



SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**IDENTIFICACIÓN DE BISFENOL-A (BPA) MEDIANTE ESPECTROSCOPIA
INFRARROJA (IR) Y VISIBLE, EN AGUA ENVASADA EN BOTELLAS PLÁSTICAS
COMERCIALIZADAS EN LA CIUDAD DE CUENCA-ECUADOR**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniero Ambiental

AUTORES: PABLO DANIEL TACURI TENECOTA

SANDRA BETZABE VÁZQUEZ MINCHALA

TUTOR: ING. JORGE BRAULIO AMAYA PINOS, Ph.D.

Cuenca - Ecuador

2025

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Pablo Daniel Tacuri Tenecota con documento de identificación N° 0106540594 y Sandra Betzabe Vázquez Minchala o con documento de identificación N° 0302766951 manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 14 de julio de 2025

Atentamente,



Pablo Daniel Tacuri Tenecota

0106540594



Sandra Betzabe Vázquez Minchala

0302766951

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Pablo Daniel Tacuri Tenecota con documento de identificación N° 0106540594 y Sandra Betzabe Vázquez Minchala con documento de identificación N° 0302766951, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Trabajo experimental: “Identificación de bisfenol-a (BPA) mediante espectroscopía infrarroja (IR) y visible, en agua envasada en botellas plásticas comercializadas en la ciudad de Cuenca-Ecuador”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Ambiental, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 14 de julio de 2025

Atentamente,



Pablo Daniel Tacuri Tenecota

0106540594



Sandra Betzabe Vázquez Minchala

0302766951

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Jorge Braulio Amaya Pinos con documento de identificación N° 0103444923, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: IDENTIFICACIÓN DE BISFENOL-A (BPA) MEDIANTE ESPECTROSCOPIA INFRARROJA (IR) Y VISIBLE, EN AGUA ENVASADA EN BOTELLAS PLÁSTICAS COMERCIALIZADAS EN LA CIUDAD DE CUENCA-ECUADOR, realizado Pablo Daniel Tacuri Tenecota con documento de identificación N° 0106540594 y por Sandra Betzabe Vázquez Minchala con documento de identificación N° 0302766951, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajo experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 14 de julio de 2025

Atentamente,



Ing. Jorge Braulio Amaya Pinos, Ph.D.

0103444923

Dedicatoria

En agradecimiento especial a mis Padres y a cada una de las personas que hicieron posible el haber llegado hasta este momento, a mis hermanos, sobrinos, amigos, profesores, familiares y de manera muy especial a “LUZ” y “P.J.”. Cada uno con su aporte, brindaron de manera incondicional el apoyo necesario para cumplir todos los objetivos planteados dentro de mi vida profesional.

Pablo Daniel Tacuri Tencota

Dedicatoria

Quiero dedicar este trabajo a mis padres, por su amor incondicional, su ejemplo y cada uno de los sacrificios que hicieron para verme cumplir este sueño. Su apoyo ha sido el motor que me ha impulsado en cada paso. A mis hermanos Carlos, Martha y Doménica, por su apoyo constante, sus palabras de aliento y por hacer más llevadero este camino, por estar siempre a mi lado con su cariño y paciencia.

A mis tíos Marcelo, Remigio y Fernando, por su constante presencia, por confiar en mí y por ser una parte fundamental de mi crecimiento personal y profesional.

A mí Alfredo en especial, cuya frase que tantas veces escuche me dio fuerzas cuando más las necesitaba.

A mis abuelitos, por sus valores, su amor y su ejemplo. Y en especial, a mi abuelito, que ya no está conmigo, pero que siempre me dijo que sería una excelente ingeniera. Hoy, cumplo esa promesa con todo mi corazón.

A mi mejor amigo, hermano y colega, Pablo Daniel, por compartir este camino conmigo, por su compañerismo, amistad y sobre todo hermandad, su apoyo incondicional y por demostrarme que en la amistad también se construyen los sueños.

Gracias a cada uno de ustedes por creer en mí. Esta tesis es un reflejo del amor, la confianza y el impulso que me han dado.

Sandra Betzabe Vázquez Minchala

1. Resumen

El Bisfenol A (BPA) es un químico orgánico industrial utilizado ampliamente para la fabricación de distintos tipos de productos plásticos destinados a estar en contacto con alimentos, este producto ha sido catalogado como un disruptor endocrino por causar alteraciones en el funcionamiento normal de ciertos órganos y tejidos, tanto en humanos como en animales. En base a esta problemática, el propósito del presente estudio fue determinar la presencia de este tóxico en agua embotellada de tipo tereftalato de polietileno (PET), lo cual se llevó a cabo mediante técnicas de espectrofotometría infrarroja (IR) y UV-VIS, que determinaron la calidad del agua en función de este contaminante. Luego de dichos análisis, dentro de los resultados cuantitativos de espectroscopía UV-VIS, se encontraron concentraciones de BPA de hasta 1,08 mg/L, en dos de los 30 lotes muestreados, valores que, al compararlos con la Ingesta Diaria Tolerable (IDT) establecida por normativas internacionales superan los límites permisibles. En la parte cualitativa se encontró un promedio del 33.8% de similitud entre los picos del espectro obtenido de las muestras de agua y del espectro del estándar de BPA, esto debido a la interferencia de los componentes propios del agua y el tóxico disuelto a bajas concentraciones. A razón de estos resultados es importante ahondar en la investigación y metodologías de identificación de contaminantes en el agua, para asegurar la calidad de este tipo de productos contenidos en envases plásticos.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. Resumen	7
2. Introducción	15
3. Problema	16
4. Delimitación	18
5. Objetivos	18
5.1. Objetivo General	19
5.2. Objetivos específicos	19
6. Fundamentación Teórica	19
6.1. Consumo de agua embotellada	19
6.2. Seguridad Alimentaria	20
6.3. Disruptores Endocrinos	20
6.4. Bisfenol A (BPA)	21
6.5. Estudios de Caso	22
6.5.1. Lima	22
6.5.2. Rumania	22
6.5.3. Malasia	23
6.5.4. Canadá	23
6.6. Normativas Internacionales	24
6.6.1. Unión Europea	24
6.6.2. Estados Unidos	24
6.6.3. Canadá	25

6.7.	Normativas Nacionales	25
6.7.1.	Ley Orgánica para la racionalización, reutilización y reducción de plásticos de un solo uso	25
6.7.2.	INEN 2178	26
6.7.3.	INEN 2200	26
7.	Materiales y Métodos	26
7.1.	Elección de las Marcas de Agua	26
7.2.	Cantidad de Marcas a Muestrear	27
7.3.	Muestreo	27
7.3.1.	Aleatoria Simple	28
7.3.2.	Estratificada	28
7.4.	Etiquetado	30
7.5.	Cronograma de muestreo	31
7.6.	Trasporte	31
7.7.	Análisis de Laboratorio	32
7.7.1.	Espectroscopia UV-VIS	32
7.7.2.	Bisfenol A (BPA) Puro	32
7.7.3.	Curva de Calibración	33
7.7.4.	Disoluciones para la construcción de la curva de Calibración	33
7.7.5.	Solución Madre	34
7.7.6.	Gramos del soluto para la solución madre	34
7.7.7.	Cálculo para las disoluciones	35
7.7.8.	Preparación de Soluciones y Diluciones	37
7.7.9.	Preparación para UV-VIS	38
7.7.10.	Lectura UV-VIS de la Diluciones	39

7.7.11.	Espectroscopía Infrarroja (FTIR)	40
7.7.12.	Proceso Pretratamiento	41
7.7.13.	Proceso de Extracción de BPA	42
7.7.14.	Extracción del BPA	44
7.7.15.	Secado del Extracto	45
7.7.16.	Proceso de Postratamiento	47
7.8.	Análisis Cuantitativo en UV-VIS	47
7.8.1.	Equipos y Materiales	47
7.8.2.	Procedimiento	47
7.9.	Análisis Cualitativo en FTIR	48
7.9.1.	Equipos y Materiales	48
7.9.2.	Procedimiento	48
7.10.	Análisis UV-VIS	48
7.11.	Análisis FTIR	49
7.12.	Coefficiente de Correlación de Pearson	49
8.	Resultados	50
8.1.	Pico de Barrido	50
8.2.	Registro de absorbancia y concentración	51
8.3.	Resultados UV-VIS	55
8.4.	Análisis Estadístico de la Gráfica	58
8.5.	Picos Característicos del estándar de Bisfenol A (99.5%) en certificado de análisis.	59
8.6.	Resultados FTIR	60

8.7.	Resultados FTIR pre y postratamiento.	63
8.8.	Comparativa con la normativa Internacional	78
8.9.	Comparativa Cualitativa Porcentual.	80
8.10.	El almacenamiento como Factor que influyen en la liberación del BPA	81
9.	Conclusiones	85
10.	Recomendaciones	87
11.	Bibliografía	88
12.	Anexos	94
12.1.	Muestreo	94
12.2.	Reactivo Estándar de BPA 99.5% de pureza	94
12.3.	Peso de Mg de BPA	95
12.4.	Pipeteo de Disoluciones	95
12.5.	Materiales	95
12.6.	Procedimiento FTIR	96
12.7.	Micro filtración	96
12.8.	Extracción de BPA	96
12.9.	Recolección de la Extracción	97
12.10.	UV-VIS	97
12.11.	Espectros FTIR muestras lotes de muestras de agua por código de Muestra.	98
12.11.1.	Espectros de Agua embotellada después de la extracción de BPA de los 3 Lotes muestreados de la marca D1	98

12.11.2. Espectros de Agua embotellada después de la extracción de BPA de los 3 Lotes muestreados de la marca V1 _____	98
12.11.3. Espectros de agua embotellada después de la extracción de BPA de los tres lotes muestreados de la marca W1 _____	99
12.11.4. Espectros de agua embotellada después de la extracción de BPA de los tres lotes muestreados de la marca T1 _____	100
12.11.5. Espectros de agua embotellada después de la extracción de BPA de los tres lotes muestreados de la marca C1 _____	100
12.11.6. Espectros de agua embotellada después de la extracción de BPA de los tres lotes muestreados de la marca I1 _____	101
12.11.7. Espectros de agua embotellada después de la extracción de BPA de los tres lotes muestreados de la marca S1 _____	102
12.11.8. Espectros de agua embotellada después de la extracción de BPA de los tres lotes muestreados de la marca L1 _____	102
12.11.9. Espectros de agua embotellada después de la extracción de BPA de los tres lotes muestreados de la marca A1 _____	103
12.11.10. Espectros de agua embotellada después de la extracción de BPA de los tres lotes muestreados de la marca G1 _____	104

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características principales de Muestreo _____	29
Tabla 2. Etiquetado de la Muestra _____	30
Tabla 3. Cronograma de Muestreo y total de muestras _____	31
Tabla 4. Certificado de Análisis _____	32
Tabla 5. Concentración y Volumen de diluciones _____	37
Tabla 6. Concentraciones _____	51

Tabla 7. Datos Interpolados _____	54
Tabla 8. Absorbancia de Cada Lote _____	55
Tabla 9. Resultados de UV-VIS _____	57
Tabla 10. Análisis Estadístico _____	58
Tabla 11. Picos Característicos estándar de BPA _____	60
Tabla 12. Picos FTIR experimental _____	62
Tabla 13. Picos D1 _____	63
Tabla 14. Picos V1 _____	65
Tabla 15. Picos W1 _____	66
Tabla 16. Picos T1 _____	68
Tabla 17. Picos C1 _____	69
Tabla 18. Picos I1 _____	71
Tabla 19. Picos S1 _____	72
Tabla 20. Picos L1 _____	74
Tabla 21. Picos A1 _____	76
Tabla 22. Picos G1 _____	77
Tabla 23. Comparativa con normativa Internacional _____	79
Tabla 24. Comparativa % de Similitud de Picos _____	80
Tabla 25. Comparativa de Factores que intervienen en la Liberación de BPA _____	81

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Pico de Barrido _____	51
---	-----------

Gráfica 2. Absorbancia y Concentración	52
Gráfica 3. Curva de Calibración 1	53
Gráfica 4. Curva de Calibración 2	55
Gráfica 5. Concentraciones del Bisfenol A BPA	58
Gráfica 6. Picos de BPA certificado de análisis	59
Gráfica 7. Espectro de BPA puro en FTIR	61
Gráfica 9. Modelo de Dispersión Almacenamiento	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Estructura del Bisfenol A (BPA)	22
Figura 2. Preparación y pipeteo	38
Figura 3. Lectura de UV-VIS	39
Figura 4. Uso del FTIR	41
Figura 5. Uso del Equipo de Microfiltración	43
Figura 6. Uso del Equipo de Decantación	45
Figura 7. Baño María para la Evaporación del Cloroformo	46
Figura 1: Estructura del Bisfenol A (BPA)	61
Figura 8. Ejemplo de modelo de dispersión positiva	82

2. Introducción

El Bisfenol A (BPA) es un componente químico orgánico que se utiliza en una amplia variedad de procesos industriales, para la fabricación de plásticos y resinas epoxi, uno de estos procesos es la producción de envases plásticos destinados a estar en contacto con alimentos, como lo son las botellas utilizadas para envasar agua purificada o mineral, aunque en botellas de tipo PET, se considera que no existe el uso de BPA para su fabricación (Hentges, 2018), es muy posible que el BPA se pueda desprender del envase hacia el contenido alimenticio debido a varios factores, ya sea del sellado de las tapas, o botellas que han sido recicladas varias veces, como también la exposición de estos productos a cambios de temperatura, luz ultravioleta o un largo proceso de almacenamiento (Canada, 2009).

Dada esta situación, nace la preocupación de asegurar la ausencia de este componente en las botellas plásticas que envasan agua, debido a que este químico ha sido catalogado como un disruptor endocrino y puede interferir en el proceso hormonal de cuerpo humano, incluso en muy bajas concentraciones (Pombo, Castro, Barreiro, & Cabanas, 2020), en estas afecciones se incluyen varios trastornos en la salud reproductiva y el potencial aumento de riesgo en enfermedades como el cáncer de mama, ovarios o testículos (Abellan, 2023).

Según varias investigaciones se ha demostrado que el BPA puede filtrarse a los líquidos, especialmente cuando estos se exponen al calor (Alex, 2025), como se puntualiza en un estudio hecho por la Health Canadá donde se menciona que es probable que los productos con niveles más altos de BPA hayan estado expuestos al calor (por ejemplo, al sol) durante el almacenamiento y/o transporte (Canada, 2009).

En cuanto a las regulaciones internacionales, para el control de este tóxico, la unión, europea prohíbe el uso de este componente en productos plásticos que están destinados a estar en contacto con alimentos (Reglamento (UE), 2024), por su parte la administración de alimentos y medicamentos (FDA) menciona que el BPA es seguro en los niveles actuales presentes en los alimentos según su última actualización.

Al día de hoy el acceso al agua potable segura todavía sigue siendo sujeto de debate en lo que a calidad se refiere, es por ello que los consumidores al buscar una opción más cómoda y segura se han inclinado significativamente a la compra de agua embotellada, justificando esta decisión con la percepción de que esta agua es más saludable y tiene mejor sabor que la que se obtiene directamente del grifo, con ello los estudios han determinado que en el mundo se consumen alrededor de un millón de botellas de agua por minuto, por su parte en el Ecuador se estima que cada habitante consume un promedio de 134 botellas pequeñas (500 ml) de agua cada año (Alarcón, 2023b).

Según esta información se ha decidido realizar el análisis espectrofotométrico de muestras de agua embotellada recolectadas del casco urbano dentro de la ciudad de Cuenca – Ecuador, tanto de manera cualitativa como cuantitativa, ya que es necesario observar y comprobar la presencia o no de este tóxico para evitar su posible incidencia en la salud pública, además de concientizar la alta demanda y generación de residuos plásticos en el país y en el mundo.

3. Problema

El uso de BPA en productos plásticos destinados a estar en contacto con alimentos, entre ellos las botellas plásticas, ha desatado bastante preocupación, por tal motivo es que la seguridad alimentaria al momento de ofrecer agua embotellada a los consumidores debe ser una prioridad, dado que al ser parte de la vida cotidiana del ser humano es fundamental contar con los más altos estándares de calidad, y ya que los envases en los que se almacenan estos productos alimenticios son hechos a partir de sustancias tóxicas, es necesario asegurar la integridad del agua mediante estudios que nos permitan determinar la presencia de componentes nocivos para la salud de la población en general.

Varias marcas de agua embotellada comercializan sus productos como “Libres de BPA”, además, se ha establecido que el tereftalato de polietileno (PET) no contienen BPA en su proceso de fabricación (Hentges, 2018), sin embargo, el problema surge debido a otros factores que incluyen los productos para el sellado como tapas, y las condiciones ambientales a las que están expuestos estos envases, por ejemplo, estudios demuestran que la exposición a altas temperaturas o luz ultravioleta, contribuye a la liberación de BPA al contenido alimentario (Alex, 2025).

En un estudio titulado “Release of Bisphenol A From Polycarbonate and Polyethylene Terephthalate Drinking Water Bottles Under Different Storage Conditions and Its Associated Health Risk” (Liberación de Bisfenol A de botellas de agua potable de policarbonato y tereftalato de polietileno bajo diferentes condiciones de almacenamiento y su riesgo para la salud asociado) se logró encontrar evidencia que las concentraciones de BPA fueron más altas en envases PET en comparación a los envases PC, en rangos de concentraciones que variaron entre 11,53ng/L a 269.87 ng/L (nanogramos por litro) (Yun, Ho, Tan, & How, 2018), en esta misma rama de estudio, en Malasia se realizó un estudio en agua embotellada

almacenada en malas condiciones, donde hubo un nivel de concentración significativo en un rango 5 ng/L y 11,3 ng/L (Santhi, Sakai, Ahmad, & Mustafa, 2012).

la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (ESFA) después de una reevaluación bastante estricta, redujera la Ingesta diaria tolerable (IDT), 20.000 veces, a 0,2 nanogramos por kilogramo de peso corporal diario, la IDT más reciente y más estricta en comparación a otros organismos internacionales, decisión que se fundamenta en evidencia científica, que demuestra la afección de este tóxico en el sistema inmunitario incluso a bajos niveles con concentración. Con esto la Unión Europea ha prohibido el uso de BPA en materiales o productos plásticos que vayan a estar en contacto con alimentos (ESFA, 2023).

