

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y MEDIO AMBIENTE
REY BALDUINO DE BÉLGICA - SEDE CONCEPCIÓN



**EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD DE EXTRACCIÓN DE NICOTINA A
PARTIR DE COLILLAS DE CIGARRILLOS**

Trabajo de Título para optar al Título de Ingeniero de Ejecución en Gestión y Control
Ambiental.

Paulette Antonia Ulloa Vera

Profesor Guía:

Dr. Daniel Moena

Profesional Correferente:

Dr. Wilson Cardona

2023

*"El corazón de la ingeniería ambiental late con el compromiso de preservar y restaurar
nuestro hogar, la Tierra."*

ÍNDICE

RESUMEN.....	7
ABSTRACT	8
SIGLA Y SIMBOLOGÍA	9
SIGLA.....	9
SIMBOLOGÍA (<i>De acuerdo con lo estipulado por el Sistema Internacional de Unidades [SI]</i>).....	10
INTRODUCCIÓN	11
OBJETIVO GENERAL	12
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
CAPÍTULO 1: CONTEXTUALIZACIÓN DE LA EXTRACCIÓN DE NICOTINA....	13
1.1 CIGARRILLOS.....	14
1.1.1 Compuestos y sustancias contaminantes en los cigarrillos	14
1.2 COLILLAS.....	18
1.2.1 Filtro.....	18
1.3 IMPACTOS AMBIENTALES.....	19
1.3.1 Contaminación	19
1.4 IMPACTO EN PLAYAS	22
1.5 IMPACTO SOCIAL Y ECONÓMICO	23
1.6 ESTUDIOS DE TOXICIDAD DE CIGARRILLOS	24
1.6.1 Estudio de toxicidad de las colillas de cigarrillos para los peces marinos y de agua dulce.....	24
1.6.2 Estudio de toxicidad en el medio acuático: estudio de caso de la región del Golfo Pérsico.....	24
1.7 CONSUMO DE TABACO EN CHILE.....	26

1.8	EFFECTOS A LA SALUD DE LAS PERSONAS.....	26
1.9	NORMATIVA Y LEYES.....	27
1.9.1	Ley 21413	27
1.9.2	Campañas	28
1.9.3	Normativa internacional.....	29
1.10	SUBPRODUCTOS DE COLILLAS DE CIGARRILLOS	29
1.11	¿POR QUÉ EXTRAER NICOTINA?.....	31
1.11.1	Usos de la nicotina	32
1.11.2	Valor de la nicotina.....	34
CAPÍTULO 2: ADAPTACIÓN DE UN MÉTODO DE EXTRACCIÓN DE NICOTINA		36
2.1	INSTRUMENTOS DE LABORATORIO UTILIZADOS PARA LA EXTRACCIÓN DE NICOTINA	37
2.1.1	SOXHLET	37
2.1.2	Rotavapor	38
2.1.3	Campana de extracción de gases.....	38
2.1.4	Espectrofotómetro	39
2.2	REACTIVOS	39
2.2.1	Diclorometano.....	39
2.2.2	Hidróxido de Amonio (NH ₄ OH)	39
2.2.3	Ácido Clorhídrico (HCl)	40
2.3	METODOLOGÍA DE EXTRACCIÓN	40
2.3.1	Selección de la muestra.....	42
2.3.2	Extracción de la muestra	43
2.3.3	Análisis de espectrofotometría	46

2.4 RESULTADOS	47
2.5 PROYECCIONES	48
2.6 DISCUSIÓN	50
CONCLUSIONES	53
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Sustancias químicas presentes en los cigarrillos [6].....	15
Figura 2: Estructura química de la Nicotina	16
Figura 3: Pez Saltarín del Fango Walton (Periophthalmus Waltoni)	25
Figura 4: Representación esquematizada del estudio de caso de la región del Golfo Pérsico [22].	25
Figura 5: Residuo de colillas previamente tratado y uno de sus subproductos finales ...	30
Figura 6: Plástico fabricado por empresa chilena a partir de colillas de cigarrillos	31
Figura 7: Equipo de extracción Soxhlet.....	37
Figura 8: Colillas recolectadas desde el suelo en una instalación universitaria.....	41
Figura 9: Proceso de selección de colillas.....	42
Figura 10: Colillas de cigarrillos listas para extracción	43
Figura 11: Muestra obtenida por método Soxhlet.....	44
Figura 12: Proceso de separación de fases.....	44
Figura 13: Inicio de separación de fases luego de añadir NH ₄ OH.....	45
Figura 14: Fase 3 obtenida luego de la separación de fases.....	45
Figura 15: Espectrofotómetro utilizado para las mediciones	46
Figura 16: Tabla de LO y ABS.....	48
Figura 17: Gráfico del Espectro de absorción de la muestra analizada	48

Figura 18: Colillero	49
----------------------------	----

RESUMEN

Las colillas de cigarrillos pueden albergar hasta 7000 sustancias diferentes, muchas de las cuales son perjudiciales al liberarse en el medio ambiente. Entre estos compuestos se encuentra la nicotina ($C_{10}H_{14}N_2$), considerada como una de las más tóxicas. Dados sus múltiples usos tanto medicinales, de recreación y como pesticida, existe un interés en estudiar esta sustancia. A nivel global, el tabaco representa uno de los principales problemas, generando este molesto residuo que, a pesar de parecer inofensivo, tiene un impacto ambiental significativo.

Con el fin de aprovechar la nicotina y retirarla del medio ambiente, este estudio busca poder emplear un método para la extracción de nicotina, usando como solvente diclorometano. La sustancia obtenida se sometió a análisis mediante espectrofotometría UV, revelando un pico de absorbancia en el rango de longitudes de onda entre 230 y 260 nm. Además, se evaluaron aspectos físicos, como el olor y el color, para lograr tener un porcentaje alto de certeza de que lo que se logró extraer es nicotina.

Se proyecta también, que para en un futuro se pueda estudiar la posibilidad de emplear este método para una extracción que se pueda sustentar en un laboratorio y así poder aprovechar los usos de la nicotina.

ABSTRACT

Cigarettes butts can contain up to 7000 different substances, many of which are harmful upon release into the environment. Among these compounds is nicotine, considered one of the most toxic. Given its multiple uses, both medicinal, recreational and as a pesticide, there is an interest in studying this substance. Globally, tobacco poses one of the major issues, generating this annoying residue that, despite seeming harmless, has a significant environmental impact.

In order to take advantage of nicotine and remove it from the environment, this study seeks to use a method for the extraction of nicotine, using dichloromethane as a solvent. The substance obtained was subjected to analysis by UV spectrophotometry, revealing an absorbance peak in the wavelength range between 230 and 260 nm. In addition, physical aspects, such as smell and color, were evaluated to achieve a high percentage of certainty that what was extracted was nicotine.

It is also projected that in the future the possibility of using this method can be studied for an extraction that can be sustained in a laboratory and thus be able to take advantage of the uses of nicotine.

SIGLA Y SIMBOLOGÍA

SIGLA

PAH : Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos

TSNA : Nitrosaminas Específicas del Tabaco

LC50 : Dosis Letal 50

OMS : Organización Mundial de Salud

US EPA : Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos

UV : Ultravioleta

CCF : Colillas de Cigarrillos Fumadas

ACV : Accidente Cerebrovascular

UTM : Unidad Tributaria Mensual

REP : Responsabilidad Extendida al Productor

NRT : Terapia de Reemplazo de Nicotina

PUD : Enfermedad de Ulcera Péptica

ERGE : Enfermedad por Reflujo Gastroesofágico

CLP : Peso Chileno

LO : Longitud de Onda

ABS : Absorbancia

DCM : Diclorometano

SIMBOLOGÍA *(De acuerdo con lo estipulado por el Sistema Internacional de Unidades [SI])*

nm : Nanómetro

° : Grado

C : Celsius

g : Gramo

€ : Euro

mg : Miligramo

L : Litro

Kg : Kilogramo

INTRODUCCIÓN

El consumo de cigarrillos ha sido una preocupación de salud pública y ambiental durante décadas debido a sus impactos negativos a la salud de las personas [1]. Además de los riesgos asociados al hábito de fumar, las colillas de cigarrillos representan un grave problema de contaminación ambiental ya que millones de ellas son arrojadas al medio ambiente, contaminando suelos, cuerpos de agua y espacios urbanos.

La urgente necesidad de abordar este problema ha impulsado la búsqueda de soluciones innovadoras que no sólo reduzcan la contaminación, sino que también puedan aprovechar componentes del tabaco de manera responsable. De esto surge la propuesta de extraer la nicotina presente en las colillas para su posterior uso y aprovechamiento.

La nicotina, es un compuesto alcaloide presente en el tabaco, es conocida por su potencial adictivo, pero también tiene aplicaciones en campos como la investigación científica y terapia de reemplazo de nicotina para ayudar a personas a dejar de fumar [7].

Es por esto que en este trabajo se propone explorar la adaptación y desarrollo de un proceso de extracción de nicotina a partir de colillas de cigarrillos recolectadas en el medio ambiente. Este proceso no solo aborda la gestión de residuos, sino que también podría abrir la puerta a la obtención de un compuesto con potenciales aplicaciones industriales y médicas [1]. En última instancia, se busca contribuir al conocimiento en el campo de la gestión sostenible de residuos y la utilización responsable de recursos, destacando la importancia de explorar soluciones creativas para problemas contemporáneos.

