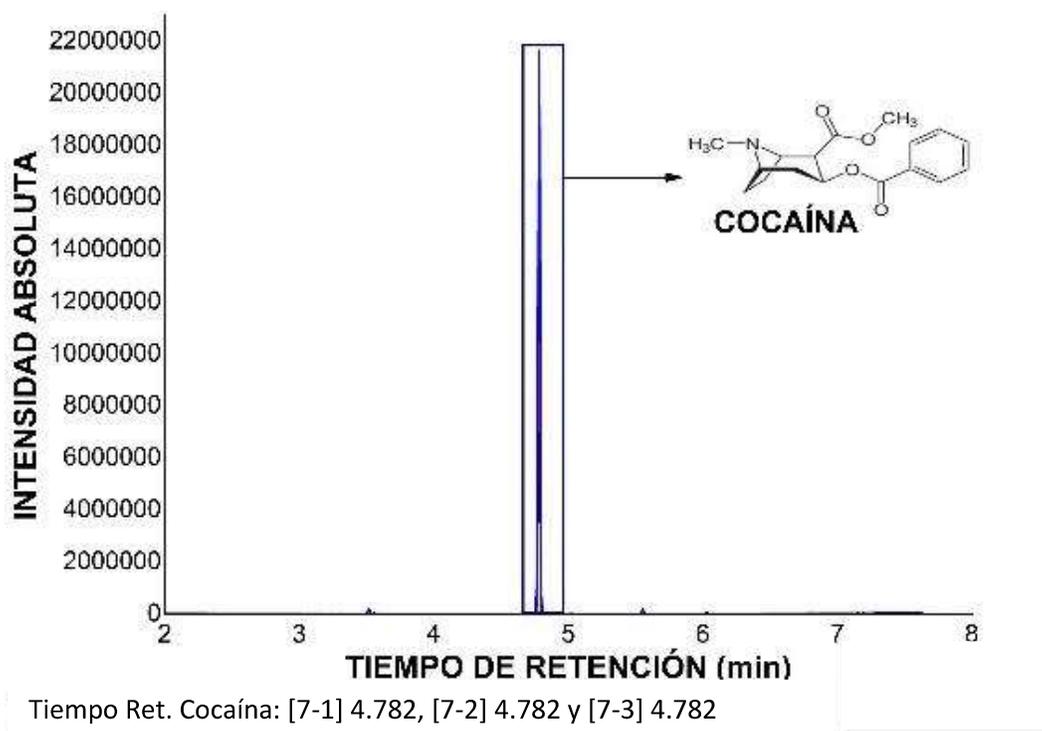
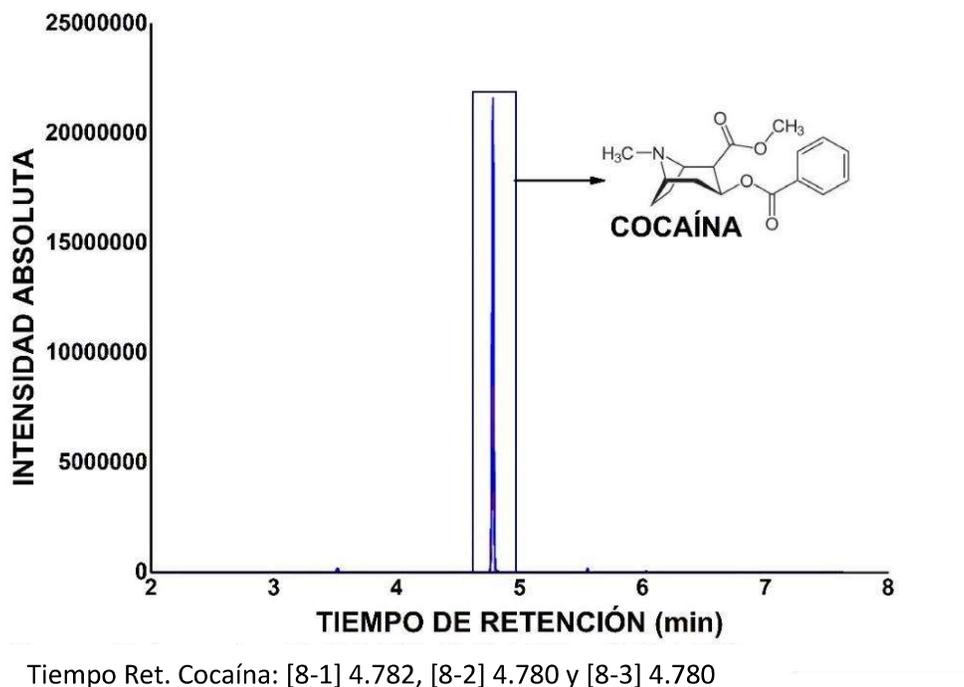


Figura 24: Cromatograma verificación ultrasonido 5 min. (fuente propia)



