

 Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña - Colombia Vigencia Mineroenergía	<b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA</b>			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	<b>FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO</b>	<b>F-AC-DBL-007</b>	<b>08-07-2021</b>	<b>B</b>
	Dependencia	Aprobado		Pág.
<b>DIVISIÓN DE BIBLIOTECA</b>		<b>SUBDIRECTOR ACADEMICO</b>		<b>1(83)</b>

## RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

<b>AUTORES</b>	Luis Fernando Vargas Velásquez		
<b>FACULTAD</b>	Ingenierías		
<b>PLAN DE ESTUDIOS</b>	Ingeniería Civil		
<b>DIRECTOR</b>	María Angélica Álvarez Bayona Romel Jesús Gallardo Amaya		
<b>TÍTULO DE LA TESIS</b>	Análisis de la ocurrencia de glifosato en fuentes de abastecimiento subterráneas y de agua potable en el municipio de Aguachica Cesar		
<b>TITULO EN INGLES</b>	Analysis of the occurrence of glyphosate in underground supply sources and drinking water in the municipality of Aguachica Cesar		
<b>RESUMEN</b> (70 palabras)			
<p>El presente documento contiene detalladamente el desarrollo del trabajo de grado mediante la modalidad investigativa, realizado en el municipio de Aguachica Cesar, para ello se llevó a cabo el desarrollo de trabajo de campo y laboratorio con el fin de dar solución a la problemática planteada acerca del impacto generado por el herbicida glifosato en las fuentes de abastecimiento subterráneas y de agua potable en la zona estudiada.</p>			
<b>RESUMEN EN INGLES</b>			
<p>This document contains in detail the development of the degree work through the investigative modality, carried out in the municipality of Aguachica Cesar, for which the development of field and laboratory work was carried out in order to solve the problem raised about of the impact generated by the herbicide glyphosate in underground supply sources and drinking water in the studied area.</p>			
<b>PALABRAS CLAVES</b>	Glifosato, Espectrofotómetro, Cuantificación, Concentraciones, Curva de calibración		
<b>PALABRAS CLAVES EN INGLES</b>	Glyphosate, Spectrophotometer, Quantification, Concentrations, Calibration curve		
<b>CARACTERÍSTICAS</b>			
<b>PÁGINAS:</b> 82	<b>PLANOS:</b>	<b>ILUSTRACIONES:</b> 31	<b>CD-ROM:</b> 1



**Análisis de la ocurrencia de glifosato en fuentes de abastecimiento subterráneas y de  
agua potable en el municipio de Aguachica Cesar**

**Luis Fernando Vargas Velásquez**

**Facultad de ingenierías, Universidad Francisco de Paula Santander**

**Ocaña**

**Ingeniería civil**

**Mag. María Angélica Álvarez Bayona**

**Mag. Romel Jesús Gallardo Amaya**

**18 de mayo de 2023**

## **Agradecimientos**

*Quiero agradecer primero que todo a Dios por darme la fuerza y sabiduría para creer y luchar por mis sueños, igualmente a mis padres que han estado siempre apoyándome paso a paso para lograr esta gran meta. A la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña y al laboratorio de aguas por brindarme el espacio para la realización de la metodología.*

*Quiero agradecer especialmente a la directora del proyecto, la ingeniera María Angélica Álvarez Bayona, por el apoyo y el aprendizaje continuo en el desarrollo de la investigación.*

*Luis Fernando Vargas Velásquez*

## Índice

Capítulo 1. Análisis de la ocurrencia de glifosato en fuentes de abastecimiento subterráneas y de agua potable en el municipio de Aguachica cesar.....	8
1.1 Planteamiento del problema .....	8
1.2 Formulación del problema.....	12
1.3 Objetivos.....	12
1.4 Justificación .....	13
1.5 Delimitaciones .....	15
Capítulo 2. Marco referencial .....	17
2.1 Marco histórico .....	17
2.2 Antecedentes .....	19
2.3 Marco conceptual.....	21
2.4 Marco teórico .....	25
2.5 Marco legal .....	34
Capítulo 3. Diseño metodológico .....	37
3.1 Tipo de investigación.....	37
3.2 Fase preparatoria.....	37
3.3 Recolección de información.....	39
3.4 Técnicas de investigación .....	42
3.5 Análisis de la información .....	43
Capítulo 4. Resultado y análisis .....	45
4.1 Determinar la presencia o ausencia de glifosato en diferentes matrices de agua a través de la realización de muestras y su cuantificación por medio de espectrofotometría UV/VIS.....	45
4.2 Estimar los riesgos producidos por el consumo excesivo de aguas contaminadas con glifosato en los seres humanos.....	57
4.3 Proponer alternativas de solución para mitigar el índice de glifosato en las fuentes hídricas de la zona en estudio.....	62
Capítulo 5. Conclusiones.....	76
Capítulo 6. Recomendaciones.....	77

7. Referencias.....	4 78
---------------------	---------

## Lista de tablas

Tabla 1. Sitios de estudio pozos de aguas subterráneas .....	40
Tabla 2. Sitios de estudio agua potable .....	41
Tabla 3. Características de la validación del método de derivatización glifosato con ninhidrina y glifosato.....	55
Tabla 4. Porcentaje de recuperación y pérdidas del método de derivatización del glifosato con ninhidrina y molibdato.....	56
Tabla 5. Concentración final para cada punto de muestreo .....	57
Tabla 6. Nivel de riesgo en cada punto de acuerdo a la resolución 2115 del 2007.....	59
Tabla 7. Valores de dosis NOAEL encontrados para el glifosato .....	60
Tabla 8. Valores de la ingesta diaria tolerable .....	61
Tabla 9. Cálculo del valor de referencia en la exposición al glifosato.....	61
Tabla 10. Valores del cociente de riesgo para cada punto de muestreo .....	62
Tabla 11. Parámetros de operación y sus rangos.....	65
Tabla 12. Concentraciones de glifosato para el caso de estudio tecnologías de membranas .....	66
Tabla 13. Concentraciones de glifosato para el caso de estudio biorremediación .....	67
Tabla 14. Concentraciones de glifosato para cada formulado comercial de acuerdo al proceso UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	74
Tabla 15. Máximos porcentajes de remoción y concentración de glifosato para cada método ....	75

## Lista de figuras

Figura 1. Relación entre límite de cuantificación y detección en curva de calibración .....	28
Figura 2. Transmitancia y absorbancia de una muestra .....	29
Figura 3. Fases del proyecto.....	37
Figura 4. Sitios de estudio para la toma de muestras .....	41
Figura 5. Solución de 500 mg de ninhidrina y molibdato de sodio en 10 ml de agua .....	47
Figura 6. Concentración de glifosato e un rango de 0.1 a 30 ppm .....	48
Figura 7. Solución de glifosato con ninhidrina y molibdato de sodio en el baño maría .....	49
Figura 8. Medición de las soluciones en el espectrofotómetro a un rango de 0.1 a 30 ppm .....	50
Figura 9. Reducción de 500 ml de agua a una concentración de 10 ml .....	50
Figura 10. Reducción a 1 ml de cada muestra junto con 0.5 ml de ninhidrina y molibdato .....	51
Figura 11. Mediciones de cada punto de muestreo en el espectrofotómetro .....	52
Figura 12. Máxima longitud de onda de la derivatización ninhidrina con molibdato y glifosato	53
Figura 13. Curva de calibración para la cuantificación del glifosato.....	54
Figura 14. Funcionamiento del montaje experimental .....	64
Figura 15. Montaje del reactor empleando ensayos de fotodegradación .....	71
Figura 16. Esquema del dispositivo experimental .....	73

## **Capítulo 1. Análisis de la ocurrencia de glifosato en fuentes de abastecimiento subterráneas y de agua potable en el municipio de Aguachica Cesar**

### **1.1 Planteamiento del problema**

La organización mundial de la salud (OMS), mediante la agencia internacional para la investigación sobre el cáncer (IARC), explicó en un comunicado el resultado de sus evaluaciones que, el herbicida glifosato es clasificado como “probablemente cancerígeno para los seres humanos (grupo 2A)” (IARC, 2015)

Según el comunicado de la (IARC), actualmente el glifosato tiene el volumen de producción global más alto que cualquier herbicida, su uso se presenta mayormente en la agricultura, su utilización en los últimos años ha aumentado desde el desarrollo de cultivos modificados genéticamente, para hacerlos resistentes al glifosato, este herbicida también se presenta en zonas urbanas, domésticas y forestales, durante su fumigación se ha detectado en el aire, agua y alimentos.

Además de afectar la salud humana, el uso del glifosato genera graves impactos en el medio ambiente ya que contamina el agua, suelos y también afecta a otros seres vivos, especialmente los organismos acuáticos. Con el crecimiento en actividades como el transporte, la industria y la agricultura, han aumentado los índices de contaminación en las fuentes hídricas.

Gilles-Enric Seralini (especialista en biología molecular de la universidad de Caen Francia) logró demostrar que el glifosato produce la pérdida de las células de embriones humanas, igualmente

reveló que las células de la placenta humana son perceptibles al glifosato, en pequeñas dosis a las utilizadas en el sector agrario. Otras pruebas toxicológicas independientes revelaron toxicidad crónica, subaguda, daños genéticos y trastornos reproductivos y cancerígenos. (Escartin, 2014)

Según el estudio nacional del agua (ENA), en Colombia, al igual que en muchos países, existe la utilización de pesticidas, en el área sanitaria como agrícola, por ende, genera un marco favorable en la aparición de enfermedades con intoxicación crónica y aguda siendo un problema en la comunidad. La elaboración de pesticidas en Colombia inicio en 1962 con la síntesis y formulación de varios componentes. En 2015 el Instituto Colombiano Agrario (ICA), examinó 1760 fórmulas de pesticidas para utilización en la agricultura, logrando una mayor proporción en el 2016 a 1904. (Instituto colombiano agrario,2016). El uso en Colombia para el 2015 fue más de 58000000 Toneladas <sup>TM</sup> de pesticidas y de más de 74000000 en el 2016. (ICA, insumos agrícolas, subgerencia de protección vegetal e dirección técnica de inocuidad, 2017) localizándose en uno de los países con mayor gasto de pesticidas en el continente (Díaz, Beltrán, Castañeda y Cárdenas, 2015) lo cual el promedio es de 10 Tm para cada 1000 Ha. (Superintendencia industria y comercio, 2013). Según el Estudio Nacional del Agua (ENA) los pesticidas reportados como extremadamente peligrosos son los organofosforados entre ellos el glifosato con el 81 % de categoría toxicológica en Colombia.

Se realizaron muestras para el nivel de riesgo de la calidad de agua en el Cesar, del total de muestras reportadas en el SIVICAP (sistema de información de la vigilancia de la calidad del agua para el consumo humano) para el departamento del Cesar en el 2017 el 0.7 % se reportó en la parte rural con un IRCA (índice de riesgo de la calidad del agua) de 11 que representa un

riesgo bajo, el 80.1 % fueron recogidas en la franja urbana con un IRCA de 11.9 que corresponde a una calidad de agua con bajo riesgo y en la parte urbana para municipios como (Tamalameque, san diego, pelaya) no hubo información de recolección de muestras que proporciona un 19.2 %. En la zona urbana el 88 % reportaron datos en lo cual el 36.4 % arrojo agua sin riesgo, el 9.1 % riesgo medio, el 22.7 % bajo riesgo, el otro 22.7 % alto riesgo y el restante 9.1 % sanitariamente inviable. (INCA, 2017, pag.111). El municipio de Aguachica tiene un IRCA de 0,4 categorizada sin nivel de riesgo. (INCA, 2017, pág. 112)

La cobertura de acueducto en el municipio de Aguachica es de “83.3 %” (Superintendencia, 2015, pág. 5) cuenta con una planta de tratamiento tipo convencional ubicada a las afueras del municipio y su fuente de abastecimiento es la quebrada buturama, lo cual no logra abastecer a una población como Aguachica, sin embargo, producto de la sequía y la gestión de los recursos hídricos por parte de la ESPA (empresa de servicios públicos de Aguachica), muchas familias que tienen pozos en sus casas, lo usan como una alternativa para abastecerse, pero sin el más mínimo tratamiento.

En un proyecto de investigación de la universidad nacional de Colombia (UNAL) se realizaron análisis a 56 muestras para determinar la calidad de agua del municipio de Aguachica, las muestras se tomaron en pozos anillados y subterráneos con profundidades desde 7 hasta 110 metros, lo cual evidenció alta concentración de contaminantes como arsénico, nitratos, hierro, sulfuros y cianuro, por otra parte, en el municipio hay un historial agrícola en cultivos como algodón y arroz, lo que hace que los químicos de los insecticidas terminen en las aguas subterráneas que abastece gran parte de la comunidad, una de las conclusiones en la

investigación requiere que se desarrolle un plan de monitoreo en los pozos actuales, e implementar planes de trazabilidad y seguimiento de contaminantes emergentes, especialmente en la zona urbana. El hallazgo se realizó en el marco de investigación del proyecto MEGIA realizado por el geólogo Dubban Sánchez estudiante de maestría en ciencias- geología de la UNAL. (Atuesta Ortiz, Proyecto MEGIA, 2020)

Según el centro de estudios económicos regionales (CEER), Aguachica posee una ubicación geográfica clave que permite ser un punto de enlace para la comercialización de los productos agrarios en los municipios que influyen en la zona, donde se caracteriza por la producción de cultivos como (sorgo, algodón maíz, arroz, yuca, patilla y aguacate etc.); ubicados en cercanías a fuentes de abastecimientos subterráneos y de agua potable, donde se hace uso de grandes cantidades de pesticidas para controlar los cultivos.

Además, de la contaminación de las fuentes de agua, se le suma el de la escasez y poca gestión de los recursos hídricos por parte de la empresa de servicios públicos en el municipio, donde las familias duran hasta 20 días sin el preciado líquido, por lo cual se ven obligados a optar por el consumo de fuentes de aguas de abastecimiento subterráneas como pozos sin el mínimo tratamiento, esto conlleva a diversas enfermedades, debido a la mala calidad del agua.

Por consiguiente, esta investigación se plantea demostrar que por infiltración las fuentes subterráneas y de agua potable se contaminan por glifosato.

## **1.2 Formulación del problema**

¿Cuál es la ocurrencia del glifosato en las fuentes de abastecimiento subterráneas y de agua potable en el municipio de Aguachica-Cesar?

## **1.3 Objetivos**

### ***1.3.1 Objetivo general***

Identificar la presencia o ausencia de glifosato en fuentes de abastecimiento subterráneas y de agua potable en el municipio de Aguachica Cesar.