Una parte importante del problema es la concientización del uso de los plásticos destinados a estar con contacto con cualquier tipo de alimentos, dado que en anteriores investigaciones se advierte de los peligros que existen durante la interacción entre los envases plásticos y el contenido alimenticio, logrando así, una posible reducción del impacto ambiental por generación de residuos plásticos que es importante mencionar.

4. Delimitación

El presente trabajo se realizó dentro del casco urbano de la ciudad de Cuenca, Provincia del Azuay, Ecuador, con los análisis de laboratorio realizados en las instalaciones de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Cuenca, estableciendo marcas y empresas que comercialicen el producto a analizar, sin dar a conocer nombres específicos de dichas empresas o marcas, para mantener un enfoque investigativo.

5. Objetivos

5.1. Objetivo General

Identificar la presencia de Bisfenol-A (BPA) en muestras de agua envasada en botellas plásticas, de marcas importantes que se comercialicen dentro de la ciudad de Cuenca-Ecuador

5.2. Objetivos específicos

- Analizar la concentración de Bisfenol-A (BPA) en muestras de agua embotellada mediante técnicas espectrofotométricas de espectroscopía infrarroja y visible.
- Comparar los niveles de BPA detectados en diferentes marcas de agua embotellada con los límites establecidos por normativas internacionales.
- Identificar los factores que influyen en la liberación de BPA desde los envases plásticos al agua embotellada.

6. Fundamentación Teórica

6.1. Consumo de agua embotellada

Uno de los componentes alimenticios principales dentro de la vida cotidiana del ser humano para mantener una buena salud, es el agua, por lo que es sumamente importante que este líquido vital cumpla los estándares de calidad establecidos por las normativas vigentes de consumo tanto nacionales como internacionales, sin embargo, al día de hoy el acceso al agua potable segura todavía sigue siendo sujeto de debate en lo que a calidad se refiere, es por ello que los consumidores al buscar una opción más cómoda y segura se han inclinado significativamente a la compra de agua embotellada, justificando esta decisión con la percepción de que esta agua es más saludable y tiene mejor sabor que la que se obtiene directamente del grifo, con ello los estudios han determinado que en el mundo se consumen alrededor de un millón de botellas de agua por minuto, por su parte en el Ecuador se estima que cada habitante consume un promedio de 134 botellas pequeñas (500 ml) de agua cada

año, lo que lo ha llevado posicionarse como el consumidor número 30 en el mundo(Alarcón, 2023a).

6.2. Seguridad Alimentaria

Debido a esta gran demanda y por el fácil acceso al agua embotellada dentro del mercado, la seguridad alimentaria que ofrecen los productos conservados dentro de envases plásticos, debe ser parte importante dentro del cuestionamiento de la comunidad científica, por el hecho de conservar la calidad alimenticia, desembocando así en una máxima preocupación dentro de diferentes estudios que advierten de los peligros del uso de los plásticos para envasar alimentos, puesto que según los expertos, los nano plásticos son el tipo de contaminación más preocupante para la salud humana. Esto se debe a que, por su tamaño, algunas partículas plásticas son capaces de invadir los procesos celulares con sustancias químicas que pueden alterar principalmente el sistema endocrino, tales como bisfenoles, ftalatos, retardantes de llama, sustancias per fluoradas y metales pesados (LaMotte, 2024).

6.3. Disruptores Endocrinos

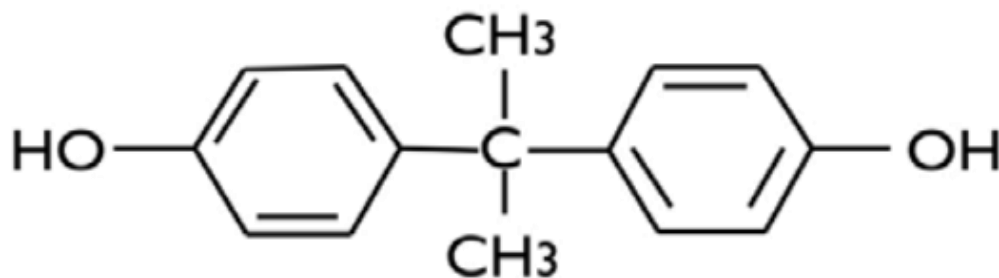
A razón de este antecedente se debe adentrar en el principal problema que surge a causa del uso de plásticos en el almacenamiento de alimentos, ya que debido a la interrelación entre los polímeros o resinas epoxi con el contenido alimentario, es altamente probable que varios tóxicos o sustancias al ser estimulados por varios factores fisicoquímicos se desprendan del envase y se mezclen con el contenido. Algunas de estas sustancias han sido catalogadas como disruptores endocrinos, es por eso que en el estudio “Una revisión sobre los disruptores endocrinos y su posible impacto sobre la salud de los humanos” se puntualiza en que los disruptores endocrinos son compuestos que alteran el funcionamiento normal del sistema

endocrino, tanto de los humanos como de la vida silvestre. En la salud humana, se ha llegado a considerar que hay un deterioro de la salud reproductiva humana, mayor frecuencia de abortos, bajo peso al nacer y malformaciones congénitas, problemas en el desarrollo del sistema nervioso central, problemas de concentración y aprendizaje, alteración de los niveles de hormonas tiroideas, influye en el crecimiento y sobrepeso, trastornos de ansiedad e hiperactividad, efectos sobre la función cardíaca, susceptibilidad al cáncer de mama y próstata (Pombo et al., 2020).

6.4. Bisfenol A (BPA)

A causa de esta problemática y denotando los riesgos que existen en el contenido estructural de los envases plásticos, el enfoque principal de este estudio estará encaminado al Bisfenol A (BPA), un compuesto ligeramente estrogénico que fue sintetizado por primera vez en 1891 por el químico ruso Aleksandr Dianin, el cual conforma una de las sustancias químicas industriales más utilizadas para la fabricación de plásticos de policarbonato y resinas epoxi (García, Gallego, & Font, 2015), este componente brinda algunas de las características principales del plástico como la rigidez y la transparencia. Por parte de la fabricación de policarbonatos, existen recipientes rígidos reutilizables comúnmente utilizados para botellas de agua, biberones, tazas de plástico, garrafones y recipientes de almacenamiento, y por parte de las resinas epoxi, se las utiliza como revestimiento de latas para evitar que el metal entre en contacto directo con los alimentos (Craig, 2025). En la Figura 1 se muestra la composición química del Bisfenol A, esta estructura consiste en dos anillos fenólicos, (anillo bencénico con un grupo OH) unidos (de ahí “bi” y “fenol”) por la parte central a una molécula de propano de forma simétrica, por lo tanto el nombre técnico es, 2,2-bis(4-hidroxi-fenil) propano (Picric, 2014).

Figura 1: Estructura del Bisfenol A (BPA)



Fuente: (García et al., 2015)

6.5. Estudios de Caso

A continuación, se presentan varios estudios internacionales relacionados a la identificación de Bisfenol A (BPA), en botellas de tereftalato de polietileno (PET), estos casos mencionan algunos factores afines a los objetivos del presente estudio, como la migración del BPA hacia el contenido alimentario, el tiempo y condiciones de almacenamiento prolongado al que se encuentran expuestos los envases y la comparación del PET con otro tipo de envases plásticos en función de las concentraciones de BPA, esto con el fin de observar las metodologías utilizadas y la eficiencia de las mismas a la hora de identificar concentraciones de BPA en botellas PET.

6.5.1. Lima

En el año 2017 en Lima, Perú, se buscó determinar BPA dentro del agua contenida en botellas plásticas (PET) expendidas en bodegas y quioscos, el método que se utilizó en esta investigación analítica fue cromatografía líquida de alta eficiencia, sin embargo no se determinó la presencia de este compuesto (Parraguez, 2018).

6.5.2. Rumania

En el año 2023 se realizó un estudio de la migración del BPA a botellas PET en diferentes condiciones de almacenamiento, donde se pudo determinar que en una semana de almacenamiento a 25°C es suficiente para liberar aproximadamente 11,53 ng/L de BPA (Marsolea, Chiriac, Orbeci, Bobirica, & Bobirica, 2023).

6.5.3. Malasia

En malasia se logró evidenciar la existencia de concentraciones mayores de BPA en envases PET en comparación con envases PC (policarbonato), en rangos de concentraciones que variaron entre 11,53ng/L a 269.87 ng/L (Yun et al., 2018), además dentro del mismo país se realizó un estudio en agua embotellada almacenada en malas condiciones, donde hubo un nivel significativo de concentraciones en un rango 5 ng/L y 11,3 ng/L (Santhi et al., 2012).

6.5.4. Canadá

En el año 2008, el Gobierno de Canadá publicó un informe de evaluación que incluye las estrategias de gestión de riesgos y propuestas para reducir la exposición al BPA. Canadá implementó un programa de investigación y monitoreo para profundizar los posibles efectos del BPA en la salud humana y la exposición a esta sustancia química a través de los alimentos. En el programa de investigación y monitoreo se realizó un muestreo de agua embotellada en diferentes tipos de envases plásticos, en varias marcas comercializadas dentro del país, el método que se utilizó fue la micro extracción en fase sólida por dilución de isótopos, donde se detectó BPA tanto por debajo del límite de detección de 0,5 µg/l como por encima del límite llegando hasta los 8,82 µg/l, por lo que se determinó que es probable que los productos con niveles más altos de BPA hayan estado expuestos al calor durante el almacenamiento y/o transporte, sin embargo el gobierno no consideró que la exposición alimentaria al BPA a

través del uso de envases de alimentos represente un riesgo para la salud de la población general (Canada, 2009).

Con estos antecedentes es posible deducir que la migración de BPA al contenido alimentario, en este caso, agua embotellada, se lleva a efecto según las condiciones de estrés a las que están expuestos los envases plásticos y también podría estar relacionado con el grado de contaminación de la materia prima en el proceso de fabricación de las botellas de PET o durante su reciclaje (Marsolea et al., 2023).

6.6. Normativas Internacionales

6.6.1. Unión Europea

Según el REGLAMENTO (UE) 2024/3190 de la **Unión Europea** sobre el uso de Bisfenol A (BPA) en determinados materiales u objetos destinados a entrar en contacto con alimentos, menciona que el BPA puede migrar a los alimentos desde el material con el que están en contacto, es por ello que este organismo dictamina la prohibición del BPA tanto en la fabricación como en la comercialización de productos destinados a estar en contacto con alimentos, además en una drástica decisión dentro del reglamento se dictaminó una Ingesta Diaria Tolerable (IDT) de 0,2 nanogramos por kilogramo (ng/kg) de peso corporal, 20 000 veces inferior a la establecida en 2015.

6.6.2. Estados Unidos

Dentro de los entes reguladores en Estados Unidos en el Caso de la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA), la información y revisión más reciente sobre el BPA y la alimentación, se emite en el año 2014, en su informe se considera que los niveles actuales de BPA a los que están expuestas las personas, no supone un riesgo significativo, por lo que los

expertos en toxicología, química analítica, endocrinología, epidemiología y otros campos revisaron más de 300 estudios científicos donde la FDA determinó que no hay estudios evaluados que justifiquen una revisión de la evaluación de seguridad sobre el BPA en envases de alimentos (Program, 2024). Dentro del mismo País y respaldado por la FDA, el Programa Nacional de Toxicología refuta esta afirmación en su informe hecho en 2018 («CLARITY-BPA Program», s. f.)

6.6.3. Canadá

Uno de los primeros Países en tomar medidas en cuanto al BPA fue Canadá por medio de la entidad Health Canada, en 2010 se prohibió el uso de BPA en biberones declarando al mismo como una sustancia tóxica, a parte, se estableció una IDT 25 μ /L, un valor bastante alto si se compara con lo establecido en la Unión Europea.

6.7. Normativas Nacionales

En Ecuador existe muy poca regulación sobre el BPA sin embargo existe una ley orgánica y las normas que dictaminan los requisitos para envasar agua embotellada mineral y purificada.

6.7.1. Ley Orgánica para la racionalización, reutilización y reducción de plásticos de un solo uso

Dentro del Registro Oficial del Estado Ecuatoriano en diciembre del 2020, se registra “Ley Orgánica para la racionalización, reutilización y reducción de plásticos de un solo uso” la cual tiene el objetivo de establecer un marco legal para regular la generación de residuos plásticos, donde se definió al BPA como “producto químico industrial que se ha utilizado para fabricar ciertos plásticos y resinas” y además de esta definición, en el artículo

12 de dicha ley se prohibió el uso o comercialización de artículos plásticos en todo el territorio nacional que contengan BPA o materiales cuya composición no sea apta para estar en contacto con los alimentos, en los límites permitidos para consumo humano, de acuerdo con las normas internacionales equivalentes (*ley-organica-racionalizacion.pdf*, s. f.).

6.7.2. INEN 2178

Esta norma establece los requisitos que deben cumplir las aguas minerales naturales envasadas, uno de estos requisitos y de los más afines con contaminantes en alimentos, establece que el agua debe garantizar la inocuidad microbiológica original y la composición química en sus constituyentes esenciales, y en cuanto al envase que lo contiene deber estar catalogado como “Material Grado Alimenticio” (INEN, 2025).

6.7.3. INEN 2200

Otra de las normas que se establecen dentro de Ecuador es la INEN 2200, la cual tiene el objeto de establecer los requisitos que debe cumplir el agua purificada envasada, donde se puntualiza que las instalaciones destinadas a la producción y envasado, deben ser apropiadas para excluir toda posibilidad de contaminación y además es material del envase debe estar catalogado como “Material Grado Alimenticio” (INEN, 2025).

7. Materiales y Métodos

7.1. Elección de las Marcas de Agua

La elección de las marcas de agua que fueron sometidas a la identificación de Bisfenol A (BPA), se llevó a cabo gracias a la revisión bibliográfica de estudios e informes de mercado que permitieron conocer cuáles son las empresas clave en la comercialización de agua

embotellada dentro del país; informes de mercado como “Agua Embotellada en Ecuador 2025-2034” hecho por (Claight Corporation, 2025) y “Mercado de Agua Embotellada de Ecuador 2024” hecho por (StrategyHelix, 2024), conjuntamente con estudios como “Análisis de la evolución del mercado de agua en Quito” por (Tapia Santana & Calupiña Moya, 2014) de la Universidad Politécnica Salesiana y “Estudio del comportamiento del consumidor en el mercado de agua embotellada con conciencia ecológica en la ciudad de Guayaquil” por (Vallejo & Espinoza, 2015) de la Universidad Santiago de Guayaquil, coinciden y mostraron que en los últimos 10 años 13 empresas embotelladoras y 14 marcas de agua se han mantenido con gran impacto comercial dentro del país

7.2. Cantidad de Marcas a Muestrear

Para el presente trabajo fue necesario establecer y conocer cuáles son las marcas de agua que se comercializan en la ciudad de Cuenca-Ecuador, para lo cual, luego de un sondeo en centros comerciales y bodegas dentro del casco urbano, se llegó a la conclusión de que dentro de Cuenca se comercializan en un mayor porcentaje de stock, 10 de las 14 marcas más importantes dentro del País, las cuales fueron seleccionadas para el análisis Espectrofotométrico y su posterior identificación de BPA. Como punto importante, luego de esta selección las marcas fueron etiquetadas en código, para precautelar posibles conflictos legales y enfocar el estudio a fines netamente Investigativos.

7.3. Muestreo

Para la recolección de muestras se realizaron dos tipos de técnica, una para la elección de los centros proveedores del producto y otra para elegir las características que deberán tener las muestras de agua embotellada.

7.3.1. Aleatoria Simple

Habiendo definido cada marca, el método de muestreo que se llevó a cabo para determinar el proveedor del agua embotellada, se denomina Muestreo Probabilístico mediante la técnica “Aleatoria Simple” (Martínez, 2004), la cual consiste determinar un marco muestral para una elección al azar entre una lista de Supermercados, Bodegas, Tiendas y Abarrotes, expuestas en la siguiente lista.

- Mall del rio (Supermercado)
- Mercado 27 de febrero (Bodegas)
- Mercado 10 de agosto (Abarrotes)
- Batan Shoping (Supermercado)
- Gran Aki, Totora Cocha (Supermercado)
- Mega Tienda del Sur, Av. Américas (Supermercado)
- Super Maxi de El Vecino (Supermercado)
- Gran Aki, Control Sur (Supermercado)
- Monay Shoping (Supermercado)
- Mercado 12 de abril (Tienda)
- Racar Shoping (Supermercado)
- Cafetería UPS (Tienda)

7.3.2. Estratificada

Continuando con el método de Muestreo Probabilístico, para la elección de las muestras de agua embotellada por unidad una vez seleccionado el proveedor, se utilizó la técnica muestral “Estratificada” debido a que para los fines de investigación se requirió algunas

características de interés para cada Muestra (Martínez, 2004), una de estas características se denominada “Número de Lote”, y se encuentra marcada en cada envase como código único que se asigna a un conjunto de productos que han sido fabricados, procesados, envasados o almacenados bajo las condiciones de un mismo proceso productivo (Mecalux, s. f.), y se lo puede identificar por codificación, fecha u hora, además dentro de este muestreo se tuvo que elegir otras características como volumen aproximado que fue de entre 350 ml y 600 ml ideal para el análisis y viabilidad presupuestaria, tipo de agua, tipo de envase, procedencia, norma, y ciertas observaciones (*Tabla 1*).