**Figura 25:** Cromatograma verificación solvente acetona. (fuente propia)

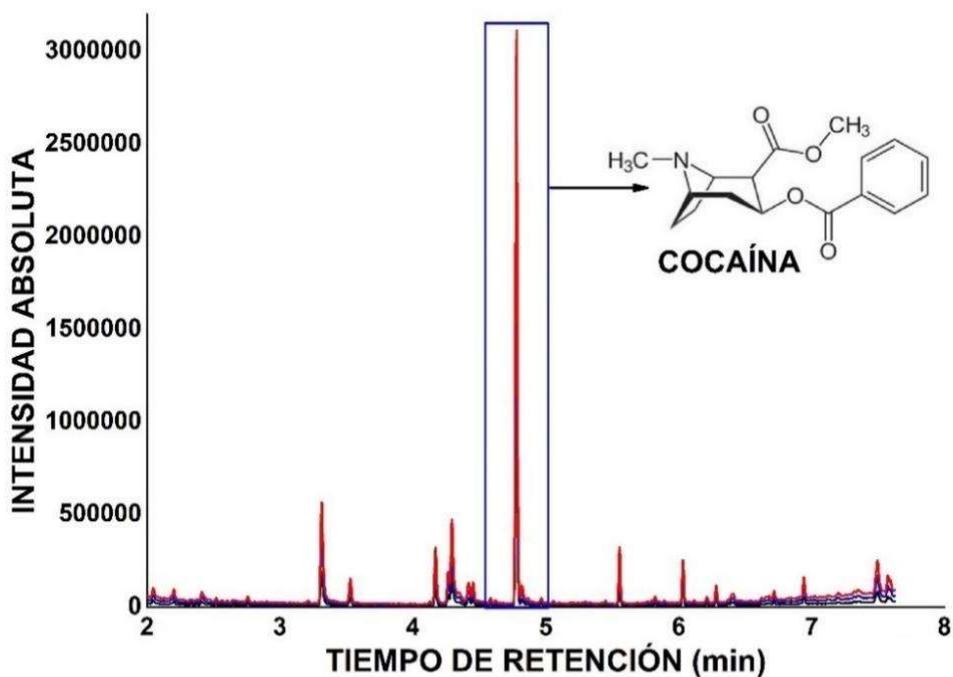
Observando los resultados de verificación de los efectos de tiempo y solvente de extracción por ultrasonido de cocaína a partir de hojas de coca, esta evaluación permitió tomar los 5 min y el solvente de acetona, como lo más eficientes en este proceso de extracción.

#### 4.6 EXTRACCIÓN SÓLIDO-LÍQUIDO

La extracción de cocaína en hojas de coca a partir del método sólido-líquido, consistió en dejar la solución de hojas de coca, más el etanol durante 24 horas a temperatura ambiente (condiciones climáticas de la ciudad de Cúcuta-Norte de Santander). Se analizó por triplicado, el siguiente resultado se observa en la figura 26, se obtuvo una similitud con el estándar del 94% en las tres muestras. Cada uno de los resultados anteriores, se verificaron con su espectro de masas con la espectroteca del laboratorio de química de la Fiscalía como se observa en la figura 20, dando resultados en comparación mayores al 90% y tiempos de retención semejantes del material de referencia.

En la figura 26 se observaron sustancias diferentes al analito de interés [Sorbitol (tiempo de retención: 2,408 min), ácido mirístico (tiempo de retención: 3,317 min), Triclosán (tiempo de retención: 4,173 min), Eicosano (tiempo de retención: 6,497 min) y Di-n-decilsulfona (tiempo de retención: 7,479 min)], esto es debido a que la sustancia vegetal tiene más contacto con el etanol,

produciendo así un mayor contenido de sustancias orgánicas, que contaminan las columnas del cromatograma.



Tiempo Ret. Cocaína: [9-1] 4.807, [9-2] 4.807 y [9-3] 4.807

**Figura 26:** Cromatograma extracción sólido-líquido [24 horas temperatura ambiente] (fuente propia)

#### 4.7 EXTRACCIÓN POR DISPERSIÓN DE MATRIZ EN FASE SÓLIDA (MSPD)

Para mejorar la metodología utilizada en el laboratorio de química de la Fiscalía general de la nación seccional Norte de Santander, se analizaron dos muestras por MSPD utilizando dos agentes dispersantes (sílice [A] y alúmina [B]), los siguientes resultados se pueden observar en la figura 27, los dispersante sílice y alúmina obtuvieron una similitud 94% con el estándar de cocaína. Cada uno de los resultados anteriores, se verificaron con su espectro de masas con la espectroteca del laboratorio de química de la Fiscalía como se observa en la figura 20, dando resultados en comparación mayores al 90% y tiempos de retención semejantes del material de referencia.