### ***1.3.2 Objetivos específicos***

Determinar la presencia o ausencia de glifosato en diferentes matrices de agua, a través de la realización de muestreos y su cuantificación por medio de espectrofotometría UV/VIS

Estimar los riesgos producidos por el consumo excesivo de aguas contaminadas con glifosato en los seres humanos

Proponer alternativas de solución para mitigar el índice de glifosato en las fuentes hídricas de la zona en estudio.

## 1.4 Justificación

El herbicida glifosato fue altamente utilizado en Sri Lanka hasta 2015 y determinadas investigaciones dan sospecha de que es uno de los promotores causales de la enfermedad renal crónica de etiología desconocida (CKDU), en dicha ciudad se recolectaron muestras en aguas de pozo, lagos poco profundos y muestras de sedimentos, se detectó glifosato en todas las muestras. Los niveles de glifosato en los lagos estaban entre 28 y 45 ug/L, en todas las aguas subterráneas se detectaron niveles de trazos de glifosato de 1 a 4 ug/L y en los sedimentos de 85 a 1000 ug/kg, lo que quiere decir que las enfermedades renales en Sri Lanka fueron producto de la contaminación por glifosato en las fuentes de abastecimiento. (Shankani, Buddhika, & Mahesh, 2018)

Por otra parte, se realizó un estudio en Argentina, el experimento se llevó a cabo durante 42 días en diez mesocosmos al aire libre, en aguas claras y turbias, se adiciono glifosato a 8 mg/L en cinco mesocosmos, la estimación de la tasa de disipación del glifosato, evidenció un valor medio de vida de 4.2 días. El total del fósforo aumento significativamente en los mesocosmos, lo que favoreció al proceso de eutrofización. Se presentó que el glifosato provocó un largo plazo en la tipología de los mesocosmos de claro a turbio según los hallazgos, se deduce que las habilidades agrícolas que mantienen el uso de herbicidas como el glifosato aquejan a los organismos no objetivos y a la calidad de agua. (Vera, Lagomarsino, & Silvestre, 2009)

En Colombia se evaluó el efecto del glifosato y otros plaguicidas gracias al análisis de un estudio descriptivo a 112 personas provenientes de zonas de aspersión de cultivos ilícitos, de los

departamentos del putumayo, Huila, Tolima, Guaviare, Magdalena, Santander y la guajira, en un periodo de 2005 a 2006, para el análisis, se recolectaron muestras de orina para determinar la presencia de glifosato, y muestras de sangre para la determinación de organoclorados y acetilcolinesterasa. El 50% de la población ostentó el uso de plaguicidas en su trabajo, el tiempo que venían utilizando dichos contaminantes fue de 84.8 meses, aplicándolos de 5 a 6 horas al día, la influencia de los plaguicidas usados fue altamente toxico, de 39% de las personas a quienes se les cuantifico el glifosato, 64.3% manifestaron su uso en actividades agrícolas. Se halló una relación estadística significativa entre los niveles de este herbicida en la orina (OR=2.54; IC95% 1.08-6.08) y su uso manual.

Teniendo en cuenta que en Colombia el glifosato es categorizado como ligeramente tóxico y que en algunas regiones y estados de países como: Estados unidos, Canadá, Argentina, Brasil, miembros de la unión europea, Austria, Bermudas, San Vicente, Las granadinas, Vietnam, Sri Lanka; se encuentra totalmente restringido debido a que la IARC ( Agencia internacional en la investigación del cáncer) de la OMS presentó el 20 de marzo del 2015 un informe en el que determinó que la sustancia llamada glifosato es un posible cancerígeno para los humanos (grupo 2<sup>a</sup>) y que al ser altamente utilizado en los cultivos agrícolas para su mejor producción, este genera un impacto negativo en los ecosistemas y especialmente en las fuentes hídricas, por ende se decidió realizar la investigación en un estudio que abarque el análisis de la ocurrencia del glifosato en fuentes de abastecimiento subterráneas y de agua potable.

Diversos estudios han encontrado que el glifosato produce efectos secundarios o enfermedades de tipo dermatológica, respiratoria, cancerígena, gastrointestinales, entre otros, lo

que permite creer que su uso debe ser erradicado, ya que es costoso no solo a nivel económico sino a nivel social.

Esta investigación pretende brindar una fuente tanto metodológica como regulatorio, en lo concerniente al análisis de los riesgos presentados en las fuentes de abastecimiento subterráneas y de agua potable debido a la contaminación por glifosato. El análisis mostrará resultados que serán de gran interés social, ya que, en la region del Cesar, especialmente en el municipio de Aguachica, no se ha generado información acerca de este tipo de investigación, lo que ayudara a establecer mecanismos de solución y de prevención para el consumo de fuentes subterráneas y de agua potable contaminadas con herbicidas, especialmente con glifosato.

## **1.5 Delimitaciones**

### ***1.5.1 Delimitación Operativa***

La presente investigación requiere de una ejecución tipomuestreo, para la toma de datos en campo se utilizarán botellas ámbar de 500 ml y se desarrollarán tanto en 3 pozos del municipio como en el agua potable, con el fin de llevarlas al laboratorio para determinar la capacidad de riesgo de la problemática y así, generar una serie de datos recolectados en campo, posteriormente hacer un análisis de las posibles soluciones y diseñar un sistema de gestión de riesgo.

### ***1.5.2 Delimitación conceptual***

La investigación abarca diferentes conceptos propios como la contaminación, glifosato, saneamiento básico herbicidas y los riesgos inherentes al desarrollo de la misma, por lo que se podría hablar de conceptos afines a los diferentes tipos de riesgos

### ***1.5.3 Delimitación Geográfica***

La investigación será desarrollada en el municipio de Aguachica, Cesar (Colombia).

### ***1.5.4 Delimitación Temporal***

La presente investigación se llevará a cabo en un tiempo aproximado de cuatro (4) meses.

## Capítulo 2. Marco referencial

### 2.1 Marco histórico

Desde los inicios en la agricultura, el ser humano ha utilizado una infinidad de productos para el control de las plagas, las malas hierbas y el cuidado del suelo. En los últimos 50 años, con la ayuda de la tecnología y ciencia, ha evolucionado el sector en la agricultura con algunos sistemas, generando un control de las malezas por medio de los herbicidas.

A mediados de la década de 1920 empezó el desarrollo de los productos sintéticos en estados unidos, con componentes derivados de nitrógeno gaseoso. Desde ese momento fueron desarrollados los herbicidas e insecticidas, dominando el mercado hasta entonces. Dichos productos se desarrollaron principalmente para uso agropecuario con el fin de combatir las malezas y microorganismos (hongos y bacterias) que afectaban los cultivos.

Fue principalmente en el marco de la segunda guerra mundial, cuando se empleó el uso masivo del DDT, un insecticida compuesto de dicloro difenil tricloroetano, utilizado tanto para la agricultura como la eliminación de todo tipo de mosquitos, vectores de enfermedades en animales y humanos. En ese entonces, se desarrollaron una variedad de productos por síntesis química, como el herbicida 2,4-D, cuya mezcla se denominó “agente naranja” y se aprovechó como defoliante a lo largo de la guerra de Vietnam. Sin embargo, a lo largo de su uso, surgieron estudios de la toxicidad sobre algunos animales, los ecosistemas y aspectos ambientales, que llevaron a la prohibición de muchos de esos productos. (Pirotta, 2020)

Fue cuando en 1967, el doctor John Franz, quien laboraba en la empresa Monsanto desde 1955, género un par de patentes a la división agrícola, su función era desarrollar un nuevo herbicida después de nueve años de malos resultados. En ese entonces, sintetizó diferentes compuestos a-AMF, probando su efecto sobre las plantas. En 1970 observó que uno de estos compuestos lograba impedir su crecimiento, el cual era la fosfometilglicina, llamado en el mundo del hampa como glifosato.

Años más tarde solicitó una patente junto a una serie de formulaciones para su uso como herbicida, así, en el año 1974 surgió el Roundup, el herbicida glifosato más utilizado en el mundo. (Castro, 2019)

A nivel internacional, se realizó un estudio que confirma que el glifosato está lejos de ser el protector de los cultivos benignos, que algunos defensores así lo afirmaban, y que tiene el poder de causar daños ambientales. En el estudio realizado, los investigadores del instituto de diagnóstico ambiental y estudios del agua (IEAWR) en España, especialmente en Barcelona, iniciaron una serie de pruebas en muestras de agua subterránea para diagnosticar la presencia de glifosato, empleando un inmunoensayo de partículas magnéticas (IA), como también cromatografía líquida con extracción en la fase sólida (LC) y por último espectrometría de masas tándem (MS/MS), donde determinaron que, los suelos al absorber parte del químico, el glifosato no es totalmente descompuesto previo al llegar a las aguas subterráneas. Dichos resultados contradicen fuertemente las declaraciones realizadas por Agencia de Protección Ambiental (EPA) y la industria química de que el glifosato “tiene pocas posibilidades de lixiviación en aguas subterráneas”. (red universitaria de ambiente y salud, 2012)

De igual manera, otros dos estudios recientemente realizados por el servicio geólogo de EE.UU. determinan glifosato en ríos y arroyos, incluso en el aire alrededor de zonas agrícolas que usan el herbicida. (Huff, 2011)

En Colombia, en los últimos años se han documentado estudios técnicos y científicos sobre el impacto de las actividades de aspersión aérea con glifosato en las fuentes hídricas, medio ambiente y salud humana. Frente al comportamiento del herbicida, diversos estudios han logrado establecer que cuando el compuesto se mezcla con el agua, es degradado por la actividad de microorganismos, de forma similar a cuando es degradado por el suelo. Además de ello el glifosato es trasladado a los cuerpos de agua por medio de fenómenos de escorrentía o lixiviación. (Vilca Franz, 2018)

## **2.2 Antecedentes**

A nivel nacional como internacional se han realizado diversos análisis de muestras de glifosato en cuerpos hídricos, es por ello, que en base a una revisión de fuentes bibliográficas realizadas con anticipación.

Se destaca como antecedente a la investigación realizada por la organización ecologista durante un periodo de 2015 a 2019 que confirma la presencia del herbicida glifosato en aguas subterráneas y superficiales en España, en un 31% de las muestras de aguas superficiales tomadas se detectó la presencia de glifosato, respecto a las aguas subterráneas se detectó hasta en un 11 %, por lo cual un 7% de las muestras analizadas, supera el valor límite que establece la

Directiva de aguas subterráneas. Los datos arrojados por el ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico (MITERD), debido a la petición presentada por ecologistas en acción, determina la eminente presencia de glifosato en todas las demarcaciones hidrográficas en las cuales se hicieron los análisis. (Ecologistas en acción, 2021)

Otro antecedente a nivel internacional, es el artículo publicado el 3 de junio de 2017, “Residuos de glifosato en aguas subterráneas, agua potable y orina en agricultores de subsistencia de localidades de agricultura intensiva; una encuesta en holpelchen Campeche, México, desarrollado por Jaime Rendón- Van Ostén y Ricardo Dzul- Caamal, en un proyecto para la universidad autónoma de Campeche, México. El cual muestra un análisis de los riesgos producidos por las altas concentraciones de glifosato en el agua subterránea, y agua potable, lo que indica una alta exposición y uso excesivo de glifosato en dicha comunidad agrícola. (Von-Osten & Dzul-Caamal, 2017). Este artículo aporta significativamente a la investigación ya que nos da a conocer el uso excesivo del herbicida en los campos agrícolas y que gran parte de ese contaminante se infiltra en los cuerpos hídricos.

Por otra parte, se debe tener presente el proyecto de investigación realizado en el año 2021 por la magister María Angélica Álvarez Bayona, “Análisis de la ocurrencia de contaminantes emergentes(Glifosato, Paraquat e Ibuprofeno) en fuentes superficiales y agua potable en Cúcuta- norte de Santander, y su remoción utilizando tecnologías de membranas”, en un proyecto realizado para la Universidad del Norte, Barranquilla Colombia, el cual aporta un análisis de la cuantificación en los contaminantes emergentes (glifosato, paraquat e ibuprofeno) en fuentes superficiales y de agua potable en Cúcuta, Norte de Santander, desarrollando un

enfoque en la evaluación de la capacidad de remoción de los CEs (contaminantes emergentes) empleando tecnologías de membranas, obteniendo remociones cercanas al 100%. (Álvarez Bayona, 2021)

A nivel regional, cabe destacar una investigación realizada en el departamento del Cesar titulado “ Remoción de pesticidas en el agua; un caso de estudio en el departamento del Cesar, Colombia, desarrollado por Andrés Felipe Díaz Gómez, con un enfoque en la evaluación de la contaminación producto del uso de pesticidas en actividades agrícolas, donde se realizó un análisis de absorción con carbón en uno de los pesticidas más utilizados con el fin de construir un sistema que permita una remoción del contaminante a concentración idónea para el consumo humano. (Díaz Gómez, 2018)

## **2.3 Marco conceptual**

### ***2.3.1 Contaminantes emergentes (CEs)***

Se definen como compuestos de diferente origen y naturaleza química, con presencia inadvertida en el medio ambiente, generando problemas ambientales y riesgos en la salud humana, dichas sustancias se localizan en el ambiente y han evidenciado muestras en fuentes hídricas, como aguas subterráneas, superficiales e incluso en el agua potable, de estos compuestos poco se conoce en cuanto al impacto, presencia y tratamiento, pero en su mayoría son contaminantes no regulados. (Gil, Soto, & Usma, 2012)

La particularidad en los contaminantes emergentes es que no necesitan estar continuamente en el medio ambiente para desarrollar efectos negativos, ya que su alta tasa de transformación/ remoción se compensa por su introducción constante en el ambiente. Se estableció que dichos compuestos se adhieren al ambiente por medio de otras fuentes y vías tales como residuos de plantas de tratamiento, de las actividades agrícolas y ganaderas, de aguas residuales de tipo doméstico e industrial, de tanques sépticos y de los efluentes hospitalarios, los cuales presentan un número alto de componentes orgánicos, y CE's que se originan a distintas concentraciones en las fuentes superficiales, cuyos criterios de calidad ambiental no se han logrado definir y las plantas de tratamientos de aguas residuales no están diseñadas para eliminarlas, por lo cual es un motivo de preocupación científica. (Barceló, 2014)

Todo esto se ha dado debido a la industria y a la expansión urbana, producto del aumento de los desechos en todo el mundo, como resultado de las actividades agrícolas, industriales y residenciales, ya que las plantas de tratamiento de aguas no han logrado eliminar por completo los contaminantes emergentes CE's de las aguas residuales. Dicho esto, la ineficiente eliminación de estas sustancias conlleva a la descarga y contaminación de las fuentes hídricas.