Tabla 1. Características principales de Muestreo

N°	Marca	V(ml)	Tipo de Agua	Tipo de envase	Provincia (s)	Observaciones
1	D1	600	Purificada Sin Gas	PET	Pichincha, Guayas, Santo Domingo	
2	V1	600	Purificada Sin Gas	PET	Azuay	
3	W1	625	Purificada Sin Gas	PET	El Oro, Pichincha, Guayas	Libre de BPA
4	T1	625	Mineral Sin gas	PET	Pichincha	
5	C1	625	Purificada Sin Gas	PET	Guayas	
6	I1	550	Mineral con gas	PET	Pichincha, Azuay	
7	S1	500	Mineral Sin gas	PET	Cotopaxi	Libre de BPA
8	L1	500	Mineral Sin gas	PET	Loja	
9	A1	400	Purificada Sin Gas	PET	Guayas	

10	G1	355	Mineral con gas	PET	Pichincha	
----	----	-----	--------------------	-----	-----------	--

Fuente: Autores

La Tabla 1 expone todas las marcas de agua seleccionadas, a cada marca se les asignó un código: D1, V1, W1, T1, C1, I1, S1, L1, A1 y G1, los cuales constan de una letra que representa el nombre de la marca (las cuales no se mencionan por motivos legales) y el número representa 1 de los 3 lotes muestreados cada una con sus respectivas características de muestreo como: Volumen Muestreado, Tipo de Agua Envasada, Tipo de Plástico del Envase, la Procedencia de Fabricación y observaciones de etiquetado como Libre de BPA.

7.4. Etiquetado

Una vez designadas las características de cada marca de agua y con el fin de proporcionar datos más precisos dentro de la investigación se realizó el etiquetado de las muestras, colocando una etiqueta por envase con la siguiente información esencial (*Tabla 2*).

Tabla 2. *Etiquetado de la Muestra*

Etiqueta de muestra	
Fecha	
Hora	
Volumen	
Nº Muestra	
Marca	
Coordenadas	
Tipo de Análisis	

Fuente: Autores

Dentro de la tabla 2 se expone datos básicos para el etiquetado correcto del Muestreo como: Fecha en la que se hizo el muestreo, hora en la que se realizó el muestreo, volumen de

la muestra tomada, la marca en código, coordenadas del lugar de muestreo y el tipo de análisis que se va realizar en este caso Espectroscopia Infrarroja IR y Visible.

7.5. Cronograma de muestreo

El muestreo se llevó a cabo en un lapso de 5 semanas, cada semana se tomaron muestras de 2 marcas en el orden establecido en *Tabla 1*, y se realizó 3 campañas de muestreo por semana, los días lunes, miércoles y viernes, en cada campaña se tomaron 3 muestras por marca.

Tabla 3. Cronograma de Muestreo y total de muestras

Semana	Marcas	Cantidad Marca 1 L/M/V	Cantidad Marca 2 L/M/V	Muestras por semana
1	D1/V1	9	9	18
2	W1/T1	9	9	18
3	C1/I1	9	9	18
4	S1/Va1	9	9	18
5	A1/G1	9	9	18
Total:	10 Marcas	45	45	90

Fuente: Autores

En la tabla 3 se expone el cronograma de muestreo, donde se recolectaron dos marcas por semana los días Lunes (L), Miércoles (M) y Viernes (V), con una cantidad de 9 muestras por marca, al finalizar el muestreo se logró recolectar un total de 90 muestras, número considerable para la obtención de datos amplios y concretos.

7.6. Transporte

Posteriormente las muestras se transportaron a los laboratorios de Ciencias de la Vida en la Universidad Politécnica Salesiana, colocadas en coolers para mantener las condiciones

originales de las muestras, evitando daños en los envases y así poder comparar estas condiciones con los datos obtenidos, finalmente las muestras se almacenaron en estantes frescos de laboratorio de Cromatografía.

7.7. Análisis de Laboratorio

Para el análisis de las muestras recolectadas se efectuaron distintos procesos de laboratorio, como el uso del Espectrofotómetro UV-VIS y FTIR, además del desarrollo de técnicas de separación y extracción de BPA.

7.7.1. Espectroscopia UV-VIS

La espectroscopia ultravioleta-visible (UV-Vis) son técnicas analíticas utilizadas para identificar y cuantificar sustancias orgánicas e inorgánicas en función de la cantidad de luz que absorbe una sustancia en las regiones UV-VIS del espectro electromagnético (algor, s. f.). En el presente trabajo se realizó el análisis cuantitativo para determinar la presencia y la concentración de BPA en base a la absorbancia obtenida de cada muestra a una determinada longitud de onda en el espectro UV-VIS.

7.7.2. Bisfenol A (BPA) Puro

Con el objetivo de obtener el fundamento de referencia para el respectivo análisis se adquirió 20g del reactivo Bisfenol A (BPA) al 99,5% de pureza con las siguientes especificaciones (Tabla 4).

Tabla 4. Certificado de Análisis

Número de Catálogo	N-12907-100MG
Número de Lote	16069800
Fecha de Certificación	09/08/2022
Fecha de Caducidad	09/30/2026

Número CAS	80-05-7
Formula Molecular	C ₁₅ H ₁₆ O ₂
Peso Molecular	228.29
Almacenamiento	Almacenar a Temperatura Ambiente (20°-25°C)
Manipulación	Consulte la Hoja de Datos de Seguridad
Uso Previsto	Solo para Uso en Laboratorio

Fuente: *ChemService*

Como se expone en la tabla 4 el reactivo cuenta con la certificación de análisis tanto en HPCL como en FTIR, ideal para análisis de laboratorio con fines investigativos, y que fue utilizado para la comparación de picos característicos con las muestras de agua.

7.7.3. Curva de Calibración

Uno de los métodos más utilizados en los procesos analíticos cuantitativos, esencial para cálculo de concentraciones de un determinado analito, en este caso Bisfenol A (BPA), es una Curva de Calibración o Curva Patrón, esta curva es la representación gráfica de una señal (derivada de una propiedad física) que se mide en función de la concentración de un analito para ello debemos asociar una propiedad física del analito que para el presente estudio se determinó como absorbancia, la cual varía directamente proporcional a la concentración de BPA en una muestra dada (Preza, s. f.).

7.7.4. Disoluciones para la construcción de la curva de Calibración

Para llevar a efecto las disoluciones con el fin de construir la curva de calibración, se partió desde una solución madre, y para determinar cuáles serían las cantidades de esta solución en las diferentes disoluciones se tuvo que revisar en que concentraciones se encuentra el Bisfenol A en estudios o reglamentos que las establecen.

Con dichos fundamentos se estableció que la concentración para realizar nuestra solución madre, sería de igual manera o relativamente baja, disolviendo 10mg de reactivo en 10 ml de etanol al 96% que resultó en una solución a 100 ppm para detectar bajas concentraciones.

7.7.5. Solución Madre

Disolvente:

- Alcohol Etílico al 96%

Reactivo:

- Bisfenol A al 99,5% de Pureza

Equipos y Materiales

- Balanza Analítica
- Matraz Aforado 100 ml (1ud)
- Matraz Aforado 10 ml (7uds)
- Micropipetas (1000 μ l, 10 μ l, 5 μ l)
- Vaso de Precipitación 100 ml
- Piseta
- Luna de Reloj
- Cucharilla

7.7.6. Gramos del soluto para la solución madre

Se calculó cuantos gramos de BPA se requieren para preparar una solución madre a 100 ppm en 100 ml de alcohol etílico al 96%, despreciando la densidad al no ser etanol puro, con la *Ecuación 1* para concentraciones en partes por millón.

Ecuación 1: Concentración en partes por millón

$$PPM = \frac{g \text{ del soluto}}{g \text{ de solución}} * 1000000 \text{ ppm} \quad (1)$$

Donde:

- PPM: Partes por millón
- G del soluto: Masa de soluto en Gramos
- G de solución: masa de solución en gramos

Se despejó los gramos del soluto y se calcula la cantidad que se utilizó para este proceso con la *Ecuación 2*.

Ecuación 2: Gramos Soluta

$$g \text{ del soluto} = \frac{PPM * g \text{ de solución}}{1000000 \text{ ppm}} \quad (2)$$

$$g \text{ del soluto} = \frac{100\text{ppm} * 100 \text{ g}}{1000000 \text{ ppm}}$$

$$g \text{ del soluto} = 0.01g$$

La Ecuación 2 brindó el resultado de soluto en g para 10 mg de BPA en 100 ml de Alcohol Etílico al 96%

7.7.7. Cálculo para las disoluciones

Las diluciones consisten de disminuir la concentración de un soluto en una concentración, mezclando diferentes cantidades de solución madre con más solvente. Para este caso se llevaron a efecto 7 disoluciones, con la finalidad de obtener una línea de tendencia más exacta en la curva de calibración, para ello se calculó las concentraciones de cada dilución de menor a mayor con la *Ecuación 3*, la cual se utiliza para determinar la concentración o el volumen de disolución.

Ecuación 3: Formula de Disolución

$$C1 * V1 = C2 * V2 \quad (3)$$

Donde

- C1: concentración inicial (concentración de la solución madre)
- V1: volumen de la solución madre a tomar
- C2: concentración deseada (7 concentraciones)
- V2: volumen al que se quiere llegar en este caso 10 ml

V1 (volumen de la solución madre a tomar) se despejó de la *Ecuación 3* para determinar cuánto volumen de la solución madre se deberá tomar para cada concentración dada en la *Ecuación 4*.

Ecuación 4: Volumen de Disoluciones

$$V1 = \frac{C2 * V2}{C1} \quad (4)$$

Para un matraz aforado de 10ml son necesarias las concentraciones descritas en la Tabla 5.

Tabla 5. *Concentración y Volumen de diluciones*

Concentración (ppm)	Volumen (μ l)
0.01	1
0.05	5
0.1	10
0.15	15
0.2	20
0.25	25
0.3	30

Fuente: Autores

La tabla 5 expone que volumen en microlitros, es necesario para las realizar disoluciones a 7 diferentes concentraciones en partes por millón, mismas que serán utilizadas para construir la Curva de Calibración.

7.7.8. Preparación de Soluciones y Diluciones

Paso 1: Se pesó 10 mg de BPA puro en la balanza de precisión analítica, considerando las normas de seguridad indicadas en la ficha técnica del reactivo, como el uso de mascarilla y guantes.

Paso 2: Se traspasó cuidadosamente el reactivo a un vaso de precipitación de 100 ml que de antemano contenga cierta cantidad de alcohol etílico ya que el BPA presenta estabilidad y solubilidad en solventes orgánicos, luego se transfirió a un matraz aforado a 100 ml y con el mismo solvente, utilizando una piseta para lavar la luna de reloj y el vaso de precipitación, de igual manera se colocó el solvente utilizado al matraz y aforamos hasta los 100 ml, como resultado se consiguió una solución madre a 100 ppm.

Paso 3: En el paso 3 se prepararon las diluciones a partir de la solución madre con los volúmenes previamente calculados para las respectivas concentraciones. Con ayuda de la micropipeta, se midió el primer volumen de $1\mu\text{l}$, para colocarlo en un matraz aforado a 10 ml, que previamente contenga Alcohol Etilico para facilitar el proceso de pipeteo, repetimos este proceso con los 6 volúmenes restantes.

Figura 2. Preparación y pipeteo



Fuente: Autores

Cabe mencionar que en este tipo de diluciones no existe colorimetría como tal, razón por la cual es recomendable enmarcar cada concentración.

7.7.9. Preparación para UV-VIS

En el estudio llamado “Determinación espectrofotométrica del perfil del bisfenol a en el proceso de foto degradación con oxígeno molecular singlete” publicado en el 2020, se estableció que el rango con mayor información acerca del BPA está entre las longitudes de onda de 190 nm y 350 nm (Doria-Herrera et al., 2020), en base a esta afirmación en el presente trabajo se realizó un barrido que determine el pico y la longitud de onda a la que es detectable el BPA en la solución madre.

Se colocó la solución madre en la una celda de cuarzo y la situamos dentro del equipo UV-VIS mientras esperamos que se realice la lectura.

7.7.10. Lectura UV-VIS de la Diluciones

Como primer punto se preparó el equipo UV-VIS para calibración cuantitativa, a una longitud de onda de 225 nm, y tipo de curva lineal, para interpolar valores de absorbancia y concentración.

7.7.10.1. Equipos y Materiales

- Equipo UV-VIS - spectra manager
- Diluciones a diferentes concentraciones
- Celdas de Cuarzo (2 Uds.)
- Piseta
- Agua Ultra purificada

7.7.10.2. Procedimiento

En las celdas de cuarzo se colocó solvente sin reactivo para luego proceder con la lectura del “Blanco”, a posteriori se retira una de las celdas para lavarla con agua ultra purificada, con ello se procedió a colocar la primera dilución con la concentración más baja, se realiza la lectura y luego se repite el mismo procedimiento con las siguientes concentraciones.

Figura 3. Lectura de UV-VIS



Fuente: Autores

Los datos obtenidos se importaron del UV-VIS a una tabla Excel para obtener la ecuación de la curva, y así poder mejorar el R^2 de la línea de tendencia con el uso de la ecuación proporcionada por el programa.

7.7.11. Espectroscopía Infrarroja (FTIR)

La espectroscopia de absorción en el Infrarrojo es una herramienta para determinar la estructura de especies orgánicas y bioquímicas con la característica de poseer grupos funcionales con momento dipolar (Flórez Efres, 2020), paralelamente con el proceso de UV-VIS se realizó la caracterización de las muestras de agua en el espectro infrarrojo entre 400 y 4000 cm^{-1} , con relación a los picos característicos del BPA comparados tanto con el estándar de Bisfenol A (BPA) 99.5% adquirido como en literatura revisada.

Para este fin se realizaron tres procesos, pretratamiento, tratamiento y postratamiento; el proceso de pretratamiento se realizó para conocer el estado de las muestras al momento de tomarlas, el proceso de tratamiento para eliminar impurezas o componentes que interfieran

con el espectro infrarrojo, y el postratamiento para analizar el estado de las muestras luego de haber desarrollado el tratamiento correspondiente.

7.7.12. Proceso Pretratamiento

Luego de haber realizado el muestreo de agua embotellada se procedió a analizar las mismas en el equipo FTIR. En total se analizaron 90 muestras de 30 lotes y 10 marcas distintas.

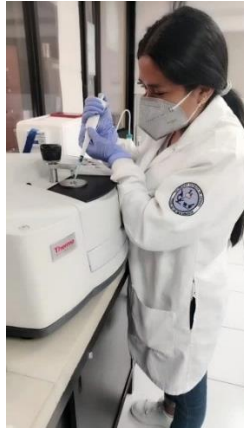
7.7.12.1. Equipos y Materiales

- Equipo FTIR
- Muestras de Agua Embotellada
- Micropipeta de 1000 μ l
- Puntas para Pipeta de 1000 μ l
- Agua Ultra Purificada

7.7.12.2. Procedimiento

Para este procedimiento se comenzó por retirar el imán de protección del foco haz IR, se limpia con agua ultra purificada y se coloca una muestra de prueba para realizar un “cold background” y eliminar registros anteriores, por consiguiente, se procedió a quitar el envase que contiene el agua de muestra y con el uso de la micropipeta de 1000 μ l se toma una pequeña cantidad, se lo sitúa en el haz de luz, para realizar la lectura y registrar el espectro obtenido, este procedimiento se realizó con las 90 muestras tomadas.

Figura 4. Uso del FTIR



Fuente: Autores

7.7.13. Proceso de Extracción de BPA

7.7.13.1. Microfiltración

La microfiltración es un proceso de filtrado donde se utilizan membranas semipermeables de baja presión. El objetivo de este proceso es la eliminación de sólidos en suspensión que puedan interferir con el espectro infrarrojo sin alterar las propiedades químicas de la solución o muestra de análisis (Scribd, s. f.).

7.7.13.2. Equipos y Materiales

- Bomba de Vacío
- Sistema de Microfiltración al Vacío
- Matraz Kitasato
- Filtros Cellulose Nitrate (MCE) Membrane Filter
- Vaso de precipitación (1000 ml)
- Probeta (100)
- Muestras de Agua embotellada (500 ml promedio por unidad)
- Pinzas

- Equipo de protección personal (Guantes, Mascarilla, Mandil)
- Fundas Ziploc

7.7.13.3. Procedimiento

De la primera marca se tomó dos unidades de un mismo lote para verter 500 ml de cada una en un vaso de precipitación de 1000 ml con el fin de homogenizar las muestras, esto se lo realizó para ampliar el campo de la muestra en general y obtener datos más robustos de un mismo proceso productivo, al realizar esto, el número de análisis fue igual a al número de lotes muestreados, es decir 30 análisis.

Del resultado de la homogenización de 1000 ml, se vertió la muestra en una probeta de 100 ml.

Se Armó el sistema de microfiltración al vacío conectando las mangueras a la bomba de vacío y al matraz Kitasato para recoger la muestra filtrada.

Seguidamente se limpió el sistema de microfiltración con agua ultra purificada para quitar impurezas dentro del mismo (este paso se repitió en todos los procesos de filtración), con pinzas se colocaron los filtros dentro del sistema, uno por lote, posteriormente se aseguró el vaso porta muestra, colocando 100 ml de la muestra en el vaso, se tapa y gira la llave encendiendo del motor al tiempo, se espera a que se filtre toda la muestra y se vierta en el Matraz Kitasato, finalmente recuperó el filtro utilizado en fundas ziploc para posibles análisis posteriores.

Figura 5. Uso del Equipo de Microfiltración



Fuente: Autores

7.7.14. Extracción del BPA

La extracción líquido-líquido es, junto con la destilación, la operación básica más importante para la separación de mezclas líquidas homogéneas. Esta técnica de separación se ha utilizado ampliamente para la extracción de analitos tanto orgánicos como inorgánicos contenidos en una muestra. El procedimiento consiste añadir un disolvente orgánico inamisible con el agua en este caso Cloroformo, a la muestra acuosa, agitar vigorosamente y dejar en reposo para separar ambas fases (Cortada, 2012).

7.7.14.1. Reactivos y Materiales

- Cloroformo 500 ml
- Muestras filtradas
- Probeta de 10 ml
- Embudo de decantación 255 ml (3uds)
- Soportes para embudos de decantación (3uds)
- Frascos Ámbar 30 ml (15uds)

7.7.14.2. Procedimiento

Se colocó la muestra filtrada en el Decantador y con ayuda de la probeta se midió 10 ml de Cloroformo, ya que particularmente este disolvente es útil para extraer compuestos orgánicos de soluciones acuosas debido a su inmiscibilidad con el agua (science, s. f.), se vertió el cloroformo en la muestra filtrada dentro del decantador para después agitarlo vigorosamente por 3 min, se dejó decantar por 10 minutos hasta observar una decantación clara.

