RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	Rafael David Reyes Martinez, Ramon Isaac Robles Álvarez.
FACULTAD	Ingenierías
PLAN DE ESTUDIOS	Ingeniería civil
DIRECTOR	María Angelica Álvarez Bayona Co-director Agustin Armando Macgregor Torrado
TÍTULO DE LA TESIS	Determinación de la presencia del glifosato en el agua superficial y potable, que abastece la planta El Llanito en el municipio de Ocaña, Norte de Santander
TITULO EN INGLES	Determination of the presence of glyphosate in surface and drinking water supplied by the Llanito plant in the municipality of Ocaña, Norte de Santander

RESUMEN
(70 palabras)

El estudio analiza la presencia de glifosato en el agua del río Tejo y en el suministro de la PTAP El Llanito en Ocaña, Colombia. Se enfoca en evaluar los niveles de glifosato en el río, así como la eficacia de los procesos de tratamiento de agua para eliminar el herbicida. Esto es relevante dada la preocupación global sobre el impacto del glifosato en la salud humana y los ecosistemas acuáticos.

RESUMEN EN INGLES

The study examines the presence of glyphosate in the water of the Tejo River and the water supply from the PTAP El Llanito in Ocaña, Colombia. It focuses on evaluating glyphosate levels in the river, as well as the effectiveness of water treatment processes in removing the herbicide. This is relevant given global concern about the impact of glyphosate on human health and aquatic ecosystems.

PALABRAS CLAVES	Glifosato, Escorrentía, Espectrofotometría, Herbicida, Agua potable, Agua Cruda, Saneamiento.
PALABRAS CLAVES EN INGLES	Glyphosate, Runoff, Spectrophotometry, Herbicide, Drinking water, Raw water, Sanitation.

CARACTERÍSTICAS

PÁGINAS: 115	PLANOS: 0	ILUSTRACIONES: 34	CD-ROM: 0

Determinación de la presencia del glifosato en el agua superficial y potable, que abastece la planta El Llanito en el municipio de Ocaña, Norte de Santander

Ramón Isaac Robles Álvarez

Rafael David Reyes Martínez

Facultad De Ingenierías, Universidad Francisco De Paula Santander

Ingeniería Civil

Mg. María Angelica Álvarez Bayona

Esp. Agustin Armando Macgregor Torrado

22 de mayo de 2024

Agradecimientos

Queremos expresar nuestro profundo agradecimiento a Dios por ser nuestra fuente de motivación constante durante nuestra carrera universitaria. Agradecemos a la Universidad Francisco de Paula Santander, seccional Ocaña, y a la Facultad de Ingeniería Civil por brindarnos la oportunidad de formarnos. Reconocemos el invaluable apoyo de nuestros profesores y la orientación de, la Mgtr. María Angélica Álvarez Bayona, y el Esp. Agustín Armando Macgregor Torrado en nuestra investigación. Agradecemos especialmente a nuestros padres por su amor, sacrificio y apoyo incondicional. Este logro no habría sido posible sin el respaldo divino, el apoyo de nuestra universidad y el esfuerzo de quienes nos rodean.

Resumen

La presencia de glifosato, un herbicida ampliamente utilizado en la agricultura, en fuentes de agua ha generado preocupación global debido a su potencial impacto en la salud humana y los ecosistemas acuáticos. Este estudio se centra en cuantificar la cantidad de glifosato en el agua superficial de rio Tejo y el agua suministrada por la PTAP El Llanito, ubicada en el municipio de Ocaña, Norte de Santander, Colombia, una región caracterizada por su intensa actividad agrícola. La investigación tiene como fin de evaluar los puntos de mayor concentración de glifosato en el rio, y eficacia de los procesos de tratamiento de agua al determinar la concentración del herbicida en el ingreso y la salida del tratamiento.

Abstract

The presence of glyphosate, a herbicide widely used in agriculture, in water sources has generated global concern due to its potential impact on human health and aquatic ecosystems. This study focuses on quantifying the amount of glyphosate in the surface water of the Tejo River and the water supplied by the El Llanito PTAP, located in the municipality of Ocaña, Norte de Santander, Colombia, a region characterized by its intense agricultural activity. The purpose of the research is to evaluate the points of highest concentration of glyphosate in the river, and the effectiveness of the water treatment processes by determining the concentration of the herbicide at the inlet and outlet of the treatment.

Índice

Lista De Figuras 11

Lista De Tablas 13

1. Determinación de la presencia del glifosato en el agua superficial y potable, que abastece la planta El Llanito en el municipio de Ocaña, Norte de Santander 14

1.1 Introducción 14

1.2 Planteamiento Del Problema 16

1.3 Formulación Del Problema 20

1.4 Objetivos De Investigación 20

1.4.1 Objetivo General 20

1.4.2 Objetivos Específicos 20

1.5 Justificación 21

1.6 Delimitaciones 23

1.6.1 Delimitación Operativa 23

1.6.2 Delimitación Conceptual 24

1.6.3 Delimitación Geográfica 24

1.6.4 Delimitación Temporal 24

2 Marco Referencial 25

2.1 Marco Histórico 25

2.2 Marco contextual 29
2.3 Marco Conceptual 31
2.3.1 Glifosato 31
2.3.2 Saneamiento 31
2.3.3 Agua potable 32
2.3.4 Herbicida: 32
2.3.5 Fosfonato: 32
2.3.6 Agua superficial 33
2.3.7 Agua cruda: 33
2.3.8 PTAP (Planta de tratamiento de agua potable) 33
2.3.9 Escorrentía: 34
2.4 Marco Teórico 34
2.5 Marco Legal 37
2.5.1 Resolución No. 2115 del 22 de junio de 2007 37
2.5.2 Proyecto de ley 287 de 2023 38
2.5.3 Resolución 0330 de 2017 38
3 Diseño Metodológico 40
3.1 Tipo De Investigación 40
3.2 Población 40
3.3 Muestra 40
3.4 Etapas para alcanzar el desarrollo de los objetivos señalados 42
3.4.1 Revisión de literatura 43

3.4.2 Diseño de encuesta e implementación....43
3.4.3 Identificación de la zona de estudio....44
3.4.4 Diseño experimental selección del método:....44
3.4.5 Muestreo....44
3.4.6 Ensayos de laboratorio:....45
3.4.7 Cuantificación del herbicida....45
3.4.8 Determinación del riesgo de los habitantes....46
3.4.9 Análisis de los resultados....46
3.5 Cronograma de Actividades....47
4 Administración del proyecto....48
4.1 Recursos humanos....48
4.2 Recursos institucionales....49
4.3 Recursos Financieros....50
5 Identificar las actividades que generan los posibles vertimientos con contenido de glifosato y que son desarrollados en la rivera del rio Tejo, con el propósito de establecer los puntos críticos que aportan la mayor concentración....51
5.1 Encuestas....51
5.1.1 Cultivos sembrados en la zona....51
5.1.2 Hectáreas cultivadas al año....52
5.1.3 Herbicidas más usados por los agricultores....53
5.1.4 Motivo por el cual se elige un herbicida....54
5.1.5 Tipo de herbicida, polvo o solución....55