"Cada colilla de cigarrillo es una oportunidad para redefinir nuestra relación con el medio ambiente. Esta investigación no solo busca extraer nicotina, sino también fomentar un paradigma de cuidado ambiental que trascienda los límites tradicionales."

OBJETIVO GENERAL

- Evaluar la factibilidad de extracción nicotina a partir de un método de extracción química para residuos de cigarrillos (colillas).

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar información de diversos usos que tiene la nicotina, identificando áreas de potencial desarrollo.
- Adaptar un método de extracción química de nicotina a partir de colillas de cigarrillo para su futura utilización.

CAPÍTULO 1: CONTEXTUALIZACIÓN DE LA EXTRACCIÓN DE NICOTINA

1.1 CIGARRILLOS

El cigarrillo es un producto del tabaco de forma cilíndrica que se fabrica con las hojas del tabaco, cortadas y enrolladas en papel. Por lo general, este se fuma y se inhala a los pulmones. Este producto contiene nicotina y otras sustancias perjudiciales a la salud, las cuales pueden provocar cáncer y otras afecciones. [2]

El cigarro se remonta a la época de los mayas que cultivaban tabaco con fines médicos en el año 2500 a.C. También lo inhalaban y fumaban. Durante la Era de los Descubrimientos, grandes exploradores como Cristóbal Colón, que descubrió el tabaco en 1492 en una pequeña isla de las Antillas Menores frente a las costas de Venezuela, lo importaron a Europa. La traducción española pasó a ser "tabaco", mientras que los portugueses lo denominaban "tabago". [3]

El tabaco es una planta, la cual se cultivan sus hojas para luego secar y fermentar, y así, usar en varios productos. Su nombre científico "*Nicotinia Tabacum*", compuesto principalmente por Nicotina, un psicoactivo muy adictivo y plaguicida vegetal [4]. Las hojas de tabaco se han utilizado hace aproximadamente 8 mil años en lo que ahora es el continente americano, es nativo de Sudamérica y cultivado en áreas tropicales y subtropicales. Se ha utilizado con fines medicinales y en productos para el tratamiento de problemas de la piel. [5]

1.1.1 Compuestos y sustancias contaminantes en los cigarrillos

En 1992, la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos clasificó el humo del tabaco ambiental como uno de los agentes cancerígenos más peligrosos en humanos, un carcinógeno del Grupo A. El humo del tabaco se compone de más de 4.000 compuestos químicos y aproximadamente 60 carcinógenos conocidos. La mitad de estos compuestos

se encuentran naturalmente en la hoja verde del tabaco, donde el resto se genera cuando se quema el tabaco. La compleja mezcla de sustancias químicas del humo del tabaco incluye monóxido de carbono, cianuro de hidrógeno, benceno, formaldehído, nicotina, fenol, hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH) y nitrosaminas específicas del tabaco (TSNA). Cabe señalar que sólo es visible la fase de partículas, aproximadamente el 5% de la producción total del cigarrillo.

Estas son algunas de las sustancias químicas que se encuentran en el humo del cigarro: acetona, ácido acético, amoníaco, arsénico, benceno, butano, cadmio, monóxido de carbono, formaldehído, hexamina, plomo, metanol, nicotina, alquitrán y tolueno [6].



Figura 1: Sustancias químicas presentes en los cigarrillos [6].

1.1.1.1. *Nicotina Tabacum L*

Uno de los principales compuestos, y de interés a estudiar es la nicotina. La nicotina aparece como un líquido de incoloro a amarillo claro. Es un combustible y puede ser tóxico por inhalación y si hay contacto con la piel. Este produce óxido de nitrógeno a partir de su combustión.

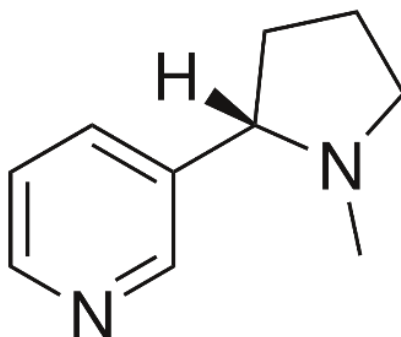


Figura 2: Estructura química de la Nicotina

La nicotina se obtiene de las hojas de tabaco molidas con una mezcla de cloruro de bario y además de cloroformo con tolueno en una proporción de 1:9. Es el alcaloide principal en productos del tabaco. Ejerce dos efectos, un efecto estimulante ejercido en *el locus ceruleus* y un efecto de recompensa en el sistema límbico [7].

Los síntomas de una sobredosis incluyen náuseas, dolor abdominal, vómitos, diarrea, diaforesis, enrojecimiento, mareos, alteraciones de la audición y la visión, confusión, debilidad, palpitaciones, alteración de la respiración e hipotensión. LD50= 24 mg/kg (por vía oral en ratones) [8].

1.1.1.2. Efectos farmacológicos

Cuando seres humanos, mamíferos y la mayoría de otros animales se exponen a la nicotina, experimentan cambios en su frecuencia cardíaca, la cantidad de oxígeno que el músculo cardíaco consume y el volumen de los latidos cardíacos. Estos cambios son conocidos como efectos farmacológicos [9].

1.1.1.2. Efectos psicodinámicos

El consumo de nicotina afecta principalmente al sistema nervioso, y más específicamente al sistema nervioso central. La nicotina es un estimulante que cruza fácilmente la barrera hematoencefálica, lo que significa que tiene un impacto directo en el cerebro.

Uno de los efectos que causa el consumo de la nicotina es el mayor estado de alerta, euforia, sensación de placer y relajación [9].

1.1.1.4. Adicción

Fisiológicamente se ha demostrado que la nicotina genera un fenómeno conocido como tolerancia. Esto significa que después de varias horas de consumir una cantidad significativa de nicotina, el efecto de la sustancia disminuye. En respuesta, los fumadores tienden a aumentar la dosis para lograr nuevamente una acumulación de nicotina en el cuerpo que les resulte satisfactoria [10].

Los síntomas de abstinencia pueden incluir: antojos, sensación de vacío, mal humor, depresión, irritabilidad.

1.2 COLILLAS

La colilla es la parte de un cigarrillo que queda cuando alguien termina de fumar, son pequeñas y suelen pasar desapercibidas, pero se esconden en casi todas partes. Al contrario de lo que muchos creen, las colillas de cigarrillo son peligrosas para el medio ambiente. Están hechos de acetato de celulosa, un material plástico artificial, y contienen cientos de sustancias químicas tóxicas. Si bien los filtros de los cigarrillos, o la parte plástica de las colillas, pueden tardar hasta 25 años en degradarse por completo, las sustancias químicas que liberan pueden permanecer en el medio ambiente durante muchos más años, más allá de la vida útil de la propia colilla [7].

1.2.1 Filtro

La función principal del filtro de cigarrillo es atrapar las sustancias químicas perjudiciales presentes en el cigarrillo, protegiendo así la salud. Sin embargo, esta retención hace que el filtro, una vez utilizado, contenga componentes altamente contaminantes, convirtiéndolo en un residuo peligroso. Además, el filtro también cumple la función de enfriar el humo para facilitar su inhalación.

La eficacia de los filtros de cigarrillos en la retención de sustancias peligrosas puede variar según la marca y el diseño del filtro. Algunos estudios han demostrado que ciertos compuestos, como el alquitrán y la nicotina, pueden ser retenidos en cierta medida, pero no eliminados por completo. Los filtros de cigarrillos se han diseñado para retener partículas sólidas y algunos compuestos químicos, pero no eliminan completamente los riesgos asociados con el tabaco. Aunque los filtros pueden reducir la cantidad de algunas sustancias que llegan al fumador, también pueden generar subproductos tóxicos durante la combustión del tabaco.

Aproximadamente entre el 80% y el 97% de los filtros fabricados globalmente están compuestos de acetato de celulosa. Este material es un polímero sintético que se obtiene al tratar celulosa natural de la madera o el algodón con ácido acético, dióxido de titanio y triacetato de glicerina mediante un proceso industrial. Durante este proceso, se incorporan las características clásicas de un filtro de cigarrillo al acetato de celulosa [7].

1.3 IMPACTOS AMBIENTALES

Una de las mayores causas de basura en el mundo son las colillas de cigarrillos, además de que contienen hasta 7000 sustancias tóxicas concentradas en los filtros, pueden tardar hasta 25 años en degradarse [11]. Debido a la mala disposición de los residuos de cigarrillos, se plantea una gran problemática medioambiental a la hora de hablar acerca de los impactos que las colillas generan.

Se estima que los fumadores desechan entre 4.5 y 5.6 billones de colillas de cigarrillos al año en el mundo, lo que equivale a unos 18.000 millones de colillas por día aproximadamente. Representan también el primer residuo arrojado en vía pública según Environmental Research and Public Health [12].

1.3.1 Contaminación

La Organización Mundial de la Salud (OMS) compartió información actualizada sobre cómo el tabaco afecta tanto al medio ambiente como a la salud humana. Además, insta a implementar medidas que responsabilicen a la industria tabacalera por los daños ambientales y de salud que está generando [13].