La fase orgánica se encuentra en la parte inferior, una vez recuperada esta fase, repetimos el procedimiento con solvente fresco 10 ml dos veces más.

Al terminar el proceso se recolectó el resultado en las botellas ámbar de 30 ml, en total se decantaron 30 lotes.

Figura 6. Uso del Equipo de Decantación



Fuente: Autores

7.7.15. Secado del Extracto

las muestras tratadas se llevaron a la cabina de extracción para someterlas a baño maría y evaporar los restos de Cloroformo. El punto de ebullición del Cloroformo de 61.2°C.

7.7.15.1. Equipos y Materiales

- Cabina de Extracción
- Estufa eléctrica
- Muestras Tratadas
- Vasos de precipitación (1000 ml y 200ml)
- Varilla de Vidrio
- Termómetro de mercurio
- Pinza

7.7.15.2. Procedimiento

Dentro de la cabina de extracción se llenó el vaso de precipitación de 1000 ml con 250 ml de agua y se colocó sobre la estufa, después, se vierte la muestra en el vaso de 200 ml y se introduce el mismo en el vaso de 1000ml previamente calentado, estabilizándolo con pinzas y la muestra recolectada se somete a baño maría hasta que llegue al punto de ebullición de cloroformo (61,2°C).

Figura 7. Baño María para la Evaporación del Cloroformo



Fuente: Autores

7.7.16. Proceso de Postratamiento

Al obtener las extracciones de las muestras se almacenaron en frascos ámbar y se continuó con el análisis conjunto entre el equipo UV-VIS y FTIR, con la finalidad de recolectar datos cuantitativos y cualitativos respectivamente.

7.8. Análisis Cuantitativo en UV-VIS

Finalmente, las 30 muestras de extracción de BPA, de los 30 lotes muestreados, se llevaron a analizar en el equipo UV-VIS, para determinar su absorbancia y así poder interpolar o extrapolar con la curva de calibración previamente construida.

7.8.1. Equipos y Materiales

- Equipo UV-VIS, Spectra Manager
- Celdas de Cuarzo
- Piseta
- Agua Ultra purificada

7.8.2. Procedimiento

El equipo UV-VIS se configuró con la longitud de onda definida anteriormente en 225 nm, en las celdas de cuarzo se colocaron cantidades agua ultra purificada, para proceder con la lectura del “Blanco”, a posteriori se retiró una de las celdas para lavarla con agua ultra purificada, se colocó la muestra del primer lote, el UV-VIS hizo la lectura, y se registraron las absorbancias, este proceso se repitió con las muestras de los siguientes 29 lotes (Tabla 6).

El objetivo de este procedimiento fue que una vez se hayan leído todas las absorbancias, poderlas reemplazar en la ecuación (*Ecuación 6*) de la línea de tendencia, dada por la curva de calibración, y así conocer a que concentración de BPA en partes por millón se encuentra cada muestra de agua embotellada.

7.9. Análisis Cualitativo en FTIR

Una vez que se dio el proceso de extracción del BPA, las muestras de agua resultantes de este tratamiento, pasaron una vez más por el espectro infrarrojo, y así poder realizar la comparativa entre el pre y el postratamiento.

7.9.1. Equipos y Materiales

- Equipo FTIR
- Micropipeta de 1000 μ l
- Muestras de la extracción del BPA

7.9.2. Procedimiento

Con ayuda de la micro pipeta de 1000 μ l se tomó cierta cantidad de la muestra de extracción de BPA, realizando la lectura en el espectro infrarrojo y registrando los picos observados dentro del mismo, cada pico del espectro representa las vibraciones moleculares específicas de los enlaces químicos presentes en la muestra, este proceso se realizó con las 30 muestras obtenidas luego de la Extracción del BPA.

7.10. Análisis UV-VIS

Para el análisis cuantitativo de UV-VIS se llevó a cabo un análisis base en tablas de Excel, para concentraciones máximas, mínimas, promedio y desviación estándar de los datos, de los cuales se supo cuáles eran los lotes con concentraciones más altas de BPA

7.11. Análisis FTIR

Para el análisis cualitativo de FTIR, se realizó el conteo de picos característicos de BPA encontrados en las Muestras de Agua, en una comparativa porcentual con el estándar de BPA. El estándar de BPA tiene 23 picos registrados en la certificación de análisis espectrofotométrico realizado por los proveedores del reactivo, lo que se realizó fue el registro los picos encontrados en las muestras de agua embotellada para compararlos en un porcentaje de similitud con los picos del estándar, cabe recalcar que en el espectro del agua también aparecen sus propios componentes además de las bajas concentraciones de BPA.

7.12. Coeficiente de Correlación de Pearson

Con la finalidad de cumplir con el tercer objetivo específico de la presente investigación, se decidió comparar el tiempo de almacenamiento de las muestras de agua en semanas, con las cantidades de BPA en mg encontrados en el análisis cuantitativo, esto basado en estudios que demuestran que, a mayor tiempo de almacenamiento de agua embotellada en envases plásticos, se encuentra una mayor concentración de BPA y para determinar si existe una correlación entre el tiempo de almacenamiento desde el momento del muestreo de las botellas a temperatura ambiente, y la concentración de BPA, se utilizó del método del coeficiente de correlación de Pearson, que mediante un modelo de dispersión, calcula la relación que existe entre dos variables.

Para calcular esta relación, se utilizó el programa Excel, donde, con el comando “PEARSON” y la selección de dos matrices de datos, es posible calcular de manera óptima este coeficiente.

Dependiendo de los conjuntos de datos, el coeficiente de correlación de Pearson va a variar en un rango de mayor o igual a -1 y menor o igual a 1, y a razón del resultado se determinó la relación que existe entre las variables de almacenamiento en tiempo y la cantidad de BPA encontrada.

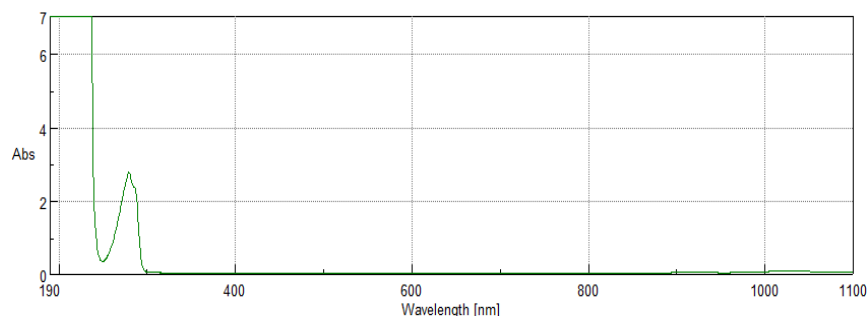
8. Resultados

Para la obtención de los resultados se recogieron datos cuantitativos y cualitativos tomados del espectro UV-VIS y FTIR respectivamente, para UV-VIS se realizó la interpolación de la absorbancia obtenida de las muestras de extracción de BPA con la Curva de Calibración, con ello se obtuvo las diferentes concentraciones de BPA presentes en las muestras de agua embotellada, estos resultados se compararon con la normativa internacional para observar si estas concentraciones sobrepasan la IDT de cada legislación.

8.1. Pico de Barrido

Para Construir la Curva de Calibración se observó en primera instancia la longitud de onda a la que se encuentra el pico de barrido dentro de la solución madre de BPA expuesta en la Gráfica 1.

Gráfica 1. Pico de Barrido



Fuente: Autores/UV-VIS

En este pico de barrido se pudo deducir una longitud de onda aproximada de 230 nm, con lo cual se puede procedió con lectura de las diluciones previamente preparadas, sin embargo, se decidió probar con varias longitudes de onda en todo el rango de información, en donde la longitud de 225 nm, arrojó un porcentaje de datos con mayor exactitud.

8.2. Registro de absorbancia y concentración

De las 7 concentraciones que entraron en la lectura del UV-VIS, 4 de ellas tuvieron absorbancias cercanas a la línea de tendencia, es decir eran proporcionales entre la concentración y la absorbancia, con ello se obtuvo un R^2 en rango confiable de 0.97, el cual indica la calidad del modelo de regresión lineal (*Tabla 6*)

Tabla 6. Concentraciones

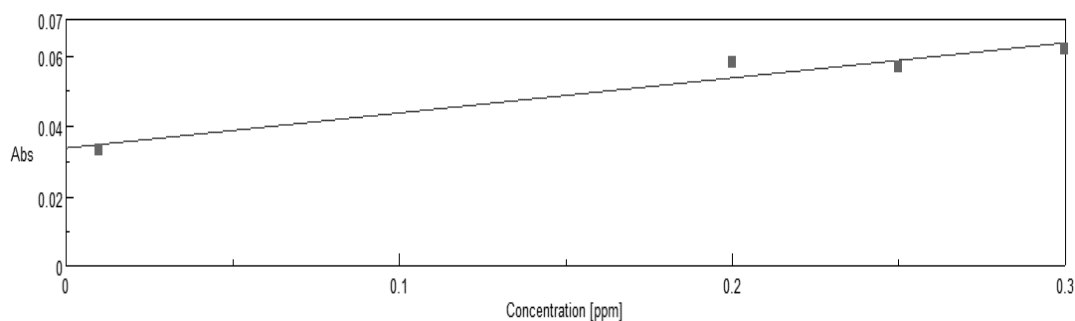
Concentración (ppm)	ABS
---------------------	-----

0.01	0.0331275
0.2	0.0581054
0.25	0.0569074
0.3	0.0615668

Fuente: Autores

La Tabla 6 muestra las abosrobacias registradas proporcionales a las difrentes concentraciones datos utilizados para la primera curva de calibración.

Gráfica 2. Absorbancia y Concentración

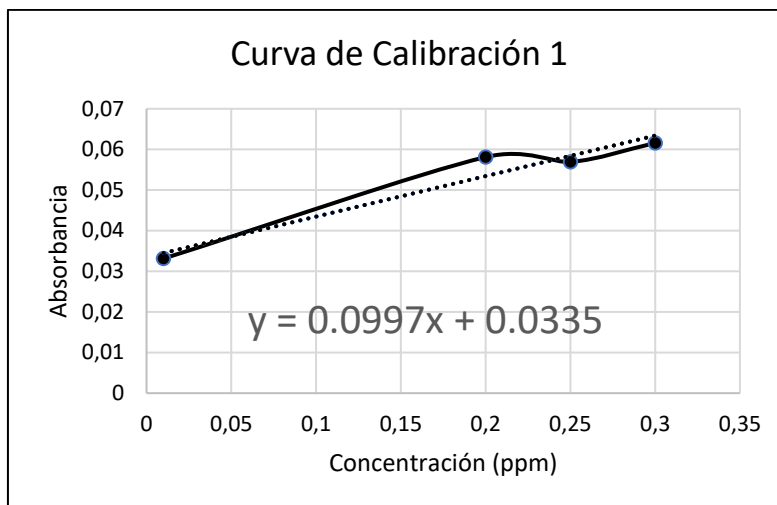


Fuente: Autores/UV-VIS

La gráfica anterior muestra la primera curva de calibración aportada por el programa “Spectra Manager” en la configuración de análisis cuantitativo.

Los datos fueron importados al programa Excel para su mejor manejo con ello se construyó la Gráfica 3, donde se observa 4 puntos de 4 concentraciones que estuvieron cerca de la línea de tendencia, cada una proporcional a la Absorbancia (*Gráfica 3*).

Gráfica 3. Curva de Calibración 1



Fuente: Autores/Excel

De esta importación se logró construir la Curva N°1, expuesta en la Gráfica 3, además se pudo comprobar la ecuación de la línea de tendencia, donde “y” es igual a Absorbancia y “x” es igual a concentración.

Para mejorar nuestra línea de tendencia interpolamos las concentraciones que no resultaron dentro de la curva de calibración restantes, utilizando la ecuación de la línea de tendencia principal (*Ecuación 5*).

Ecuación 5: Absorbancia/Línea de tendencia 1

$$Abs = (0.0997 * ppm) + 0.0335 \quad (5)$$

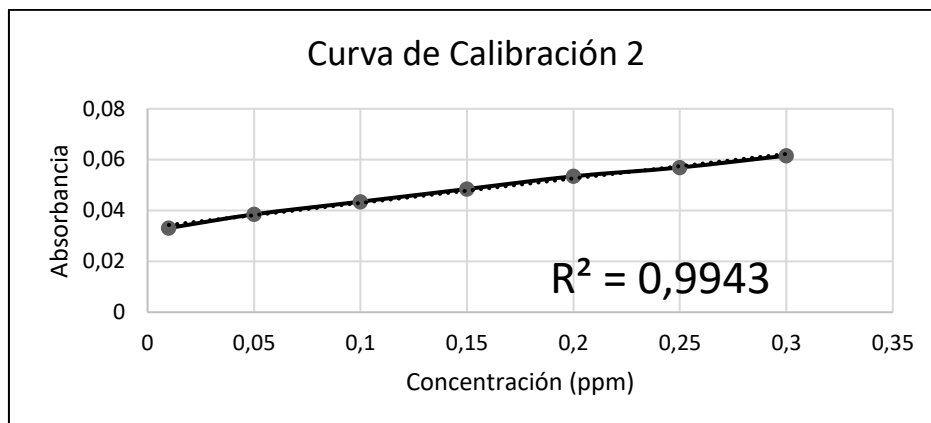
Una vez realizado el cálculo se tabularon los datos en la siguiente tabla, donde se muestran las concentraciones restantes interpoladas con la ecuación de la línea de tendencia (*Tabla7*).

Tabla 7. Datos Interpolados

Concentración (ppm)	ABS
0.01	0.0331275
0.05	0.038485
0.1	0.04347
0.15	0.048455
0.2	0.05344
0.25	0.0569074
0.3	0.0615668

Fuente: Autores

Con estos datos obtenidos de concentración proporcional a la absorbancia se construyó la curva de calibración 2, la cual mejoró significativamente, óptima para interpolar o extrapolar las concentraciones deseadas, resultando en la Gráfica 4.

Gráfica 4. Curva de Calibración 2

Fuente: Autores/Excel

Al interpolar las demás concentraciones con la ecuación línea de tendencia principal, el R^2 mejora a 0.99, un modelo lineal más confiable con el que se realizaron las próximas interpolaciones o extrapolaciones en la curva patrón resultante.

8.3. Resultados UV-VIS

A continuación, se registró los datos de absorbancias resultantes de la lectura del equipo UV-VIS en la Tabla 8.

Tabla 8. Absorbancia de Cada Lote

No.	Marca	Abs	No.	Marca	Abs
1	DL1	0.084394	16	IL1	0.192346
2	DL2	0.0921578	17	IL2	0.198409
3	DL3	0.108582	18	IL3	0.216238
4	VL1	0.09927	19	SL1	0.331475
5	VL2	0.0873089	20	SL2	0.279311
6	VL3	0.0641694	21	SL3	0.319974
7	WL1	0.121152	22	LL1	0.554255
8	WL2	0.0743481	23	LL2	0.554826
9	WL3	0.100259	24	LL3	0.287717
10	TL1	0.227696	25	AL1	0.187986

11	TL2	0.230129	26	AL2	0.20015
12	TL3	0.183598	27	AL3	0.188719
13	CL1	0.226705	28	GL1	0.266285
14	CL2	0.221644	29	GL2	0.187384
15	CL3	0.212984	30	GL3	0.182054

Fuente: Autores

Habiendo registrado los datos de absorbancia, se importó los mismos desde el programa “Spectra Manager” hacia a una tabla Excel como se muestra en la Tabla 8, para proceder con la interpolación dentro de la línea de tendencia principal, para interpolar concentraciones que sean menores a 3 ppm, y extrapolar concentraciones que sean mayores a 3 ppm.

La concentración de BPA en ppm según la línea de tendencia (*Gráfica 4*) de la Curva de Calibración fue dada por la Ecuación 6, de la cual se despejó la concentración obteniendo la Ecuación 7, utilizada para reemplazar las absorbancias (Abs) obtenidas de las muestras de Agua Embotellada.

Ecuación 6: Absorbancia

$$Abs = (0.0997 * ppm) + 0.0335 \quad (6)$$

Ecuación 7: Formula de Concentración en función de la Absorbancia

$$ppm = \frac{Abs - 0.0335}{0.0997} \quad (7)$$

Donde

Ppm: Concentración de BPA en las muestras de Agua.

Abs: Cantidad de Luz absorbida por las muestras de Agua

Constantes Línea de tendencia: 0,0335 - 0,0997

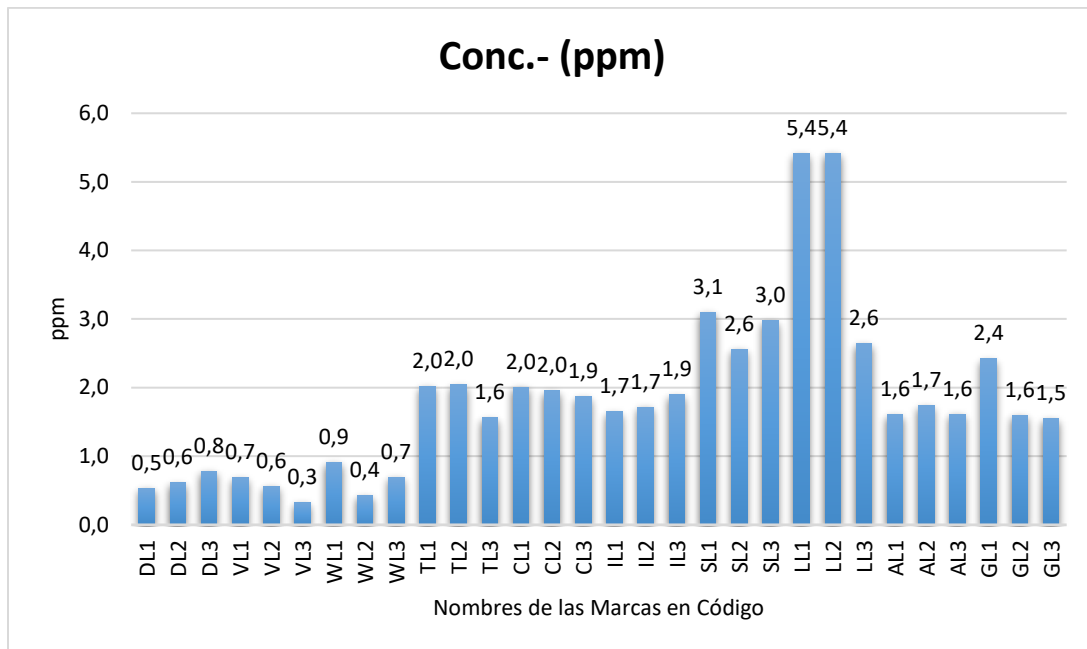
Al resolver esta ecuación se obtuvieron los siguientes resultados (*Tabla 9*).