Chaparro García et al (2017), desarrollaron y validaron un método analítico ambientalmente amigable para la extracción y cuantificación del N-metilcarbamato carbofurano, en muestras de suelos cultivados con papa criolla, basándose en la dispersión de matriz de base sólida (MSPD) junto con cromatografía de gases con detector de microcaptura de electrones ( $\mu$ -ECD). Demostraron la importancia de seleccionar un adsorbente (alúmina y sílice) y disolvente de elución adecuados, a fin de minimizar las interferencias de la matriz, siendo así las polaridades de la fase estacionaria y el disolvente los factores clave en la MSPD. Como puede observarse, en esta investigación

seleccionaron sílica gel como adsorbente en una relación 1:4 muestra/adsorbente y las muestras fueron extraídas en un cartucho con 5 ml de hexano-acetona en relación 8:2 como solvente de elución.

Observando el resultado de esta investigación, proceso similar al trabajo realizado, ya que la elección de estos solventes depende de la polaridad del analito. La alúmina y la sílice son polares, por tanto, el alcaloide (hoja de coca), que es polar, es eluido en mayor cantidad y a mayor velocidad, (Angurell, I., 2020).

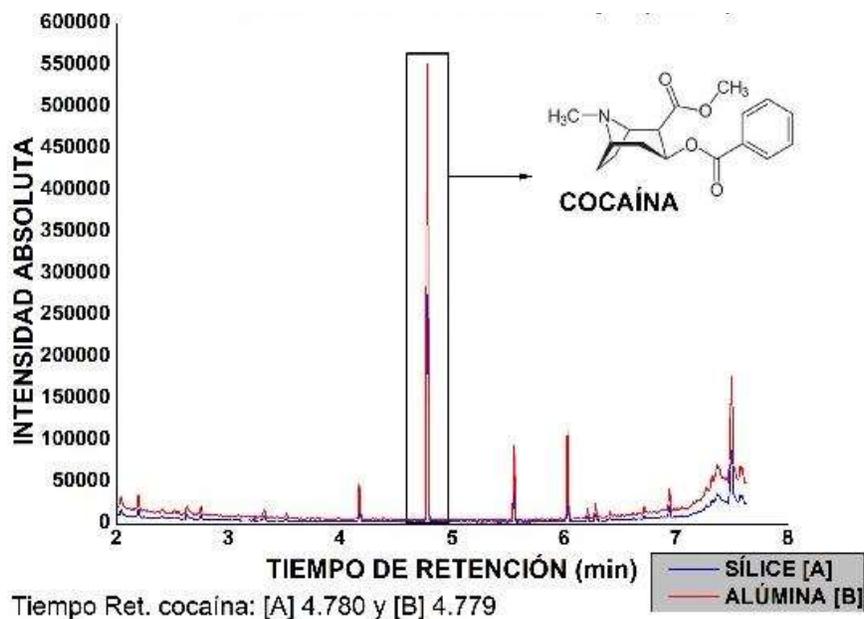


Figura 27: Cromatograma muestras de sílice [A] y alúmina [B] (MSPD). (fuente propia)

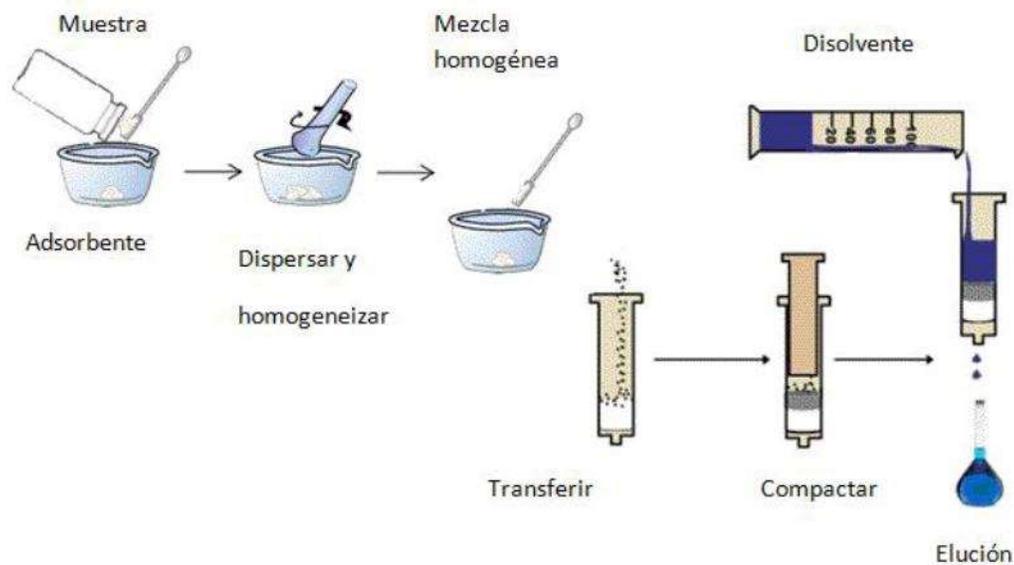


Figura 28: Esquema del proceso MSPD. (Serrano Valenciano, M., 2017)