5.1.6 Regularidad en la aplicación del herbicida.....55

5.1.7 Tipo de aspersión del herbicida.....56

5.1.8 Meses en los que se aplica el herbicida.....57

5.1.9 Destino final de los recipientes utilizados para el glifosato.....58

5.1.10 Formas de realizar el riego con agua.....59

5.2 Identificación de los puntos de mayor cultivo en la zona para el muestreo.....60

5.2.1 Punto 1. 60

5.2.2 Punto 2 61

5.2.3 Punto 3 62

5.2.4 Punto 4 63

5.2.5 Punto 5 64

5.2.6 Punto 6 65

5.2.7 Punto 7 66

5.2.8 Punto 8 67

5.2.9 Punto 9 67

6 Cuantificar la concentración de glifosato en el agua superficial y potable logrando así comparar los resultados obtenidos con la normativa vigente a nivel nacional e internacional. 69

6.1 Método Analítico para la cuantificación del glifosato.....69

6.1.1 Materiales.....69

6.1.2 Equipo.....69

6.1.3 Método.....70

6.1.4 Curva de Calibración.....71

6.2 Cuantificación del Glifosato en las Muestras de agua obtenidas.....72

6.3 Concentraciones máximas de glifosato en aguas superficiales.....76

6.4 Concentraciones de glifosato en el agua potable máximas permitidas por normativa 77

7 Evaluar los tratamientos realizados por la PTAP El Llanito y sus procesos de optimización para el control de contaminantes como el glifosato y de esta manera proponer estrategias para la mejora del sistema. 80

7.1 Panta de Tratamiento de Agua Potable el Llanito 80

7.1.1 Captación.....81

7.1.2 Desarenador 82

7.1.3 Cámara de Floculación 82

7.1.4 Sedimentación.....83

7.1.5 Filtros 83

7.1.6 Tanque de Almacenamiento.....84

7.2 Capacidad de remoción del glifosato 84

7.3 Alternativas de solución.....86

7.4 Winflows 3.3.3.....87

7.5 Reporte Solución 93

8 Conclusiones 104

9 Recomendaciones 106

10 Referencias.....108

Lista De Figuras

Figura 1 Zona de muestreo.....30

Figura 2 Esquema general de la metodología.....42

Figura 3 Cronograma de actividades para determinar la existencia del glifosato en el agua superficial y potable, que abastece la planta El Llanito en el municipio de Ocaña, Norte de Santander.....47

Figura 4 Cultivos de la zona.....52

Figura 5 Cantidad de hectáreas cultivadas.....53

Figura 6 Herbicidas utilizados.....54

Figura 7 Frecuencia de aplicación del herbicida.....56

Figura 8 Meses de aplicación del herbicida.....57

Figura 9 Elementos de protección al esparcir el herbicida.....58

Figura 10 Toma de muestra en la bocatoma.....61

Figura 11 Muestreo #2 Agua superficial.....62

Figura 12 Muestreo #3 Agua superficial.....63

Figura 13 Muestreo #4 Agua superficial.....64

Figura 14 Muestreo #5 Agua superficial.....65

Figura 15 Muestreo #6 Agua superficial.....66

Figura 16 Muestreo #7 Agua superficial.....66

Figura 17 Muestreo #8 Agua tratada.....67

Figura 18 Muestra # 9 Casa de un suscriptor de la PTAP el Llanito.....68

Figura 19 Ruta de reacción propuesta del glifosato con ninhidrina en presencia de molibdato de sodio.....70

Figura 20 Longitud de onda máxima para la derivatización del Glifosato con Ninhidrina y Molibdato de Sodio. 72

Figura 21 Curva calibración para cuantificación de Glifosato 72

Figura 22 Imagen aérea de la PTAP el Llanito 81

Figura 23 se insertan los parámetros físico químicos y microbiológicos 88

Figura 24 Especificación condiciones de flujo 89

Figura 25 número de membranas.....92

Figura 26 calculo 92

Figura 27 Parámetros de entrada 96

Figura 28 Parámetros de entrada 97

Figura 29 Proceso 98

Figura 30 Proceso 99

Figura 31 Proceso 100

Figura 32 Proceso 101

Figura 33 Resultados finales 102

Figura 34 CAPEX / OPEX 103

Lista De Tablas

Tabla 1 Datos generales para el desarrollo del proyecto 50

Tabla 2 Concentración del glifosato presente en cada punto de muestreo del Rio Tejo y la PTAP El Llanito.....73

Tabla 3 Determinación del riesgo para el glifosato.....76

Tabla 4 Parámetros con normativa internacional.....77

Tabla 5 Máximas cantidades de glifosato normativas internacionales 79

Tabla 6 Parámetros con muestras tomadas.....79

Tabla 7 Remoción en los componentes de una PTAT estudiada por la unión europea.....85

Tabla 8 Remoción del glifosato en plantas de tratamiento convencional 85

Tabla 9 alternativas de solución 86

1. Determinación de la presencia del glifosato en el agua superficial y potable, que abastece la planta El Llanito en el municipio de Ocaña, Norte de Santander

1.1 Introducción

La preservación de la calidad del agua, especialmente en fuentes superficiales y potables, es un imperativo crucial para la salud pública y la sostenibilidad ambiental. En este contexto, la detección y evaluación de la presencia de contaminantes como el glifosato, un herbicida comúnmente utilizado en actividades agrícolas, adquiere una relevancia significativa.

La planta de tratamiento de agua potable El Llanito, situada en el municipio de Ocaña, Norte de Santander, opera a partir de fuentes de agua superficial. Desde su puesta en marcha en 1952, ha estado expuesta a la posible contaminación por glifosato. Originalmente, la planta contaba con dos puntos de captación: la Tupia y otro en La Pradera (actualmente la captación existente es la Tupia). El agua es conducida desde la bocatoma a lo largo de 4 km mediante una tubería de 16 pulgadas. En El Llanito se tratan 70 litros por segundo, y esta planta suministra agua al 26% de los suscriptores de la empresa ESPO. Al tanque de El Llanito llegan 200 litros por segundo de agua tratada proveniente de Algodonal, su tanque posee una capacidad de 2000 litros. Posteriormente, el agua es distribuida a tres tanques de almacenamiento: San Fermín, 12 de octubre y Santa Cruz.

El glifosato ha sido objeto de atención debido a sus posibles efectos adversos para la salud humana y el medio ambiente. Su presencia en el agua superficial, así como en fuentes de agua potable, plantea interrogantes acerca de su origen, transporte y efectos en los ecosistemas acuáticos y en la salud pública.

Es crucial destacar que las plantas de tratamiento convencionales pueden no ser eficaces en la eliminación del glifosato presente en el agua, lo que subraya la necesidad de investigar y comprender mejor este fenómeno. Esta tesis se propone abordar esta problemática mediante la determinación de la presencia de glifosato en el agua superficial y potable que abastece a la planta El Llanito en el municipio de Ocaña, Norte de Santander. Además, se buscará establecer los posibles medios por los cuales el glifosato contamina estas fuentes de agua, así como evaluar la efectividad de las plantas de tratamiento convencionales para reducir su concentración.

El resultado de este estudio proporcionará información valiosa para el diseño e implementación de estrategias de gestión y mitigación de riesgos, con el objetivo último de proteger la salud humana.