Tabla 9. Resultados de UV-VIS

No.	Marca	Abs	Conc. - (ppm)	No.	Marca	Abs	Conc. - (ppm)
1	DL1	0.084394	0.5	16	IL1	0.192346	1.7
2	DL2	0.0921578	0.6	17	IL2	0.198409	1.7
3	DL3	0.108582	0.8	18	IL3	0.216238	1.9
4	VL1	0.09927	0.7	19	SL1	0.331475	3.1
5	VL2	0.0873089	0.6	20	SL2	0.279311	2.6
6	VL3	0.0641694	0.3	21	SL3	0.319974	3
7	WL1	0.121152	0.9	22	LL1	0.554255	5.4
8	WL2	0.0743481	0.4	23	LL2	0.554826	5.4
9	WL3	0.100259	0.7	24	LL3	0.287717	2.6
10	TL1	0.227696	2	25	AL1	0.187986	1.6
11	TL2	0.230129	2	26	AL2	0.20015	1.7
12	TL3	0.183598	1.6	27	AL3	0.188719	1.6
13	CL1	0.226705	2	28	GL1	0.266285	2.4
14	CL2	0.221644	2	29	GL2	0.187384	1.6
15	CL3	0.212984	1.9	30	GL3	0.182054	1.5

Fuente: Autores

En esta Tabla 9 se tabuló el cálculo de las concentraciones de Bisfenol A en ppm de las 10 marcas sometidas al estudio junto con la Absorbancia obtenida, 3 lotes cada una y con ello se construyó la siguiente Gráfica de 30 muestras resultantes (Gráfica 5).

Grafica 5. Concentraciones del Bisfenol A BPA

Fuente: Autores

La Gráfica 5 expone la comparación entre concentraciones resultantes de cada muestra, resultantes de la interpolación y extrapolación realizadas con la *Ecuación 7* estos datos se interpretaron mediante un análisis estadístico base.

8.4. Análisis Estadístico de la Gráfica

Tabla 10. Análisis Estadístico.

Concentración de BPA Promedio	1.8 ppm
Desviación estándar	1.2
Concentración de BPA Max	5.4 ppm
Concentración de BPA Min	0.3 ppm

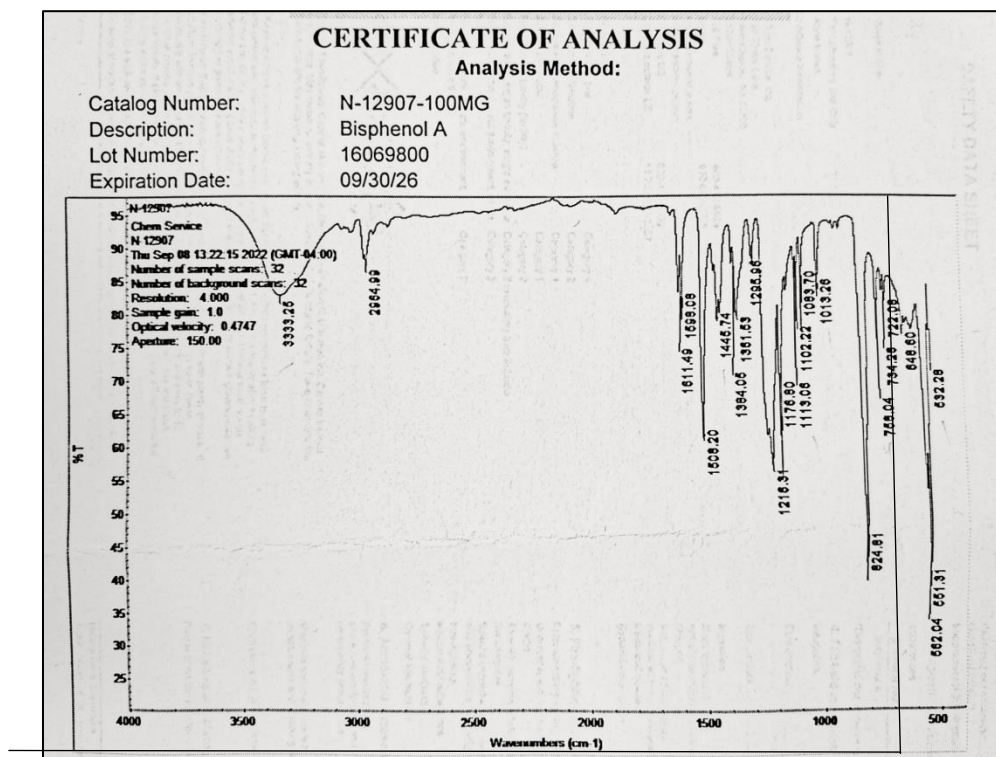
Fuente: Autores

La Tabla 10 reproduce el análisis estadístico base al cual fueron sometidos los datos de concentración en ppm de cada Muestra, donde la concentración máxima fue de 5.4 ppm, la concentración mínima de 0.3 ppm, con un promedio de concentraciones de 1.8 ppm, y finalmente una desviación estándar de 1.2 que representa la variación de datos.

8.5. Picos Característicos del estándar de Bisfenol A (99.5%) en certificado de análisis.

Dentro de los resultados del Espectro infrarrojo se registraron los picos (cm⁻¹) de cada muestra y lote de agua que resultaron similares al certificado de análisis espectrofotométrico del estándar de Bisfenol A (99.5%) facilitado en la ficha técnica del mismo.

Gráfica 6. Picos de BPA certificado de análisis



Fuente: ChemService

Registramos 23 picos y sus descripciones sobre grupos funcionales o compuestos en la siguiente tabla (*Tabla 11*).

Tabla 11. Picos Característicos estándar de BPA

N°	picos de BPA (cm ⁻¹)	Enlace/ Fórmula	Descripción
1	532.28	C-Br	Haluro de alquilo carbono-halógeno/carbono-cloro
2	551.31	C-Br	Haluro Alquino Carbono-Boro
3	562.04	C-Br	Haluro Alquino Carbono-Boro
4	648.6	C-Br	Haluro Alquino Carbono-Boro
5	722.08	C-Cl	Haluro Alquino Carbono-Cloro
6	734.28		Benceno Mono sustituido
7	758.04		Benceno Mono sustituido
8	824.81		Benceno para disustituido
9	1013.26	(-OH)	Grupo Hidroxilo
10	1083.7	Si-O-Si	Enlaces Siloxano
11	1102.22	C-O	Alcoholes y Éteres (primario o secundario)
12	1113.06	C-O	Alcoholes y Éteres (primario o secundario)
13	1176.8	C(=O)-O	Éster
14	1216.31	C(=O)-O	Éster
15	1295.96	C(=O)-O	Ésteres
16	1361.53	CH ₃	Deformación Simétrica del grupo metilo
17	1384.05	N=O ₂	Grupo Nitro
18	1445.74	C-H	Alcano
19	1508.2	N-O	Grupo Nitro
20	1598.08	C=C	Anillos Aromáticos
21	1611.49	C=C	Anillos Aromáticos
22	2964.99	C-H	Grupo Metilo
23	3333.25	O-H	Alcoholes Fenoles

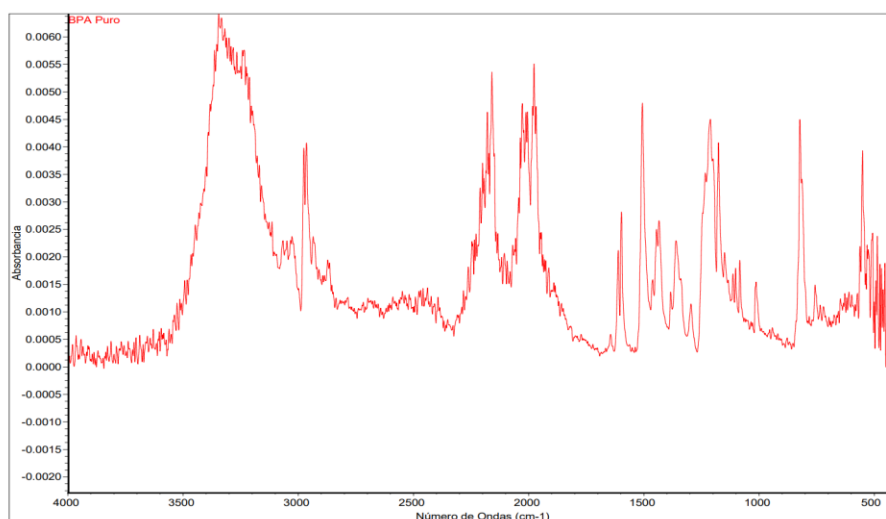
Fuente: Autores

En la tabla se observa los enlaces y grupos funcionales ubicados en un determinado rango a lo largo del espectro FTIR.

8.6. Resultados FTIR

Para FTIR, dentro de la ficha técnica del estándar de Bisfenol A (99,5%) adquirido para realizar la curva de calibración, se detalla el espectro infrarrojo con certificación de análisis emitido por ChemService, donde se pudo observar los picos característicos del tóxico, y con ello obtener el modelo con el que se compararon los picos encontrados en las muestras de Agua embotellada antes y después del proceso de extracción del BPA, sin embargo, para poder comprobar la veracidad de estos datos se analizó una pequeña fracción del reactivo estándar de BPA, para compararlos con el certificado de análisis, esta metodología se basó en el estudio “Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier del bisfenol A” donde se exponen picos característicos de BPA para poder compararlos con diferentes espectros y observar la similitud de estos en comparación al estándar de BPA (Ullah, Ahmad, & Zheng, 2016).

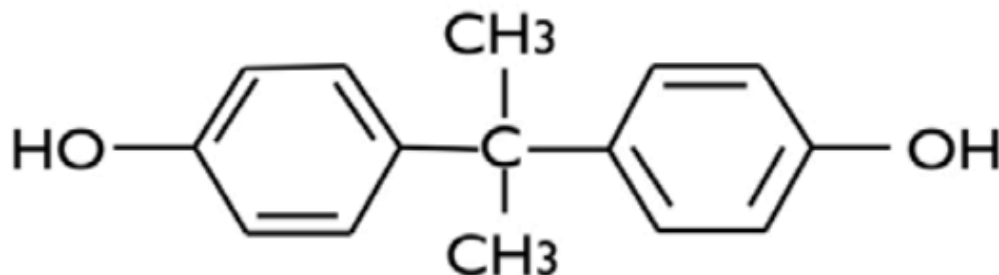
Gráfica 7. Espectro de BPA puro en FTIR



Fuente: FTIR

Fórmula: C15 H16 O2

Figura 1: Estructura del Bisfenol A (BPA)



Fuente: (García et al., 2015)

En la Gráfica 7 se muestra el espectro de BPA, donde se registraron 21 picos característicos de BPA, que fueron comparados con el certificado de análisis de la ficha técnica del reactivo (*Tabla 12*), además se agrega la estructura del BPA con sus grupos funcionales. Cm^{-1}

Tabla 12. Picos FTIR experimental

N°	Descripción	Picos Estándar BPA Experimental FTIR (cm^{-1})
1	HaluroalquiloCarbono-Cloro	530
2	Haluro AlquinoCarbono-Boro	550
3	Haluro AlquinoCarbono-Boro	561
4	Haluro AlquinoCarbono-Boro	572
5	Haluro Alquino Carbono-Cloro	
6	Benceno Monosustituido	746
7	Benceno Monosustituido	
8	Benceno para-disustituido	822
9	Grupo Hidroxilo	1012
10	Enlaces Siloxano	1083
11	Alcoholes y Éteres (primario o secundario)	1101
12	Alcoholes y Éteres (primario o secundario)	1013
13	Éster	1175
14	Éster	1210

15	Ésteres	1295
16	Deformación Simétrica del grupo metilo	1359
17	Grupo Nitro	1383
18	Alcano	1433
19	Grupo Nitro	1506
20	Anillos Aromáticos	1597
21	Anillos Aromáticos	1611
22	Grupo Metilo	2964
23	Alcoholes Fenoles	3344

Fuente: Autores

La tabla 12 expone el resultado del análisis FTIR de BPA puro, se puede observar que de los 23 picos del certificado de análisis 20 son idénticos al estándar de BPA.

8.7. Resultados FTIR pre y postratamiento.

A continuación, exponemos los picos de los espectros registrados de las 10 marcas, tanto antes como después del proceso de extracción orgánica, comparados con los picos del estándar de BPA descritos en la Tabla 12, esto se realizó mediante la herramienta de “Analizar Picos” del programa ONMIC, con una sensibilidad del 90%.

Tabla 13. Picos D1

Picos Antes del Proceso de Extracción			
Nº	picos de BPA (cm ⁻¹)	Descripción	Picos Muestras
D1			
1	532.28	Haluro alquilo Carbono-Cloro	529
2	551.31	Haluro Alquino Carbono-Boro	549
3	562.04	Haluro Alquino Carbono-Boro	567
5	722.08	Haluro Alquino Carbono-Cloro	722
6	734.28	Benceno Mono sustituido	737

7	758.04	Benceno Mono sustituido	764
8	824.81	Benceno para disustituido	838
19	1508.2	Grupo Nitro	1542
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1631
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3342
D2			
4	648.6	Haluro Alquino Carbono-Boro	629
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1636
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3340
D4			
1	532.28	Haluro alquilo Carbono-Cloro	532
3	562.04	Haluro Alquino Carbono-Boro	593
9	1013.26	Grupo Hidroxilo	1045
19	1508.2	Grupo Nitro	1540
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1636
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3326
D5			
2	551.31	Haluro Alquino Carbono-Boro	552
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1636
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3332
D7			
2	551.31	Haluro Alquino Carbono-Boro	548
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1636
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3327
D8			
1	532.28	Haluro alquilo Carbono-Cloro	522
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1635
Picos después del proceso de Extracción			
Nº	picos de BPA (cm ⁻¹)	Descripción	Picos Muestras
L1			
3	562.04	Haluro Alquino Carbono-Boro	575
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1638
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3348
L2			
4	648.6	Haluro Alquino Carbono-Boro	659
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1638
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3347
L3			
2	551.31	Haluro Alquino Carbono-Boro	553
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1635
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3335

Fuente: Autores

En la tabla 13 se exponen los picos característicos registrados de la marca D1 y sus respectivos lotes en comparación con los picos del Estándar de BPA, antes y después del proceso de extracción del BPA. Aquí se pudo observar que después del proceso de Extracción no hubo mayor cambio, ya que en general todas las muestras repiten los picos característicos entre 520 a 570 cm^{-1} , 1625 a 1645 cm^{-1} y 3325 a 3345 cm^{-1} , y se los puede observar en todas las lecturas FTIR (*Anexo 12.11.1.*).

Tabla 14. Picos VI

Picos Antes del Proceso de Extracción			
Nº	picos de BPA (cm^{-1})	Descripción	Picos Muestras
V1			
1	532.28	Haluro alquilo Carbono-Cloro	536
3	562.04	Haluro Alquino Carbono-Boro	566
5	722.08	Haluro Alquino Carbono-Cloro	713
13	1176.8	Éster	1171
17	1384.05	Grupo Nitro	1378
18	1445.74	Alcano	1466
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1637
22	2964.99	Grupo Metilo	2952
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3339
V2			
2	551.31	Haluro Alquino Carbono-Boro	556
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1636
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3337
V4			
2	551.31	Haluro Alquino Carbono-Boro	557
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1639
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3334
V5			
2	551.31	Haluro Alquino Carbono-Boro	552
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1636
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3334
V7			
3	562.04	Haluro Alquino Carbono-Boro	595

21	1611.49	Anillos Aromáticos	1636
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3341
V8			
2	551.31	Haluro Alquino Carbono-Boro	557
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1636
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3335
Picos después del proceso de Extracción			
N°	picos de BPA (cm ⁻¹)	Descripción	Picos Muestras
L1			
4	648.6	Haluro Alquino Carbono-Boro	651
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1637
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3345
L2			
1	532.28	Haluro Alquilo Carbono-Cloro	507
3	562.04	Haluro Alquino Carbono-Boro	565
9	1013.26	Grupo Hidroxilo	1046
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1636
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3355
L3			
2	551.31	Haluro Alquino Carbono-Boro	545
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1635
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3334

Fuente: Autores

En la tabla 14 se exponen los picos característicos registrados de la marca V1, similar a la anterior tabla no hay cambios significativos después de la Extracción (*Anexo 12.11.2*).