Una de las vías importantes de los CE's son los lodos residuales de las plantas de tratamiento de aguas residuales PTAR, aquellos que se utilizan como fertilizantes en la agricultura, arbolado urbano y cultivos ornamentales, lo que da como resultado una lixiviación de los CE's hacia las fuentes de aguas subterráneas. Por otra parte, la quema de dichos lodos libera hidrocarburos policíclicos a la atmósfera y terminan llegando a las aguas superficiales. (Gil, Soto, & Usma, 2012)

De igual forma las plantas de tratamiento de agua potable (PTAP) no logran eliminar los CEs ya que solo cuentan con tratamientos convencionales y los químicos que son empleados para la desinfección pueden llegar a producir subproductos de desinfección, y estos pueden ser incluso más tóxicos que los compuestos ya existentes.

### ***2.3.2 Ocurrencia del CEs seleccionado en el proyecto investigativo***

Para el desarrollo de esta investigación fue seleccionado el herbicida (glifosato) en las fuentes subterráneas y de agua potable, producto de la alta demanda agrícola que se obtiene en la región del Cesar y del impacto que este puede generar en la comunidad, especialmente en el municipio de Aguachica.

### ***2.3.3. Glifosato***

Es un ingrediente activo no selectivo o de acción total, quiere decir que posee la capacidad de eliminar todo tipo de plantas, es de acción foliar lo que significa que no se absorbe por las raíces, es sistémico, se transporta a diversos puntos de contacto desde el punto de aplicación, por lo cual es muy utilizado en la agricultura para controlar las malezas en los cultivos y también se utiliza en zonas urbanas y domésticas para el control de especies no deseadas en las fuentes hídricas. (López & Madrid, 2011)

Es el herbicida más utilizado en el mundo, se calcula que para el año 2020 alcanzo ventas anuales por 7.8 billones de dólares y se estimula que para el año 2027 lleguen a 11.1 billones de dólares (markets, 2021). El uso de herbicidas como el glifosato afecta a organismos no

considerados y a la calidad del agua, llevando a cabo una modificación de la funcionalidad y estructura de los sistemas acuáticos.

En suelos con alto fósforo, proporcionan una mayor movilidad del glifosato en el agua, se ha conocido que el fósforo es un fertilizante que reduce la absorción del glifosato en las partículas del suelo, dando un incremento de la cantidad del herbicida en la solución del suelo, lo que genera una mayor disponibilidad para ser absorbido por las raíces de las plantas y así mismo las bacterias lo metabolizan o haya un desplazamiento por el perfil hasta llegar a contaminar las aguas subterráneas. (Muñoz, 2021)

El glifosato al ser un herbicida hidrosoluble, tiene la característica de contaminar en mayor proporción zonas de escorrentía y aguas superficiales, inclusive llegando a la atmósfera y regresando mediante precipitaciones. Investigaciones en Argentina detectaron la presencia de atrazina y glifosato, para el 80 % de muestras de agua lluvia en algunas partes urbanas, y en el AMPA se determinó el 34 % de las muestras realizadas. (Muñoz, 2021)

El impacto negativo que genera el glifosato en los ecosistemas acuáticos incluye la toxicidad en organismos de una gran variedad de especies como peces, anfibios, crustáceos, algas y microorganismos del suelo, por ende, no solo afecta al consumo humano mediante el agua sino también por medio de los alimentos

## 2.4 Marco teórico

A continuación, se muestran algunos conceptos importantes para el desarrollo del proyecto investigativo

### 2.4.1 Espectrofotometría UV- visible

Es un análisis que determina la concentración de un compuesto en solución. Es un experimento que se basa en que las moléculas absorban las radiaciones electromagnéticas y así mismo que la cantidad de luz que se absorbe, dependa en forma lineal de la concentración de la muestra, para determinar las medidas se utiliza un espectrofotómetro, donde se selecciona la longitud de onda de la luz que pasa por una solución y se mide la cantidad de luz que es absorbida por la misma. (Díaz, Ruiz, & Reyes, 2015)

Es un experimento que se caracteriza por su sensibilidad, precisión y su aplicación en moléculas de diferente naturaleza (biomoléculas, contaminantes, etc.) y a estados de agregación (líquido, gas, sólido). En la espectrofotometría sus fundamentos físico-químicos son relativamente sencillos.

Las moléculas absorben energía luminosa y la almacenan internamente en forma de energía. Lo que permite que se den ciclos vitales de diversos organismos. Como la fotosíntesis en bacterias y plantas. Como nos dice la mecánica cuántica, la luz se compone de fotones, en la cual cada uno tiene una energía. A continuación, se muestra la Ecuación 1 de la energía cuántica de un fotón:

$$E_{\text{fotón}} = h \cdot \nu = h \cdot c / \lambda \quad \text{Ec. 1}$$

Donde  $\nu$  su frecuencia,  $c$  es la velocidad de la luz,  $\lambda$  su longitud de onda y  $h = 6.6 \cdot 10^{-34}$  , cuando hablamos de que una sustancia química absorbe luz en la longitud de onda, esto quiere decir que las moléculas de dichas sustancias absorben los fotones de la longitud de onda. (Fundamentos de química-practica 4, 2015)

#### ***2.4.2 Contaminación por infiltración y dispersión en el medio ambiente***

La fuga de herbicidas en el medio ambiente puede darse de distintas formas como;

- Infiltración de herbicidas en el suelo
- Llegan por lixiviación a las aguas subterráneas y seguido propagarse en el subsuelo, llegando a penetrar los ríos y lagos
- Se propagan por escorrentía
- Pueden ser transportados por el viento

Una de las causas más importantes de propagación de los herbicidas es la dispersión por infiltración ya que contamina el suelo por debajo del lugar de almacenamiento y esto conlleva a la contaminación de las fuentes subterráneas y posteriormente a las aguas superficiales como ríos y lagos. (FAO, 2000)

### ***2.4.3 Límite de cuantificación***

Es un parámetro de cuantificación de ensayo, que determina los bajos niveles en los compuestos de las matrices farmacéuticas y se usa para determinar las impurezas y productos de degradación. Es la característica de un método que se utiliza para cuantificar y detectar la mínima cantidad de un analítico en una muestra, el cual puede ser detectado con exactitud y precisión.

### ***2.4.4 Límite de detección***

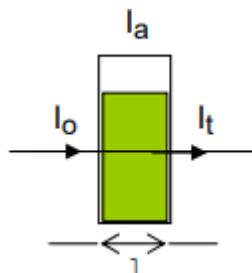
Corresponde a la concentración o cantidad mínima de una sustancia que es detectada con fiabilidad mediante un método de análisis determinado. (Laboratorios Nacionales de control farmacéutico, 2002)

La Figura 1 a continuación muestra la relación entre cuantificación y detección para una curva de calibrado lineal.



**Figura 2.**

*Transmitancia y absorbancia de una muestra*



*Nota.* El grafico muestra la transmitancia y absorbancia de una sustancia. *Fuente.* (Espectros de absorción y cuantificación colorimétrica de biomoléculas, 2015)

La transmitancia de una sustancia es la relación entre la cantidad de luz que se trasmite y llega al detector después de atravesar la muestra, ( $I_t$ ), y la cantidad de luz que incide sobre ella, ( $I_o$ ). Se representa mediante la Ecuación 2;

$$\% T = I_t / I_o \times 100 \quad \text{Ec. 2}$$

La absorbancia es la cantidad de luz absorbida por la muestra y es definida como el logaritmo de  $1/T$ , en consecuencia, se puede observar en la Ecuación 3;

$$A = \log 1/T = -\log T = -\log I_t / I_o \quad \text{Ec. 3}$$

Cuando la intensidad que es transmitida y que incide son iguales ( $I_o = I_t$ ) la transmitancia es del 100% lo que indica que la muestra no absorbe a una definitiva longitud de onda, por lo cual la absorbancia es igual a cero. (Díaz, Ruiz, & Reyes, 2015)

#### ***2.4.6 Evaluación del porcentaje de riesgos***

Para determinar el proceso de la evaluación de riesgos se inicia con la identificación de un problema, orientados mediante estudios de laboratorio y de antecedentes bibliográficos que involucren afectaciones en la salud humana a nivel mundial como, a nivel nacional.

Posteriormente se determina la relación dosis-respuesta en cantidades específicas dadas de una sustancia y el nivel de riesgo asociado a dicha relación. Luego se calcula la estimación y la evaluación de la exposición a esta, y por último se aplica el modelo dosis-respuesta a los datos obtenidos para realizar una estimación cuantitativa de riesgos.

#### ***2.4.7 Sustancias químicas con umbral de toxicidad***

Se cree que existe en la mayoría de los tipos de toxicidad una dosis mínima de la cual no se producirá ningún efecto adverso. Para el caso de las sustancias químicas que generan tales efectos tóxicos, se debe determinar una ingesta diaria tolerable (IDT), como se indica a continuación.

Ingesta diaria tolerable (IDT): Es una estimación de la cantidad específica de una sustancia presente en agua de consumo y alimentos, expresada en función del peso corporal (mg/kg), que se puede ingerir durante el ciclo de vida sin un riesgo determinante en la salud. (Grupo de evaluación de riesgos en inocuidad de alimentos ERIA y plaguicidas, 2017)

$$IDT = \frac{(DSEAO \text{ o } DMEAO)}{FI} \quad Ec 4$$

Donde:

- DSEAO = dosis sin efecto adverso observado
- DMEAO = dosis mínima con efecto adverso observado
- FI = factor de incertidumbre

A continuación, se determina el valor de referencia (VR) a partir de la ingesta diaria tolerable (IDT):

$$VR = \frac{(IDT \times PC \times P)}{C} \quad Ec 5$$

Donde:

- PC = peso corporal (se predetermina un peso corporal en adultos de 60 kg)
- P = proporción de la IDT asignada al agua de consumo (10-20% en general)
- C = consumo de agua diario (se supone un consumo de 2 litros de agua por día en adultos)

DSEAO (dosis sin efecto adverso observado): Es una concentración o dosis máxima de una sustancia química, determinada por un solo estudio, mediante experimentos o observaciones, que no ocasiona ningún efecto adverso detectable sobre la salud. Se basa en estudios a largo plazo, preferiblemente de la ingesta de sustancias presentes en el agua, sin embargo, también se puede utilizar en estudios a corto plazo.

DMEAO (dosis mínima con efecto adverso observado): Es una dosis o concentración mínima observada en una sustancia que produce un efecto negativo detectable sobre la salud. Cuando se aplica un DMEAO en lugar de DSEAO, normalmente se suele aplicar un factor de incertidumbre adicional. (véase a continuación).

### ***2.4.8 Factores de incertidumbre***

los factores de incertidumbre o seguridad se aplican en el cálculo de valores de IDT que corresponden a plaguicidas, contaminantes ambientales y aditivos alimentarios. Para calcular dichos factores se debe tener en cuenta la información científica disponible.

Con respecto a la exposición de la población en general, el DSEAO que corresponde al efecto crítico en animales, normalmente se divide por un factor de incertidumbre de 100, que comprende dos factores de 10, unos para la variabilidad entre individuos en el ser humano y otro para la diferencia entre especies. Los factores menores que 10, se utilizaron, por ejemplo, para la variación entre especies los casos en el que se sabe que el ser humano es menos sensible que las especies animales que fueron estudiadas, se consideran estudios o base de datos inadecuados los que utilizaron un DMEAO en lugar de un DSEAO y los que tuvieran una duración menor que la deseable. (Grupo de evaluación de riesgos en inocuidad de alimentos ERIA y plaguicidas, 2017)

### ***2.4.9 Cociente de riesgo (HQ)***

De acuerdo a la EPA, el cociente de riesgo es un factor aplicado a las sustancias no carcinógenas, relacionada a la dosis de exposición (ED) con el valor de referencia (VR)

$$HQ = \frac{ED}{VR} \quad \text{Ec 6}$$

Valor de interpretación del cociente de riesgo (HQ):

- HQ  $\leq$  0.1 (no existe riesgo)

- HQ = 0.1-1.0 (riesgo bajo)
- HQ = 1.1-10 (riesgo moderado)
- HQ > 10 (riesgo alto)

### ***Ley de Lambert-Beer***

Es una ley que muestra la relación entre la absorbancia de luz monocromática o longitud de onda fija y la concentración de una sustancia o cromoforo en solución, se representa mediante la Ecuación 4;

$$A = \log I/I_0 = \epsilon \cdot c \cdot l \quad \text{Ec. 7}$$

Donde:

- $\epsilon$ , es una constante de proporcionalidad, llamada coeficiente de extinción molar, que se especifica de cada sustancia o cromoforo
- $l$ , es la longitud del paso óptico que contiene la muestra, es una magnitud expresada en cm
- $C$ , es la concentración del cromoforo o sustancia

Se puede deducir que la absorbancia de una solución es directamente proporcional a la concentración de la misma, a un mayor número en la cantidad de moléculas, mayor será la interacción de la luz con ellas, así mismo depende de la distancia recorrida de la luz por la solución a igual concentración, cuanto mayor sea la distancia recorrida por la luz en la muestra mayor serán las moléculas encontradas. (Díaz, Ruiz, & Reyes, 2015)

## 2.5 Marco legal

La presente investigación se basa en los siguientes fundamentos normativos mostradas a continuación:

### 2.5.1 Ley 30 de 1986

Artículo 91, literal G- El cual corresponde al Consejo nacional de estuperficientes, la orden de destruir los cultivos de coca, marihuana y demás plantaciones de la cual se puedan obtener sustancias que produzcan dependencia, dando utilización de medios mejor adecuados, conel fin de velar por la salud de la población y para preservar el equilibrio de los ecosistemas en el país. (Congreso de la Republica, 1986)

Que, por lo anterior, resuelve.

Artículo 1º- El cual ordena a todo el territorio nacional la suspensión del uso del herbicida glifosato en las operaciones de erradicación de cultivos ilícitos mediante la aspersión aérea, dadas en el artículo 1º de la resolución 0013 de junio 27 del 2003, realizadas una vez la autoridad nacional de licencias ambientales (ANLA) suspenda o revoque el plan de manejo ambiental. La cual fue ordenada por la resolución 1065 de junio 15 del 2001, modificada mediante las resoluciones 1054 de septiembre 30 del 2003 y 0672 de julio 4 del 2013, en el proyecto denominada “programa de erradicación de cultivos ilícitos mediante la aspersión área de glifosato”

Artículo 2º- El ministerio de salud y protección social, dará un comunicado a la autoridad nacional de licencias ambientales (ANLA) el o los estudios que sirvieron de fundamento a su comunicación del 27 de abril de 2015, por la cual recomienda la suspensión en el uso del herbicida glifosato en las operaciones de aspersión para la erradicación de cultivos ilícitos del PECIG. (Congreso de la Republica, 1986)

### ***2.5.2- Decreto 502 del 2003***

El ministerio de agricultura y desarrollo rural, establece la decisión andina 436 de 1998, el registro y control de plaguicidas químicos de uso agrícola, y en el artículo 1º, determino que el instituto colombiano agropecuario ICA, es la autoridad nacional competente para realizar el registro y control de plaguicidas de uso agrícola y así mismo el responsable de velar por el cumplimiento del manual y decisión técnica. (Congreso de la república, 2003)

La norma andina en el registro y control de plaguicidas químicos de uso agrícola, determina procedimientos y requisitos amonizados donde se orienta su uso y manejo correcto para minimizar y prevenir los daños en la salud y el ambiente para las condiciones autorizadas.