1.2 Planteamiento Del Problema

El agua es un recurso vital, especialmente para satisfacer las necesidades de los seres vivos; es indispensable tener en cuenta la calidad del agua, debido a que la salud de cualquier sociedad depende de ella, siendo un elemento esencial para la vida. Por esta razón la Organización de las Naciones Unidas (ONU) establece en sus objetivos de desarrollo sostenible (ODS) que el acceso al agua limpia y al saneamiento es fundamental para lograr el desarrollo de la sociedad (ONU, 2023). La evaluación adecuada de la calidad del agua se considera una estrategia de gestión para determinar si es segura para el consumo humano (Harcourt et al., 2021). Es importante tener en cuenta que el acceso al agua potable es un derecho y, el saneamiento ineficiente puede provocar enfermedades que afectan la salud de las personas a nivel mundial (Li & Wu, 2019).

La Organización Mundial de la Salud y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) definen los herbicidas y pesticidas altamente peligrosos para las personas (HHP) como "plaguicidas reconocidos por presentar niveles particularmente altos de peligros agudos o crónicos para la salud humana o el medio ambiente según los sistemas de clasificación internacionalmente aceptados" (BBC News Mundo, 2020).

El glifosato es un herbicida sintético comercial no selectivo de amplio espectro que se utiliza para el control de arvenses y gramíneas en general. Es el herbicida fosfonato

sintético comercial más común del mundo y fue introducido por la compañía Monsanto (Meftaul et al., 2020), su uso está ampliamente generalizado en los diversos sistemas agropecuarios a nivel mundial, la aplicación de dicho producto se realiza en la fase de establecimiento y en la etapa de control de malezas entre otras, ese empleo generalizado y en algunos casos desmedido genera polémica por las afectaciones causadas en el medio ambiente.

En la actualidad, varios países han establecido regulaciones con respecto a los niveles máximos permitidos de glifosato en diversas fuentes de agua. Por ejemplo, en Canadá, el Ministerio de Medio Ambiente ha fijado un límite máximo de 280 μg/L (CANADA, 2006) para el glifosato en el agua potable y ha establecido un umbral a largo plazo de 800 μg/L (Quality, 2012) para la protección de los ecosistemas de agua dulce. En los Estados Unidos, la Agencia de Protección Ambiental ha determinado que la concentración máxima permitida en el agua potable es de 700 μg/L y ha establecido puntos de referencia para la vida acuática que varían entre 1800 y 49900 μg/L (EPA, 2023).

En contraste, en la Unión Europea, el glifosato no figura en la lista de sustancias prioritarias para las aguas superficiales en la actualidad, pero se espera que sea incluido en dicha lista en 2023, con un límite máximo de 398,6 μg/L (Risks, 2022). En cuanto al agua potable en la Unión Europea, se ha establecido un valor paramétrico de 0,5 μg/L para la concentración total de plaguicidas y 0,1 μg/L para cada plaguicida individual (Note, 2022).

En Colombia, no se han implementado normativas específicas que definan límites máximos permitidos para la presencia de glifosato en muestras de agua cruda y potable. La Resolución 2115 de 2007 establece un límite máximo aceptable en el agua potable, basado en las características químicas relacionadas con plaguicidas y otras sustancias, aunque no contempla al glifosato dentro de su clasificación. Sin embargo, esta resolución establece que la suma total de las concentraciones de plaguicidas en el agua potable no debe exceder los 100 μg/L (Ambiente & Territorial, 2007).

Muchas investigaciones han reportado que la exposición de los seres humanos a la ocurrencia del glifosato en el agua potable puede estar relacionada con diversas enfermedades como algunos tipos de cáncer; enfermedades nefrológicas; neurodegenerativas como: el Alzheimer y Parkinson; problemas reproductivos, desequilibrios hormonales y enfermedades cardiacas (Fluegge & Fluegge, 2016).

El crecimiento y cambios en actividades humanas, como la industria y la agricultura, han aumentado la presencia del glifosato en diferentes fuentes ambientales, y debido a limitaciones tecnológicas de las plantas de tratamiento de agua potable (PTAP) que solo cuentan en su gran mayoría con tratamientos convencionales, pasan inadvertidos a través del tratamiento y los químicos empleados para la desinfección pueden formar subproductos de desinfección, que son indeseables ya que pueden ser incluso más tóxicos que los compuestos originales.

El municipio de Ocaña y la región del Catatumbo dependen en gran medida de la producción y comercialización de productos agrícolas. Los cultivos más representativos en la zona son la cebolla, el tomate y, el frijol (Angelica & Bayona, 2021), dichos productos requieren la utilización de grandes cantidades de herbicidas, pesticidas, y de más productos químicos que contaminan el ambiente debido a que en esta región cuya vocación rural es predominantemente agrícola no se ha estudiado como o en qué medida este producto haya afectado el ecosistema y por ende las fuentes hídricas, siendo así las PTAPs las responsables de controlar este contaminante y reducir su proporción para el cumplimento de la normativa nacional vigente para el agua de consumo humano.

La PTAP El Llanito en el municipio de Ocaña cuenta con una cobertura de 1350 suscriptores y con una planta de tratamiento tipo convencional ubicada a las afueras del municipio. Su fuente de abastecimiento es el río Tejo, que es una de las fuentes que abastece a una parte de la población ocañera. Antes de su captación, se pueden evidenciar zonas de cultivos que realizan el proceso de fumigación con glifosato generando así la contaminación de la fuente hídrica por medio de escorrentía. Por esta razón se considera pertinente determinar la presencia del glifosato en fuentes de abastecimiento superficiales y de agua potable en la PTAP El Llanito en el municipio de Ocaña, Norte de Santander.

1.3 Formulación Del Problema

¿Cuál es la presencia del glifosato antes y después del tratamiento de potabilización convencional de la planta El Llanito en el municipio de Ocaña, Norte de Santander?

1.4 Objetivos De Investigación

1.4.1 Objetivo General

Determinar la presencia o ausencia de glifosato en la fuente de abastecimiento superficial y de agua potable que suministra la planta El Llanito en el municipio de Ocaña, Norte de Santander.

1.4.2 Objetivos Específicos

Identificar las actividades que generan los posibles vertimientos con contenido de glifosato y que son desarrollados en la rivera del rio Tejo, con el propósito de establecer los puntos críticos que aportan la mayor concentración.

Cuantificar la concentración de glifosato en el agua superficial y potable logrando así comparar los resultados obtenidos con la normativa vigente a nivel nacional e internacional.

Evaluar los tratamientos realizados por la PTAP El Llanito y sus procesos de optimización para el control de contaminantes como el glifosato y de esta manera proponer estrategias para la mejora del sistema.

1.5 Justificación

Durante las últimas dos décadas, la enfermedad renal crónica de etiología desconocida (ERCDu) ha sido un problema de salud crítico en algunas provincias de Sri Lanka, especialmente en la provincia central norte del país. Un probable factor causal de la ERCDu es implicado en la ingestión de pesticidas/herbicidas. Por lo tanto, las implicaciones para la salud humana del consumo prolongado de agua potable contaminada con dichos agroquímicos y sus complejos metálicos han recibido atención en el pasado reciente, ya que las tasas de morbilidad están aumentando a un ritmo alarmante (Wesseling & Weiss, 2017).