Tabla 15. Picos W1

Picos Antes del Proceso de Extracción			
N°	picos de BPA (cm ⁻¹)	Descripción	Picos Muestras
w1			
2	551.31	Haluro Alquino Carbono-Boro	552
20	1598.08	Anillos Aromáticos	1635
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3332
w2			
3	562.04	Haluro Alquino Carbono-Boro	564
20	1598.08	Anillos Aromáticos	1635

23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3330
w4			
1	532.28	Haluro alquilo Carbono-Cloro	505
3	562.04	Haluro Alquino Carbono-Boro	590
20	1598.08	Anillos Aromáticos	1635
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3335
w5			
3	562.04	Haluro Alquino Carbono-Boro	579
20	1598.08	Anillos Aromáticos	1635
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3344
w7			
1	532.28	Haluro alquilo Carbono-Cloro	541
20	1598.08	Anillos Aromáticos	1635
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3335
w8			
3	562.04	Haluro Alquino Carbono-Boro	596
18	1445.74	Alcano	1456
19	1508.2	Grupo Nitro	1506
20	1598.08	Anillos Aromáticos	1635
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3336
Picos después del proceso de Extracción			
Nº	picos de BPA (cm ⁻¹)	Descripción	Picos Muestras
L1			
4	648.6	Haluro Alquino Carbono-Boro	612
20	1598.08	Anillos Aromáticos	1634
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3338
L2			
1	532.28	Haluro Alquilo Carbono-Cloro	540
4	648.6	Haluro Alquino Carbono-Boro	647
18	1445.74	Alcano	1456
19	1508.2	Grupo Nitro	1506
20	1598.08	Anillos Aromáticos	1635
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3355
L3			
1	532.28	Haluro alquilo Carbono-Cloro	519
3	562.04	Haluro Alquino Carbono-Boro	565
7	758.04	Benceno Mono sustituido	756
18	1445.74	Alcano	1456
20	1598.08	Anillos Aromáticos	1652
22	2964.99	Grupo Metilo	2921
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3377

Fuente: Autores

En la tabla 15 se exponen los picos característicos registrados de la marca W1, en esta muestra, los picos tienden a aumentar después de la extracción, llegando a un máximo de 7 picos relacionados al BPA (*Anexo 12.11.3*).

Tabla 16. Picos T1

Picos Antes del Proceso de Extracción			
N°	picos de BPA (cm ⁻¹)	Descripción	Picos Muestras
T1			
3	562.04	Haluro Alquino Carbono-Boro	594
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1635
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3327
T2			
1	532.28	Haluro Alquilo Carbono-Cloro	537
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1635
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3329
T4			
1	532.28	Haluro Alquilo Carbono-Cloro	511
2	551.31	Haluro Alquino Carbono-Boro	552
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1635
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3341
T5			
1	532.28	Haluro Alquilo Carbono-Cloro	512
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1637
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3347
T7			
1	532.28	Haluro Alquilo Carbono-Cloro	541
2	551.31	Haluro Alquino Carbono-Boro	552
3	562.04	Haluro Alquino Carbono-Boro	568
9	1013.26	Grupo Hidroxilo	1033
10	1083.7	Enlaces Siloxano	1089
12	1113.06	Alcoholes y Éteres (primario o secundario)	1127
18	1445.74	Alcano	1457
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1636
22	2964.99	Grupo Metilo	2949
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3332

T8			
1	532.28	Haluro alquilo Carbono-Cloro	527
2	551.31	Haluro Alquino Carbono-Boro	565
3	562.04	Haluro Alquino Carbono-Boro	586
9	1013.26	Grupo Hidroxilo	1033
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1636
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3342
Picos después del proceso de Extracción			
N°	picos de BPA (cm ⁻¹)	Descripción	Picos Muestras
L1			
3	562.04	Haluro Alquino Carbono-Boro	579
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1635
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3335
L2			
2	551.31	Haluro Alquino Carbono-Boro	563
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1635
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3335
L3			
1	532.28	Haluro Alquilo Carbono-Cloro	535
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1635
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3335

Fuente: Autores

En la tabla 16 no se encuentran mayores diferencias en los picos después del proceso de extracción en la marca T1 (*Anexo 12.11.4.*).

Tabla 17. Picos C1

Picos Antes del Proceso de Extracción			
N°	picos de BPA (cm ⁻¹)	Descripción	Picos Muestras
C1			
2	551.31	Haluro Alquino Carbono-Boro	552
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1636
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3329
C2			
3	562.04	Haluro Alquino Carbono-Boro	570
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1636
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3337

C4			
1	532.28	Haluro Alquilo Carbono-Cloro	529
2	551.31	Haluro Alquino Carbono-Boro	542
3	562.04	Haluro Alquino Carbono-Boro	585
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1635
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3332
C5			
1	532.28	Haluro alquilo Carbono-Cloro	533
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1635
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3339
C7			
2	551.31	Haluro Alquino Carbono-Boro	558
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1636
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3331
C8			
1	532.28	Haluro Alquilo Carbono-Cloro	541
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1635
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3333
Picos después del proceso de Extracción			
Nº	picos de BPA (cm ⁻¹)	Descripción	Picos Muestras
L1			
1	532.28	Haluro Alquilo Carbono-Cloro	508
2	551.31	Haluro Alquino Carbono-Boro	563
3	562.04	Haluro Alquino Carbono-Boro	565
17	1384.05	Grupo Nitro	1362
18	1445.74	Alcano	1487
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1652
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3355
L2			
1	532.28	Haluro Alquilo Carbono-Cloro	534
2	551.31	Haluro Alquino Carbono-Boro	553
3	562.04	Haluro Alquino Carbono-Boro	565
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1652
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3355
L3			
3	562.04	Haluro Alquino Carbono-Boro	576
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1635
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3337

Fuente: Autores

En la tabla 17 de la marca C1, se puede observar que en el Lote número uno hay un aumento de picos característicos (*Anexo 12.11.5.*).

Tabla 18. Picos I1

Picos Antes del Proceso de Extracción			
N°	picos de BPA (cm ⁻¹)	Descripción	Picos Muestras
I1			
3	562.04	Haluro Alquino Carbono-Boro	588
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1636
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3342
I2			
1	532.28	Haluro Alquilo Carbono-Cloro	506
4	648.6	Haluro Alquino Carbono-Boro	606
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1636
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3341
I4			
1	532.28	Haluro Alquilo Carbono-Cloro	526
3	562.04	Haluro Alquino Carbono-Boro	570
9	1013.26	Grupo Hidroxilo	1030
10	1083.7	Enlaces Siloxano	1076
16	1361.53	Deformación Simétrica del grupo metilo	1362
18	1445.74	Alcano	1457
19	1508.2	Grupo Nitro	1540
20	1598.08	Anillos Aromáticos	1559
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1635
22	2964.99	Grupo Metilo	2927
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3357
I5			
1	532.28	Haluro Alquilo Carbono-Cloro	510
16	1361.53	Deformación Simétrica del grupo metilo	1362
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1636
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3356
I7			
1	532.28	Haluro Alquilo Carbono-Cloro	524
2	551.31	Haluro Alquino Carbono-Boro	550
9	1013.26	Grupo Hidroxilo	1018
16	1361.53	Deformación Simétrica del grupo metilo	1362

18	1445.74	Alcano	1456
19	1508.2	Grupo Nitro	1506
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1652
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3356
I8			
3	562.04	Haluro Alquino Carbono-Boro	584
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1636
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3356
Picos después del proceso de Extracción			
N°	picos de BPA (cm ⁻¹)	Descripción	Picos Muestras
L1			
1	532.28	Haluro Alquilo Carbono-Cloro	541
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1635
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3335
L2			
3	562.04	Haluro Alquino Carbono-Boro	560
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1635
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3335
L3			
4	648.6	Haluro Alquino Carbono-Boro	637
18	1445.74	Alcano	1456
19	1508.2	Grupo Nitro	1506
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1635
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3354

Fuente: Autores

La tabla 18 demuestra que antes de la extracción de BPA hubo varios compuestos dentro de la marca I1, que al ser agua mineral, el espectro pudo haber expuesto sus componentes, sin embargo, habiendo realizado la separación orgánica el número de picos fue menor (*Anexo 12.11.6*).

Tabla 19. Picos S1

Picos Antes del Proceso de Extracción			
N°	picos de BPA (cm ⁻¹)	Descripción	Picos Muestras
S1			
1	532.28	Haluro Alquilo Carbono-Cloro	534

2	551.31	Haluro Alquino Carbono-Boro	545
3	562.04	Haluro Alquino Carbono-Boro	564
9	1013.26	Grupo Hidroxilo	1032
13	1176.8	Éster	1152
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1635
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3323
S2			
1	532.28	Haluro Alquilo Carbono-Cloro	532
2	551.31	Haluro Alquino Carbono-Boro	550
3	562.04	Haluro Alquino Carbono-Boro	562
9	1013.26	Grupo Hidroxilo	1023
13	1176.8	Éster	1153
18	1445.74	Alcano	1456
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1635
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3349
S4			
1	532.28	Haluro Alquilo Carbono-Cloro	536
2	551.31	Haluro Alquino Carbono-Boro	548
3	562.04	Haluro Alquino Carbono-Boro	562
9	1013.26	Grupo Hidroxilo	1017
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1635
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3348
S5			
1	532.28	Haluro Alquilo Carbono-Cloro	532
2	551.31	Haluro Alquino Carbono-Boro	553
3	562.04	Haluro Alquino Carbono-Boro	567
18	1445.74	Alcano	1456
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1635
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3348
S7			
1	532.28	Haluro Alquilo Carbono-Cloro	532
2	551.31	Haluro Alquino Carbono-Boro	554
3	562.04	Haluro Alquino Carbono-Boro	563
9	1013.26	Grupo Hidroxilo	1032
13	1176.8	Éster	1153
18	1445.74	Alcano	1456
20	1598.08	Anillos Aromáticos	1521
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1635
22	2964.99	Grupo Metilo	2908
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3323
S8			
1	532.28	Haluro alquilo Carbono-Cloro	532
2	551.31	Haluro Alquino Carbono-Boro	549

3	562.04	Haluro Alquino Carbono-Boro	563
9	1013.26	Grupo Hidroxilo	1031
13	1176.8	Éster	1158
18	1445.74	Alcano	1456
19	1508.2	Grupo Nitro	1506
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1635
22	2964.99	Grupo Metilo	2909
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3322
Picos después del proceso de Extracción			
N°	picos de BPA (cm ⁻¹)	Descripción	Picos Muestras
L1			
1	532.28	Haluro alquilo Carbono-Cloro	536
2	551.31	Haluro Alquino Carbono-Boro	545
3	562.04	Haluro Alquino Carbono-Boro	568
9	1013.26	Grupo Hidroxilo	1045
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1635
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3356
L2			
1	532.28	Haluro alquilo Carbono-Cloro	519
2	551.31	Haluro Alquino Carbono-Boro	544
3	562.04	Haluro Alquino Carbono-Boro	568
19	1508.2	Grupo Nitro	1506
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1635
22	2964.99	Grupo Metilo	2909
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3322
L3			
3	562.04	Haluro Alquino Carbono-Boro	580
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1636
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3333

Fuente: Autores

En la tabla 19 de la marca S1, se encontró una mayor cantidad de picos en comparación con las demás muestras, tanto antes como después de la extracción (*Anexo 12.11.7*).

Tabla 20. Picos L1

Picos Antes del Proceso de Extracción			
N°	picos de BPA (cm ⁻¹)	Descripción	Picos Muestras

L1			
1	532.28	Haluro alquilo Carbono-Cloro	518
2	551.31	Haluro Alquino Carbono-Boro	542
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3334
L2			
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1637
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3334
L4			
2	551.31	Haluro Alquino Carbono-Boro	548
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1613
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3330
L5			
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1636
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3346
L7			
1	532.28	Haluro Alquilo Carbono-Cloro	536
2	551.31	Haluro Alquino Carbono-Boro	548
3	562.04	Haluro Alquino Carbono-Boro	564
18	1445.74	Alcano	1437
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1636
22	2964.99	Grupo Metilo	2926
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3350
L8			
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1637
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3360
Picos después del proceso de Extracción			
Nº	picos de BPA (cm ⁻¹)	Descripción	Picos Muestras
LL1			
1	532.28	Haluro Alquilo Carbono-Cloro	540
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1635
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3332
LL2			
1	532.28	Haluro Alquilo Carbono-Cloro	518
2	551.31	Haluro Alquino Carbono-Boro	539
18	1445.74	Alcano	1457
20	1598.08	Anillos Aromáticos	15558
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1635
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3356
LL3			
1	532.28	Haluro Alquilo Carbono-Cloro	541
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1635

23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3333
----	---------	-------------------	------

Fuente: Autores

En la marca L1, donde hubo mayor concentración de BPA en el lote número 1 según el UV-VIS, refleja 6 picos característicos de BPA en el mismo Lote (*Anexo 12.11.8*).

Tabla 21. Picos A1

Picos Antes del Proceso de Extracción			
Nº	picos de BPA (cm ⁻¹)	Descripción	Picos Muestras
A1			
1	532.28	Haluro Alquilo Carbono-Cloro	533.29
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1634
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3234
A2			
1	532.28	Haluro Alquilo Carbono-Cloro	517.93
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1634
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3252
A4			
1	532.28	Haluro Alquilo Carbono-Cloro	530.22
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1634
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3259
A5			
1	532.28	Haluro Alquilo Carbono-Cloro	510.17
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1634
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3250
A7			
1	532.28	Haluro Alquilo Carbono-Cloro	530.29
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1634
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3251
A8			
1	532.28	Haluro Alquilo Carbono-Cloro	533.85
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1634
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3251
Picos después del proceso de Extracción			
Nº	picos de BPA (cm ⁻¹)	Descripción	Picos Muestras
L1			
3	562.04	Haluro Alquino Carbono-Boro	592.92

21	1611.49	Anillos Aromáticos	1636
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3337
L2			
1	532.28	Haluro Alquilo Carbono-Cloro	531
2	551.31	Haluro Alquino Carbono-Boro	545
3	562.04	Haluro Alquino Carbono-Boro	596
12	1113.06	Alcoholes y Éteres (primario o secundario)	1101
19	1508.2	Grupo Nitro	1466
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1637
22	2964.99	Grupo Metilo	2959
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3362
L3			
1	532.28	Haluro Alquilo Carbono-Cloro	538
3	562.04	Haluro Alquino Carbono-Boro	572
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1634
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3352

Fuente: Autores

En el lote 2 de la marca A1, es donde se encontró la mayor cantidad de picos característicos de BPA, con un valor total de 8 (*Anexo 12.11.9*).

Tabla 22. Picos G1

Picos Antes del Proceso de Extracción			
Nº	picos de BPA (cm ⁻¹)	Descripción	Picos Muestras
G1			
3	562.04	Haluro Alquino Carbono-Boro	562
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1635
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3333
G2			
3	562.04	Haluro Alquino Carbono-Boro	583
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1635
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3333
G4			
2	551.31	Haluro Alquino Carbono-Boro	555
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1635
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3331

G5			
2	551.31	Haluro Alquino Carbono-Boro	556
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1635
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3332
G7			
3	562.04	Haluro Alquino Carbono-Boro	568
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1635
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3335
G8			
3	562.04	Haluro Alquino Carbono-Boro	595
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1636
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3334
Picos después del proceso de Extracción			
N°	picos de BPA (cm ⁻¹)	Descripción	Picos Muestras
L1			
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1636
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3333
L2			
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1638
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3352
L3			
2	551.31	Haluro Alquino Carbono-Boro	557
21	1611.49	Anillos Aromáticos	1636
23	3333.25	Alcoholes Fenoles	3336

Fuente: Autores

En la comparación del antes y después reflejada en tabla 22 no se observa mayor cambio luego de haber realizado la extracción de BPA (*Anexo 12.11.10.*).

8.8. Comparativa con la normativa Internacional

En la siguiente tabla se indican los mg de BPA encontrados en los diferentes lotes de agua embotellada multiplicados por el peso promedio de una persona adulta, donde se puede observar (x) que ningún valor está por debajo de los valores de Ingesta Diaria Tolerable (IDT) de 2 normativas que se utilizaron para comparación.

Tabla 23. Comparativa con normativa Internacional

No.	Marca	Litros de contenido de agua por envase	mg BPA en los lotes de agua	* 70 kg de una persona adulta promedio (mg)	IDT Reglamento UE: 0.2 ng/kg de peso corporal	IDT Canadá: 25 µg BPA/kg de peso corporal
1	DL1	0.6	0.05	3.71	x	x
2	DL2	0.6	0.06	4.28	x	x
3	DL3	0.6	0.08	5.47	x	x
4	VL1	0.6	0.07	4.80	x	x
5	VL2	0.6	0.06	3.93	x	x
6	VL3	0.6	0.03	2.24	x	x
7	WL1	0.625	0.09	6.39	x	x
8	WL2	0.625	0.04	2.98	x	x
9	WL3	0.625	0.07	4.87	x	x
10	TL1	0.625	0.20	14.13	x	x
11	TL2	0.625	0.20	14.31	x	x
12	TL3	0.625	0.16	10.93	x	x
13	CL1	0.625	0.20	14.06	x	x
14	CL2	0.625	0.20	13.69	x	x
15	CL3	0.625	0.19	13.06	X	x
16	IL1	0.55	0.17	11.56	X	x
17	IL2	0.55	0.17	12.00	X	x
18	IL3	0.55	0.19	13.30	X	x
19	SL1	0.5	0.31	21.67	X	x
20	SL2	0.5	0.26	17.88	X	x
21	SL3	0.5	0.30	20.84	X	x
22	LL1	0.5	0.54	37.87	X	x
23	LL2	0.5	0.54	37.91	X	x
24	LL3	0.5	0.26	18.49	X	x
25	AL1	0.4	0.16	11.24	X	x
26	AL2	0.4	0.17	12.13	X	x
27	AL3	0.4	0.16	11.30	X	x
28	GL1	0.355	0.24	16.94	X	x
29	GL2	0.355	0.16	11.20	X	x
30	GL3	0.355	0.15	10.81	X	x

Fuente: Autores

En la Tabla 23 se realizó una comparación de los 30 lotes de cada marca, cada marca tiene su volumen específico, en base a ello se realizó el cálculo de cuantos miligramos por mililitros hay en cada muestra con ayuda de la concentración inicial de la solución madre (100 ppm) y las concentraciones encontradas en cada muestra usando una regla de tres simple y así poder compararlo con la normativa en utilizando unidades similares.

Posteriormente se compararon estos valores con la normativa internacional en función de la Ingesta diaria tolerable establecida por la Unión Europea (Reglamento UE) 0.2 nanogramos por kilogramo de peso corporal (nm/kg) y Canadá (Health Canadá) 25 μ /kg de peso corporal. Al multiplicar los valores en mg por 70 kg en peso promedio de un adulto, según el valor de estas unidades es evidente que ningún lote está por debajo de los límites establecidos, en definitiva, los valores encontrados en las concentraciones de Bisfenol A obtenidos según el Análisis Cuantitativo UV-VIS no cumplen con la IDT de ninguna de las normativas internacionales al compararlas las concentraciones encontradas.