1.3.1.1. Suelo

Actualmente las colillas de cigarrillo son el tipo de basura más abundante en la vía pública, aproximadamente el 75% de las colillas son abandonadas en el entorno.

Hay factores que dan lugar al proceso de degradación, como por ejemplo los rayos del sol, la presencia de microorganismos o la lluvia. Cuando las colillas se degradan en un medio terrestre, las sustancias que se liberan pueden provocar pérdida de fertilidad en las superficies y volverlas impermeables. Además, la presencia de este residuo en el suelo incrementa la concentración de nicotina y metales pesados, modificando su composición original y afectando a la flora y fauna.

Un dato significativo es que anualmente la industria tabaquera utiliza 200.000 hectáreas de tierra [14].

1.3.1.2. Agua

Durante la fabricación del tabaco y posteriores cigarrillos se utilizan muchos productos químicos, cuyo de estos se encuentran en los cigarrillos para su consumo, estos pueden contener pesticidas, herbicidas, insecticidas y rodenticidas. Además, hay que mencionar que estos cigarrillos pueden contener más de 4000 sustancias químicas tóxicas que pueden traspasar al medio ambiente. Hay estudios en donde demuestra que el lixiviado del cigarrillo y filtros ahumados son extremadamente tóxicas para el medio acuático.

Un dato significativo es que anualmente la industria tabaquera utiliza 22.000 millones de agua [15].

1.3.1.3. Aire

La industria tabaquera contribuye en un gran porcentaje al calentamiento global, liberando anualmente 80 millones de toneladas de dióxido de carbono (CO₂) al medio ambiente, la equivalencia de conducir 17 millones de automóviles a gasolina cada 1 año.

Las colillas de cigarro emanan contaminantes tóxicos en forma gaseosa a la atmósfera. Dependiendo de la volatilidad del compuesto, algunos pueden ser retenidos por el filtro. Cabe mencionar que el arsénico y el cobalto, fueron declarados por la Administración de alimentos y medicamentos de los Estados Unidos como potencialmente dañino para la salud [16].

1.3.1.4. Microplástico

La contaminación por el microplástico es un tema que cada día es más preocupante para el área científica. Estas son partículas de tamaño menor a 5 mm que se desprenden del plástico. Las colillas de cigarros aportan en microplásticos por las microfibras que desprenden por la envoltura de acetato de celulosa, son uno de los microplásticos más comunes en el medio ambiente, además mencionar que las colillas de cigarro son uno de los elementos más recolectados en las limpiezas de playa.

En un estudio recientemente publicado [17], con el objetivo de evaluar la tasa de desprendimiento de microplástico de las colillas a través del desprendimiento de microfibras, en la cual el resultado final de los filtros usados desprendía aproximadamente <0,2 mm por día, una estimación aproximada de 0,3 millones de toneladas de microfibras potenciales podría llegar anualmente al ambiente acuático.

1.4 IMPACTO EN PLAYAS

Los microplásticos contienen una mezcla de productos químicos añadidos durante su fabricación que pueden filtrarse en el ambiente. Estas partículas además absorben eficazmente sustancias tóxicas presentes en el medio marino como los contaminantes orgánicos persistentes.

Las colillas de cigarro representan una importante fuente de contaminación en las playas y áreas costeras. A primera vista, estas pequeñas piezas pueden parecer inofensivas, pero en realidad contienen una mezcla de sustancias químicas perjudiciales que se liberan en el agua y el suelo a medida que se desintegran. Los filtros de los cigarrillos, fabricados con fibras plásticas, pueden perdurar en el medio ambiente durante un largo periodo, contribuyendo a la acumulación de microplásticos y causando daño a la vida marina. A medida que las colillas se descomponen, liberan sustancias químicas que empeoran la situación. Esto no solo afectan al medio ambiente, sino que también representa un riesgo para la fauna marina, ya que podrían confundir las colillas con alimentos, lo que daña su salud y afecta al ecosistema en general. Este problema se ve agravado por la dificultad que enfrentan los servicios de limpieza para mantener las playas libres de colillas.

Las colillas son difíciles de recoger manualmente debido a su pequeño tamaño y dispersión. Además, las máquinas de limpieza convencionales a menudo no son efectivas para eliminar estos diminutos desechos. La malla de estas máquinas, diseñadas para no extraer materiales naturales, tiene un tamaño similar a la de las colillas, lo que resulta en que estas vuelvan a depositarse en las playas [18].

Según los estudios, se ha observado que más de 220 especies diferentes ingieren desechos microplásticos en condiciones naturales. Excluyendo a aves, tortugas y mamíferos, el 55% de ellos son especies que tienen importancia comercial, tales como los mejillones, las ostras, las almejas, el camarón pardo, la cigala, las anchoas, las sardinas, los arenques del

Atlántico, el estornino del Atlántico, las macarelas, las bacaladillas, el bacalao atlántico, la carpa común y la corvinita amarilla, entre otros [19].

1.5 IMPACTO SOCIAL Y ECONÓMICO

El consumo de cigarrillos, además de tener un impacto ambiental, también tiene un impacto significativo tanto en el ámbito social como en el económico, afectando de diversas maneras a la sociedad [20].

En cuanto al impacto social, se consideran problemas a la salud pública, debido a enfermedades a largo plazo que se van formando, esta incluye cardiovasculares, cáncer, diabetes y enfermedades respiratorias crónicas. Estas causan la muerte de más de 1 millón de personas en América del Sur al año, lo que contribuye a un gran aumento en la inversión económica para la salud. También el impacto sobre los altos costos asociados al tratamiento de las enfermedades que están relacionadas con el cigarrillo y la presión que se ejerce en los sistemas de salud. La reducción de la calidad de vida de las personas y la estigmatización social que puede afectar las relaciones entre las personas en área laboral y personal a medida que aumenta la conciencia sobre los riesgos para la salud asociados al consumo de cigarrillos.

Con respecto al impacto económico, el empobrecimiento de las familias, debido a la mala administración de dinero convirtiendo en una primera necesidad el tabaco.

1.6 ESTUDIOS DE TOXICIDAD DE CIGARRILLOS

Los estudios de toxicidad son investigaciones diseñadas para estudiar y/o evaluar grados de toxicidad de sustancias químicas o contaminantes. El objetivo principal es determinar la toxicidad aguda o crónica de un contaminante de interés.

1.6.1 Estudio de toxicidad de las colillas de cigarrillos para los peces marinos y de agua dulce

En un estudio sobre la determinación de la toxicidad de colillas de cigarrillo en un medio acuático, se utilizó un bioensayo con peces de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, donde se analizó la toxicidad del lixiviado de colillas de cigarrillos.

Se utilizó un total de 20 peces, de las especies *Pimephales promelas* (agua dulce) y *Atherinops affinis* (agua salada). Para generar el lixiviado se utilizó la relación 1 colillas en 1 litro de agua, en las cuales se sumergieron las colillas durante 24 horas. El criterio de valorización evaluado para medir la concentración letal LC50, fue la mortalidad, dando como resultado un 50%. Esto se traduce a que el lixiviado de colillas de cigarrillo es altamente toxico para los peces de agua dulce y salada [21].

1.6.2 Estudio de toxicidad en el medio acuático: estudio de caso de la región del Golfo Pérsico

En un estudio reciente, se abordó la determinación de la toxicidad relacionada con el contenido químico de los lixiviados provenientes de colillas de cigarrillos. Este examen se enfocó en evaluar los efectos tóxicos in vivo de diversas concentraciones de lixiviados

de colillas de cigarrillos en peces juveniles, utilizando como bioindicadores al pez Saltarín del Fango de Walton (*Periophthalmus Waltoni*). El diseño del estudio siguió los protocolos de toxicidad aguda establecidos por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA).

Los resultados revelaron los valores de CL50 para los lixiviados de colillas de cigarrillos fumados (CCF), que fueron de 3,75, 3,0, 1,94 y 1,37 CCF/L, en intervalos de exposición de 24, 48, 72 y 96 horas, respectivamente. Estos valores proporcionan información crucial sobre la concentración letal para el 50% de los peces expuestos en diferentes períodos, ofreciendo una visión detallada de los efectos tóxicos a lo largo del tiempo y respetando los estándares de evaluación de la toxicidad establecidos por las autoridades ambientales [22].



Figura 3: Pez Saltarín del Fango Walton (*Periophthalmus Waltoni*)

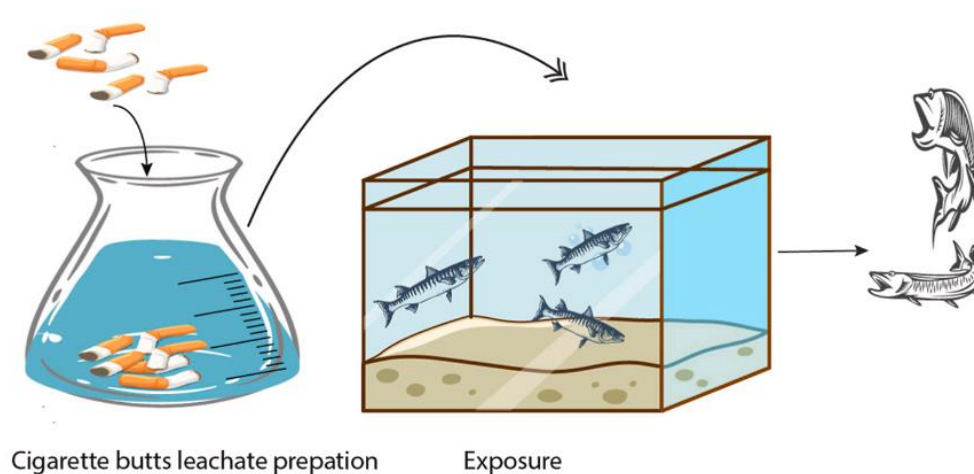


Figura 4: Representación esquematizada del estudio de caso de la región del Golfo Pérsico [22].