Se detectó glifosato (28–45 mg/L) de todas las aguas superficiales en muestras recolectadas de lagos ubicados aguas abajo de los respectivos campos agrícolas. La USEPA ha establecido el máximo nivel de contaminante (MCL) para glifosato como 700 mg/L, es decir, la concentración por debajo de la cual no se producen efectos sobre la salud humana. La presencia de glifosato en Las aguas superficiales podría haberse debido al transporte de

glifosato con escorrentía superficial durante eventos de lluvia en forma disuelta (Wesseling & Weiss, 2017).

Hoy por hoy en Colombia son nulas las investigaciones realizadas donde se evidencie realmente la problemática a partir del consumo de agua con la presencia de glifosato, debido a que las investigaciones tienden a generalizar los daños que causa el producto como tal en los seres humanos, pero de acuerdo con los experimentos realizados a nivel internacional se obtiene que el glifosato al hacer contacto con el agua produce efectos igualmente negativos para el consumo humano.

Varios estudios han demostrado que el glifosato puede causar una variedad de efectos adversos, incluyendo problemas dermatológicos, respiratorios, cáncer, y gastrointestinales, entre otros. Esto sugiere que deberíamos eliminar su uso, ya que no solo conlleva costos económicos, sino también sociales.

Considerando que en Colombia el glifosato se clasifica como ligeramente tóxico y que en varias regiones y países como Estados Unidos, Canadá, Argentina, Brasil, algunos miembros de la Unión Europea, Austria, Bermudas, San Vicente, Las Granadinas, Vietnam y Sri Lanka, su uso está completamente restringido debido a un informe de la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC) de la OMS emitido el 20 de marzo de 2015, el cual determinó que el glifosato es un posible carcinógeno para los seres humanos. Además, dado que su uso intensivo en la agricultura afecta negativamente los

ecosistemas y especialmente los recursos hídricos, se ha optado por investigar la presencia de glifosato en fuentes de agua superficial y potable.

Este estudio tiene como objetivo proporcionar una fuente tanto metodológica como reguladora para el análisis de los riesgos asociados con la contaminación por glifosato en fuentes de agua superficial y potable. Los resultados obtenidos serán de gran interés social, especialmente en la región de Norte de Santander, específicamente en el municipio de Ocaña, donde existe escasa información sobre este tipo de investigación. Esto ayudará a establecer mecanismos de solución y prevención para el consumo de agua contaminada con herbicidas, especialmente glifosato, proveniente de fuentes superficiales y de consumo humano.

1.6 Delimitaciones

1.6.1 Delimitación Operativa

La presente investigación requiere un proceso de muestreo para determinar los riesgos de la problemática y, en campo generar una serie de datos recolectados, indagando sobre las posibles soluciones y, diseñar un sistema de gestión de riesgo.

1.6.2 Delimitación Conceptual

En esta investigación tendrá en cuenta variedad de conceptos entre los cuales se resalta: herbicida, glifosato, contaminación, escorrentía, saneamiento básico, cauces, recursos hídricos, y los riesgos característicos del desarrollo de la problemática abordada.

1.6.3 Delimitación Geográfica

La investigación será desarrollada en el municipio de Ocaña, Norte de Santander, en la rivera del rio Tejo aguas arriba de la captación de la PTAP El Llanito (Colombia).

1.6.4 Delimitación Temporal

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

2 Marco Referencial

2.1 Marco Histórico

El glifosato es un herbicida que se usa para eliminar las malas hierbas en los cultivos agrícolas. Fue descubierto en 1970 por el químico estadounidense John E. Franz, quien trabajaba para la empresa Monsanto. El glifosato se comercializó bajo la marca Roundup y se convirtió en el herbicida más vendido del mundo. Sin embargo, el uso del glifosato ha generado controversias por sus posibles efectos nocivos en el medio ambiente y la salud humana. Algunos estudios han vinculado el glifosato con el cáncer, las malformaciones congénitas, los trastornos hormonales y la pérdida de biodiversidad. Por esta razón, varios países han restringido o prohibido el uso del glifosato, mientras que otros lo siguen utilizando ampliamente (Benbrook, 2016).

Una de las principales fuentes de suministro de agua dulce para los usos de agua doméstica e industrial y agua agrícola son los ríos. No obstante, en muchas áreas, estas fuentes acuíferas son escasas. Por lo tanto, es esencial que la administración eficiente de los recursos hídricos considere tanto la cantidad como la calidad del agua disponible (Baek et al., 2020).

En Argentina, tras extensas investigaciones en cursos de agua superficiales de Entre Ríos, se ha comprobado la presencia de glifosato. Asimismo, se ha constatado la presencia de este herbicida en arroyos de la provincia de Santa Fe que reciben el escurrimiento de los campos agrícolas cercanos. El autor de este estudio concluye que, tras su aplicación, el glifosato persiste en el entorno y se descompone, siendo su principal producto de degradación el ácido aminometilfosfónico (AMPA). Además, una vez que entra en los cuerpos de agua, se adhiere a las partículas suspendidas y se deposita en los sedimentos (Inmunoabsorción et al., 2016).

Un informe realizado en España examinó la presencia de glifosato en las demarcaciones hidrográficas que investigaron este contaminante durante el período de 2015 a 2019. Los datos fueron suministrados por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (Miterd) en respuesta a una solicitud ambiental presentada por Ecologistas en Acción. Los análisis señalan que tanto el glifosato como su producto de degradación, el AMPA, se encuentran en las aguas superficiales de todas las demarcaciones hidrográficas donde se llevaron a cabo controles de estos dos contaminantes entre los años 2015 y 2019. En el 31% de las muestras se detectó la presencia de glifosato. El porcentaje de muestras que superaron el valor límite de 0,1 µg/l, establecido como referencia en la Guía para la Evaluación del Estado de las Aguas, fue del 22%. En cuanto a los datos relacionados con el AMPA, se observó una tasa de detección del 42% y un 17% de muestras que excedieron el valor de referencia de 1,6 µg/l establecido por el Miterd en la mencionada Guía (Koldo Hernández, 2021).

En un artículo realizado en una investigación en Brasil, señala que el uso intensivo de glifosato puede tener efectos nocivos en los microorganismos del suelo, lo que lleva a cambios en la fertilidad del suelo y desequilibrios ecológicos, así como impactos en los entornos acuáticos derivados de cambios en la cadena alimentaria. Además, la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas con glifosato pone en peligro la salud humana. Se necesitan medidas de mitigación para reducir los impactos del glifosato en el ecosistema y la salud humana, y se requieren controles más estrictos para prevenir la creciente contaminación de las aguas superficiales y subterráneas con glifosato en Brasil (Lima et al., 2021).

El glifosato es el herbicida más utilizado en Colombia, especialmente en cultivos como la palma de aceite, el algodón y la caña de azúcar. Desde su introducción en la década de 1970, el uso de glifosato en el país se ha incrementado de manera significativa, el glifosato se ha empleado tanto para la fumigación de los cultivos ilícitos de coca como para la producción de alimentos, lo que ha generado debates y protestas sociales (En et al., 2020).