Al mezclar el dispersante sílice y la materia vegetal (hojas de coca) como se observa en la figura 28, se logró observar una mezcla homogénea, ya que su estructura molecular puede considerarse como una molécula gigante donde la red cristalina es muy fuerte, los tetraedros pueden enlazarse de diversas maneras, dando origen a diversas formas cristalinas y siendo factible a la mezcla con otra sustancia sólida, la mezcla del dispersante alúmina y las sustancia vegetal (hojas de coca), se logró observar una mezcla poco homogénea no uniforme, porque su estructura molecular anfotérico no se disuelve rápidamente, identificándose sustancias orgánicas diferentes al analito de interés [Triclosán (tiempo de retención: 4,173 y 6.034 min), cis-cinamoilcocaína (tiempo de retención: 5.557 min) y Di-n-decylsulfone (tiempo de retención: 7,479), como se evidencia en la figura 26.

#### 4.8 COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE COCAÍNA A PARTIR DE HOJAS DE COCA

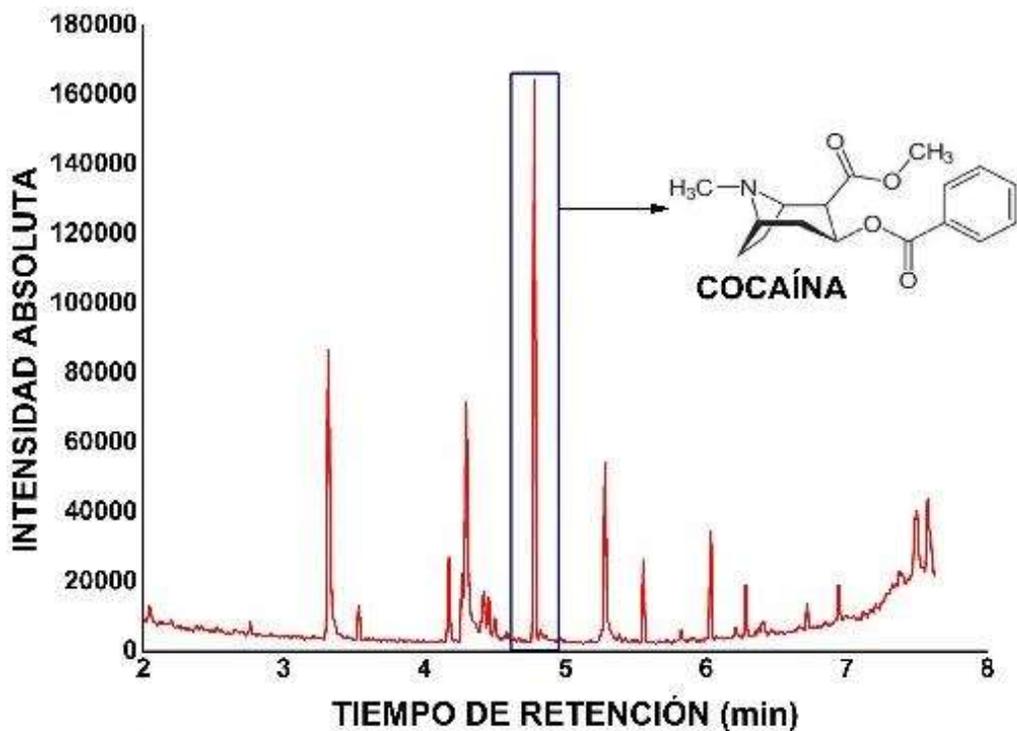
En la tabla 11 se comparó, el método establecido en la Fiscalía (anexo 4), método ultrasonido (anexo 5), Método sólido-líquido y Dispersión en matriz en fase sólida (MSPD), se observó que el método de ultrasonido tubo una reducción a la mitad del tiempo de sonicación, respecto al método establecido en la Fiscalía (anexo 4), a comparación del MSPD que doblo su tiempo de análisis y la extracción sólido-líquido requiere mucho tiempo de extracción, y se es necesario la extracción de cocaína en hojas de coca realizada en la Fiscalía General de Nación, tener los resultados más ligero, por sus procesos judiciales. Finalmente se mejoró la metodología en tiempo de sonicación de las muestras, y en cantidad de solvente.

**Tabla 11:** Datos de comparación del método establecido fiscalía y desarrollado en este documento

METODOLOGÍA	CANTIDAD DE MUESTRA	SOLVENTE	CANTIDAD DE SOLVENTE	TIEMPO
Método utilizado en la Fiscalía	1 g	Etanol	5 mL	10 min (sonicación)
Método ultrasonido	1 g	Acetona	4 mL	5 min (sonicación)
Sólido-líquido	1 g	Etanol	5 mL	24 horas (T. ambiente)
MSPD	2 g	Etanol	3,5 mL	20 min (Gravedad)