1.7 CONSUMO DE TABACO EN CHILE

En Chile, el tabaquismo ocasiona la muerte de 52 personas diariamente, y alrededor del 16% de los fallecimientos en el país se pueden vincular directamente al consumo de tabaco. Anualmente, el tabaco provoca enfermedades en una cantidad considerable de personas, afectando a más de 62,000 individuos con enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), a más de 31,000 con enfermedades cardíacas, a más de 12,000 con Accidente Cerebrovascular (ACV), y a más de 8,500 con cáncer. Estas cifras subrayan la magnitud de los impactos negativos del tabaquismo en la salud pública chilena [23].

1.8 EFECTOS A LA SALUD DE LAS PERSONAS

Fumar aumenta significativamente el riesgo de padecer enfermedades del corazón, como ataques al corazón, accidentes cerebrovasculares, afecciones vasculares y aneurismas. Estas enfermedades cardiovasculares constituyen el 40% de todas las muertes relacionadas con el tabaquismo. La práctica de fumar conduce a la enfermedad coronaria, que es la principal causa de mortalidad en los Estados Unidos. Además, está asociada con otros trastornos graves de la salud, como enfermedades reumáticas, inflamación y debilitamiento del sistema inmunológico.

El acto de fumar no solo tiene consecuencias directas para quienes lo practican, sino que también afecta a quienes están a su alrededor. Las colillas de cigarro, que son residuos comunes del tabaquismo, representan un problema ambiental grave. Estas colillas a

menudo son arrojadas al suelo y terminan contaminando fuentes de agua y entornos naturales. Los filtros de los cigarrillos están diseñados para retener algunas de las sustancias tóxicas presentes en el humo del tabaco, pero al hacerlo, se convierten en portadores de estos químicos peligrosos.

Cuando las colillas llegan a ríos, lagos u océanos, liberan sustancias como nicotina, alquitrán y metales pesados, lo que contamina el agua y pone en peligro la vida acuática. Los peces y otros animales acuáticos pueden ingerir estas colillas, lo que puede tener efectos adversos en su salud y en la cadena alimentaria.

Además, en ambientes terrestres, las colillas arrojadas al suelo pueden liberar productos químicos que contaminan el suelo y afectan la salud de las plantas y animales que lo habitan. También representan un riesgo para niños y mascotas que podrían recogerlas y ponerse en contacto con las sustancias nocivas que contienen.

En resumen, el hábito de fumar tiene un impacto negativo tanto en la salud de las personas como en el medio ambiente, a través de la generación de colillas y la liberación de sustancias tóxicas en los entornos naturales. [24]

1.9 NORMATIVA Y LEYES

1.9.1 Ley 21413

Esta ley modifica la ley 19.419, para lograr el objetivo señalado, esta agrega la prohibición de fumar en playas de mar, río o lago, en una distancia de 80 metros. Además, establece que en los lugares donde está prohibido fumar a excepción al aire libre como por ejemplo aeropuertos, escuelas, teatros, entre otros. Deberán colocar ceniceros para evitar que los

filtros sean arrojados en la vía pública. El ente fiscalizador en playas para dar cumplimiento a la normativa es la autoridad marítima en el caso de playas y ríos [25]. Además, modifica el valor de multa de 2 unidades tributarias mensuales (UTM) a 1 a 4 UTM. Finalmente, para todo aquel individuo que ensucie, arroje o abandone basura en índole de playa, ríos, lagos, parques nacionales, reservas nacionales, monumentos naturales o en otras áreas de conservación de la biodiversidad, establece una pena que obliga a la prestación de servicios comunitarios que consiste en la limpieza de playa, ríos o lagos, debiendo haber consentimiento por parte del sujeto, en caso de no haber consentimiento deberá pagar una multa de 1 a 4 UTM.

1.9.2 Campañas

El Ministerio de Medio Ambiente ha tenido que hacer intervenciones de campañas para evitar el residuo de las colillas de cigarros en playas, ríos y vía pública, con el fin de evitar los impactos ambientales que estas tienen en el medio ambiente.

En el año 2019 con la ministra Schmidt se promulgó la campaña #ChaoColillas enfocada en las colillas arrojadas en playas y ríos.

En esta campaña se refuerza la actualización a la Ley enfocada en el consumo y residuo del tabaco, en la cual se prohíbe fumar en playas, ríos o lagos; se prohíbe botar colillas de cigarro en vía pública; quien bote colillas de cigarro en lugares no autorizados corren el riesgo de multa de 1 a 4 UTM y en los establecimientos académicos, aeropuertos, cafetería y entre otros en donde se puede fumar, estos deben establecer lugares para depositar la colilla de cigarro [26].

1.9.3 Normativa internacional

La Ley de fomento al Reciclaje de la responsabilidad extendida al productor (REP) es una norma internacional en el cual cuentan 36 países, el objetivo de esta ley es obligar a las empresas productoras (fabricantes e importadoras) a hacerse cargo de los productos prioritarios a hacerse cargo una vez finalizada su vida útil. Además, esta ley fomenta a los productores a considerar costos para el manejo de sus productos cuando se vuelven en residuos.

En Argentina adoptaron las siguientes medidas para las colillas de cigarro en el marco de la ley REP. Tras dos años del trabajo de la campaña ‘Ojo con la colilla’ consiguió que en el 2022 el consenso de legisladores presentar el proyecto de ley de presupuestos mínimos, con el objetivo de obligar a las tabacaleras a hacerse cargo de la gestión integral de sus residuos por la ley REP [27].

1.10 SUBPRODUCTOS DE COLILLAS DE CIGARRILLOS

El reciclaje de las colillas de cigarrillo implica un gran desafío debido a la complejidad de las sustancias y materiales involucradas. Sin embargo, a medida que se han estudiado posibles soluciones e iniciativas tecnológicas para abordar la gestión de este residuo, se han presentado interesantes propuestas.

Se ha llevado a cabo la creación de un abrigo innovador a partir de la inspiración de Julien Paque, un estudiante de ingeniería civil. La idea surgió cuando Julien observó una colilla de cigarrillo tirada en el suelo y notó que el material de la colilla tenía propiedades aislantes. En una primera etapa, desarrolló un proceso para separar la ceniza, el tabaco y el papel que envuelve la colilla, combinándolos posteriormente en una licuadora. La fibra

resultante de este proceso fue sometida a un análisis en laboratorio para asegurar que su uso no representara riesgos para la salud.

Una vez confirmado que el material era seguro, Julien Paque utilizó la fibra recuperada como aislante para confeccionar un abrigo de invierno. Este abrigo, diseñado completamente con materiales sostenibles, incorporó la asombrosa cantidad de 3,500 colillas de cigarrillos recicladas. Este proyecto destaca la creatividad y el enfoque hacia la sostenibilidad, convirtiendo un residuo cotidiano en una solución innovadora y respetuosa con el medio ambiente [28].



Figura 5: Residuo de colillas previamente tratado y uno de sus subproductos finales

En Chile existe una empresa, en la cual esta se encarga de realizar la economía circular a través de la recolección de colillas de cigarrillos, ellos se encargan de extraer el acetato de celulosa de este residuo para posteriormente confeccionar maceteros, porta vasos, productos decorativos, entre otros. El plástico que se logra fabricar a través de este proceso es el Celion (figura 6) [29].



Figura 6: Plástico fabricado por empresa chilena a partir de colillas de cigarrillos

1.11 ¿POR QUÉ EXTRAER NICOTINA?

Es importante retirar las colillas de cigarrillos del medio ambiente porque estas colillas contienen materiales tóxicos, como restos de tabaco y filtros de plástico. Al ser arrojadas al entorno, las colillas pueden contaminar el agua, dañar la vida marina, contribuir a la acumulación de microplásticos y representar un riesgo para la salud humana. Además, la eliminación adecuada de las colillas ayuda a prevenir incendios forestales y promueve entornos más limpios y sostenibles.

Extraer la nicotina de las colillas no solo sería beneficioso para el medio ambiente, sino que también podría agregar valor al proporcionar oportunidades de reutilización.

1.11.1 Usos de la nicotina

La nicotina es un compuesto orgánico alcaloide que se encuentra en las hojas de tabaco de forma natural. Es la sustancia química que se encuentra en los cigarros, lo que hace característica esta sustancia es la adicción. Sus principales usos son como droga recreativa, tratamiento para la adicción al tabaco y como pesticida. [30]

La nicotina se utiliza para ayudar a tratar la adicción o la dependencia de fumar cigarrillos. Dejar de fumar abruptamente puede provocar que la persona experimente efectos graves llamados síntomas de abstinencia.