8.9. Comparativa Cualitativa Porcentual.

Tabla 24. Comparativa % de Similitud de Picos

No.	Marca	% de similitud de los picos de las muestras con los picos de BPA	No.	Marca	% de similitud de los picos de las muestras con los picos de BPA
1	DL1	13	16	IL1	13
2	DL2	13	17	IL2	13
3	DL3	13	18	IL3	22
4	VL1	13	19	SL1	26
5	VL2	22	20	SL2	30

6	VL3	13	21	SL3	13
7	WL1	13	22	LL1	13
8	WL2	26	23	LL2	26
9	WL3	30	24	LL3	13
10	TL1	13	25	AL1	13
11	TL2	13	26	AL2	35
12	TL3	13	27	AL3	17
13	CL1	30	28	GL1	9
14	CL2	22	29	GL2	9
15	CL3	13	30	GL3	13

Fuente: Autores

Luego de haber tabulado los picos característicos de BPA, en la Tabla 24 se cuantificó que porcentaje de similitud había entre los picos de BPA y los picos que registramos en el FTIR, donde se pudo observar un porcentaje máximo de 35% de similitud y una media de 13%.

8.10. El almacenamiento como Factor que influyen en la liberación del BPA

Como factores que influyen en la liberación de BPA según estudios, es el **almacenamiento**, dado esto realizamos la comparación entre el tiempo de almacenamiento y miligramos de BPA encontrados en las muestras por UV-VIS con dos matrices de datos expuestos en la Tabla 25.

Tabla 25. Comparativa de Factores que intervienen en la Liberación de BPA.

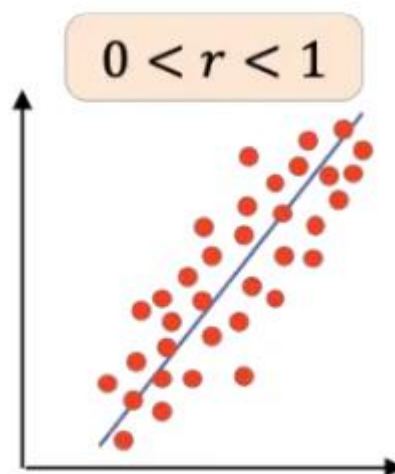
No.	Marca	mg BPA en los lotes de agua	Almacenamiento (Semanas)
3	DL3	0.08	1
4	VL1	0.07	1

7	WL1	0.09	2
11	TL2	0.20	2
13	CL1	0.20	3
18	IL3	0.19	3
19	SL1	0.31	4
22	LL1	0.54	4
26	AL2	0.17	5
28	GL1	0.24	5

Fuente: Autores

En la tabla 25 se exponen los datos de mg de BPA con la concentración más grande encontrada en cada lote, además del número de semanas de almacenamiento puestas en el orden de muestreo establecido en un principio, con lo que se realizó el cálculo del coeficiente de Pearson que relaciona el tiempo de almacenamiento desde el momento del primer muestreo, con la cantidad BPA, en este caso, el coeficiente de Pearson es 0.6, este valor explica y corrobora la afirmación del estudio en el que se basó esta variable para determinar la correlación entre el tiempo de almacenamiento y las cantidades de BPA en mg.

Figura 8. Ejemplo de modelo de dispersión positiva

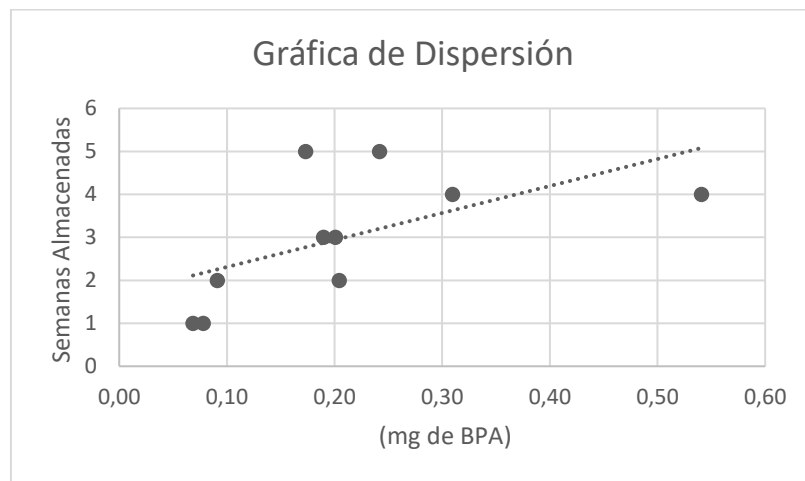


Fuente: (Estadística, 2022)

Cuando el coeficiente de Pearson se encuentra entre cero y uno (Figura 10) la correlación entre las dos variables es positiva, cuanto más cerca esté el valor de +1 más fuerte es la relación entre las variables.

A continuación, la Gráfica 9 expone el modelo de dispersión de la concentración en función del tiempo de almacenamiento, con una línea de tendencia positiva.

Gráfica 9. Modelo de Dispersión Almacenamiento



Fuente: Autores

Para aclarar la relación que expone la gráfica 9 entre la cantidad de BPA encontrada en cada muestra y el tiempo de almacenamiento da como resultado un coeficiente de Pearson con de 0.6, lo cual indica que el BPA aumenta en cantidad conforme pasa el tiempo de almacenamiento, sin embargo, aunque el coeficiente indique que existe una relación lineal positiva, y moderadamente fuerte, para asegurar que a medida que aumenta el tiempo de almacenamiento aumenta la concentración de BPA, debe acercarse aún más a uno, lo que quiere decir que la relación, de 0,6 sugiere que existen otros factores que influyen y no se

toman en cuenta dentro de la relación, dado esto hay que implementar otras variables, como temperatura, para obtener una mejor relación y mejores resultados.

9. Conclusiones

El presente trabajo tuvo el objetivo de identificar Bisfenol A (BPA) presente en agua embotellada en envases PET, para lograr esto se utilizaron técnicas de espectrofotometría Infrarroja FTIR y UV-VIS,

En el estudio de Espectroscopía Infrarroja se encontraron picos característicos del BPA mayoritariamente en 3 rangos del espectro, haluros de alquilo ($510-650\text{cm}^{-1}$), anillos aromáticos ($1500-1650\text{cm}^{-1}$) y alcoholes fenoles ($3200-3600\text{cm}^{-1}$) (Tabla 13-22) (Anexo 12.11), en los diferentes lotes muestreados, los cuales se analizaron por porcentaje de similitud en relación al espectro del estándar de BPA, con un promedio de picos característicos de 13%, y un mayor porcentaje de similitud de 35%, lo cual denota la probabilidad de presencia de este contaminante en el agua embotellada.

También se llevó a cabo una calibración cuantitativa, con la que pudimos interpolar la absorbancia obtenida en UV- VIS de las muestras de agua con las diferentes concentraciones de la curva patrón a una longitud de onda de 225 nm, en este proceso los resultados determinaron una concentración promedio de 1.8 ppm, y una concentración máxima de 5.4 ppm de Bisfenol A (BPA); si tomamos la concentración mínima encontrada de 53.4 $\mu\text{g/L}$ (microgramos por litro) y la comparamos con la Ingesta Diaria Tolerable más alta dada por Health Canadá, de $25\mu\text{g/kg}$ de peso corporal, se concluye que una botella de 600 ml, supera la IDT 2.1 veces. En definitiva, en comparación con las normativas internacionales las concentraciones de BPA están por encima de los límites establecidos.

En cuanto a la Normativa Nacional, tanto en la INEN 2178 como en la INEN 2200 destinadas a normar las aguas purificadas y minerales, se establece que el envase en que se

encuentran este tipo alimentos debe estar catalogado como “Material Grado alimentario”, aunque explícitamente no se mencionan contaminantes tóxicos, el material de envasado debe estar ausente de cualquier tipo dentro contaminante. A esto se le agrega la “Ley Orgánica para la racionalización, reutilización y reducción de plásticos de un solo uso”, donde se establece la prohibición del BPA en la fabricación de plásticos que estén destinados a estar en contacto con los alimentos, además de que los límites permitidos para consumo humano, se rijan a los límites establecidos por las normas internacionales equivalentes, en conclusión y según las normativas INEN y Ley Orgánica, las concentraciones encontradas dentro de este trabajo experimental no cumplen con dichas regulaciones.

Para finalizar se realizó otro análisis con el coeficiente de correlación de Pearson, esta vez en función de las cantidades de BPA en mg, con el objetivo de identificar si el tiempo de almacenamiento influye en el desprendimiento de BPA hacia el agua embotellada, esta vez, se tomaron en cuenta las cantidades más grandes de BPA identificadas en cada lote por muestra, y se determinó un coeficiente de correlación de 0.6, indicando que mientras más tiempo se almacene el agua embotellada existe mayor cantidad de BPA.

En conclusión, se encontró un promedio de concentraciones 1,8 ppm de BPA, en el agua envasa botellas plásticas PET (Tereftalato de Polietileno), superando la IDT de 2 diferentes normativas internacionales, (Canadá, Unión Europea), también se realizó un análisis cualitativo que arrojó varios picos característicos de BPA, y además, se tomó en cuenta los factores que influyen en la migración del BPA hacia los alimentos, dando como resultado que las botellas plásticas con mayor tiempo de almacenamiento contienen las mayores concentraciones de BPA.

10. Recomendaciones

Se recomienda realizar más estudios en el campo de Bisfenol A, para mejorar las metodologías de detección, y corroborar los datos, y asegurar la calidad alimentaria de este tipo de productos, ya que, según los resultados, las concentraciones de BPA, sobrepasan todos los límites permisibles de Ingesta Diaria Tolerable, las Marcas V1, D1 y W1 son las que tienen las concentraciones más bajas dentro de sus lotes,

Una buena calibración de los equipos de laboratorio como FTIR o UV-VIS antes de comenzar a trabajar con ellos, como se pudo observar en el análisis FTIR, puede haber muchas interferencias, entre ellos los mismos componentes del agua, para ello es recomendable restar los picos de agua y compararlos con las Bibliotecas del programa “ONMIC”

Al momento de realizar las diluciones, es importante el buen uso de las micropipetas, para lograr una curva patrón convincente.

11. Bibliografía

- Abellan, A. (2023). Los disruptores endocrinos: ¿qué son y cómo nos afectan? - Blog. Recuperado 13 de febrero de 2025, de ISGLOBAL website:
<https://www.isglobal.org/healthisglobal/-/custom-blog-portlet/los-disruptores-endocrinos-que-son-y-como-nos-afectan->
- Alarcón, I. (2023a). Ecuador está entre los 30 países que más consumen agua embotellada. Recuperado 31 de marzo de 2025, de Youtopia website:
<https://youtopiaecuador.com/ecuador-agua-embotellada-consumo/>
- Alarcón, I. (2023b, marzo 22). Ecuador está entre los 30 países que más consumen agua embotellada. Recuperado 31 de marzo de 2025, de Youtopia website:
<https://youtopiaecuador.com/ecuador-agua-embotellada-consumo/>
- Alex. (2025, marzo 17). ¿Qué materiales para botellas de agua están libres de BPA? Guía para compradores y distribuidores de marcas - Haers Drinkware. Recuperado 14 de julio de 2025, de [https://www.haers.com/es/%C2%BFQu%C3%A9-materiales-de-botellas-de-agua-est%C3%A1n-libres-de-BPA-Una-gu%C3%ADa-para-compradores-y-minoristas-de-marca./](https://www.haers.com/es/%C2%BFQu%C3%A9-materiales-de-botellas-de-agua-est%C3%A1n-libres-de-BPA-Una-gu%C3%ADa-para-compradores-y-minoristas-de-marca/)
- algor. (s. f.). Principios de la Espectroscopia Ultravioleta-Visible (UV-Vis). Recuperado 7 de julio de 2025, de <https://cards.algorededucation.com/es/content/OByVHdMn/espectroscopia-uv-vis>
- Canada, H. (2009, marzo 11). ARCHIVED - Survey of Bisphenol A in Bottled Water Products [Transparency - other]. Recuperado 3 de abril de 2025, de <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/food-nutrition/food-safety/packaging-materials/bisphenol/survey-bisphenol-bottled-water-products.html>

- Claight Corporation. (2025). Mercado de Agua Embotellada en Ecuador, Informe 2025-2034 | Análisis, Tamaño, Cuota. Recuperado 6 de febrero de 2025, de <https://www.informesdeexpertos.com/informes/mercado-de-agua-embotellada-en-ecuador>
- CLARITY-BPA Program. (s. f.). Recuperado 29 de julio de 2025, de National Toxicology Program website: <https://ntp.niehs.nih.gov/research/topics/bpa>
- Cortada, C. (2012). *Nuevas metodologías y aplicaciones de las técnicas de microextracción líquido-líquido para la determinación de contaminantes orgánicos*.
- Craig, A. (2025, abril 1). Determination of Bisphenol A in Drinking Water. Recuperado 31 de marzo de 2025, de https://www.sigmaaldrich.com/EC/en/technical-documents/protocol/environmental-testing-and-industrial-hygiene/drinking-water-testing/bisphenol-a-water?srsId=AfmBOoqqXncTCpuLZxK2x_5niRI-IP8eXIGEiy84sXO7FTdTwh8Be030
- Doria-Herrera, G. M., Peñuela-Meza, G., Valencia, G. C., Gómez-Miranda, I. N., Soltan, J., Doria-Herrera, G. M., ... Soltan, J. (2020). Spectrophotometric determination profile of bisphenol a in the photodegradation process with singlet molecular oxygen. *Ciencia En Desarrollo*, 11(2), 171-184.
<https://doi.org/10.19053/01217488.v11.n2.2020.11240>
- ESFA. (2023, abril 19). El bisfenol A en los alimentos constituye un riesgo para la salud | EFSA. Recuperado 7 de julio de 2025, de <https://www.efsa.europa.eu/es/news/bisphenol-food-health-risk>
- Estadística, P. y. (2022, febrero 15). ▷ Coeficiente de correlación de Pearson. Recuperado 14 de julio de 2025, de Probabilidad y Estadística website: <https://www.probabilidadyestadistica.net/coeficiente-de-correlacion-de-pearson/>

- Flórez Efres, E. M. (2020). *Extracción y caracterización de 4,4'-(propano-2,2-diil)difenol proveniente de papel térmico usado con reincorporación de su celulosa en la línea de reciclaje*. Recuperado de <https://noesis.uis.edu.co/handle/20.500.14071/40492>
- García, J., Gallego, C., & Font, G. (2015). *Toxicidad del Bisfenol A: Revisión*. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91942717014>
- Hentges, S. (2018, agosto 20). BPA en las botellas de agua de plástico: Manténgase informado | Información sobre el BPA. Recuperado 14 de julio de 2025, de Facts About BPA website: <https://www.factsaboutbpa.org/blog/explanation-bpa-plastic-water-bottles/>
- INEN. (2025). Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN – Ecuador. Recuperado 12 de junio de 2025, de <https://www.normalizacion.gob.ec/>
- LaMotte, S. (2024, abril 22). ¿Cuánto plástico hay en los alimentos que consumes? Mucho más de lo que crees, según los expertos. Recuperado 31 de marzo de 2025, de CNN website: <https://cnnespanol.cnn.com/2024/04/22/alimentos-plasticos-expertos-trax>
- Marsolea, A., Chiriac, F., Orbeci, C., Bobirica, L., & Bobirica, C. (2023). Migration and leaching behaviour of Bisphenol A from polyethylene terephthalate water bottles under different storage conditions. Recuperado 14 de julio de 2025, de ResearchGate website: https://www.researchgate.net/publication/371991618_Migration_and_leaching_behaviour_of_Bisphenol_A_from_polyethylene_terephthalate_water_bottles_under_different_storage_conditions
- Martínez, A. M. S. (2004). *Tema 4: Métodos de muestreo*. (1).

Mecalux. (s. f.). Número de lote: Definición y por qué es clave en la cadena de suministro.

Recuperado 17 de junio de 2025, de <https://www.mecalux.com.mx/blog/numero-de-lote>

Parraguez, W. (2018). *Determinación de Bisfenol-A en aguas contenidas en botellas de plástico para beber, realizado en la ciudad de Lima- Año-2017*. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.13053/1856>

Picric, J. (2014, septiembre 15). ¿Qué es el Bisfenol A (BPA)? Conoce todos los riesgos.

Recuperado 16 de julio de 2025, de Blog Conasi website:

<https://www.conasi.eu/blog/colaboradores-especiales/bisfenol-a-bpa/>

Pombo, M., Castro, L., Barreiro, J., & Cabanas, P. (2020). Una revisión sobre los disruptores endocrinos y su posible impacto sobre la salud de los humanos. *Revista Española Endocrinología Pediátrica*, (11).

<https://doi.org/10.3266/RevEspEndocrinolPediatr.pre2020.Nov.619>

Preza, J. (s. f.). *Universidad nacional autónoma de México*.

Program, H. F. (2024). Bisphenol A (BPA). *FDA*. Recuperado de

<https://www.fda.gov/food/food-packaging-other-substances-come-contact-food-information-consumers/bisphenol-bpa>

Reglamento (UE). *Reglamento (UE) 2024/3190 de la Comisión, de 19 de diciembre de 2024, sobre el uso de bisfenol A (BPA) y otros bisfenoles y derivados de bisfenoles con clasificación armonizada para propiedades peligrosas específicas en determinados materiales y objetos destinados a entrar en contacto con alimentos, por el que se modifica el Reglamento (UE) n.o 10/2011 y se deroga el Reglamento (UE) 2018/213. , (2024).*

- Santhi, V. A., Sakai, N., Ahmad, E. D., & Mustafa, A. M. (2012). Occurrence of bisphenol A in surface water, drinking water and plasma from Malaysia with exposure assessment from consumption of drinking water. *Science of The Total Environment*, 427-428, 332-338. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.04.041>
- science. (s. f.). ¿Cómo se usa el cloroformo? Recuperado 9 de julio de 2025, de <https://es.scienceaq.com/Chemistry/1003192032.html>
- Scribd. (s. f.). Que Es Una Microfiltración | PDF | Filtración | Química. Recuperado 8 de julio de 2025, de Scribd website: <https://es.scribd.com/document/380711170/Que-es-una-Microfiltracion-docx>
- StrategyHelix. (2024). Mercado de agua embotellada de Ecuador 2024 – EstrategiaHelix. Recuperado 13 de febrero de 2025, de <https://store.strategyh.com/es/report/bottled-water-market-in-ecuador/>
- Tapia Santana, P. A., & Calupiña Moya, C. J. (2014). *Análisis de la evolución del mercado de agua embotellada, del año 2009 al 2013, en la ciudad de Quito, desde la perspectiva del posicionamiento y participación de las marcas* (bachelorThesis). Recuperado de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6209>
- Ullah, R., Ahmad, I., & Zheng, Y. (2016). Fourier Transform Infrared Spectroscopy of “Bisphenol A”. *Journal of Spectroscopy*, 2016(1), 2073613. <https://doi.org/10.1155/2016/2073613>
- Vallejo, J. A. S., & Espinoza, G. A. S. (2015). *Estudio del comportamiento del consumidor en el mercado de agua embotellada con conciencia ecológica en la ciudad de Guayaquil*.