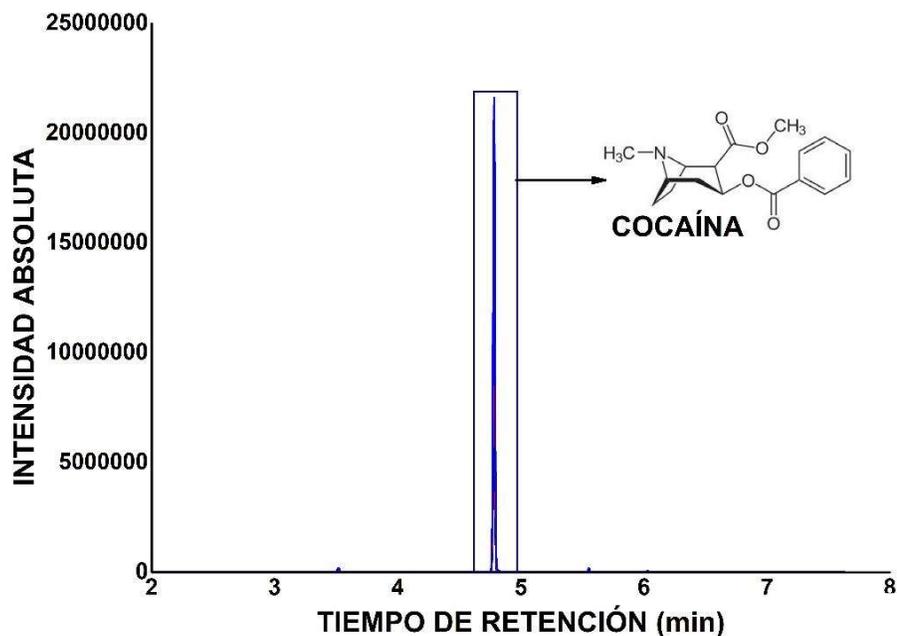
Los análisis de identificación de cocaína en hojas de coca realizado por el método establecido actualmente por la Fiscalía, muestra una gran cantidad significativa de sustancias orgánicas diferentes al analito de interés (cocaína) como se observa en la figura 29, contaminando las columnas del cromatógrafo, proporcionando así un cambio de estas mismas en menor tiempo destinado (costo elevado de las columnas) y desgastan partes importantes dentro del analizador de masas. En comparación del método desarrollado se observa principalmente la banda de la cocaína evidenciada en la figura 30, reduciendo así el problema de contaminación, la vida útil de la columna

del cromatógrafo será mayor respecto al método actualmente utilizado, ya que contienen menor porcentaje de sustancias diferentes al analito de interés (cocaína).



Tiempo Ret. cocaína: 4.7800

Figura 29: Cromatograma del método establecido en la fiscalía (fuente propia)



Tiempo Ret. Cocaína: 4.782

Figura 30: Cromatograma del método desarrollado en este documento (fuente propia)

#### 4.9 VERIFICACIÓN DEL MÉTODO ANALÍTICO

Al momento de realizar un método cromatográfico o un método analítico es necesario realizar una validación, el cual consiste en realizar pruebas para comprobar los aspectos del comportamiento del método, este implica la demostración de la determinación de las fuentes de variabilidad, error sistemático y al azar de un procedimiento, no solo dentro de la calibración sino en el análisis de muestras a realizar. Dependiendo del cambios que se llevan a cabo en las metodologías analíticas, es necesario una validación completa o una verificación, en nuestro trabajo de investigación se realizó una verificación que consiste en confirmar mediante la aportación de evidencia objetiva, de que se han cumplido los requisitos específicos, tales como: solvente de inyección, tiempo de retención, porcentaje de semejanza del materia de referencia, selectividad y tailing, siguiendo los mismos parámetros del cromatógrafo. En la tabla 12 se observó que no hay cambios respecto a las características de desempeño del método, garantizando la confianza y seguridad de los resultados en la metodología desarrollada para la extracción de cocaína en hojas de coca.

**Tabla 12:** Datos de comparación respecto a la validación del método utilizado

<b>METODOLOGÍA</b>	<b>TAILING</b>	<b>SEMEJANZA AL MATERIAL DE REFERENCIA</b>	<b>TIEMPO DE RETENCIÓN</b>	<b>SELECTIVIDAD</b>
Método establecido actualmente en la fiscalía	1,0	94 %	4,780	No solapamiento
Método desarrollado	1,0	94 %	4,782	No solapamiento

#### 4.10 PROCESO DE DESCONGESTIÓN DE MUESTRAS

El laboratorio de química de la Fiscalía General de Nación en la ciudad de Cúcuta, tenía una congestión que ascendía a 2000 muestras en solicitudes para análisis de estupeficientes, relacionado en presencia de cocaína en material vegetal (hojas de coca). Estas muestras fueron incautas en el departamento de Norte de Santander.

Una vez realizadas las capacitaciones respecto a los análisis de estupeficientes, relacionado con la cadena de custodia de elementos materia de prueba y evidencia física, método de identificación de cocaína en hojas de coca, manejo del cromatógrafo de gases acoplado con detector selectivo de masas (SHIMADZU modelo QP 2010-Ultra) durante dos días por el director técnico del laboratorio, se permite la manipulación de los ítems de ensayo en presencia de personal del laboratorio, descongestionando el 50 % de las muestras represadas.