Esta forma de tratamiento se llama terapia de reemplazo de nicotina (NRT). Los productos NRT contienen menos nicotina que los cigarrillos y no contienen muchas sustancias químicas nocivas que normalmente se encuentran en los cigarrillos.

También, en el medio ambiente, la nicotina protege a las plantas de tabaco de los herbívoros. La nicotina ha sido utilizada como pesticida durante siglos, aunque su uso ha disminuido drásticamente debido a sus riesgos. En 2014, la Agencia de Protección Ambiental prohibió la venta comercial de pesticidas de nicotina en los Estados Unidos [31].

Uno de los usos que se le da a la nicotina fue en 1789 en la localidad de Australia con el objetivo de proteger la industria agrícola, este era un control de insectos [32].

Según un estudio de la base de datos de la Revista Internacional de Ingeniería Química se realizó un ensayo con la nicotina de los desechos de colillas de cigarro en la especie pulgones de la col, este se caracteriza por estar en el repollo. El propósito de la investigación es caracterizar y mejorar la recuperación de nicotina a partir de los desechos de cigarros [33].

El uso de nicotina conlleva diversos riesgos para la salud y puede ocasionar efectos secundarios perjudiciales. Algunos de estos riesgos incluyen: El desarrollo de enfisema, un tipo de enfermedad pulmonar obstructiva crónica, en los fumadores. También es

potencialmente cancerígeno. El uso crónico de nicotina está relacionado con el cáncer de pulmón, gastrointestinal, de páncreas y de mama [34].

El consumo de nicotina está asociado con la enfermedad de úlcera péptica (PUD) y la enfermedad por reflujo gastroesofágico (ERGE). Además, aumenta el riesgo de hipertensión y enfermedades cardiovasculares. Durante el embarazo aumenta las probabilidades de tener complicaciones y otros resultados graves como abortos espontáneos y muerte del feto [34].

Los niños expuestos a la nicotina en el útero están más predispuestos a sufrir problemas de salud a lo largo de su vida. Estos problemas de salud afectan sus sistemas endocrino, reproductivo, neurológico, respiratorio y cardiovascular [34].

Algunos de los efectos secundarios del uso de nicotina son:

- Dolor de estómago
- Diarrea
- Náuseas
- Vómitos
- dolores de cabeza
- Dolor de espalda
- Mareo
- Aumento del ritmo cardíaco
- Nerviosismo

Aunque aún no hay investigaciones definitivas, algunos estudios sugieren que la nicotina podría tener ciertos beneficios para la salud cuando se consume a largo plazo [35]. Estos beneficios pueden ayudar con las dolencias y síntomas a enfermedades tales como Alzheimer, síndrome de Tourette, Parkinson, colitis ulcerosa, apnea del sueño y también estudios afirman que el uso de la nicotina puede ayudar a la pérdida de peso [36].

1.11.2 Valor de la nicotina

No se le puede poner un valor exacto a la nicotina, debido a que es extraída únicamente de las hojas de tabaco, sin embargo, existen patrones de laboratorio de nicotina donde se puede estimar el valor comercial que tiene esta sustancia.

(-)-Nicotine for synthesis. CAS 54-11-5, pH 10.2 (8.1 g/l, H₂O, 20 °C) en Merck tiene un valor de 83.100CLP, el frasco de 100 ml.

Nicotina, SPEX CertiPrep™ en Fisher Scientific tiene un valor de 87.95€ / 1 ml en un frasco de 2 ml.

La diferencia en los valores evidencia que el precio de la nicotina como sustancia en sí tiene grandes diferencias, por lo cual complica darle un valor aproximado. Esto va de la mano con la pureza y las concentraciones que tienen los patrones antes mencionados. [37]

La rentabilidad de la extracción de nicotina se deriva de su versatilidad de aplicaciones, así como en su capacidad para abordar problemas ambientales, haciendo de este proceso una opción potencialmente lucrativa y sostenible. Además, podría resultar rentable por varias razones e industrias donde se aplicaría:

- **Industria Farmacéutica:** La nicotina se utiliza en la producción de medicamentos para dejar de fumar, como parches y chicles de nicotina. La demanda de estos productos podría generar un mercado estable.
- **Industria Agrícola:** La nicotina puede ser utilizada como insecticida natural. Los agricultores podrían estar interesados en adquirirla como una alternativa más ecológica a los insecticidas químicos.
- **Investigación Científica:** La nicotina es un componente clave en estudios y experimentos relacionados con la neurociencia y otras disciplinas científicas. Los investigadores podrían requerir cantidades considerables de nicotina purificada.
- **Potencial de Innovación:** La búsqueda de métodos más eficientes y sostenibles para extraer nicotina podría resultar en procesos más rentables y, por ende, mayor interés del mercado.

Es fundamental comparar estos posibles beneficios con los costos asociados con la extracción en laboratorios, que incluyen los gastos de equipo, materiales y mano de obra. Además, la sostenibilidad y el impacto ambiental de los métodos de extracción deben ser considerados para evaluar completamente la rentabilidad.

CAPÍTULO 2: ADAPTACIÓN DE UN MÉTODO DE EXTRACCIÓN DE NICOTINA

2.1 INSTRUMENTOS DE LABORATORIO UTILIZADOS PARA LA EXTRACCIÓN DE NICOTINA

2.1.1 SOXHLET

El Soxhlet es un instrumento de laboratorio diseñado para extraer sustancias que tienen baja capacidad de disolución en el solvente de extracción. En el extractor Soxhlet, la muestra se sumerge en un solvente caliente que se extrae periódicamente, se destila y se devuelve a la muestra. En cada ciclo, una parte del compuesto que no se evapora se disuelve en el solvente. Después de varios ciclos, el compuesto que queremos obtener se concentra en el matraz de destilación. El solvente del matraz se evapora y se mide la cantidad de la sustancia restante [38].



Figura 7: Equipo de extracción Soxhlet

2.1.2 Rotavapor

Un rotavapor, también conocido como evaporador rotatorio, es un dispositivo de laboratorio utilizado para evaporar y recuperar solventes de una muestra. Consiste en un matraz alargado que se coloca en un baño de agua caliente o en un baño de aceite. La muestra se coloca en el matraz y se hace girar lentamente mientras se aplica un vacío parcial. Esto permite que el solvente se evapore a una temperatura más baja que su punto de ebullición normal.

El vapor generado se condensa en un condensador, donde se convierte de nuevo en líquido y se recoge en un recipiente separado. Esto facilita la recuperación del solvente, que puede ser reutilizado en futuras extracciones o procesos [39].

2.1.3 Campana de extracción de gases

Una campana de extracción de gases, también conocida como campana de humos o campana de ventilación, es un dispositivo de seguridad utilizado en laboratorios y entornos industriales para contener y evacuar los vapores, gases y partículas que pueden ser perjudiciales para la salud o que podrían representar un riesgo para el medio ambiente.

El objetivo principal de la campana de extracción de gases es proporcionar un ambiente de trabajo seguro y controlado, minimizando la exposición del personal a sustancias peligrosas y reduciendo el riesgo de contaminación ambiental. Es una herramienta esencial en entornos donde se realizan experimentos químicos o procesos que liberan gases nocivos.

En este caso fue esencial para disminuir el fuerte olor a cigarrillo que emanaba el experimento [40].

2.1.4 Espectrofotómetro

La espectrofotometría es un método para la medición de la luz con las sustancias químicas. La luz se puede reflejar, transmitir, dispersar o absorber, la interacción de medición con la sustancia química se ve un trabajo en conjunto, ya que la sustancia puede emitir luz. Este instrumento es utilizado en la mayoría de los laboratorios para saber la concentración de las sustancias, estas son arrojadas a través de ensayos de dilución de la misma sustancia con cubetas de plásticos o cuarzo [41].

2.2 REACTIVOS

2.2.1 Diclorometano

El Cloruro de Metileno o también conocido como Diclorometano (CH_2Cl_2), es un líquido incoloro, utilizado como solvente industrial. Se evapora fácilmente, principalmente al aire y una vez en el ambiente es degradado por el sol u otros químicos presentes. Se emplea en laboratorios como un solvente para realizar extracciones, y también se usa como una sustancia de referencia en el análisis de espectros de absorción [42].

2.2.2 Hidróxido de Amonio (NH_4OH)

El Hidróxido de Amonio o Amoniac líquido es una solución básica, tóxica y volátil, el cual se utiliza como agente de limpieza, o como base en análisis de laboratorio [43].

2.2.3 Ácido Clorhídrico (HCl)

El ácido clorhídrico o también llamado ácido muriático es una disolución acuosa del gas cloruro de hidrógeno. Se utiliza en laboratorios como reactivo químico y es un ácido fuerte de pH menor a 1 [44].

2.3 METODOLOGÍA DE EXTRACCIÓN

La meta principal es sacar del entorno estos residuos perjudiciales y evaluar un posible aprovechamiento de los químicos atrapados en las colillas. Para lograrlo, se recogieron colillas que estaban destinadas a ser desechadas en la basura común. Estas colillas fueron seleccionadas y se les retiró el papel, de manera que quedara únicamente el acetato de celulosa con los posibles productos químicos que pudieran haber quedado en ellas. Como es mostrado en la imagen, se recolectó y seleccionó una buena cantidad de colillas, las cuales evidenciaban que su abandono había sido reciente.