Algunos estudios previos han detectado la presencia de glifosato en cuerpos de agua superficial en zonas agrícolas de Colombia. Por ejemplo, en la cuenca del río La Miel en Caldas se midieron concentraciones de glifosato de hasta 7.6 μg/L (María Angélica Álvarez Bayona, Romel Jesús Gallardo Amaya, 2022). Asimismo, en el departamento de Córdoba

se encontró glifosato (0.22 μg/L) y su metabolito AMPA (0.18 μg/L) en el río Sinú (Final et al., 2023).

La cuenca del río Tejo, ubicada en el departamento Norte de Santander, es una región con gran actividad agrícola. El glifosato es ampliamente aplicado para el control de malezas en cultivos de palma africana, algodón, yuca y maíz en esta zona (Rocío et al., 2015). En un artículo publicado por la revista "Ingenio", se llevó a cabo una evaluación de los niveles de contaminación en los ríos Tejo y Chiquito, ubicados en el área urbana de Ocaña. Para este estudio, se seleccionaron estratégicamente seis puntos de muestreo en diferentes temporadas, incluyendo épocas de lluvia y estiaje, que abarcaron prácticamente la totalidad de estas dos fuentes de agua. Durante el análisis, se examinaron diversos parámetros fisicoquímicos y microbiológicos con el propósito de calcular índices de contaminación. Los resultados revelaron que el parámetro de materia orgánica fue el que más influyó en los niveles de contaminación, lo que resultó en un alto grado de contaminación en todo el tramo de estudio, con la excepción del punto de origen del río Chiquito, conocido como el punto de la Pradera, adicionalmente, se identificaron niveles significativos de conductividad, indicando que los cuerpos de agua estaban siendo afectados por la liberación de iones, lo que contribuyó al aumento del índice de contaminación debido a la mineralización. En cuanto a la contaminación por sólidos suspendidos, se observaron variaciones en los seis puntos de muestreo, lo que sugiere un comportamiento natural de los cuerpos de agua a medida que atraviesan el área urbana (Ingrith et al., 2017).

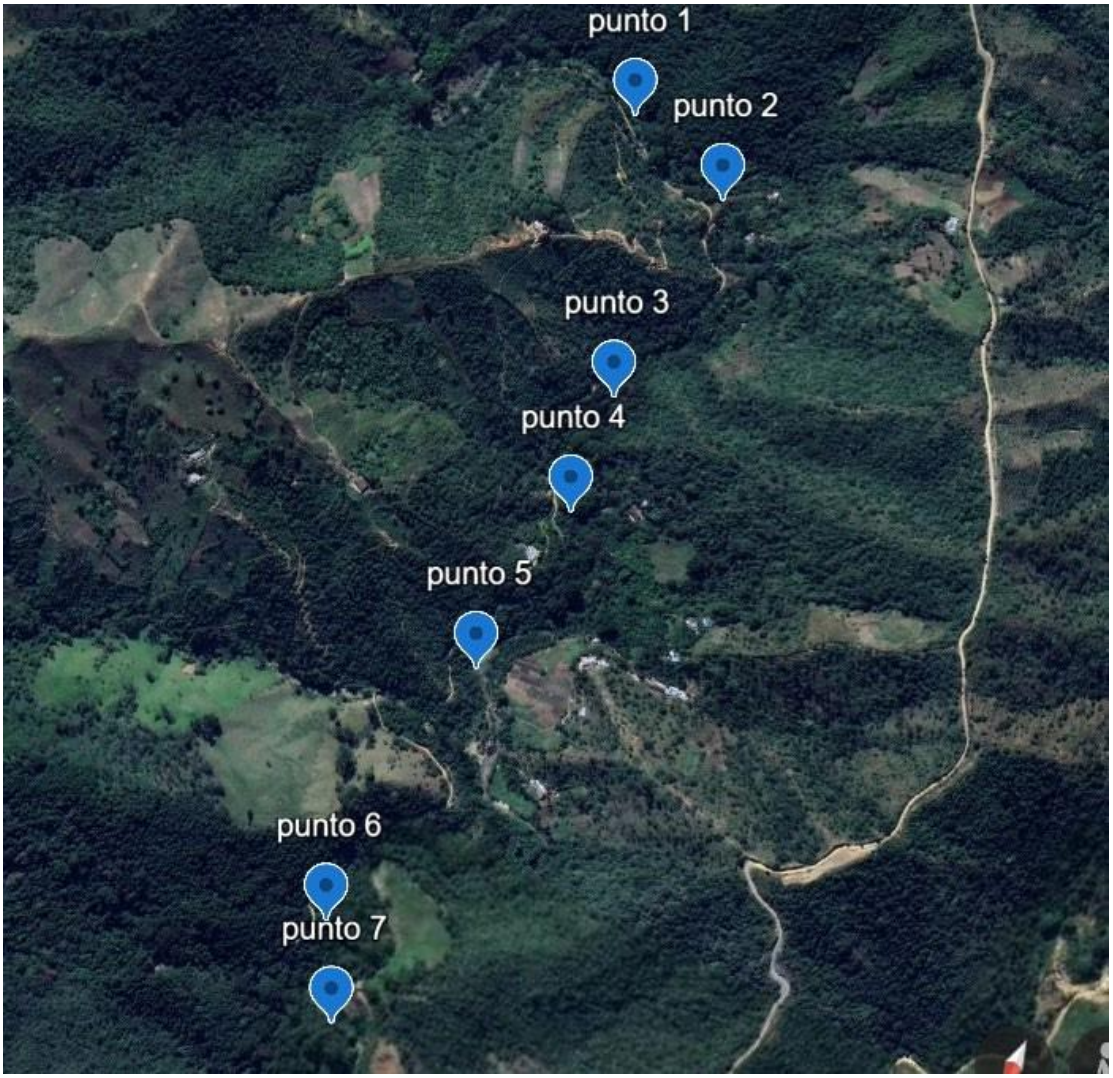
2.2 Marco contextual

Norte de Santander es uno de los 32 departamentos que conforman Colombia, ubicado en la región andina del país. Limita al norte con Venezuela, al este con el departamento de Arauca, al sur con los departamentos de Boyacá y Santander, y al oeste con el departamento de Cesar. La capital del departamento es Cúcuta, la cual es la ciudad más poblada del departamento y la sexta ciudad más poblada del país.

Ocaña es un municipio ubicado en el departamento de Norte de Santander, en la región del Catatumbo. El municipio cuenta con una extensión territorial de 672.27 km², una altura de 761 m.s.n.m., y una población aproximada de 134.379 habitantes. Está ubicado sobre la cordillera oriental y se encuentra atravesado por dos ríos: el Algodonal y el Tejo, además de varias quebradas. El río Tejo fluye exclusivamente dentro del territorio del municipio de Ocaña en el departamento de Norte de Santander, abarcando un área total de 8233.74 Has. Recibe afluentes de los ríos Limón y Río de Oro aguas abajo. Este río se extiende a lo largo de una longitud de 31.34 km hasta su confluencia con el Río Algodonal, atravesando el municipio de Ocaña en una dirección de sur a norte (General, 2023).