### ***2.5.3 Resolución 3573 del 27 de septiembre del 2011***

En el cual se crea la autoridad nacional de licencias ambientales, las funciones de disponer el seguimiento de los permisos, tramites y licencias ambientales de competencia del ministerio de ambiente y desarrollo sostenible como es el caso del PECIG.

Posteriormente, a través de la resolución **0672 del 04 de julio del 2013**, expedida por la autoridad nacional de licencias ambientales, autoriza la cesión del plan de manejo ambiental

determinado por la resolución **1065 de noviembre del 2001**, a nombre de la dirección nacional de estuperficientes, para la actividad denominada, programa de erradicación de cultivos ilícitos por medio de aspersión aérea con glifosato en el territorio nacional, a favor del ministerio de justicia y del derecho. (Congreso de la Republica, 2011)

#### ***2.5.4 Resolución 6 del 2015.***

“El cual ordena la suspensión del uso del glifosato en los procedimientos de erradicación de cultivos ilícitos mediante la aspersión aérea.”

## Capítulo 3. Diseño metodológico

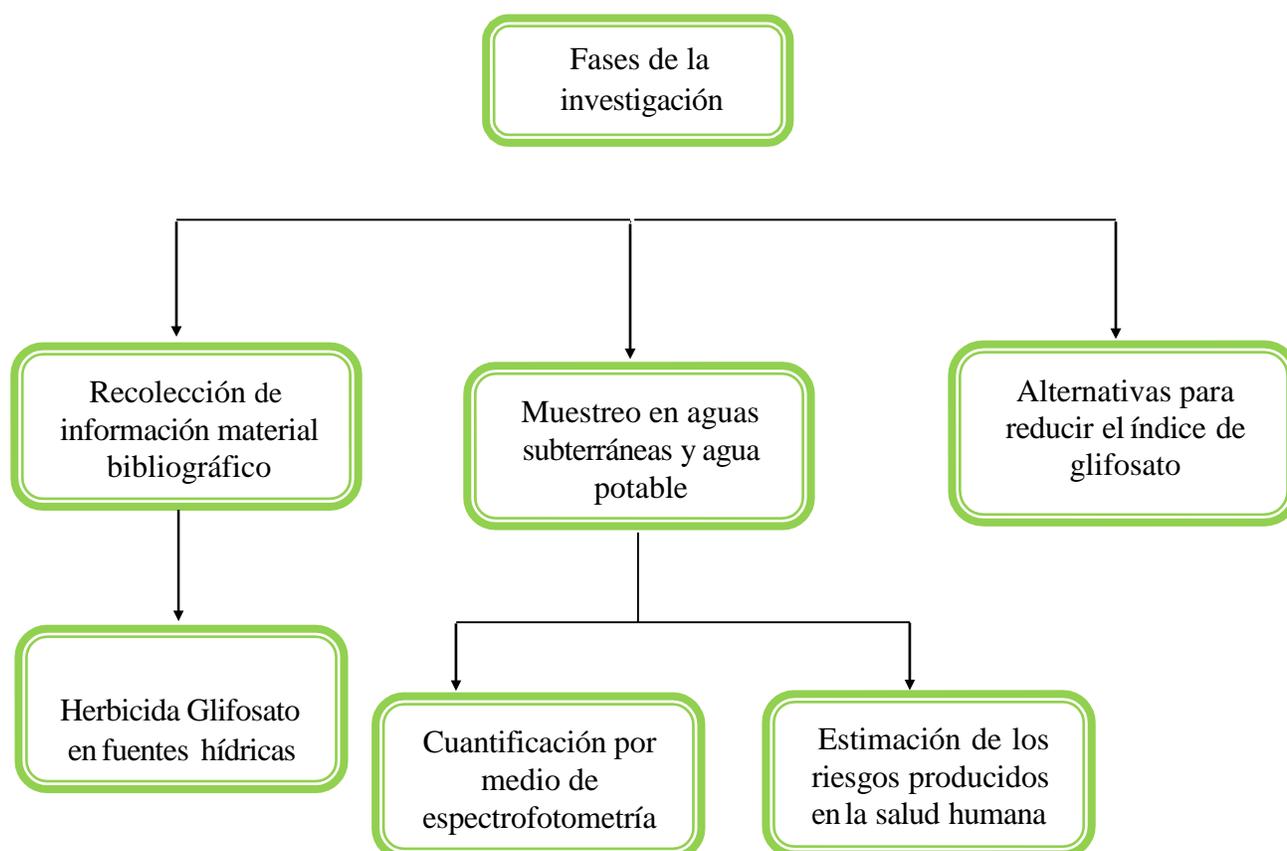
### 3.1 Tipo de investigación

La presente investigación abarca una investigación de nivel experimental, debido a que se hará una prueba de laboratorio para determinar la cuantificación y concentración del herbicida glifosato en las fuentes hídricas.

### 3.2 Fase preparatoria

#### Figura 3

*Fases del proyecto*



*Nota.* El gráfico muestra las fases desarrolladas en el proyecto. Autor del proyecto

Se desarrollarán las siguientes fases con el fin de dar cumplimiento a los objetivos propuestos.

**Fase 1:** Se recopiló una serie de investigaciones bibliográficas a nivel regional, nacional e internacional acerca del efecto del glifosato en las fuentes hídricas, principalmente en las zonas de agua subterránea y agua potable, donde se dio a conocer la incidencia de este herbicida y sus posibles daños en el agua y en los seres humanos que la consumían.

**Fase 2:** Puntos o zonas de estudio: Se tomarán muestras en tres zonas de aguas subterráneas del municipio, donde se tenga un fácil acceso de la misma y donde haya una distancia significativa entre las muestras, y también, se tomará un punto en el agua potable siguiendo los lineamientos determinados, posteriormente se hará un análisis de la concentración del herbicida glifosato en cada una de las muestras por medio de espectrofotometría UV/VIS.

**Fase 3:** Se realizará una estimación de acuerdo a la exposición del herbicida glifosato en los seres humanos, el análisis de riesgo se hará identificando la incidencia del glifosato con base a otras investigaciones documentadas, posteriormente se determina una evaluación con la máxima concentración de glifosato hallada en el agua potable y agua subterránea de la zona de estudio, y luego se categorizará el riesgo de exposición a estos.

**Fase 4:** Proponer alternativas de solución que reduzcan el índice de glifosato en la zona de estudio, partiendo de otras investigaciones científicas documentadas, para condiciones similares a la investigación realizada.

### **3.3 Recolección de información**

Para el desarrollo óptimo del proyecto, se realizarán investigaciones científicas por medio de fuentes bibliográficas a cerca de la incidencia del glifosato y el impacto generado en las fuentes de agua a nivel global. Donde se determinarán los riesgos en la salud humana al consumir aguas contaminadas con el herbicida.

Se hará un análisis de los antecedentes a nivel regional, nacional e internacional; a cerca de la problemática del consumo a aguas contaminadas con glifosato y su impacto negativo en la salud, posteriormente se tomarán muestras en cuatro puntos del sitio de estudio para determinar la cuantificación y concentración del herbicida en base a la metodología propuesta por Nagaraja, (Nagaraja & Bahaskara, 2006) que hace referencia a una reacción del grupo amino por medio de la molécula glifosato con la ninhidrina en presencia de molibdato de sodio como catalizador, dando eliminación a una molécula de agua y formando un producto de color purpura en medio acuoso neutro.

#### ***3.3.1 Sitio de estudio***

La localización del sitio de estudio se llevará a cabo en cuatro zonas, tomando tres puntos de muestreo en pozos de agua subterránea cerca a la arrocera del municipio, donde haya fácil acceso y una distancia alejada entre las muestras, con el fin de abarcar un área significativa de estudio, además de ello es importante destacar, que las personas consumen el agua de pozo en los puntos donde se tomarán las muestras, otro punto de análisis es el del agua potable que abastece

a gran parte del municipio de Aguachica. En la Tabla 1 y la Tabla 2 se pueden observar las características de dichos puntos, así mismo, en la Figura 4 la localización.

**Tabla 1**

*Sitios de estudio pozos de aguas subterráneas*

Aguas subterráneas					
Punto	ubicación	Georreferenciación			Observación
		Latitud	Longitud	Elevación	
P1	Pedio 1	8° 18' 26.96"N	73° 37' 16.37"O	156.24	Pozo ubicado en la carrera 13 con calle 6 en el barrio san pedro del municipio de Aguachica
P2	Pedio 2	8° 18' 22.95"N	73° 37' 20.39"O	154.65	Pozo ubicado en la calle 7 con carrera 10A en el barrio san pedro del municipio de Aguachica
P3	Pedio 3	8° 18' 47.04"N	73° 37' 55.56"O	140.31	Pozo ubicado en la carrera 1 con calle 1 en el barrio Jerusalén del municipio de Aguachica

*Nota.* Datos tomados sobre los sitios de estudios. Autor del proyecto

**Tabla 2.***Sitios de estudio agua potable*

Punto	ubicación	Agua potable			Observación
		Georreferenciación			
		Latitud	Longitud	Elevación	
P4	Predio 4	8° 18' 44.30"	73° 36' 19.01"	179.08	Ubicado en la carrera 31 con calle 2 en el barrio María Eugenia del municipio de Aguachica, donde el agua potable que llega a la zona proviene del río buturama

*Nota.* Datos de sitio de estudio para agua potable. Autor del proyecto

**Figura 4***Sitios de estudio para la toma de muestras*

*Nota.* El grafico muestra la ubicación de los sitios de estudio. (Google earth)

### **3.4 Técnicas de investigación**

Para determinar la ocurrencia de glifosato en fuentes de abastecimiento subterránea y de agua potable en el municipio de Aguachica Cesar, se recurren a dos técnicas de investigación como lo son: la parte experimental y la revisión de documentos bibliográficos.

Se identificarán antecedentes bibliográficos relacionados con la afectación del glifosato en las fuentes hídricas y se analizará el nivel de riesgo en la salud de las personas que consumen dichas aguas contaminadas.

Para identificar la presencia de glifosato en la zona de estudio, se elaborará un análisis de tres muestras de 500 ml en aguas subterráneas y una muestra en agua potable, se tomarán en puntos diferentes y alejados entre sí, donde se tenga un fácil acceso, las muestras serán almacenadas a poca luz y a 4 grados de temperatura, posteriormente serán llevadas al laboratorio con el fin de hacer el proceso de cuantificación.

Para llevar a cabo la metodología se hallarán tres curvas de calibración promedio para determinar la absorbancia y la máxima longitud de onda a través de la espectrofotometría UV/VIS, posteriormente se hará una validación de la metodología utilizada y por último se hará el mismo procedimiento donde se analizarán las concentraciones de glifosato para las cuatro muestras de agua tomadas.

Las técnicas mencionadas anteriormente le permitirán a la investigación obtener datos precisos para dar respuesta a la problemática planteada en las zonas de estudio.

### **3.5 Análisis de la información**

Una vez recolectados los datos a través de la realización del laboratorio se procederá a la interpretación y análisis de los mismos para que haya cumplimiento de todos los requisitos previstos para la validación de la metodología utilizada.

En la validación del método, uno de los requisitos que se deben cumplir es que el coeficiente de correlación o regresión  $R^2$  de la curva de calibración sea mayor a  $>0.9$  y que el coeficiente de variación no sea superior al 10% con base a la metodología propuesta por Nagaraja. (Nagaraja & Bahaskara, 2006)

Respecto a la concentración de glifosato que arroje para cada muestra de agua en los diferentes puntos, se pretende hacer un análisis para determinar si los datos obtenidos cumplen o no cumplen con la normativa establecida en Colombia y algunos países para la concentración de glifosato en las fuentes hídricas.

Por otra parte, se realizará una estimación del porcentaje de riesgo en la salud de las personas para los datos obtenidos en los cuatro puntos. El nivel de riesgo se analizará de acuerdo a la resolución 2115 del 2007 y se determinarán valores del cociente de riesgo en cada muestra,

posteriormente, se hará un estado del arte y cuadro de análisis de las técnicas más utilizadas e importantes que existen actualmente para la eliminación de contaminantes con glifosato.

## **Capítulo 4. Resultado y análisis**

Los resultados conseguidos mediante el trabajo de campo y laboratorio, asimismo como la investigación bibliográfica realizada, son presentados en este capítulo con el fin de dar respuesta al objetivo principal propuesto, el cual es analizar la ocurrencia de glifosato en las fuentes de abastecimiento subterráneas y de agua potable en el municipio de Aguachica Cesar, dicho proceso se determinó, llevando a cabo cada uno de los 3 objetivos específicos planteados a continuación:

- Determinar la presencia o ausencia de glifosato
- Estimar los riesgos producidos a la salud humana
- Proponer alternativas de solución para mitigar el índice de glifosato

### **4.1 Determinar la presencia o ausencia de glifosato en diferentes matrices de agua a través de la realización de muestras y su cuantificación por medio de espectrofotometría UV/VIS**

#### **4.1.1 Muestreo de los sitios de estudio**

Se realizó una muestra para cada sitio de estudio elegido con el fin de conocer la calidad del agua y las concentraciones de glifosato, para el análisis se tomaron 500 ml de agua en cada una de las zonas de muestreo, las cuales fueron almacenadas a una temperatura de 4°C y protegidas de la luz.

#### ***4.1.2 Método de análisis propuesto por Nagaraja***

Glifosato, concentración de 50 mg, Ninhidrina al 5% (500 mg de ninhidrina en 10ml de agua), solución al 5% de molibdato (500 mg en 10 ml de agua), Espectrofotómetro UV/VIS, retroevaporador IKA RV 10 digital, baño serológico memmert, centrifugador Adams 4000rpm 800-1 plasma.

Para la cuantificación del glifosato se utilizó el método propuesto por Nagaraja, donde se ejerce una reacción del grupo amino del componente glifosato con la Ninhidrina en presencia de Molibdato de sodio como catalizador, se produce la eliminación de una molécula de agua y da como resultado los productos 1 y 2 formando un compuesto coloreado purpura en medio acuoso neutro.