Figura 8: Colillas recolectadas desde el suelo en una instalación universitaria

El proceso de selección se llevó a cabo con los resguardos necesarios debido a su fuerte olor y posible contaminación. Se utilizó guantes, mascarillas y delantales. Todo esto bajo campana, para así evitar lo más posible captar olores tóxicos.



Figura 9: Proceso de selección de colillas

2.3.1 Selección de la muestra

Se tomó una muestra de 32 unidades (5g aproximadamente) de colillas de cigarrillos, al que se le quitó el papel previamente al pesaje.



Figura 10: Colillas de cigarrillos listas para extracción

2.3.2 Extracción de la muestra

Se empleó un equipo Soxhlet con Diclorometano como solvente. Después de cuatro ciclos de extracción, la muestra resultante se sometió a un proceso de evaporación en un rotavapor para eliminar el solvente (figura 11). Posteriormente, se añadió ácido clorhídrico concentrado para facilitar la separación entre la fase acuosa y la fase lipídica, descartando esta última. La fase acuosa se transfirió a un embudo de decantación para llevar a cabo la separación de fases (figura 12 y 13), obteniendo así dos fases distintas (fase 1 y fase 2). Después de este procedimiento, se añade diclorometano a la fase 1, resultando en una mezcla que se ajusta a un pH de 9 mediante la adición de NH_4OH . Luego, se deja reposar para obtener nuevamente dos fases (fase 3 y fase 4). Este último procedimiento se repitió 3 veces para asegurar la extracción de las sales de nicotina que pudieron quedar en la fase 4.

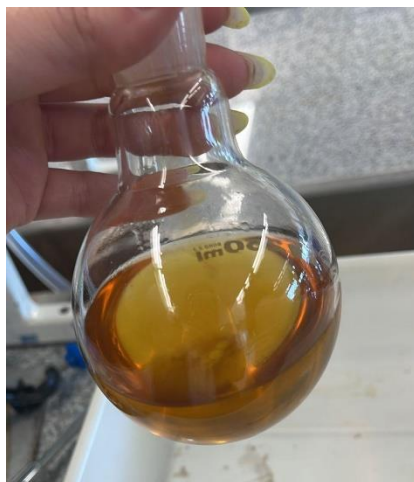


Figura 11: Muestra obtenida por método Soxhlet



Figura 12: Proceso de separación de fases

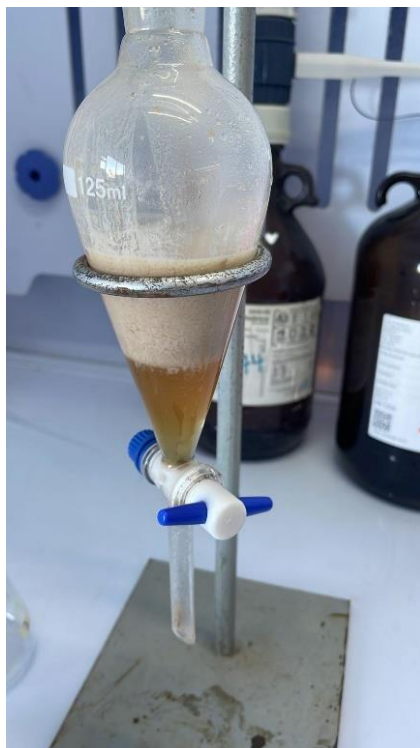


Figura 13: Inicio de separación de fases luego de añadir NH_4OH

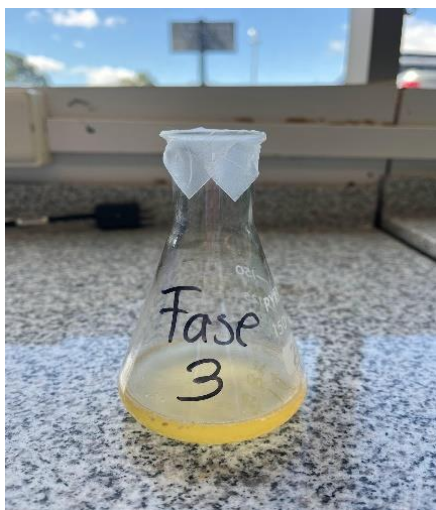


Figura 14: Fase 3 obtenida luego de la separación de fases

2.3.3 Análisis de espectrofotometría

Para comenzar con el análisis en espectrofotómetro fue necesario diluir en diclorometano la muestra extraída. Esta disolución se llevó a cabo con el objetivo de obtener una disolución que sea adecuada para la absorción en el espectrofotómetro y cumpla con la ley de Lambert-Beer.

Las longitudes de onda en las cuales se midió la muestra fueron de: 200nm, 230nm, 260nm, 290nm, 350nm y 400nm.



Figura 15: Espectrofotómetro utilizado para las mediciones

2.4 RESULTADOS

Al analizar exhaustivamente el proceso de adaptación y desarrollo de un método de extracción química, es esencial considerar una serie de factores que se van haciendo evidentes a medida que el proceso avanza.

Entre las observaciones hechas durante el proceso, se menciona la importancia de cubrir el dedal de extracción Soxhlet ya que al momento de que el sistema esté a punto de realizar una descarga, las colillas corren el riesgo de salir a flote.

Los resultados obtenidos revelan patrones interesantes que arrojan luz sobre la eficacia de los métodos utilizados y las potenciales aplicaciones de este proceso.

Respecto al rendimiento, se dice que a partir de una masa pequeña de colillas se puede obtener una sustancia bastante concentrada de químicos, la cual se refleja en el análisis de espectrofotometría.

De la muestra extraída se obtuvo una masa de 0,117 g, de la cual se tomaron 0,31 g para diluir en un matraz de 50 ml y analizar en el espectrofotómetro. La concentración de esta muestra fue de 0,62 mg/ml. Fue necesaria la preparación de diversas disoluciones previas, ya que, en varias instancias, la muestra destinada al análisis en el espectrofotómetro presentaba concentraciones excesivas, impidiendo la obtención de resultados concluyentes.

En los resultados arrojados en las mediciones hechas por el espectrofotómetro se evidencia un pico de absorbancia en 230 nm (figura 17).

LO(nm)	ABS
200	0,038
230	0,276
260	0,147
290	0,086
350	0,025
400	0,008

Figura 16: Tabla de LO y ABS



Figura 17: Gráfico del Espectro de absorción de la muestra analizada

2.5 PROYECCIONES

Dentro de las proyecciones hacia la gestión de colillas de cigarrillos, se destaca que una colilla, con un peso aproximado de 0,156 g, se convierte en un factor significativo a nivel global. Se estima que alrededor del 70%, equivalente a 15 mil millones de las colillas

consumidas al año a nivel mundial, son descartadas de manera inapropiada en el medio ambiente [44]. En Chile, la situación es semejante, ya que es común hallar residuos de cigarrillos en lugares públicos como calles, parques y playas. Sin embargo, se vislumbra la posibilidad de un cambio sustancial en las cifras de contaminación por colillas si se promoviera la concientización y si al menos la mitad de los fumadores optaran por desechar adecuadamente sus residuos. Un cambio pequeño pero impactante se materializa a través de la propuesta de implementar colilleros (figura 18), buscando motivar a los fumadores a descartar sus residuos de manera adecuada. Esta iniciativa no solo ofrece una solución práctica y conveniente, sino que también fomenta una mayor conciencia ambiental, incentivando un comportamiento más responsable entre los fumadores y contribuyendo así a la mejora del entorno público.



Figura 18: Colillero

En relación con las proyecciones sobre la recuperación de nicotina, este método podría demostrar ser rentable, dado el considerable valor que tiene esta sustancia en el mercado. La viabilidad económica de este enfoque dependerá de diversos factores, incluyendo los costos asociados con la extracción y purificación, así como la demanda y los precios en el mercado de la nicotina. Sin embargo, la perspectiva de recuperar un componente de alto valor podría ser un incentivo significativo para la adopción y desarrollo continuo de este método.

Después de un estudio más detenido de la sustancia extraída, se plantea la etapa de purificación y la posterior elaboración de subproductos. Se contempla, por ejemplo, la evaluación de un fungicida o pesticida que pueda tener aplicaciones funcionales para la industria agrícola. La investigación y desarrollo de estos subproductos podrían abrir nuevas perspectivas en la sostenibilidad y utilidad de la extracción de nicotina a partir de colillas de cigarrillos.

2.6 DISCUSIÓN

Dentro de la amplia gama de usos de la nicotina, resulta especialmente relevante destacar sus aplicaciones médicas. La presencia de evidencia que respalda sus beneficios en terapias de reemplazo y posibles tratamientos para trastornos neurológicos no solo suscita interés, sino que también justifica la necesidad continua de estudiar esta sustancia. Es crucial abordar este tema con una perspectiva integral, considerando factores de sostenibilidad y viabilidad práctica, al mismo tiempo que se reconocen las posibles limitaciones y riesgos asociados.