La labor consistió en la extracción del analito de interés y finalizó con la identificación de la cocaína por la técnica GC-MS como se observa en la figura 31, así enriqueciendo el conocimiento científico y práctico como estudiante de Química de la Universidad de Pamplona.



**Figura 31:** Proceso de descongestión de muestras (fuente propia)

#### **4.11 DOCUMENTACIÓN DE METODOLOGÍA**

La implementación de la metodología desarrollada en esta investigación, se elaboró una **guía “extracción de cocaína en hojas de coca”**, la cual hace parte del presente documento en el anexo 5, se desarrolla las actividades propuestas para la extracción de cocaína en hojas de coca, la cual será propuesta como acción de mejora del grupo de química.

## CONCLUSIONES

Se tuvo la oportunidad de aprender y revisar los procesos del sistema de gestión de calidad (SGC), formatos y actualizaciones bajo la norma ISO 17025:2017., acompañado por el facilitador de calidad del laboratorio de química de la Fiscalía, enriqueciendo el conocimiento científico como estudiante de Química de la Universidad de Pamplona

Se mejoró el tiempo de análisis y contaminación de la columna del cromatógrafo, de manera representativa en el método de extracción de cocaína de la hoja de coca, que actualmente utiliza el laboratorio de química de la Fiscalía General de la Nación seccional Norte de Santander, para su respectivo análisis.

Para la extracción de cocaína en hojas de coca, con 5 minutos de sonicación, se obtuvo el cromatograma con un 93% de similitud, el resultado de la comparación fue superior al 90% y el tiempo es similar al material de referencia, disminuyendo considerablemente el tiempo de análisis y costos de los mismos.

Se logró minimizar significativamente la extracción de analitos que no son de interés utilizando acetona como solvente, comparado con cloroformo, etanol y metanol, mostrando más de tres sustancias orgánicas diferentes al analito de interés.

Se redujo un 50 % la congestión de muestras correspondientes a hojas de coca, previo a análisis de sustancias controladas, en el laboratorio de química de la Fiscalía general de la nación seccional Norte de Santander en la ciudad de Cúcuta.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda validar los métodos con otras matrices o plantas que también contengan el analito de cocaína, con los métodos realizados para la verificación de resultados.

Validar un método analítico para identificación de cocaína, en material vegetal, donde el método cuide la integridad de la columna y partes del espectrómetro de masas. Por medio modificaciones del cromatógrafo, tales como: temperatura en fuente de iones, rango de masas para identificación de cocaína, con el propósito de minimizar el desgastamiento del detector de masas.

## BIBLIOGRAFÍA

Angurell, I., 2020. Operaciones Básicas en el Laboratorio de Química. Cromatografía. Cromatografía en Capa Fina y en Columna. [online] Ub.edu. Available at: <[https://www.ub.edu/oblq/oblq%20castellano/cromatografia\\_tipus.html](https://www.ub.edu/oblq/oblq%20castellano/cromatografia_tipus.html)> [Accessed 1 June 2022].

Benavides Guerrero, R., Revelo Cuarán, Y., Arango Bedoya, O. and Osorio Mora, O., 2020. Extracción asistida con ultrasonido de compuestos fenólicos de dos variedades de papas (*Solanum phureja*) nativas andinas y evaluación de su actividad antioxidante. [online] Available at: <[https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-07642020000500043](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642020000500043)> [Accessed 4 June 2022].

CAMPO VERA, Y., GÉLVEZ ORDOÑEZ, V. and AYALA APONTE, A., 2018. Ultrasonido en el procesamiento (homogenización, extracción y secado) de alimentos. [online] Available at: <[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1692-35612018000100102](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612018000100102)> [Accessed 2 June 2022].

Cañas Torres, E., Casas Castro, O. and Parra Córdoba, J., 2021. Universidad Javeriana. [online] Universidad Javeriana. Available at: <[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2011-08392022000100016](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2011-08392022000100016)> [Accessed 10 May 2022].

CASTELLANOS ROJAS, L., 2016. P EL MERCADO DE LA COCAÍNA EN COLOMBIA A TRAVÉS DE LPERSPECTIVA DE LA ECONOMÍA DE LA DROGA.. [online] INSTITUTO LATINOAMERICANO DE ECONOMÍA, SOCIEDAD Y POLÍTICA. Available at: <<https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-58312598>> [Accessed 12 May 2022].

Chaparro García, A., Quijano Parra, A., Rodríguez Martínez, R. and Lizarazo Gutiérrez, L., 2017. Desarrollo y validación de un método ambientalmente amigable para la determinación de carbofurano en suelos. [online] Corpoica Cienc Tecnol Agropecuaria, Mosquera (Colombia). Available at: <[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0122-87062017000100005](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-87062017000100005)> [Accessed 1 June 2022].