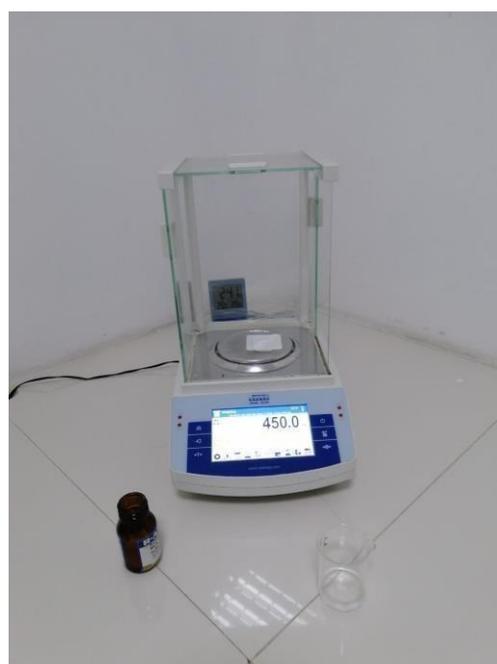
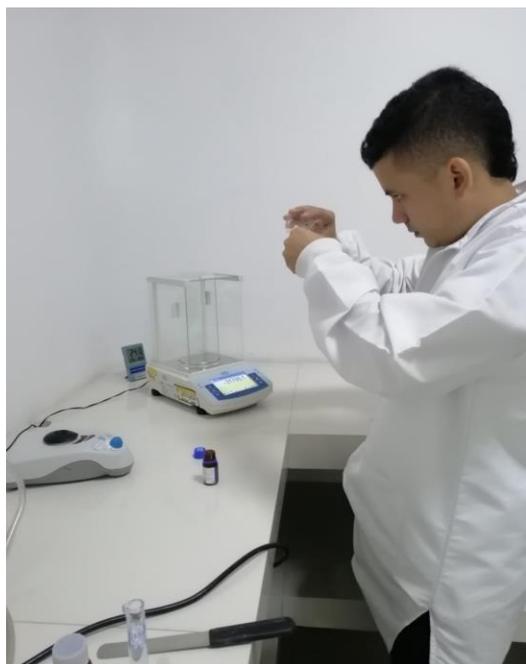
#### ***4.1.3 Montaje experimental del método para la cuantificación del glifosato***

A continuación, se muestra el procedimiento de la solución stock para concentraciones de 500 ppm de glifosato, la solución se realizó por triplicado donde se determinó la absorbancia para concentraciones de glifosato en un rango de 0.1 a 30 ppm, con los datos obtenidos se realizaron 3 curvas de calibración, tomando solo una curva promedio entre ellas y posteriormente se determinó la absorbancia y concentraciones finales con los datos de la curva de calibración promedio para las muestras en pozos y agua potable donde el volumen de 500 ml se redujo a 10 ml.

- Se hace una solución de 500 mg de ninhidrina en 10 ml de agua y una solución de 500 mg de molibdato de sodio en 10 ml de agua

### Figura 5

*Solución de 500 mg de ninhidrina y molibdato de sodio en 10 ml de agua*



*Nota.* El grafico muestra la solución de molibdato y ninhidrina en 10 ml de agua. Autor del proyecto

- Seguido se agregó 500 ppm de glifosato en concentraciones que varían en un rango de 0.1 a 30 ppm, junto con la solución de 500 mg de ninhidrina y 500 mg de molibdato de sodio.

**Figura 6.**

*Concentración de glifosato e un rango de 0.1 a 30 ppm*



*Nota.* El grafico muestra las concentraciones de glifosato en un rango de 0.1 a 30 ppm. Autor del proyecto

- Después de realizada la solución ninhidrina, glifosato y molibdato de sodio en tubos de ensayo, se dejan en el baño maría por 12 minutos a una temperatura constante de 85 grados, donde se observa el cambio de color purpura a mayor concentración de glifosato

## Figura 7

*Solución de glifosato con ninhidrina y molibdato de sodio en el baño maría*

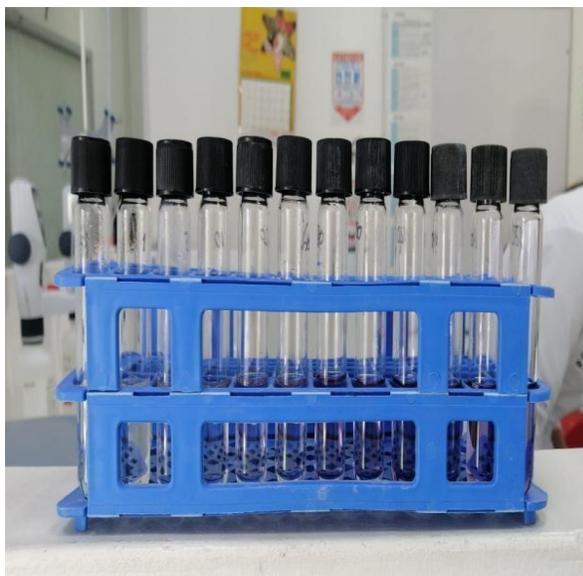


*Nota.* El grafico muestra las soluciones llevadas al baño serológico. Autor del proyecto

- Posteriormente se le agregan 10 ml de agua a cada tubo de ensayo de la solución y se mide en el espectrofotómetro para determinar la máxima longitud de onda de dicha sustancia la cual dio 568 nm y se halla la observancia para las concentraciones en un rango de 0.1 a 30 ppm en cada sustancia de acuerdo a su máxima longitud de onda.

**Figura 8.**

*Medición de las soluciones en el espectrofotómetro a un rango de 0.1 a 30 ppm*

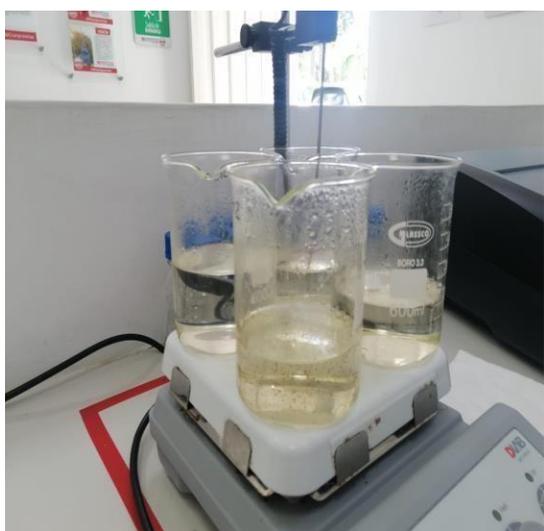
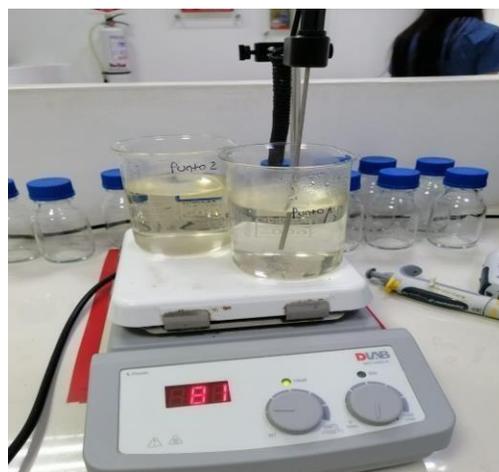


*Nota.* El grafico muestra las soluciones medidas en el espectrofotómetro. Autor del proyecto

- Luego de realizar la curva de calibración promedio, se hace el mismo procedimiento de laboratorio para las muestras de agua potable y agua subterránea, donde se toman los 500 ml de agua en cada muestra y se reducen a 10 ml por medio de una placa magnética a una temperatura de 80 a 90 grados.

**Figura 9.**

*Reducción de 500 ml de agua a una concentración de 10 ml*

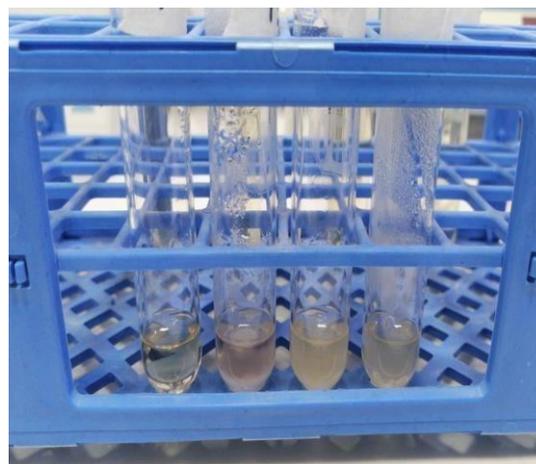


*Nota.* El grafico muestra la reducción a 10 ml de las concentraciones de 500 ml de cada muestra. Autor del proyecto

- Después de reducir a 10 ml las muestras de agua se llevan a centrifugado durante 10 minutos para la separación de sólidos y luego de la fase acuosa se toma 1 ml de cada muestra y se le agrega 0.5 ml de molibdato y 0.5 ml de ninhidrina y se llevan al baño serológico por 12 minutos.

### Figura 10.

*Reducción a 1 ml de cada muestra junto con 0.5 ml de ninhidrina y molibdato*

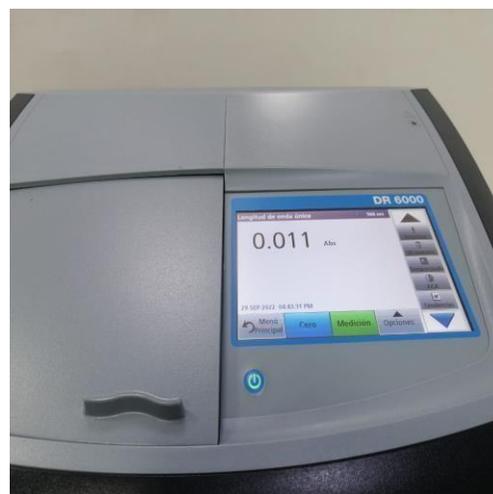
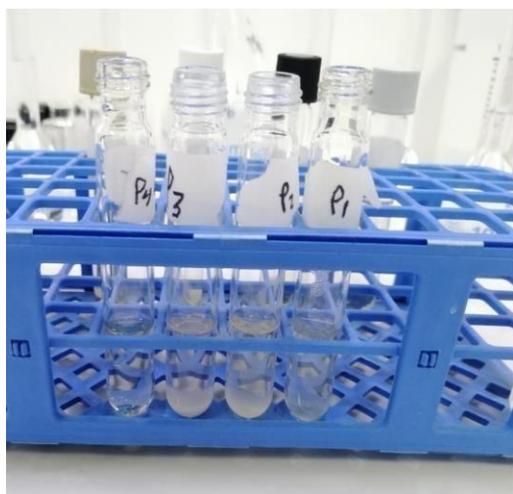


*Nota.* El grafico muestra la reducción a 1 ml de cada muestra. Autor del proyecto

- Por último se le adiciona a las muestras 3 ml de agua destilada y se leen en el espectrofotómetro con la máxima longitud de onda de 568 nm y se determina la absorbancia de cada muestra

**Figura 11.**

*Mediciones de cada punto de muestreo en el espectrofotómetro*



*Nota.* El grafico muestra las mediciones en cada punto de muestreo en el espectrofotómetro.

Autor del proyecto

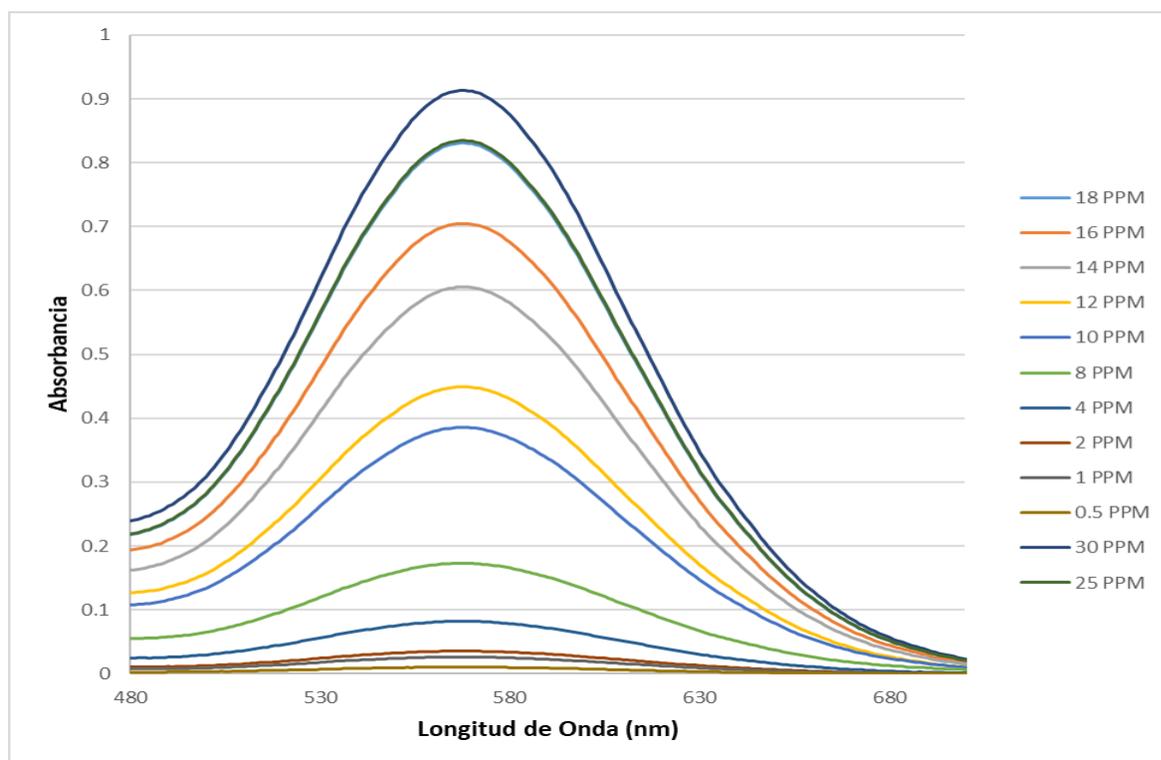
#### ***4.1.4 Análisis de la cuantificación del CE's seleccionado (glifosato)***

Se realizaron 3 curvas de calibración y se escogió el resultado promedio entre ellas, para el procedimiento se elaboró una solución stock de 500 ppm de glifosato, donde se transportó a alícuotas que variaban de 1 a 300  $\mu\text{L}$ , en tubos de ensayo y se añadieron 500  $\mu\text{L}$  de molibdato al 5% y 500  $\mu\text{L}$  de ninhidrina al 5% en cada uno de los tubos. Dichos tubos se taparon y se conservaron en el baño maría durante 12 minutos a una temperatura de 85°C. Posteriormente las muestras se mantuvieron a temperatura ambiente y se transfirieron

cuantitativamente en matraces aforados con un volumen total de 5 ml, dicho volumen se completó con agua destilada. Luego, el procedimiento de lectura se realizó con el espectrofotómetro, donde alcanzo una máxima longitud de onda de **568 nm** (figura 12). De acuerdo a los datos recogidos se hizo la curva de calibración tres veces con la absorbancia en función de la concentración de glifosato para un rango de 0.1 a 30 ppm (figura 13).