Es importante señalar que, aunque en algunos países se ha prohibido el uso de nicotina como pesticida debido a su toxicidad, pese a esto existe la oportunidad de reevaluar esta

práctica. Buscar formas más amigables con el medio ambiente para utilizar la nicotina implica considerar mejores prácticas y condiciones ambientales. Esta reevaluación podría conducir a la identificación de métodos más seguros y eficientes, contribuyendo así a un uso más responsable de la nicotina en aplicaciones agrícolas y, al mismo tiempo, respetando la salud del medio ambiente.

Al analizar la muestra recopilada previamente y basándonos en los resultados del estudio titulado "Extraction and Determination of Nicotine in Tobacco from Selected Local Cigarette Brands in Iraq" [45], se procedió a comparar el análisis mediante espectrofotometría utilizando cubetas de cuarzo y diclorometano como solvente. Se optó por emplear cubetas de cuarzo debido a que, a diferencia de las cubetas de vidrio, las de cuarzo brindan una mayor precisión en las mediciones en diferentes rangos de espectrofotometría UV, debido a que estas permiten una transmisión de luz más eficiente y precisa, tiene mayor estabilidad térmica y mayor exactitud en mediciones con muestras de baja concentración, además cuentan con una baja absorbancia propia en el rango UV, y en cuanto a la resistencia química, el cuarzo es adecuado para una gran variedad de sustancias químicas. También según el estudio hecho por Wu Yu-Jung, 2010 [46], se sabe que el diclorometano no absorbe en las longitudes de onda de interés.

Se observa un pico de absorbancia entre 230 nm (figura 16). Al contrastar con la investigación llevada a cabo por Wedad H. Al-Dahhan, se nota una disparidad en el pico de absorbancia, ya que su estudio presenta resultados con picos de absorbancia en la longitud de onda de 260 nm. Se especula que esta discrepancia se debe a que la muestra obtenida muestra no es completamente pura y contiene otros compuestos orgánicos no identificados que interfieren en la absorbancia de la muestra de interés, en este caso, la nicotina. Se infiere que alguna de las sustancias que podría estar interfiriendo es benzopireno, un hidrocarburo aromático policíclico (PAH) que está presente en las colillas de cigarrillos fumadas. Este compuesto exhibe una marcada absorbancia en el rango UV-vis a 330 nm [47]. Al contrastar los resultados, se sugiere que este compuesto podría ser el agente interferente identificado.

Si bien fue necesario repetir las mediciones debido a la alta concentración de las muestras, en otras instancias, se repitió el procedimiento con muestras más diluidas y así se logró realizar las mediciones de forma más adecuada. Aunque no se obtuvieron los picos esperados, se lograron resultados más acordes.

Aunque no se cuenta con un estándar de nicotina para cuantificar la concentración en la muestra, se observan características físicas, como el color y el olor, lo cual nos brinda una mayor certeza de que se logró extraer nicotina de la muestra recopilada.

Por otro lado, se nota una evidente toxicidad en la muestra. La exposición prolongada al olor de dicha muestra, sin el uso de implementos de seguridad como mascarillas y sin la presencia de una campana extractora, resultó en la inducción de mareos y dolores de cabeza.

Debido a esto, el tema de la extracción de nicotina ofrece un campo propicio para un estudio más extenso. En el futuro, podría explorarse la posibilidad de recuperar mayores cantidades de nicotina y analizar la fabricación de subproductos, como insecticidas y/o fungicidas. Es crucial y fascinante encontrar aplicaciones útiles para este químico perjudicial y así retirarlo del medio ambiente. Concienciar y educar sobre el significativo impacto que un residuo aparentemente pequeño puede tener en todos los aspectos de nuestro entorno es de suma importancia.

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se ha explorado en detalle los diversos usos de la nicotina, desde sus aplicaciones médicas hasta sus potenciales innovadores en sectores como la agricultura. La importancia de seguir investigando sobre potenciales usos da una motivación para así, poder aportar a la comunidad científica, sacando del medio ambiente esta sustancia que puede llegar a ser tan toxica para el medio ambiente.

Durante la etapa de recolección de colillas, se ha evidenciado la falta de cultura y educación ambiental entre las personas. A pesar de tener un basurero a su alcance, muchas optan por desechar las colillas en el suelo. Esto revela que las personas no están conscientes del daño que ocasiona arrojar colillas de cigarrillos de esta manera. Aunque existen campañas de concientización, se ha constatado que no son suficientes. Es necesario reforzar y ampliar la información sobre los daños y la toxicidad que un componente como la nicotina puede ocasionar en suelos, aguas y espacios urbanos.

La extracción de nicotina, por otro lado, se presenta como un proceso de importancia estratégica, no solo desde el punto de vista de la gestión de residuos y la reducción del impacto ambiental de las colillas de cigarrillos, sino también en la búsqueda de nuevas oportunidades y aplicaciones para esta sustancia. Debido a su toxicidad y los efectos perjudiciales para la salud humana, la nicotina se convierte en el compuesto más crucial a determinar en las colillas de cigarrillos. El objetivo de este trabajo fue extraer la nicotina, evaluar su toxicidad y además mencionar usos potenciales para esta sustancia.

Se implementó un método de extracción que se comparó con otros estudios, utilizándolos como referencia para confirmar la presencia de nicotina en la muestra extraída. La perspectiva de valorizar sustancias tóxicas, como la nicotina, que han sido descartadas, resulta muy interesante y genera interés para potenciar su estudio.

La visión a futuro busca la capacidad de llevar a cabo este proceso en mayor escala y generar un subproducto. Este enfoque no solo contribuiría a eliminar este residuo del

medio ambiente, sino que también permitiría atribuirle un valor económico y utilidad a una sustancia previamente considerada como desecho. Es esencial considerar de manera equilibrada los beneficios potenciales de la nicotina con una minuciosa evaluación de los posibles riesgos. La responsabilidad en la promoción de usos específicos de la nicotina ya sea en aplicaciones médicas o en la industria, deberá ir de la mano con la consideración de los principios éticos y la protección del medio ambiente.

Este trabajo no solo ha mostrado sobre los usos existentes de la nicotina, sino que también destaca la necesidad de continuar explorando nuevas perspectivas y enfoques en la aplicación y extracción de esta sustancia. Finalmente, esta investigación aporta al conocimiento y entendimiento completo de la nicotina, subrayando la importancia de afrontar su presencia en nuestra sociedad con una actitud receptiva y un compromiso hacia prácticas responsables.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CONSUMO DE TABACO, UNA ENFERMEDAD SOCIAL. (2004, septiembre). Revista del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias. Scielo. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-75852004000300007
- [2] Diccionario de Cáncer del NCI. (s. f.). Instituto Nacional del Cáncer. <https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionarios/diccionariocancer/def/cigarrillo>
- [3] A brief history of the cigar. (s. f.) <https://www.thecigar.com/en/content/6-history-of-the-cigar>
- [4] American Lung Association. (s. f.). Nicotine. <https://www.lung.org/quit-smoking/smoking-facts/health-effects/nicotine>
- [5] Cigarrillos y otros productos con tabaco – DrugFacts | National Institute on Drug Abuse. (2023, 21 septiembre). National Institute on Drug Abuse. <https://nida.nih.gov/es/publicaciones/drugfacts/cigarrillos-y-otros-productos-con-tabaco>
- [6] Rubenstein, J. (2020, 23 septiembre). Tiny but deadly: cigarette butts are the most commonly polluted plastic. Earth Day. <https://www.earthday.org/tiny-but-deadly-cigarette-butts-are-the-most-commonly-polluted-plastic/>
- [7] INFORME GENERAL SOBRE COLILLAS DE CIGARRILLO: Impacto, Normativa y Gestión. (2022, 12 julio). Eco House Global. <https://colillasdecigarrillo.org/wp-content/uploads/2022/07/Informe-General-sobre-Colillas-de-Cigarrillo-2021>
OjoConLaColilla-Eco-House-Global.pdf
- [8] De Salud, D. (2017, 19 mayo). ¿Sabía que cuando fuma su organismo recibe veneno para ratas? Diario de Salud. <https://www.diariodesalud.com.do/texto-diario/mostrar/739277/sabia> cuando-fuma-organismo-recibe-veneno-ratas
- [9] Felman, A. (2021, 11 enero). Todo lo que debes saber acerca de la nicotina. <https://www.medicalnewstoday.com/articles/es/nicotina#efectos>