Figura 1

Zona de muestreo



2.3 Marco Conceptual

2.3.1 Glifosato:

Se trata de un herbicida sistémico de amplio espectro que no es selectivo, siendo absorbido a través de las hojas y transportado a través del floema hacia tanto los puntos de crecimiento aéreos como los subterráneos de las plantas. Su acción se centra en la interferencia con la actividad enzimática involucrada en la síntesis de aminoácidos y otros compuestos endógenos, lo que resulta en la inhibición de procesos como la fotosíntesis y la producción de ácidos nucleicos. Además, estimula la producción de etileno en las plantas tratadas. En un período de 10 a 15 días, este herbicida provoca el amarillamiento y la muerte completa de las plantas afectadas (México, 2020).

2.3.2 Saneamiento:

La "tecnología sanitaria" comprende un conjunto de métodos y procedimientos utilizados para la eliminación adecuada de desechos sólidos, excretas y aguas residuales, con el fin de mantener un entorno limpio y saludable (MINSALUD, 2007).

2.3.3 Agua potable:

Es la que cumple con las características físicas, químicas y microbiológicas, de tal manera que no genera un riesgo para la salud. El agua para consumo humano debe ser transparente, sin color ni sabor, y no debe tener sólidos suspendidos (MINSALUD, 2007).

2.3.4 Herbicida:

Es un producto químico el cual puede ser selectivo o no selectivo, actúan interfiriendo con el crecimiento de las malas hiervas, pueden utilizarse para limpiar terrenos baldíos, ya que matan todo el material vegetal con el que entran en contacto (POCHTECA, 2023).

2.3.5 Fosfonato:

Los fosfonatos son compuestos orgánicos que contienen un enlace carbono-fósforo y se utilizan en una variedad de aplicaciones, como insecticidas, medicamentos antivirales, retardadores de llama y algunos herbicidas. Los fosfonatos también se producen de forma natural en protozoos, moluscos, celentéreos y hongos oomicetos (Schwarz, 2023).

2.3.6 Agua superficial:

Las aguas superficiales son aquellas que se encuentran en la superficie de la tierra y están en contacto con la atmósfera. Podemos identificarlas fácilmente ya que son visibles a simple vista o no están debajo de la tierra. Estos cuerpos de agua se forman por la acumulación de agua de lluvia, nacimientos de agua y escurrimientos de otras fuentes. Cuando las aguas superficiales tienen salida, fluyen hacia un cuerpo de agua más grande, como un río que desemboca en el océano (Zarza, 2023).

2.3.7 Agua cruda:

Es el primer tipo de agua que se recolecta en reservas naturales y no ha sido alterada por tratamientos químicos. Este tipo de agua es rica en ácido húmico, minerales, oxígeno y sal, y puede contener bacterias y pequeñas partículas de arcilla debido a su origen natural, esta se utiliza como materia prima para la producción de agua potable (Twenergy, 2020).

2.3.8 PTAP (Planta de tratamiento de agua potable):

Es un procedimiento el cual somete el agua cruda a procesos físico químicos y biológicos con la finalidad de eliminar elementos nocivos para la salud (MINISTERIO DE VIVIENDA, 2017).

2.3.9 Escorrentía:

La escorrentía es una corriente de agua que se origina de las precipitaciones y circula sobre la superficie de la tierra cuando ya se ha superado la capacidad de evaporación e infiltración que tiene el suelo. También se le conoce como escurrimiento o aliviadero. La escorrentía es un componente principal del ciclo del agua y es de vital importancia para los seres humanos ya que desempeña un papel fundamental en la recolección de agua, siendo la fuente principal que alimenta ríos, mares, océanos, embalses y cuencas hidrográficas. Además, la escorrentía también desempeña una función significativa en la erosión de distintos tipos de terreno (Definicion.de, 2023).

2.4 Marco Teórico

El glifosato de amplio espectro es un herbicida utilizado en la agricultura en todo el mundo. Sin embargo, su uso indiscriminado puede tener graves consecuencias para el medio ambiente y la salud humana. El glifosato y sus derivados pueden contaminar las aguas superficiales y subterráneas, afectando a la calidad y la biodiversidad de los ecosistemas acuáticos. Además, el glifosato puede producir efectos teratogénicos en vertebrados al alterar la señalización del ácido retinoico, una molécula clave para el desarrollo embrionario. El glifosato puede causar malformaciones, daño celular y muerte en embriones y fetos de diferentes especies, incluyendo humanos. Por lo tanto, es necesario

regular y controlar el uso del glifosato y sus formulaciones comerciales para evitar su impacto negativo sobre el agua y la vida (Galluzzo, 2023).

Debido a la naturaleza complicada y las características específicas de la molécula que se va a analizar, es necesario introducir mejoras en las metodologías para permitir la detección de cantidades extremadamente pequeñas. Aunque el glifosato no presenta una estructura química compleja, la presencia de cuatro grupos altamente polares dificulta el análisis mediante métodos convencionales. Para la comunidad científica, persiste el desafío de desarrollar técnicas que produzcan resultados confiables en un tiempo reducido, considerando meticulosamente cada uno de los parámetros. Esto garantiza que el método seleccionado sea óptimo, confiable y eficaz, minimizando la posibilidad de errores que puedan dar lugar a resultados incorrectos (Boh & Vivas, 2020).

De manera conservadora, se estima que el glifosato tiene una vida media en aguas superficiales que oscila entre 7 y 14 días. A pesar de la creencia común de que el glifosato tiene un bajo potencial de escorrentía debido a su alta afinidad por los suelos, se han registrado casos de detección de glifosato en aguas superficiales, especialmente en zanjas agrícolas cercanas a las áreas de aplicación. En un estudio de muestreo de escorrentía después de eventos de precipitación, se identifica la presencia de glifosato en todas las muestras recopiladas de seis cuencas hidrográficas. Las concentraciones de glifosato observadas variaron entre 2 y 94 μg·L−1. Una muestra específica registró una concentración extraordinaria de 5153 μg·L−1 de glifosato, lo que se relacionó con una tasa

inusualmente alta de aplicación en el campo (8,96 kg·ha−1), en comparación con las tasas de 1,12 y 3,36 kg·ha−1 en otros lugares. Esta muestra representa la concentración más alta de glifosato en escorrentía documentada en la literatura (Angelica & Bayona, 2021).

La curva de calibración es una herramienta fundamental en los laboratorios de aguas. Es una gráfica que muestra la relación entre una determinada señal analítica y la concentración de un analito. La señal analítica puede ser cualquier propiedad que se pueda medir, como la absorbancia, la fluorescencia o la conductividad. La curva de calibración se construye midiendo la señal analítica en cada uno de los patrones previamente elaborados. La señal analítica se mide en función de la concentración conocida del analito. La curva de calibración se utiliza para determinar la concentración de un analito en una muestra desconocida. La construcción de la curva de calibración es un proceso importante para garantizar la precisión y la exactitud de los resultados analíticos (Curioseando, 2023).