**Figura 12**

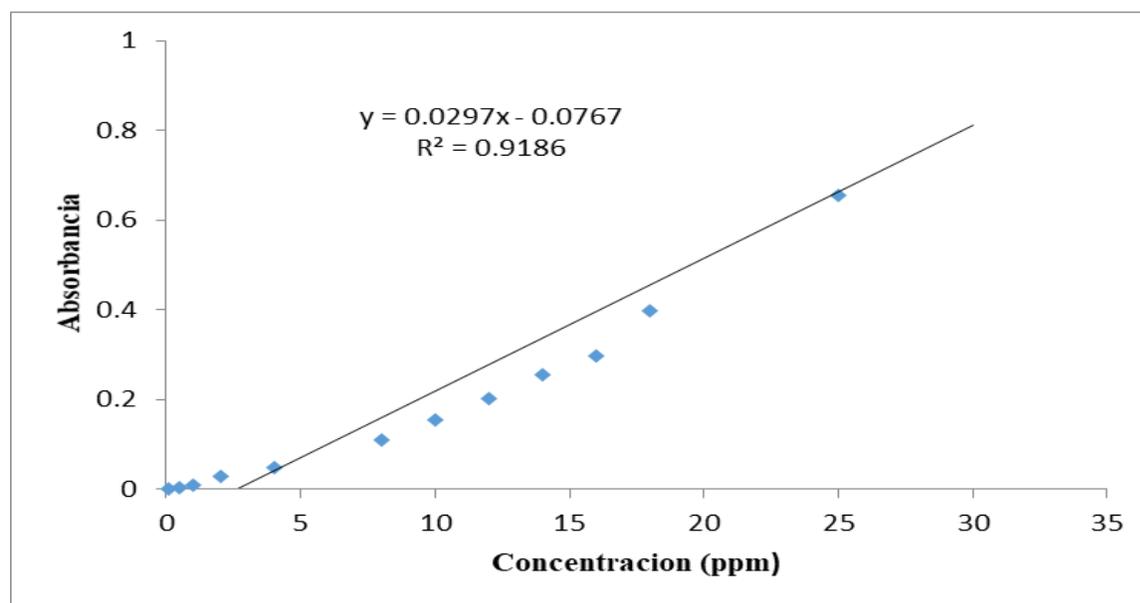
*Máxima longitud de onda de la derivatización ninhidrina con molibdato y glifosato*



*Nota.* El gráfico muestra la máxima longitud de onda de la derivatización. Autor del proyecto

**Figura 13**

*Curva de calibración para la cuantificación del glifosato*



*Nota.* El gráfico muestra la cuantificación de las muestras en la curva de calibración. Autor del proyecto

En la siguiente tabla podemos observar el método validado, donde se muestra el coeficiente de determinación, correlación, intercepto, desviación estándar y pendiente de los datos dados por la curva de calibración promedio. Así mismo se representa el límite de detección (ppm) tomando la relación de la desviación estándar y la pendiente de la curva de calibración multiplicada por un factor de 3.3. Para el límite de cuantificación (ppm) se determinó haciendo la misma relación, pero multiplicada por un factor de 10.

**Nota:** El coeficiente de variación debe ser menor al 10% ( $CV < 10\%$ ), lo cual quiere decir que los datos están cumpliendo con la desviación y estos no están dispersos entre sí.

**Tabla 3.**

*Características de la validación del método de derivatización glifosato con ninhidrina y glifosato*

<b>Concentración (PPM)</b>	<b>Promedio Abs.</b>	<b>S</b>	<b>CV %</b>
0.1	0.001	0.000	0.0
0.5	0.003	0.000	0.0
1	0.010	0.000	0.0
2	0.029	0.003	8.6
4	0.048	0.003	6.0
8	0.111	0.006	5.0
10	0.155	0.008	4.9
12	0.202	0.011	5.2
14	0.254	0.014	5.3
16	0.298	0.006	2.0
18	0.398	0.017	4.4
25	0.655	0.021	3.2
30	1.007	0.065	6.4
<b>Coefficiente de correlación</b>	0.91864272		
<b>Coefficiente de Determinación</b>	0.843904447		
<b>Intercepto</b>	-0.0767		
<b>Pendiente</b>	0.0297		
<b>Desviación</b>	0.012		
<b>Límite de Detección (PPM)</b>	1.297587898		
<b>Límite de Cuantificación (PPM)</b>	3.93208454		

*Nota.* Datos tomados de las concentraciones. Autor del proyecto

Posteriormente se determina la recuperación y las pérdidas del método (tabla 4), se realizó tomando 3 concentraciones añadidas de 25,10 y 1 ppm, que se encontraban dentro de la curva de calibración, donde la absorbancia se hizo por duplicado para cada concentración añadida, en estas se agregaron 25 ppm de glifosato a un volumen de 100 ml de agua potable de la universidad francisco de paula Santander. La fase acuosa con glifosato se rotoevaporó hasta una

medida de 5 ml y posteriormente se determinó la concentración con el método propuesto anteriormente.

la recuperación se halla dividiendo cada absorbancia de la concentración añadida sobre el promedio de las absorbancias determinadas en la curva de calibración para 25, 10 y 1 ppm. Luego se hace el promedio de los porcentajes de recuperación dando un 99.057%, la cual quiere decir que el método cumple, ya que se acerca al 100%. Por último, se determina el porcentaje de pérdidas que es el recíproco del porcentaje de recuperación lo cual dio 1.00 cumpliendo con el método previsto.

**Tabla 4**

*Porcentaje de recuperación y pérdidas del método de derivatización del glifosato con ninhidrina y molibdato*

<b>Recuperación</b>			
<b>Concentración Añadida (PPM)</b>	<b>Absorbancia</b>	<b>Concentración Determinada (PPM)</b>	<b>Recuperación</b>
25	0.645	24.618	98.473%
	0.659	25.153	100.611%
	0.153	7.914	98.922%
10	0.149	7.707	96.336%
	0.01	1.000	100.000%
1	0.01	1.000	100.000%
	<b>Media</b>		99.057%
<b>Perdidas</b>		1.009518769	

*Nota.* Datos tomados para determinar el porcentaje de recuperación y pérdidas del método. Autor del proyecto

#### 4.1.5 Cuantificación en los puntos de muestreo

se determinó las concentraciones para cada muestra de agua subterránea y de agua potable por medio de la absorbancia obtenida del espectrofotómetro, despejando la concentración en la ecuación de la curva de calibración promedio y multiplicando por el porcentaje de pérdidas.

**Tabla 5**

*Concentración final para cada punto de muestreo*

<b>Puntos de Muestreo (ppm) (500 ml)</b>		
<b>Punto</b>	<b>Absorbancia</b>	<b>Concentración final</b>
Punto 1 (pozo)	0.093	0.118
Punto 2 (pozo)	0.068	0.101
Punto 3 (pozo)	0.039	0.081
Punto 4 (potable)	0.011	0.061

*Nota.* Los datos muestran las concentraciones finales de cada punto de muestreo. Autor del proyecto

**Nota:** Se puede observar que los datos obtenidos muestran una mayor concentración de glifosato en los pozos subterráneos frente a la concentración obtenida en el agua potable.

#### 4.2 Estimar los riesgos producidos por el consumo excesivo de aguas contaminadas con glifosato en los seres humanos

Después de realizar la determinación de las concentraciones de glifosato en los 4 puntos de muestreo, se hizo una estimación cuantitativa del porcentaje de riesgo siguiendo el procedimiento descrito en la sección (2.4.7).

- Se hizo una identificación del peligro en base a las investigaciones realizadas y muestras de laboratorio en seres humanos como en animales, para el CE estudiado (glifosato).
- Se comparó los datos obtenidos, frente a la concentración máxima aceptable de plaguicidas en el agua de acuerdo a la resolución 2115 del 2007 de la calidad del agua para el consumo humano en Colombia.
- Se realizó la evaluación de la exposición, en base a la máxima concentración de glifosato en las muestras de agua subterránea y agua potable.
- Para determinar la relación dosis-respuesta se basó en el DSEAO (dosis sin efecto adverso observado), siendo el más eficaz y relevante.
- La valoración del riesgo se realizó mediante el cálculo del cociente de riesgo (HQ)

#### ***4.2.1 Glifosato***

En la siguiente tabla se muestra los datos obtenidos y su análisis de riesgo en Colombia de acuerdo a la resolución 2115 del 2007, teniendo en cuenta que la concentración máxima aceptable de cada uno de los plaguicidas presente en el agua es de 0.0001 (mg/l o ppm), así como la suma total de las concentraciones de plaguicidas no podrá ser superior a 0.1 (mg/l o ppm)

**Tabla 6.**

*Nivel de riesgo en cada punto de acuerdo a la resolución 2115 del 2007*

<b>Nivel de riesgo de acuerdo a la resolución 2115 del 2007</b>				
<b>Puntos</b>	<b>Concentración (ppm)</b>	<b>concentración máxima admisible(ppm)</b>	<b>Σtotal de concentraciones admisibles (ppm)</b>	<b>Nivel de riesgo</b>
punto 1 (pozo)	0.118	0.0001	0.1	Alto
punto 2 (pozo)	0.101	0.0001	0.1	Alto
punto 3 (pozo)	0.081	0.0001	0.1	Moderado
punto 4 (potable)	0.061	0.0001	0.1	Moderado

*Nota.* La tabla muestra el nivel de riesgo de cada concentración según la resolución 2115 del 2007.

Autor del proyecto

#### **4.2.2 Evaluación toxicológica en humanos**

##### **Canadá**

La concentración máxima aceptable de glifosato en el agua potable es de 0.28 mg/l y la cantidad admitida por día es de 0.03 mg/kg. (Health Canadá, 2009)

##### **Estados unidos**

La EPA clasifica al glifosato como clase E (evidencia de no carcinogénesis en humanos) pero establece que exposiciones continuadas a residuos en aguas para concentraciones superiores a 0.70 mg/l pueden causar efectos negativos en humanos. (EPA, 1993)

En la siguiente tabla se presentan los diferentes valores NOAEL (dosis sin efecto adverso observado) encontrados en las diversas investigaciones realizadas y sus posibles efectos críticos.

**Tabla 7.**

*Valores de dosis NOAEL encontrados para el glifosato*

<b>NOAEL (mg/kg- día)</b>	<b>Efectos críticos</b>	<b>Referencia</b>
750	Mortalidad materna y malformaciones fetales en animales sobre defectos congénitos.	(Ordoñez, Abraham, Méndez, 2020)
3	Reducción del peso corporal en un estudio de alimentación y oncogenicidad en ratas de 2 años	(Health Canadá, 2009)
10	En un estudio sobre la reproducción en 3 generaciones de ratas, se halló toxicidad en la dilatación tubular en los riñones de los recién nacidos	(Varona, Henao, 2009)
5, 50, 500	Alteración de órganos reproductivos y producción hormonal sobre la fertilidad en animales, disruptor endocrino	(Ordoñez, Abraham, Méndez, 2020)
500	Mortalidad materna y malformaciones fetales, anomalías en la actividad específica de enzimas hepáticas, en el corazón y el cerebro en animales	(Ordoñez, Abraham, Méndez, 2020)
100, 250	Estudio de toxicidad en el desarrollo en conejos (toxicidad materna y toxicidad embrionaria y fetal)	(Marrugo, Paternina, 2019)
1000	En perros la ganancia de peso corporal se limita y se aprecian toxicidad hepática y signos gastrointestinales a corto plazo	(Marrugo, Paternina, 2019)

*Nota.* La tabla muestra las dosis de glifosato y efectos críticos encontradas. Autor del proyecto

De acuerdo a los datos obtenidos de la tabla y las regulaciones de la máxima concentración de glifosato en el agua potable aceptable en Canadá y Estados Unidos, se determinó la ingesta diaria tolerable de glifosato para el caso en estudio. Se tomó el valor mínimo de NOAEL presentado en la tabla con un valor de 3 (mg/kg- día), con un factor de incertidumbre 100, el peso corporal promedio estipulado en un adulto es de 70 kg, la proporción de la ingesta diaria total es del 20% y el consumo medio diario de agua potable es de 2 L/d.

**Tabla 8***Valores de la ingesta diaria tolerable*

<b>NOAEL</b>	3 mg/kg-día "Fue un estudio realizado sobre la alteración de órganos reproductivos y producción hormonal sobre la fertilidad en animales"
<b>Factor de incertidumbre FI</b>	100
<b>Ingesta diaria tolerable IDT=(NOAEL/FI)</b>	0.03 mg/kg-día

*Nota.* Los datos arrojan el valor de la ingesta diaria tolerable. Autor del proyecto

El valor de referencia (VR) en la exposición al glifosato, se determinó mediante la ecuación 5, donde el IDT es de 0.03 mg/kg-día, la proporción (p) de la IDT es del 20%, el peso corporal fue de 70 kg y el valor de consumo de agua diario (c) se tomó de 2 litros por día en adultos., dando un valor de referencia de 0.3 mg/l.