- [10] Teixeira Do Carmo, J., Andrés-Pueyo, A., & Álvarez López, E. (2005, julio). La evolución del concepto de tabaquismo. <https://www.scielo.br/j/csp/a/t8f6fpVrnT6tHr48HrthkCn/?format=pdf&lang=es>
- [11] Tabaco y medio ambiente. (2021, 28 junio). Argentina.gob.ar. [https://www.argentina.gob.ar/salud/consumo-de-tabaco/medio-ambiente#:~:text=Las%20colillas%20de%20cigarrillos%20\(que,como%20r%C3%ADos%2C%20lagos%20y%20mares.](https://www.argentina.gob.ar/salud/consumo-de-tabaco/medio-ambiente#:~:text=Las%20colillas%20de%20cigarrillos%20(que,como%20r%C3%ADos%2C%20lagos%20y%20mares.)
- [12] International Journal of Environmental Research and Public Health. (s. f.). <https://www.mdpi.com/journal/ijerph>
- [13] La OMS alerta sobre el impacto ambiental de la industria tabacalera. (s/f). Who.int. <https://www.who.int/es/news/item/31-05-2022-who-raises-alarm-on-tobacco-industry-environmental-impact>
- [14] Slaughter, E., Gersberg, R. M., Watanabe, K., Rudolph, J., Stransky, C., & Novotny, T.E. (s. f.). Toxicity of cigarette butts, and their chemical components, to marine and freshwaterfish. Tobacco Control. <https://doi.org/10.1136/tc.2010.040170>
- [15] Slaughter, E., Gersberg, R. M., Watanabe, K., Rudolph, J., Stransky, C., & Novotny, T.E. (2011b). Toxicity of cigarette butts, and their chemical components, to marine and freshwater fish. Tobacco Control, 20(Supplement 1), i25-i29. <https://doi.org/10.1136/tc.2010.040170>
- [16] Tobacco, N. (2022, 29 mayo). Tobacco: poisoning our planet. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240051287>
- [17] Belzagui, F., Buscio, V., Gutiérrez-Bouzán, C., & Vilaseca, M. (2021). Cigarette butts as a microfiber source with a microplastic level of concern. Science of The Total Environment, 762, 144165. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144165>
- [18] Recicla, S. J. (2023, 5 septiembre). ¿Qué impacto ambiental suponen las colillas en las playas? Descubre la campaña “Playas sin Colillas” - Sant. Sant Josep Recicla. <https://www.santjoseprecicla.org/impacto-ambiental-colillas-playas/#:~:text=A%20medida%20que%20se%20descomponen%2C%20los%20productos%20qu%C3%ADmicos%20se%20liberan,y%20el%20ecosistema%20en%20general.>

- [19] Greenpeace. (s. f.). ¿Cómo llega el plástico a los océanos? | Greenpeace España. Greenpeace España. <https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/consumismo/plasticos/como-llega-el-plastico-a-los-oceanos-y-que-sucede-entonces/>
- [20] Sesión 1 - El impacto económico y social del tabaquismo. (s. f.). OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud. <https://www.paho.org/es/eventos/sesion-1-impacto-economico-social-tabaquismo>
- [21] Toxicity of cigarette butts, and their chemical components, to marine and freshwater fish. (2011). National Library of Medicine. Recuperado 20 de mayo de 2011, de [https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3088407/#:~:text=Leachate%20from%smoked%20cigarette%20butts%20\(SCB\)%20\(smoked%20filter%20%2B,was%20obtained%20for%20both%20species.](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3088407/#:~:text=Leachate%20from%smoked%20cigarette%20butts%20(SCB)%20(smoked%20filter%20%2B,was%20obtained%20for%20both%20species.)
- [22] Soleimani, F., Dobaradaran, S., Vazirizadeh, A., Mohebbi, G., Ramavandi, B., De-La-Torre, G. E., Nabipour, I., Schmidt, T., Novotny, T. E., Maryamabadi, A., & Kordrostami, Z. (2023). Chemical contents and toxicity of cigarette butts leachates in aquatic environment: a case study from the Persian Gulf region. *Chemosphere*, 311, 137049. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137049>
- [23] American Lung Association. (s. f.). Nicotine. <https://www.lung.org/quit-smoking/smoking-facts/health-effects/nicotine>
- [24] Chile presenta nuevas advertencias sanitarias para productos de tabaco. (s. f.). OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud. <https://www.paho.org/es/noticias/22-2-2022-chile-presenta-nuevas-advertencias-sanitarias-para-productos-tabaco>
- [25] Del Congreso Nacional, B. (s. f.). Biblioteca del Congreso Nacional. www.bcn.cl/leychile. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1171984>
- [26] Campaña. (2019). Chao colillas. Recuperado 31 de mayo de 2023, de <https://chaocolillas.mma.gob.cl/>
- [27] Pozzi, S. (2023, 31 mayo). Responsabilidad extendida del productor: ¿De qué se trata el proyecto de ley que intenta implementarla con las. Carbono News. <https://www.carbono.news/economia/responsabilidad-extendida-del-productor-de-que-se-trata-el-proyecto-de-ley-que-intenta-implementarla-con-las-colillas-de-cigarrillo/>

- [28] Cdt. (s. f.). TchaoMegot: la empresa de un joven francés que transforma colillas de cigarrillos en aislante para la construcción. <https://www.cdt.cl/tchaomegot-la-empresa-de-un-joven-frances-que-transforma-colillas-de-cigarrillos-en-aislante-para-la-construccion/>
- [29] IMEKO. (2023, 24 noviembre). Celion - IMEKO. <https://imeko.cl/celion/>
- [30] Ajiboye, T. (2023, 17 junio). What is nicotine? Verywell Health. <https://www.verywellhealth.com/what-is-nicotine-5075412>
- [31] Nicotine; Product cancellation order. (2009, 3 junio). Federal Register. <https://www.federalregister.gov/documents/2009/06/03/E9-12561/nicotine-product-cancellation-order>
- [32] The Royal Australian Chemical Institute Inc. (2015, 24 septiembre). Nicotine as an insecticide in Australia: A Short history. Chemistry in Australia magazine. <https://chemaust.raci.org.au/article/october-2015/nicotine-insecticide-australia-short-history.html#:~:text=The%20exposure%20of%20pests%20to,different%20affinity%20for%20the%20alkaloid>.
- [33] Gudeta, B., Solomon, K. N. S., & Myneni, V. R. (2021). Bioinsecticide production from cigarette wastes. International Journal of Chemical Engineering, 2021, 1-15. <https://doi.org/10.1155/2021/4888946>
- [34] Holbrook, B. D. (2016). The effects of nicotine on human fetal development. Birth Defects Research, 108(2), 181-192. <https://doi.org/10.1002/bdrc.21128>
- [35] Harvard Health. (2020, 24 febrero). Puffing away sadness. <https://www.health.harvard.edu/blog/puffing-away-sadness-2020022418913>
- [36] Lakhan, S. E., & Kirchgessner, A. L. (2011). Anti-inflammatory effects of nicotine in obesity and ulcerative colitis. Journal of Translational Medicine, 9(1). <https://doi.org/10.1186/1479-5876-9-129>
- [37] Nicotina, SPEX CertiPrep | Fisher Scientific. (s. f.). <https://www.fishersci.es/shop/products/nicotine-spex-certiprep/15136914>
- [38] Tecnilab. (2022, 3 mayo). Funcionalidades y ventajas del extractor Soxhlet | TECNILAB. Tecnilab. <https://www.tecnilab.es/soxhlet-automatico/>
- [39] - Evaporador rotativo x concentrador de muestras: Entienda las diferencias. (s. f.). - Evaporador rotativo x concentrador de muestras: entienda las diferencias. https://tecna.com.br/es/blog/274_evaporador_rotativo_x_concentrador_de_muestras_en

tienda_las_diferencias#:~:text=Tambi%C3%A9n%20conocido%20como%20rotaevaporador%2C%20el,diferentes%20sustancias%2C%20principalmente%20disolventes%20vo%C3%A1tiles.

[40] Campanas de extracción de humo para tu laboratorio. (s. f.). <https://www.blog.metalinspec.com.mx/post/campanas-de-extraccion-de-humo-para-tu-laboratorio#:~:text=Una%20campana%20de%20gases%2C%20tambi%C3%A9n,%2C%20humos%2C%20vapores%20o%20polvos.>

[41] Gaertner, A. A., Yoon, H. W., & Germer, T. A. (2014). Dispersive methods. En *Experimental Methods in The Physical Sciences*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-386022-4.00003-0>

[42] Resumen de Salud Pública: Cloruro de metileno (Methylene chloride) | PHS | ATSDR. (s. f.). https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs14.html#:~:text=El%20cloruro%20de%20metileno%2C%20conocido,industrial%20y%20para%20remover%20pintura.

[43] HIDRÓXIDO DE AMONIO – Grupo español IIC. (s. f.-b). <https://www.ge-iic.com/fichas-tecnicas/tratamientos/hidroxido-de-amonio/>

[44] Vivanco Font, E. (2019, septiembre). Contaminación por Colillas de Cigarrillos. Biblioteca de Congreso Nacional de Chile BCN. https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/27752/1/Contaminacion_por_colillas_de_cigarrillos_2019.pdf

[45] Al-Dahhan, W. H. (2021). Extraction and Determination of Nicotine in Tobacco from Selected Local Cigarettes Brands in Iraq. *Letters in Applied NanoBioScience*, 11. <https://nanobioletters.com/>

[46] Yu-Jong, W. (2010). PHOTOLYSIS OF ETHYNE IN SOLID NEON AND SYNTHESIS OF LONG-CHAIN CARBON CLUSTERS WITH VACUUM-ULTRAVIOLET LIGHT. *The Astrophysical Journal*, 857. <https://Reseachgate.net/publication/231084815>

[47] Lipa Mamani, L. (2016). *Monitoreo de benzo[a]pireno por HPLC en productos cárnicos ahumados de la ciudad de Arequipa, 2016*. Repositorio de tesis UCSM.

<https://repositorio.ucsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12920/5501/93.1342.MG.pdf?sequence=1&isAllowed=y>