Yun, W. M., Ho, Y. B., Tan, E. S. S., & How, V. (2018). *Release of Bisphenol A From Polycarbonate and Polyethylene Terephthalate Drinking Water Bottles Under Different Storage Conditions and Its Associated Health Risk.*

12. Anexos

12.1. Muestreo



12.2. Reactivo Estándar de BPA 99.5% de pureza



12.3. Peso de Mg de BPA



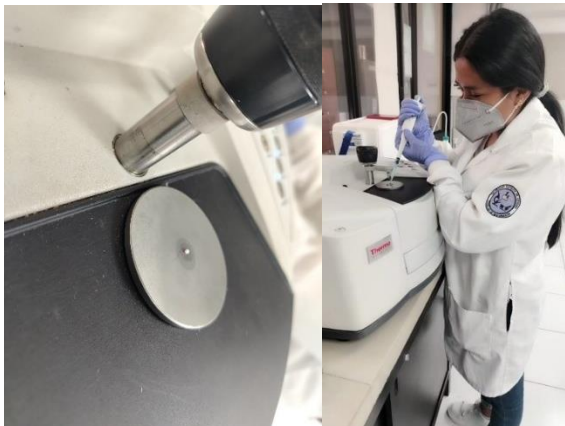
12.4. Pipeteo de Disoluciones



12.5. Materiales



12.6. Procedimiento FTIR



12.7. Micro filtración



12.8. Extracción de BPA



12.9. Recolección de la Extracción



12.10. UV-VIS

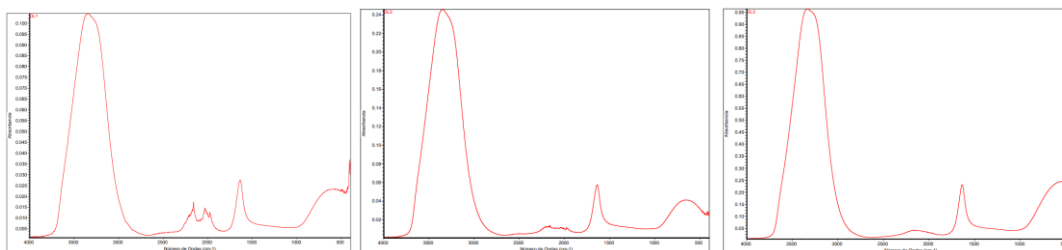


12.11. Espectros FTIR muestras lotes de muestras de agua por código de Muestra.

Los espectros que se muestran a continuación fueron registrados y obtenidos de 3 lotes por 10 marcas de agua

12.11.1. Espectros de Agua embotellada después de la extracción de BPA de los 3 Lotes muestreados de la marca D1

Las Gráficas expuestas a continuación pertenecen a la Marca establecida en código como **D1**, donde se pueden observar 3 espectros específicos de cada lote que se muestreó de esa marca en específico (DL1,DL2,DL3), estos espectros fueron tomados después del proceso de extracción del BPA, de los cuales se extrajeron los Picos Característicos de Bisfenol A (BPA) para su posterior comparación, descritos en la Tabla 13.

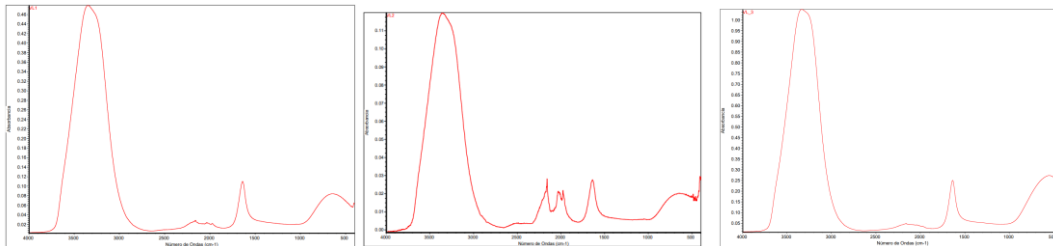


<i>DL1</i>	<i>DL2</i>	<i>DL3</i>
------------	------------	------------

12.11.2. Espectros de Agua embotellada después de la extracción de BPA de los 3 Lotes muestreados de la marca V1

Las Gráficas expuestas a continuación pertenecen a la Marca establecida en código como **V1**, donde se pueden observar 3 espectros específicos de cada lote que se muestreó de esa marca en específico (VL1,VDL2,VDL3), estos espectros fueron tomados después del

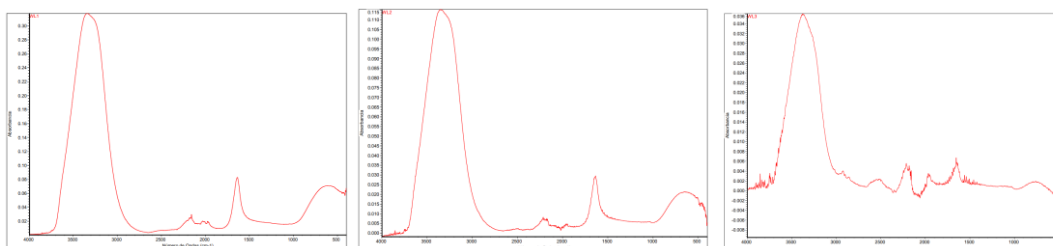
proceso de extracción del BPA, de los cuales se extrajeron los Picos Característicos de Bisfenol A (BPA) para su posterior comparación, descritos en la Tabla 14.



<i>VL1</i>	<i>VL2</i>	<i>VL3</i>
------------	------------	------------

12.11.3. Espectros de agua embotellada después de la extracción de BPA de los tres lotes muestreados de la marca W1

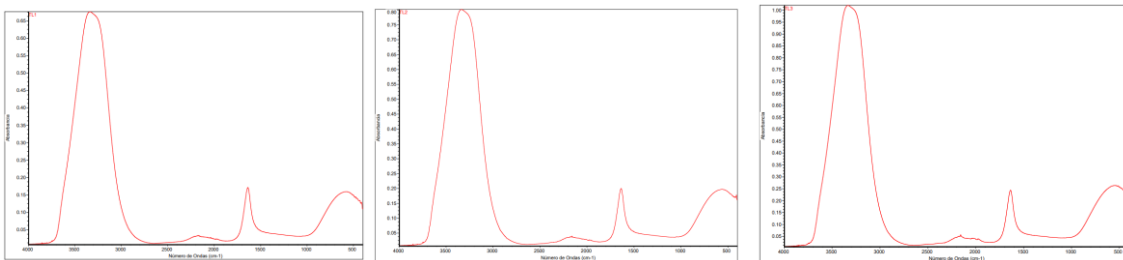
Las Gráficas expuestas a continuación pertenecen a la Marca establecida en código como **W1**, donde se pueden observar 3 espectros específicos de cada lote que se muestreó de esa marca en específico (WL1,WL2,WL3), estos espectros fueron tomados después del proceso de extracción del BPA, de los cuales se extrajeron los Picos Característicos de Bisfenol A (BPA) para su posterior comparación, descritos en la Tabla 15.



<i>WL1</i>	<i>WL2</i>	<i>WL3</i>
------------	------------	------------

12.11.4. Espectros de agua embotellada después de la extracción de BPA de los tres lotes muestreados de la marca T1

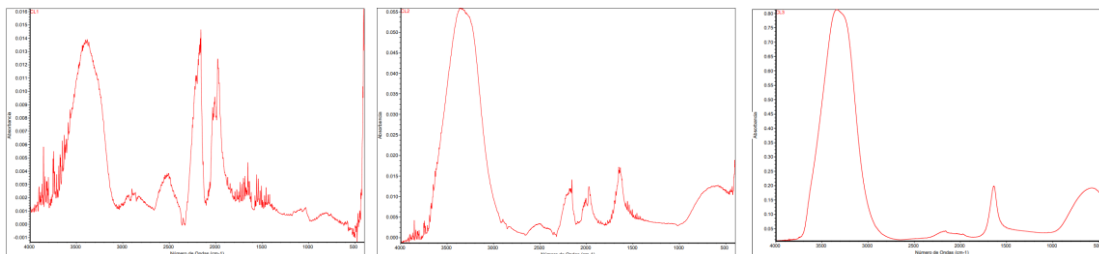
Las Gráficas expuestas a continuación pertenecen a la Marca establecida en código como **T1**, donde se pueden observar 3 espectros específicos de cada lote que se muestreó de esa marca en específico (TL1,TL2,TL3), estos espectros fueron tomados después del proceso de extracción del BPA, de los cuales se extrajeron los Picos Característicos de Bisfenol A (BPA) para su posterior comparación, descritos en la Tabla 16.



<i>TL1</i>	<i>TL2</i>	<i>TL3</i>
------------	------------	------------

12.11.5. Espectros de agua embotellada después de la extracción de BPA de los tres lotes muestreados de la marca C1

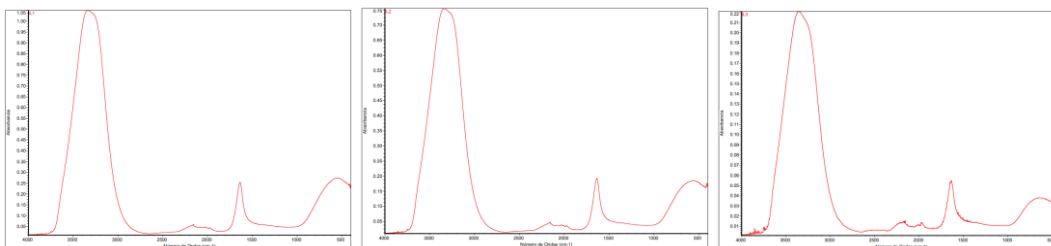
Las Gráficas expuestas a continuación pertenecen a la Marca establecida en código como **C1**, donde se pueden observar 3 espectros específicos de cada lote que se muestreó de esa marca en específico (CL1,CL2,CL3), estos espectros fueron tomados después del proceso de extracción del BPA, de los cuales se extrajeron los Picos Característicos de Bisfenol A (BPA) para su posterior comparación, descritos en la Tabla 17.



<i>CL1</i>	<i>CL2</i>	<i>CL3</i>
------------	------------	------------

12.11.6. Espectros de agua embotellada después de la extracción de BPA de los tres lotes muestreados de la marca I1

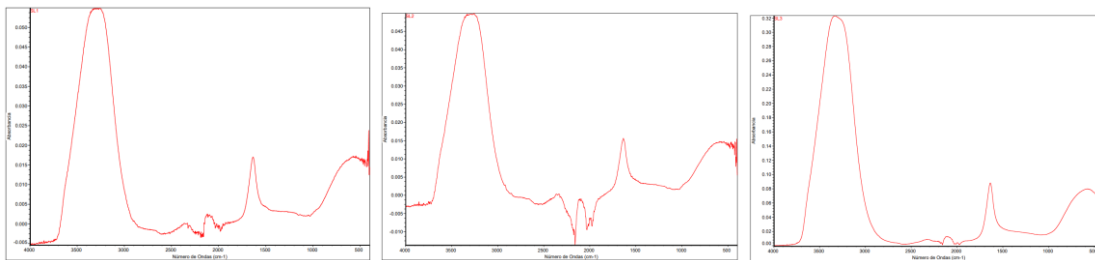
Las Gráficas expuestas a continuación pertenecen a la Marca establecida en código como **I1**, donde se pueden observar 3 espectros específicos de cada lote que se muestreó de esa marca en específico (IL1,IL2,IL3), estos espectros fueron tomados después del proceso de extracción del BPA, de los cuales se extrajeron los Picos Característicos de Bisfenol A (BPA) para su posterior comparación, descritos en la Tabla 18.



<i>CL1</i>	<i>CL2</i>	<i>CL3</i>
------------	------------	------------

12.11.7. Espectros de agua embotellada después de la extracción de BPA de los tres lotes muestreados de la marca S1

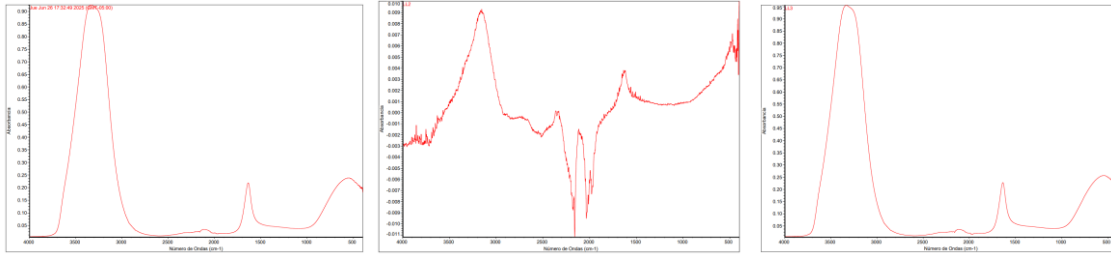
Las Gráficas expuestas a continuación pertenecen a la Marca establecida en código como **S1**, donde se pueden observar 3 espectros específicos de cada lote que se muestreó de esa marca en específico (SL1,SL2,SL3), estos espectros fueron tomados después del proceso de extracción del BPA, de los cuales se extrajeron los Picos Característicos de Bisfenol A (BPA) para su posterior comparación, descritos en la Tabla 19.



<i>SL1</i>	<i>SL2</i>	<i>SL3</i>
------------	------------	------------

12.11.8. Espectros de agua embotellada después de la extracción de BPA de los tres lotes muestreados de la marca L1

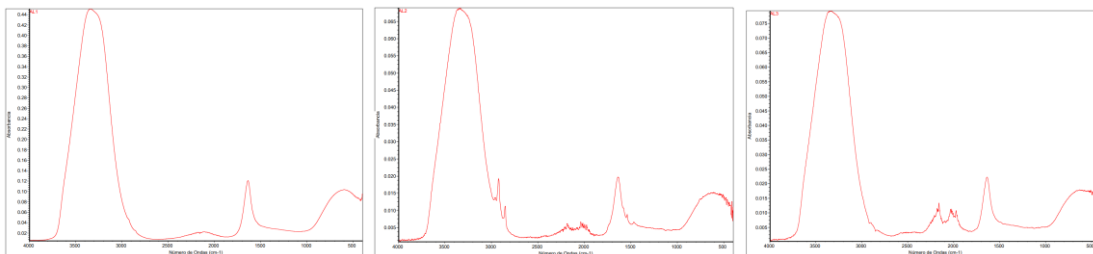
Las Gráficas expuestas a continuación pertenecen a la Marca establecida en código como **L1**, donde se pueden observar 3 espectros específicos de cada lote que se muestreó de esa marca en específico (LL1,LL2,LL3), estos espectros fueron tomados después del proceso de extracción del BPA, de los cuales se extrajeron los Picos Característicos de Bisfenol A (BPA) para su posterior comparación, descritos en la Tabla 20.



<i>LL1</i>	<i>LL2</i>	<i>LL3</i>
------------	------------	------------

12.11.9. Espectros de agua embotellada después de la extracción de BPA de los tres lotes muestreados de la marca A1

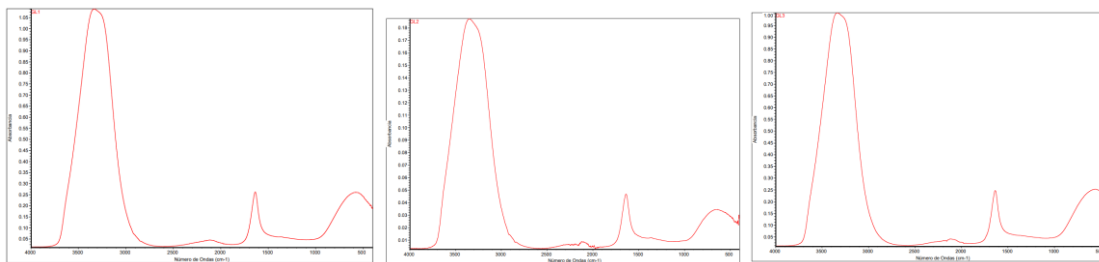
Las Gráficas expuestas a continuación pertenecen a la Marca establecida en código como **A1**, donde se pueden observar 3 espectros específicos de cada lote que se muestreó de esa marca en específico (AL1,AL2,AL3), estos espectros fueron tomados después del proceso de extracción del BPA, de los cuales se extrajeron los Picos Característicos de Bisfenol A (BPA) para su posterior comparación, descritos en la Tabla 21.



<i>AL1</i>	<i>AL2</i>	<i>AL3</i>
------------	------------	------------

12.11.10. Espectros de agua embotellada después de la extracción de BPA de los tres lotes muestreados de la marca G1

Las Gráficas expuestas a continuación pertenecen a la Marca establecida en código como **G1**, donde se pueden observar 3 espectros específicos de cada lote que se muestreó de esa marca en específico (GL1, GL2, GL3), estos espectros fueron tomados después del proceso de extracción del BPA, de los cuales se extrajeron los Picos Característicos de Bisfenol A (BPA) para su posterior comparación, descritos en la Tabla 22.



<i>GL1</i>	<i>GL2</i>	<i>GL3</i>
------------	------------	------------