Correa Fajardo, H., 2021. Monitoreo de territorios afectados por cultivos ilícitos 2020. [online] UNODC. Available at: <https://reliefweb.int/report/colombia/colombia-monitoreo-de-territoriosafectados-por-cultivos-il-citos-2020> [Accessed 1 June 2022].

Dawidowicz, A. and Rado, E., 2019. Matrix solid-phase dispersion (MSPD) in chromatographic analysis of essential oils in herbs.

E.Coto, C., 2020. Curso de Introducción al Conocimiento Científico Experimental\*. [online] Revista Electrónica del Depto. de Química Biológica, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Argentina. Available at: <<https://med.se-todo.com/himiya/50752/index.html>> [Accessed 4 June 2022].

Fiscalia.gov.co. 2022. ¿Quiénes somos? | Fiscalía General de la Nación. [online] Available at: <<https://www.fiscalia.gov.co/colombia/la-entidad/quienes-somos/>> [Accessed 10 February 2022].

Fiscalia.gov.co. 2022. Misión, visión, funciones y deberes | Fiscalía General de la Nación. [online] Available at: <<https://www.fiscalia.gov.co/colombia/la-entidad/quienes-somos/mision-y-vision/>> [Accessed 10 February 2022].

Fiscalnet; 2022: Documentación del Método analítico validado por el laboratorio de química de la Fiscalía General de la Nación.

García B.; 2022. Cromatografía de Gases/Espectrometría de Masas (GC/MS) – Instituto de Química Aplicada. [online] Uv.mx. Available at: <<https://www.uv.mx/sara/equipamiento/gcms/>> [Accessed 11 February 2022].

IEUA, 2020. [online] iue.ua.es. Available at: <<https://iue.ua.es/de/documentos/requisitos-muestras-gc-ms.pdf>> [Accessed 1 June 2022].

IGAC (2018) Instituto Geográfico Agustín Codazzi - Diccionario Geográfico Gobernación del Departamento de Norte de Santander Departamento Administrativo Nacional de Estadística: [www.dane.gov.co](http://www.dane.gov.co) – Proyecciones de población

Infodrogas. 2022. Cocaína. [online] Available at: <<https://www.infodrogas.org/drogas/cocaina>> [Accessed 13 May 2022].

Interior.gob.cl. 2016. DE PRECURSORES Y COCAÍNA Descripción, monitoreo, análisis y tendencias de sustancias químicas controladas. [online] Available at: <<https://www.interior.gob.cl/media/2016/09/De-Precursores-y-Coca%C3%ADna-Departamento-de-Sustancias-Qu%C3%ADmicas-Controladas.pdf>> [Accessed 23 May 2022].

ISASA, L., 2019. Cromatografía de gases GC-MS - ISASA Latam. [online] ISASA Latam. Available at: <<https://isasalatam.com/cromatografia/gc-ms/>> [Accessed 1 June 2022].

LÓPEZ RESTREPO, A., 2016. La semana. [online] Available at: <<https://www.semana.com/agenda/articulo/remedios-nocivos-andres-lopez-restrepo-historia-de-la-coca/54136/>> [Accessed 13 May 2022].

Ministerio de justicia y del derecho (2016), O. de drogas de C., Policía Nacional, D. antinarcotico, Fiscalía General de la Nación, L. del química del C. & UNODC. La heroína, caracterización química y mercado interno.

Minjusticia.gov.co. 2022. Ministerio de Justicia y del Derecho. [online] Available at: [https://www.minjusticia.gov.co/programas-co/ODC/Paginas/Sustancias Psicoactivas.aspx](https://www.minjusticia.gov.co/programas-co/ODC/Paginas/Sustancias_Psicoactivas.aspx) [Accessed 1 May 2022].

Noguera, B., 2020. *Extracción sólido-líquido: Método gráfico*. [online] Ingeniería Química Reviews. Available at: <<https://www.ingenieriaquimicareviews.com/2020/08/extraccion-solido-liquido-metodo-grafico.html#Factores-que-afectan-extraccion-solido-liquido>> [Accessed 2 June 2022].

ONODC, C., 2022. programa de naciones unidas la fiscalización internacional de las drogas\_ONODC-COLOMBIA. [online] Unodc.org. Available at: <<https://www.unodc.org/documents/scientific/ST-NAR-27-S.pdf>> [Accessed 4 May 2022].

Priego-Capote, F. and de Castro, L., 2016. Ultrasound-assisted digestion: A useful alternative in sample preparation.

Química.es. 2022. Disolvente. [online] Available at: <<https://www.quimica.es/enciclopedia/Disolvente.html>> [Accessed 7 May 2022].

R Cañadas; 2021: Www-sciencedirect-com.unipamplona.basesdedatosezproxy.com. 2021. Occurrence of common plastic additives and contaminants in mussel samples: Validation of analytical method based on matrix solid-phase dispersion. [online] Available at: <<https://www-sciencedirect-com.unipamplona.basesdedatosezproxy.com/science/article/pii/S0308814621001734#b0010>> [Accessed 11 February 2022].