La espectrofotometría UV/Vis es una técnica analítica que se utiliza para medir la cantidad de luz absorbida o transmitida por una muestra en la región de radiación ultravioleta-visible. Esta técnica se emplea para determinar la concentración de un compuesto en solución y para identificar algunos grupos funcionales de moléculas (Díaz et al., 2023). Un espectrofotómetro UV/Vis es un instrumento diseñado para medir la absorbancia en la región UV/Vis mediante la ley de Beer-Lambert. Este instrumento mide la intensidad de la luz que atraviesa una solución de muestra en una cubeta y la compara con la intensidad de la luz antes de atravesar la muestra. La ley de Beer-Lambert establece

que “la absorbancia de una solución es proporcional a la concentración del compuesto absorbente y a la longitud del camino óptico”. La espectrofotometría UV/Vis es una técnica ampliamente utilizada en la investigación científica y en la industria química (Díaz et al., 2023).

2.5 Marco Legal

2.5.1 Resolución No. 2115 del 22 de junio de 2007

Esta resolución fue emitida por el Ministerio de la Protección Social y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. En ella se detallan las especificaciones, los componentes fundamentales y la periodicidad del sistema de monitoreo y supervisión de la calidad del agua destinada al consumo humano.

Con respecto a los niveles máximos tolerados de plaguicidas en el agua, la resolución estipula que la suma total de las concentraciones de plaguicidas no debe exceder los 0,1 mg/L.

La resolución también establece la obligación de las entidades responsables de suministrar agua potable de informar a la comunidad sobre la calidad del agua, incluyendo

los resultados del monitoreo de plaguicidas. Esto promueve la transparencia y permite que la población esté informada sobre la calidad del agua que consume.

2.5.2 Proyecto de ley 287 de 2023

Este proyecto de ley tiene como objetivo la prohibición del empleo del glifosato y sus productos relacionados en la erradicación de cultivos ilícitos en todo el país, y también incluye la promulgación de otras regulaciones. Este proyecto fue presentado por la senadora Esmeralda Hernández Silva y publicado en la Gaceta No.163 de 2023. El proyecto ha sido objeto de discusión en el Senado y ha generado opiniones divididas entre los legisladores. Si bien algunos argumentan que la prohibición del glifosato podría tener un impacto negativo en la economía del país, otros sostienen que es necesario tomar medidas para proteger la salud humana y el medio ambiente. El proyecto aún no ha sido aprobado, pero su discusión continúa en el Senado.

2.5.3 Resolución 0330 de 2017

Fue emitida por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio e implementa el Reglamento Técnico destinado al Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. Este reglamento define los criterios técnicos que deben ser seguidos en todas las fases, desde la planificación y diseño hasta la operación, mantenimiento y restauración de la

infraestructura relacionada con los servicios públicos de abastecimiento de agua, saneamiento y gestión de residuos.

3 Diseño Metodológico

3.1 Tipo De Investigación

El estudio actual implica un nivel de tipo descriptivo y un método de investigación cuantitativo. Se realizarán pruebas de laboratorio para determinar la cantidad y concentración del herbicida glifosato en las aguas superficiales y potable del río Tejo en la PTAP El Llanito. En cuanto a los aspectos prácticos, se utilizará el método de observación para recolectar muestras de agua superficial y potable del río Tejo para analizar su contenido de glifosato.

3.2 Población

La presente investigación se realizará en la zona sur del área central de Ocaña, ubicada en el departamento de Norte de Santander.

3.3 Muestra

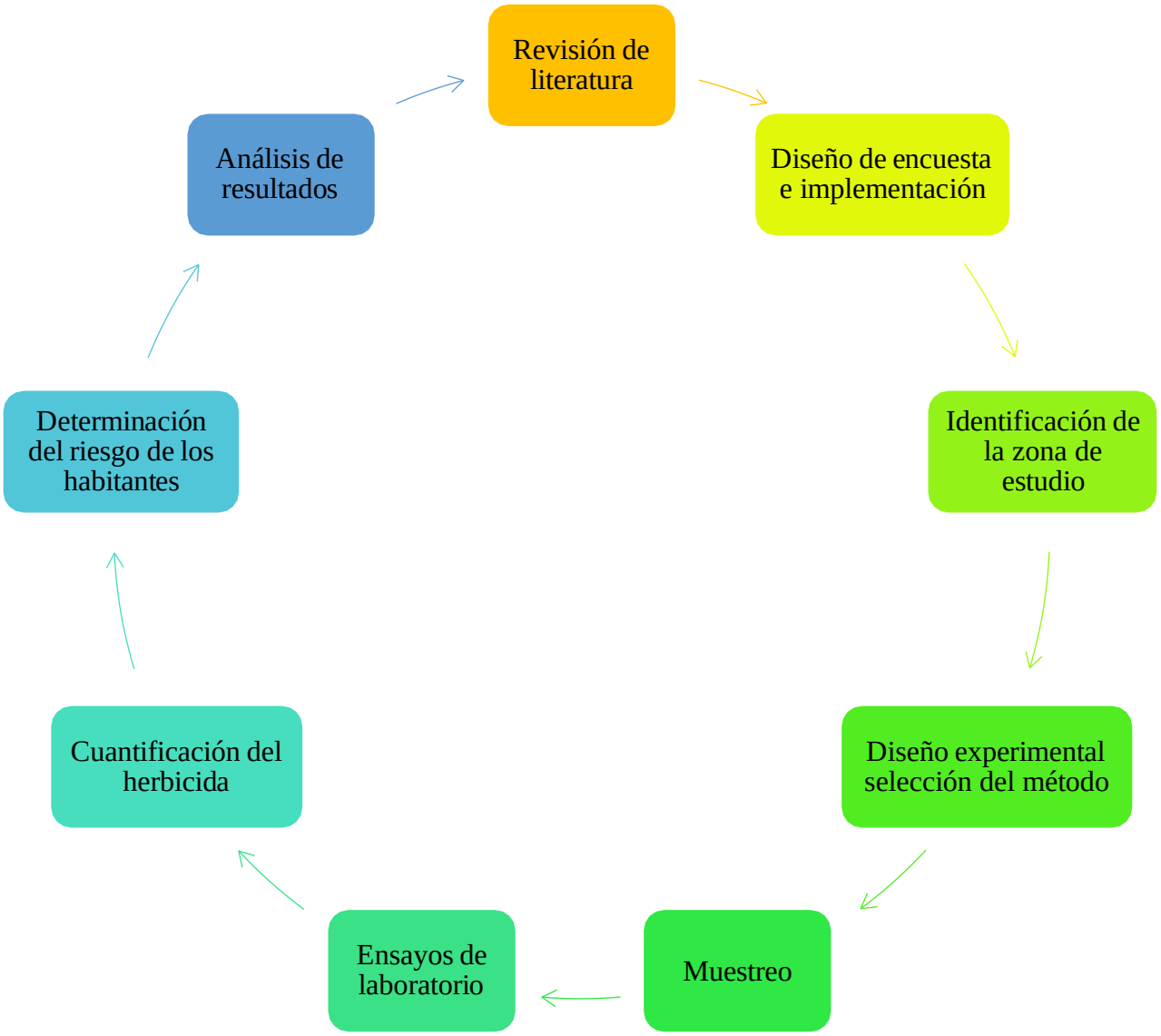
Este presente trabajo se realizará en el municipio de Ocaña, Norte de Santander, en la cuenca del río Tejo. Se llevarán a cabo análisis de muestras de agua tomadas de la

superficie y de fuentes de agua potable en la PTAP El Llanito, con el propósito de identificar la existencia del herbicida glifosato en La Pradera. Ocaña será uno de los puntos estratégicos donde se realizará la toma de muestras debido a que presenta gran variedad de cultivos entre los cuales está el café, y la caña de azúcar, en la zona afluente del río Tejo.