**Tabla 9.***Calculo del valor de referencia en la exposición al glifosato*

<b>Ingesta diaria tolerable (IDT)</b>	0.03 mg/kg-día
<b>Peso corporal (PC)</b>	60 kg
<b>Proporción (P)</b>	20%
<b>Consumo diario ( C )</b>	2 l/d
<b>Valor de referencia VR=(IDT*PC*P)/C</b>	0.18 mg/l

*Nota.* Se determina el valor de referencia en la exposición al glifosato. Autor del proyecto

Posteriormente se tomaron las concentraciones promedio de glifosato en cada punto en estudio y se calculó el cociente de riesgo de acuerdo a la ecuación 6, dando como resultado un riesgo bajo, según el valor de interpretación del cociente de riesgo ( $HQ = 0.1-1.0$ ), los resultados se presentan en la siguiente tabla

**Tabla 10.**

*Valores del cociente de riesgo para cada punto de muestreo*

<b>Pozo 1</b>		<b>Pozo 2</b>	
<b>VR (mg/l)</b>	0.18	<b>VR (mg/l)</b>	0.18
<b>ED Concentraciones (mg/l)</b>	0.118	<b>ED Concentraciones (mg/l)</b>	0.101
<b>HQ (ED/VR)</b>	0.66	<b>HQ (ED/VR)</b>	0.56
	Riesgo bajo		Riesgo bajo
<b>Pozo 3</b>		<b>Agua potable</b>	
<b>VR (mg/l)</b>	0.18	<b>VR (mg/l)</b>	0.18
<b>ED Concentraciones (mg/l)</b>	0.081	<b>ED Concentraciones (mg/l)</b>	0.061
<b>HQ (ED/VR)</b>	0.45	<b>HQ (ED/VR)</b>	0.34
	Riesgo bajo		Riesgo bajo

*Nota.* Nivel de riesgo de acuerdo a los valores admitidos en Canadá y estados unidos. Autor del proyecto

#### **4.3 Proponer alternativas de solución para mitigar el índice de glifosato en las fuentes hídricas de la zona en estudio**

Se realizó un estado del arte y cuadro de análisis de las técnicas más utilizadas e importantes que existen actualmente, para la eliminación de contaminantes con glifosato en el tratamiento de aguas, haciendo énfasis en las metodologías presentadas a continuación:

- Tecnologías de membranas
- Bioerremediación
- Oxidación anódica o electroquímica
- Absorción mediante fotocátalisis
- Remoción mediante UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

#### ***4.3.1 Tecnología de membranas***

Es un proceso basado en una membrana que actúa como filtro, ya que deja pasar el agua y retiene los sólidos suspendidos y sustancias contaminantes en las fuentes de agua. Dichos procesos se emplean más seguido para la creación de agua tratada que proviene de fuentes subterráneas, superficiales y residuales. Se utilizan membranas con diferentes tamaños de poro como (microfiltración (MF) 1-0.1  $\mu\text{m}$ , ultrafiltración (UF) 0.1-0.01  $\mu\text{m}$ , nanofiltración (NF) 0.01-0.001  $\mu\text{m}$  y osmosis inversa  $< 0.001 \mu\text{m}$ ).

A continuación, se muestra un breve resumen de la técnica de tecnologías de membranas aplicada en la remoción de glifosato para el caso de estudio de la ingeniería María Angélica Alvares Bayona referente a su tesis “análisis de la ocurrencia de contaminantes emergentes en fuentes superficiales y agua potable en Cúcuta norte de Santander”

## Análisis del método

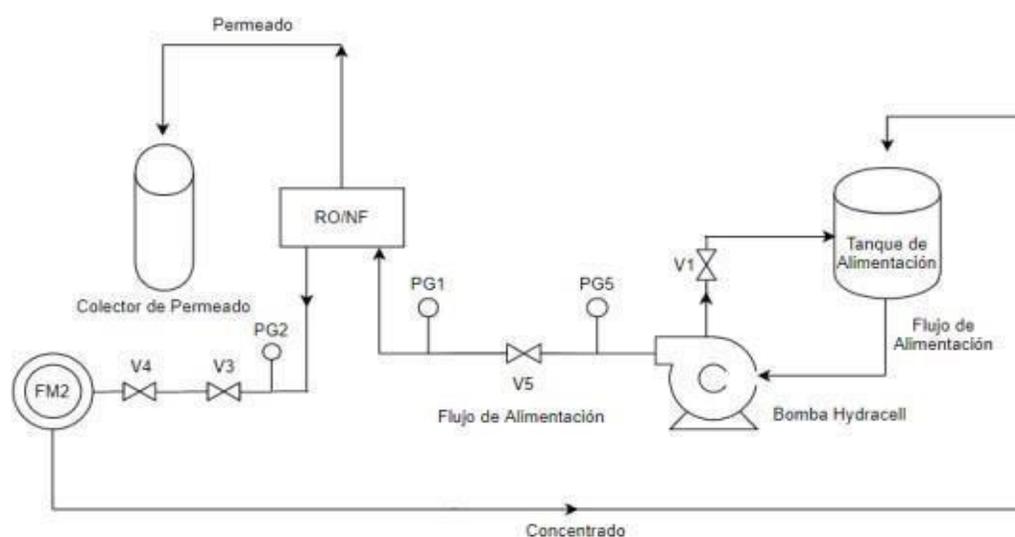
Para la aplicación del método, se realizó un montaje experimental compuesto por un tanque de alimentación en polipropileno con capacidad de 20 litros, conectado a una bomba hydracell con una presión de hasta 1000 psi, lo que permitía el ajuste de los parámetros de flujo.

El sistema de operación se basa en dar paso al flujo de alimentación del tanque conectado a un chiller para el control de la temperatura por medio de la bomba hydracell, hasta la membrana (RO o NF) donde el flujo que pasa a través de la membrana es el permeado que está libre de contaminantes.

La selección de las membranas se determinó teniendo en cuenta las características del flujo de alimentación, en este caso agua mezclada con concentraciones altas y bajas de glifosato, paraquat e ibuprofeno, utilizando membranas RO (osmosis inversa) y NF (nanofiltración) para el caso en estudio. (Álvarez, 2021)

### Figura 14

*Funcionamiento del montaje experimental*



*Nota.* La grafica muestra el montaje experimental. (Álvarez, 2021)

Los parámetros escogidos para la remoción de los CEs, fueron la temperatura del flujo de alimentación, la presión y la velocidad del flujo en la entrada de la bomba hydracell, se tomaron diferentes concentraciones de glifosato, la concentración alta fue de 500 ppm, la concentración media se determinó teniendo en cuenta valores que estuvieran por encima de los límites máximos permisibles en el agua potable de algunos países, arrojando un valor de 1 ppm, y por último la concentración baja se tomó teniendo en cuenta los parámetros encontrados para el agua potable en Cúcuta- norte de Santander.

**Tabla 11.**

*Parámetros de operación y sus rangos*

<b>Membrana GE-AG RO- Concentraciones altas y bajas</b>			
Código del factor	Parámetro	Valor mínimo	Valor máximo
A	Presión (psi)	120	220
B	Temperatura ©	15	50
C	Velocidad flujo de alimentación (HZ)	20	60
<b>Membrana GE-AK RO- Concentraciones bajas</b>			
A	Presión (psi)	80	115
B	Temperatura ©	15	50
C	Velocidad flujo de alimentación (HZ)	20	60
<b>Membrana GE-CK NF- Concentraciones altas y bajas</b>			
A	Presión (psi)	60	200
B	Temperatura ©	22	30
C	Velocidad flujo de alimentación (HZ)	20	60

*Nota.* La tabla muestra los parámetros de operación y rangos (Álvarez, 2021)

De acuerdo a los datos arrojados anteriormente, se determinó una tabla donde se observa la remoción para las diferentes concentraciones de glifosato por medio de la tecnología de membranas aplicadas al caso en estudio. (Álvarez, 2021)

**Tabla 12**

*Concentraciones de glifosato para el caso de estudio tecnologías de membranas*

<b>Alta concentración</b>				
Técnica	Tipo de fuente	Concentración inicial (ppm)	% remoción	Concentración final (ppm)
Membrana RO	Agua superficial	500	97.9	10.7
Membrana NF	Agua superficial	500	99.19	4.08
<b>Media concentración</b>				
Técnica	Tipo de fuente	Concentración inicial (ppm)	% remoción	Concentración final (ppm)
Membrana RO	Agua superficial	1	100	0
Membrana NF	Agua superficial	1	100	0
<b>Baja concentración</b>				
Técnica	Tipo de fuente	Concentración inicial (ppm)	% remoción	Concentración final (ppm)
Membrana RO	Agua potable	0.2045	100	0
Membrana NF	Agua potable	0.2045	100	0

*Nota.* La tabla muestra las concentraciones de glifosato mediante la tecnología de membranas.

(Álvarez, 2021)

#### **4.3.2 Biorremediación**

Su metodología se basa en un proceso que utiliza organismos vivos con el fin de degradar, absorber o transformar los contaminantes para luego retirarlos del suelo, agua o aire, para dicho proceso se usan bacterias naturales e inofensivas, capaces de eliminar cualquier sustancia.

A continuación, se muestra un breve resumen del caso de estudio referente a la biorremediación en aguas sintéticas mediante el uso del hongo *penicillium spp*, presentado por el ingeniero ambiental José Darío Becerra Ordoñez de la escuela politécnica nacional en Quito.

## Análisis del método

El proceso metodológico se basó en varios estudios donde se demuestra la capacidad de crecimiento del hongo *penicillium spp* en medios de cultivos con concentraciones de glifosato, por encima de los límites permisibles por la EPA de contaminación ambiental, el objetivo de la investigación se orientó a analizar la remoción de glifosato en aguas sintéticas por medio del uso de biofiltros con el trasmiteo del hongo *penicillium spp*. Se consideraron ensayos microbiológicos donde se evaluó el crecimiento del hongo por limitaciones de nutrientes (nitrógeno, fosforo, carbono) en concentraciones de glifosato (500 – 0.005 mg). Posteriormente se propuso el diseño de dos tipologías de biofiltro (batch mezcla completa con difusión de oxígeno y flujo continuo tipo pistón), para el desarrollo del batch se analizó con tres concentraciones de glifosato (500,5,0.05 mg) y para el biofiltro de flujo continuo se operó con una carga superficial de 1.5 m<sup>3</sup> m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> y concentración de glifosato de 100 mg. Se utilizó biofiltros de prueba, con una media de 56.7 para el biofiltro de control y 24.65 para el biofiltro con el inóculo del hongo *penicillium*. (Becerra, 2022)

**Tabla 13.**

*Concentraciones de glifosato para el caso de estudio biorremediacion*

<b>Biorremediacion</b>						
Técnica	Tipo de fuente	Biofiltro hongo	Biofiltro control	Conc inicial (ppm)	% remoción	Conc final (ppm)
Hongo Penicilium	Agua Residual	24.65	56.7	100	74	36

*Nota. La tabla muestra la máxima concentración de glifosato mediante la biorremediacion. (Becerra, 2022)*

Los resultados obtenidos evidenciaron una eficiencia de remoción de glifosato en agua residual mayor a 74%, debido a esto es una técnica de biorremediación apta para aguas contaminadas con glifosato empleando las características de diseño empleadas anteriormente.

#### ***4.3.3 Oxidación anódica o electroquímica***

Es un método utilizado para remover contaminantes orgánicos e inorgánicos en aguas residuales de diferente origen, mediante la separación de los elementos de un compuesto por medio de la electricidad, denominado electrolisis.

#### **Análisis del método**

El método se fundamenta en la oxidación que aprecia el glifosato mediante un proceso de electrolisis. La oxidación electroquímica se clasifica en indirecta cuando el glifosato es oxidado por un reactivo ( $Cl_2$ ,  $H_2O_2$ ,  $O_2$ , etc.) electro-generado in situ durante la electrolisis y directa, cuando el glifosato es oxidado principalmente en el ánodo. La oxidación anódica presenta ventajas numerosas entre las cuales cabe destacar:

- ✓ Posee la capacidad de tratar residuos de alta toxicidad
- ✓ Su principal reactivo es la electricidad, que no contiene átomos que puedan generar residuos
- ✓ Se realiza a temperatura ambiente y presión atmosférica, reduciendo la volatilización y descarga de residuos no tratados

- ✓ El proceso es más selectivo ya que con el uso del potencióstato se controla y se puede mantener fijo el potencial del electrodo para eliminar completamente el contaminante o reducirlo a una contaminación mínima.

La oxidación anódica de todos los compuestos orgánicos es teóricamente posible antes de la reacción del desprendimiento de oxígeno (OER) partiendo de la oxidación del H<sub>2</sub>O, pero en la realidad, la reacción de la oxidación es lenta, debido a las limitaciones cinéticas y consideraciones termodinámicas. En dichos procesos es fundamental contar con materiales electroquímicos que posean una mayor eficiencia en la eliminación-transformación del glifosato, así como una mejor estabilidad en condiciones de polarización anódica. Aunque la oxidación anódica para el tratamiento de aguas contaminadas con glifosato ha sido muy poco estudiada, es una metodología relevante en la eliminación de numerosos contaminantes orgánicos e inorgánicos. (Núñez, 2016)

#### ***4.3.4 Absorción mediante fotocatalisis***

Es un proceso de reacción fotoquímica que consiste en la transformación de energía solar en energía química sobre la superficie de un catalizador, establecido en un material semiconductor, lo cual acelera la velocidad de reacción en procesos tanto de oxidación como de reducción.

A continuación, se muestra un breve resumen de un artículo de investigación realizado por diferentes autores de la facultad de ciencias naturales e ingeniería de la universidad Jorge

Tadeo Lozano en Bogotá, Colombia, basado en la “evaluación de un reactor para la degradación fotocatalítica de glifosato empleando un catalizador de TiO<sub>2</sub>-Mn”

### **Análisis de la investigación**

El proceso metodológico consiste en la degradación fotocatalítica del componente glifosato en solución acuosa, mediante un catalizador sintetizado a partir de TiO<sub>2</sub> dopado con manganeso (TiO<sub>2</sub>-Mn) y un catalizador comercial (TiO<sub>2</sub> degussa p25), resistidos en anillos de borosilicato con un diámetro interno de 6.52 mm y un diámetro externo de 7.59 mm, los cuales fueron cubiertos con el catalizador, posteriormente al catalizador sintetizado se le realizaron caracterizaciones físicas y químicas mediante espectrofotometría de dispersión de energía de rayos x (SEM-EDS) y microscopia electrónica de barrido. Los ensayos de fotodegradación se realizaron en un reactor diseñado para trabajar en operación continua, con un caudal de alimentación de 4.25 ml min<sup>-1</sup> de una solución de glifosato de 500 ml y una retención de 1 h y 25 min llevando a cabo ensayos de fotocatalisis heterogénea, absorción y fotolisis. (Suarez, Guevara, Mendoza, Álvarez, 2019)

**Figura 15**

*Montaje del reactor empleando ensayos de fotodegradación*



*Nota.* La imagen muestra el montaje del reactor para ensayos de fotodegradación. (Suarez, Guevara, 2019)

A partir de dichos estudios se logró un porcentaje máximo de degradación del 39.19% con el catalizador  $\text{TiO}_2\text{-Mn}$  soportado en anillos y un 28.26% de remoción con el catalizador comercial  $\text{TiO}_2$  degussa p25.