Raverta., C., 2015. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LAS COCAÍNAS FUMABLES. [online] Gobernación de la Provincia de Buenos Aires. Available at: <[https://www.researchgate.net/publication/329251008\\_Analisis\\_de\\_Caracterizacion\\_Quimica\\_de\\_Cocainas\\_Fumables](https://www.researchgate.net/publication/329251008_Analisis_de_Caracterizacion_Quimica_de_Cocainas_Fumables)> [Accessed 25 May 2022].

Sacristán, M., Díaz, E., Alarcón, B., Córdoba, C. and Legaz, M., 2016. Práctica de laboratorio: optimización en la separación de compuestos semejantes mediante modificación de la fase móvil. [online] Webs.ucm.es. Available at: <<https://webs.ucm.es/info/cvicente/reduca/7.pdf>> [Accessed 24 April 2022].

Sciences, I., 2022. Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC-MS) Information | Thermo Fisher Scientific - UK. [online] Thermofisher.com. Available at: <<https://www.thermofisher.com/co/en/home/industrial/mass-spectrometry/mass-spectrometry-learning-center/gas-chromatography-mass-spectrometry-gc-ms-information.html>> [Accessed 4 June 2020].

SEMANA. 2021. SEMANA. [online] Available at: <<https://www.semana.com/confidenciales/articulo/inedito-avanza-proyecto-que-regula-la-hoja-de-coca/202136/>> [Accessed 14 May 2022].

Serrano Valenciano, M., 2017. *Desarrollo de nuevos métodos de aislamiento y preconcentración para la determinación de 1-hidroxipireno en muestras biológicas*. [online] E-spacio.uned.es. Available at: <<http://e-spacio.uned.es/fez/view/tesisuned:Ciencias-Mserrano>> [Accessed 11 June 2022].

SIMÓ PEIRÓ, J., 2018. MÉTODOS DE EXTRACCIÓN Y DETERMINACIÓN DE PLAGUICIDAS POR CROMATOGRFÍA DE GASES MASAS (GC-MS/MS) EN MUESTRAS DE ORIGEN VEGETAL. [online] E-spacio.uned.es. Available at: <[http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/bibliuned:master-Ciencias-CyTQ-Jsimo/Simo\\_Peiro\\_Jorge\\_TFM.pdf](http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/bibliuned:master-Ciencias-CyTQ-Jsimo/Simo_Peiro_Jorge_TFM.pdf)> [Accessed 3 June 2022].

Śmiełowska, M. and Zabiegała, B., 2019. Matrix solid-phase dispersion (MSPD) as simple and useful sample preparation technique for determination of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in dust.

TALQ;. 2021. 3.6.1 Fundamento de la técnica | Técnicas y operaciones avanzadas en el laboratorio químico (TALQ). [online] Available at: <<https://www.ub.edu/talq/es/node/252>> [Accessed 16 May 2022]

Tiwari, B., 2015. Ultrasound: A clean, green extraction technology.

Torres Valenzuela, L., Serna Jiménez, J., Pinto, V. and Vargas, D., 2021. Evaluación de condiciones de extracción asistida por ultrasonido de compuestos bioactivos de cáscara de pitahaya amarilla. [online] Available at: <<http://repository.lasallista.edu.co:8080/ojs/index.php/rldi/article/view/2292>> [Accessed 2 June 2022].

Trigo, M., 2022. Quimiweb cocaína. [online] Cerezo.pntic.mec.es. Available at: <[http://cerezo.pntic.mec.es/~jgarc247/2\\_bachto/anho\\_internacional\\_quimica/04cocaina.htm](http://cerezo.pntic.mec.es/~jgarc247/2_bachto/anho_internacional_quimica/04cocaina.htm)> [Accessed 10 May 2022].

UC Davis, 2020. Polar Protic and Aprotic Solvents. [online] Chemistry LibreTexts. Available at: <[https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Organic\\_Chemistry/Supplemental\\_Modules\\_\(Organic\\_Chemistry\)/Fundamentals/Intermolecular\\_Forces/Polar\\_Protic\\_and\\_Aprotic\\_Solvents](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Organic_Chemistry/Supplemental_Modules_(Organic_Chemistry)/Fundamentals/Intermolecular_Forces/Polar_Protic_and_Aprotic_Solvents)> [Accessed 1 June 2022].

VALDERRAMA SANZ, S., 2019. [online] Getsmartaboutdrugs.gov. Available at: <[https://www.getsmartaboutdrugs.gov/sites/getsmartaboutdrugs.com/files/publications/DEA\\_Drugs%20of%20Abuse%202020\\_Web%20Version%20508\\_SPANISH\\_Final\\_508.pdf](https://www.getsmartaboutdrugs.gov/sites/getsmartaboutdrugs.com/files/publications/DEA_Drugs%20of%20Abuse%202020_Web%20Version%20508_SPANISH_Final_508.pdf)> [Accessed 1 June 2022].