#### **4.3.5 Remoción mediante $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$**

Este método es uno de los PAOs (procesos avanzados de oxidación) más antiguos, y se ha utilizado para la remoción de contaminantes presentes en el agua, como los pesticidas. Esta metodología hace parte de las tecnologías fotoquímicas, donde la generación de oxhidrilos se produce gracias a la irradiación del sistema con luz de energía para el rango UV. Dicha radiación

provoca la ruptura de la molécula de peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) originando dos oxhidrilos (HO). Esta metodología presenta numerosas ventajas, debido al fácil acceso del oxidante y es completamente miscible a cualquier concentración de agua.

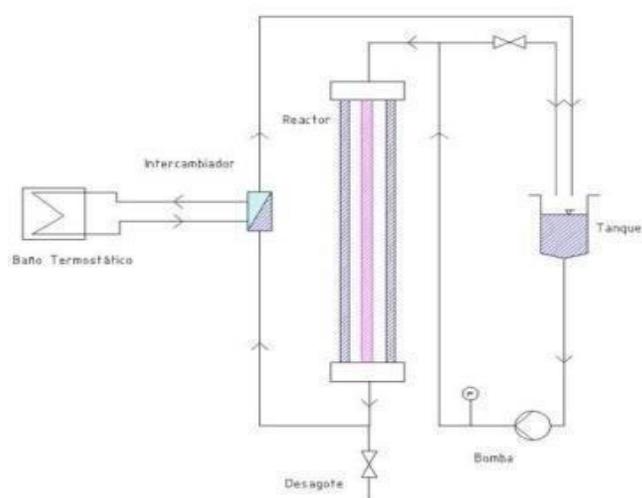
A continuación, se muestra un resumen de la investigación realizada por la licenciada Melisa Longo Blasón de la universidad Nacional del Litoral en Santa Fe, Argentina, basada en la “reducción de la toxicidad de efluentes con formulados de glifosato utilizando el proceso UV/ $H_2O_2$ ”.

### **Análisis de la investigación**

La metodología para la degradación de las soluciones de glifosato por medio del proceso UV/ $H_2O_2$ . Se realizaron en un reactor anular de (2.5 L), con un tubo compuesto de cuarzo permitiendo el paso de la radiación UV, originada desde una lámpara germicida colocada en forma concéntrica. Dicho reactor opera en un sistema discontinuo con recirculación incluyendo un tanque de circulación con agitación continua y una bomba centrífuga como lo muestra a continuación. (Longo, 2015)

**Figura 16**

*Esquema del dispositivo experimental*



Nota. La imagen muestra el dispositivo experimental para la remoción mediante UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (Longo, 2015)

La concentración de glifosato tomadas en los ensayos fue de 50 mg y 0.915 ml de peróxido de hidrogeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), se determinaron mediante el análisis de cromatografía de intercambio iónico, combinada con detección por conductividad, empleando diferentes formulaciones comerciales de glifosato para evaluar la eficiencia de degradación con el PAO UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, como se muestra en la figura.

**Tabla 14.**

*Concentraciones de glifosato para cada formulado comercial de acuerdo al proceso UV/H2O2*

	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Eskoba 48% SL</b>	<b>Sulfato Touchdown</b>	<b>Panzer Gold</b>	<b>Roundup Max</b>
Glifosato (mg)	360	16.4	0.67	12.4	9.01
% de conversión glifosato	360	66.87	98.58	77.08	82.39

*Nota.* En la tabla se muestra las concentraciones de glifosato para cada formulado mediante el proceso UV/H2O2

Como se observa en la figura, la máxima degradación en la concentración de glifosato posterior a la aplicación del UV/H2O2, fue la obtenida para la formulación comercial Sulfato Touchdown, con un % conversión de glifosato de 98.58%, seguido del Roundup ultra max, con un 82.39% en un tiempo de tratamiento de 360 minutos. Siendo este método muy eficiente en la degradación de las formulaciones comerciales de glifosato, aunque cabe destacar que existen otros componentes y productos intermedios que interfieren en la disminución de su toxicidad.

A continuación, se muestra un cuadro comparativo de todas las técnicas analizadas anteriormente donde se observa las concentraciones de glifosato y el porcentaje de remoción en cada investigación realizada;

**Tabla 15**

*Máximos porcentajes de remoción y concentración de glifosato para cada método*

<b>Máximo porcentaje de remoción de Glifosato por cada método</b>					
<b>Técnica</b>	<b>Fuente</b>	<b>concentración inicial (ppm)</b>	<b>% Remoción</b>	<b>concentración final (ppm)</b>	<b>Ref.</b>
Tecnologías de membranas (RO)	Agua	500	97.7	10.7	(Álvarez, 2021)
Biorremediación	Agua	100	74	36	(Becerra, 2022)
Absorción por fotocatalisis	Agua	500	39.19	304.05	(Suarez, Guevara, 2019)
Remoción mediante UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Agua	50	98.58	0.71	(Longo, 2015)

*Nota.* En la tabla se muestra el resumen de las máximas concentraciones de glifosato para cada metodología. Autor del proyecto

## Capítulo 5. Conclusiones

Los resultados obtenidos a partir de la cuantificación en los puntos de muestreo, evidencia la presencia del contaminante glifosato en aguas subterráneas y agua potable.

De acuerdo a los datos arrojados, se determina una mayor concentración de glifosato en las muestras tomadas en los pozos, que, en el agua potable, lo que indica un mayor riesgo al consumir el agua subterránea, asimismo de acuerdo a la resolución 2115 de 2007 que contempla que la suma de todas las concentraciones de plaguicidas no podrá ser superior a 0.1 ppm, se establece que las concentraciones de glifosato en las muestras es mayor a la concentración máxima admitida para el consumo humano en Colombia, ocasionando un problema de salud significativo en las personas.

En cuanto al porcentaje de riesgos por el uso excesivo de aguas contaminadas con glifosato y considerando las concentraciones encontradas, teniendo en cuenta los parámetros máximos normativos para el agua potable en Canadá y estados unidos se encontraría en un riesgo bajo, por otro lado, es importante destacar que a medida que aumente el uso de herbicidas en la zona de estudio, la concentración de contaminantes será aún mayor.

De acuerdo a las investigaciones realizadas se estableció que la tecnología de membranas y la remoción mediante UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> son las técnicas con mayor porcentaje de remoción de glifosato en las fuentes de agua. Por lo cual son dos alternativas altamente favorables para los procesos de purificación de aguas para el consumo humano.

## Capítulo 6. Recomendaciones

Se recomienda a las autoridades de salud ambiental del municipio, promover o implementar tratamientos avanzados de remoción de herbicidas, tanto en el agua potable como en las fuentes subterráneas, ya que un gran porcentaje de personas optan por ese consumo.

Es necesario que las autoridades ambientales realicen mayores estudios acerca del impacto generado por los contaminantes emergentes en las fuentes de agua y asimismo implementar mecanismos de solución en todo el país

Es de vital importancia que los entes ambientales y de salud promuevan normativas que disminuyan el uso de herbicidas en los cultivos y que puedan advertir de la toxicidad generada.

Este proyecto queda abierto para que se sigan realizando investigaciones de este tipo, principalmente en zonas rural

## Capítulo 7. Referencias

- Abril Díaz, N., Bárcena Ruiz, A., Fernández Reyes, E., (2015) *Espectrofotometría: Espectros de absorción y cuantificación clorométricas de biomoléculas*. Córdoba: Departamento de bioquímica y biología molecular
- Agencia de protección ambiental de los Estados Unidos (EPA), (1993) *Hechos de decisión de elegibilidad de registro glifosato*. Washington D.C
- Álvarez Bayona, M. A., (2021) *Análisis de la ocurrencia de contaminantes emergentes (glifosato, paraquat e ibuprofeno) en fuentes superficiales y de agua potable de Cúcuta-norte de Santander y su remoción utilizando tecnologías de membranas*. BarranquillaAtlántico: Universidad del norte.
- Aranda Camacho, G. S., Valenzuela Herrera, A., García rincón, D. M., Almeria Ospino, J. E.(2015) *Efectos del glifosato sobre la salud humana*. Colombia: universidad libre.
- Atuesta Ortiz, D.A., (2020) *MEGIA (modelo multiescala para la gestión integral del agua con análisis de información para la evaluación ambiental estratégica del subsector de hidrocarburos en el valle de la magdalena medio*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia
- Barceló, D., (2014) *Los contaminantes emergentes: Descripción y tratamientos*. Instituto catalán de investigación del agua
- Becerra., J.D (2022) *Análisis de la eficiencia de remoción de glifosato en agua sintética*. Quito; EPN
- Castro Garro, D., (2019) *una breve historia sobre el glifosato*. Perú: Universidad Nacional la Agraria Molina. Expresiongenetica
- Congreso de la Republica., (1986) *Ley 30 de 1986*. Colombia: Gaceta oficial del congreso

- Congreso de la Republica., (1986) *Resolución 3573 del 27 de septiembre del 2011*. Colombia
- Díaz Gómez, A. F., (2018) *Remoción de pesticidas en el agua: caso de estudio en el departamento del Cesar*. Cesar- Colombia
- Díaz, M. A. (2004). *Centro de estudios económicos regionales (CEER)*. Cartagena: Banco de la república.
- Duque Márquez, I., Restrepo Uribe, J. P (2019) *Informe nacional de la calidad del agua para consumo humano. INCA (2017)*. Bogotá: Ministerio de salud y protección social.
- Enric Seralini, G., Douzelet, J. (2012). *Artículo sobre los efectos en el hígado y riñones debido al glifosato roundup*. Inglaterra: revista food and chemical toxicology.
- Escartin, N., (2014) *El glifosato*. Área de agroecología, soberanía alimentaria y mundo rural de ecologistas en acción. Revista el ecologista n 81.
- FAO., (2000) *Evaluación de la contaminación del suelo*. Roma, Italia: Organización de las naciones unidas para la agricultura y alimentación
- Fundamentos de química practica-4., (2015) *Espectrofotometría*. Practica 4
- García Herrán, M., Omar Vargas, N.O., Bernal Quiroga, F.A (2019) *Estudio nacional del agua (ENA)*. Bogotá, D.C: IDEAM
- Gil, M. J., Soto, A. M., Usma. J. I., (2012) *Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos*. Vol. 7, Nro. 2 pág. 52-57
- Grupo de evaluación de riesgos en inocuidad de alimentos ERIA y plaguicidas, (2017) *Metodologías para determinar la dosis de referencia toxicológica de peligros químicos en alimentos*. Ministerio de salud y protección social - Republica de Colombia; Bogotá, D.C
- Health Canadá (HC)., (2006) *Pautas para la calidad del agua potable en Canadá*. Oficina de salud y calidad del agua, ambientes saludables: pág. 1-5
- Huff, A., (2011) *El nuevo PCB: El herbicida roundup de Monsanto aparece en el aire, la lluvia y*

*los ríos*. EE UU: Natura news

IARC. (2015) *Evaluación de cinco insecticidas organofosforados y herbicidas*. Lyon, Francia:

Agencia internacional para la investigación del cáncer, volumen 12

Laboratorio Nacional de control farmacéutico., (2002) *Validación de métodos analíticos*. Anexo3, informe 36

Longo, M., (2015) *Reducción de la toxicidad de efluentes con formulados de glifosato utilizando el proceso UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>*. Universidad Nacional del Litoral, Facultad de humanidades y ciencias.

Marrugo, J., Paternina, R., (2019) *Evaluación de riesgos para la salud humana, con énfasis en un modelo de evaluación: derivado de la ejecución del programa de erradicación de cultivos ilícitos por aspersión aérea en Colombia*. Universidad de Córdoba

Nagaraja, P., Bahaskara, B. L., (2006) *Evaluación espectrofotométrica sensible de carbofurano utilizando dapsona como nuevo reactivo cromogénico en formulaciones y muestras ambientales: Eclética química*. Vol. 31, nro. 4, pp. 43-48

Núñez., E (2016) *Eliminación de glifosato por métodos electroquímicos*. Conselleriaagricultura 13-161

Ordoñez, y., Abraham, N., Méndez, F., (2020) *Efectos del glifosato en la salud reproductiva humana*. Universidad del valle: Centro de estudios reproductivos

Pino Gonzales, D.A. (2015) *Evaluación integral de prestadores empresa de servicios públicos de acueducto, Alcantarillado y aseo de Aguachica*. Bogotá: Superintendencia de servicios públicos domiciliarios

Pirotta, v., (2020) *Glifosato, haciendo historia*. El agrario. Glifosato-segunda parte Reduas.

(2012) *Glifosato contamina fuentes de aguas subterráneas*. Red universitaria

Ramírez Muñoz, F., (2021) *El herbicida glifosato y sus alternativas*. Costa Rica: Universidad Nacional

- Salazar López, N. J., Aldana Madrid, M. L., (2011) *Herbicida glifosato: usos, toxicidad y regulación*. México: Departamento de investigación y posgrado en alimentos. Universidadde Sonora Santa Fe; Argentina
- Shankani, G., Buddhika M.J., Mahesh, J., Jagath M., Kasun, Z (2018) *Glifosato y AMPA de suelos agrícolas, aguas superficiales, aguas subterráneas y sedimentos en áreas prevalentes con enfermedad renal crónica de etiología desconocida*. Sri Lanka; journal of environmental science and health.
- Suarez., A, Guevara., D, Mendoza., J, Álvarez. Judith (2019) *Evaluación de un reactor para la degradación fotocatalitica de glifosato empleando un catalizador de TiO<sub>2</sub>-Mn*. Facultad de ciencias e ingeniería, Jorge Tadeo Lozano. Bogotá: Colombia
- Tzaskos<sup>1</sup>, D.F., Marcovicz<sup>1</sup>, C., Piccolomini Días, N.M., Rosso, N (2012) *Desarrollo de muestreo para cuantificación de glifosato en aguas naturales*. Brasil: Universidad estatal de ponta grossa
- Varona, M., Henao, G., (2009) *Evaluación de los efectos del glifosato y otros plaguicidas en la salud humana en zonas objeto del programa erradicación de cultivos ilícitos*. Instituto Nacional de salud: Bogotá, Colombia.
- Vera, M., Lagomarsino, L., Silvestre, M., (2009) *Nuevas evidencias del impacto del roundup (formulación del glifosato) en la comunidad de perifiton y la calidad del agua de los ecosistemas de agua dulce*. Argentina; Ecotoxicología
- Von Osten, J.R., Dzul-Caamal, R., (2017) *Residuos de glifosato en aguas subterráneas, agua potable y orina en agricultores de subsistencia en localidades de alta agricultura*. CampecheMéxico: Revista internacional de investigación ambiental y salud pública.

Zirena Vilca, F., Gosgot Angeles, W., Campos Quiroz, C.N., Zamolla Cuba, W.A (2018) *glifosato en cuerpos hídricos; problema ambiental*. Universidad nacional de Moquegua-Perú.