3.4 Etapas para alcanzar el desarrollo de los objetivos señalados:

Figura 2

Esquema general de la metodología



3.4.1 Revisión de literatura:

Se hizo una compilación bibliográfica de las investigaciones, antecedentes y estudios realizados sobre el tema a tratar, a nivel local e internacional; con relación a la ocurrencia, destino y toxicología del glifosato, los avances y el análisis en la detención de estos, utilizando las principales fuentes de información científica disponibles en la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, las cuales fueron ScienceDirect, Scopus, entre otras. Una vez recopiladas las fuentes, se evalúan para determinar su calidad, relevancia y credibilidad lo que permitió seleccionar la presencia del glifosato en el agua.

3.4.2 Diseño de encuesta e implementación:

Se desarrolló un cuestionario relevante para los objetivos de la investigación, se hicieron preguntas cerradas que facilitaron el análisis cuantitativo y, preguntas abiertas que proporcionaron información más detallada y cualitativa utilizando un lenguaje neutral para mayor comprensión; se implementó la encuesta seleccionando la muestra de participantes proporcionando las instrucciones claras sobre cómo llenar la encuesta, se registraron las respuestas y se analizaron los datos en el contexto de la investigación interpretando los resultados y extrayendo conclusiones en base a la relevancia para los objetivos de la investigación.

3.4.3 Identificación de la zona de estudio:

En el ámbito geográfico, el estudio está comprendido entre la bocatoma del Llanito hasta aguas abajo en La Pradera este tramo comprende una quebrada esta ubicación en Ocaña Norte de Santander, se visitó la zona para hacer un reconocimiento de los puntos donde se tomaría el muestreo tomando las coordenadas de éstos.

3.4.4 Diseño experimental selección del método:

Se selecciona un método que ayude a determinar la concentración de sustancias químicas, en este caso el glifosato, el método de espectrometría UV/VIS contaba con estos requisitos para poder analizar la presencia de este agente químico.

3.4.5 Muestreo:

Se tomaron muestras de agua cruda de las fuentes superficiales en los 7 puntos establecidos, esto teniendo en cuenta que a su alrededor presenta una serie de cultivos en la zona afluente del rio Tejo. Para alcanzar esta etapa de manera correcta se siguió el método 6651 propuesto por Stanadard Methods for the Examination of Water and Wastewater para la recolección de muestras del herbicida glifosato “Recoja una muestra representativa de 500 ml en un recipiente de polipropileno o de vidrio de color ámbar. El tratamiento de la

muestra para eliminar el cloro residual evitará pérdidas de glifosato durante el almacenamiento. Destruya el cloro agregando 100 mg/L de tiosulfato de sodio. Almacene las muestras a 4°C protegidas de la luz y analícelas en un plazo de 2 semanas" (Solutions et al., 1990).

3.4.6 Ensayos de laboratorio:

Se hacen los ensayos en el laboratorio de aguas de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, siguiendo el procedimiento establecido por el laboratorio para aplicar el método de espectrometría UV/VIS y poder obtener y analizar los resultados.

3.4.7 Cuantificación del herbicida:

Para determinar la cantidad o concentración del glifosato presente en las muestras, se procede a preparar soluciones de referencia del herbicida con concentraciones conocidas para crear una curva de calibración. Los resultados se expresan generalmente en términos de la concentración del herbicida.

3.4.8 Determinación del riesgo de los habitantes:

La valoración del riesgo se llevó a cabo considerando el posible efecto que surge por la exposición del glifosato identificando el peligro con base a la información encontrada en la literatura sobre los riesgos que conlleva el glifosato, luego, se procedió a examinar la exposición utilizando la concentración más elevada identificada en el agua potable y la relación entre la dosis y la respuesta, y finalmente se clasificó el nivel de riesgo.

3.4.9 Análisis de los resultados:

Después de obtener los resultados del laboratorio con el método aplicado, se examinan y evalúan los datos recopilados durante el desarrollo del proyecto para verificar que estos cumplan con los valores establecidos según la norma vigente. Según la normativa el contenido máximo permitido del glifosato en el agua cruda y agua potable es de 0,01 mg/L según la Resolución 2115 de 2007, art. 8. Cada muestra estará individualmente sometida a una evaluación del herbicida glifosato y, con una curva de calibración, estos resultados proporcionaran recomendaciones para mejorar el recurso hídrico en la comunidad de Ocaña, Norte de Santander.

3.5 Cronograma de Actividades

Figura 3

Cronograma de actividades para determinar la existencia del glifosato en el agua superficial y potable, que abastece la planta El Llanito en el municipio de Ocaña, Norte de Santander

Cronograma de actividades para determinar la presencia del glifosato en el agua superficial y potable, que abastece la planta El Llanito en el municipio de Ocaña, Norte de Santander																
Ítem	**Actividades a realizar**	Numero de semanas														
		1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**
1	Recopilación de información y bibliografia																
1.1	Búsqueda de información en biblioteca y plan de estudio.																
1.2	Búsqueda de información en medios digitales (internet).																
2	Evaluación del sistema de estudio																
2.1	Delimitación de puntos específicos.																
2.2	Nivel de acceso a la zona de estudio.																
2.3	Preparación de herramientas para toma de muestras.																
3	Muestreo y caracterización																
3.1	Toma de muestras en los puntos estratégicos																
3.2	Toma de muestras en los puntos estratégicos de agua potable del Municipio de Ocaña																
4	Curvas de calibración para la cuantificación del glifosato																
4.1	Preparación de los patrones																
4.2	Construcción de la curva																
5	Cuantificación del glifosato																
5.1	Ensayos de laboratorio																
6	Evaluación de los rasgos por la presencia del glifosato, análisis de datos obtenidos																
6.1	Análisis de resultados																
6.2	Conclusiones																
6.3	Informe final																

4 Administración del proyecto

4.1 Recursos humanos

En el transcurso de la ejecución del proyecto, es fundamental considerar la implicación de diversos representantes con el propósito de diseñar, llevar a cabo y ejecutar de forma eficiente actividades que realmente contribuyan al cumplimiento de los objetivos.

Rafael David Reyes Martinez, Ramon Isaac Robles Álvarez. Estudiantes del programa de ingeniería civil, de la Universidad Francisco de Paula Santander seccional Ocaña.

Autores del proyecto.

Mg. María Angelica Álvarez Bayona

Directora del presente proyecto.

Ing. Agustín Armando MacGregor Torrado

Codirector del presente proyecto.

Mg. María Alejandra Vogel Bermúdez

Microbióloga, Laboratorio de aguas de la Universidad Francisco de Paula Santander seccional Ocaña.

4.2 Recursos institucionales

En el proceso de investigación, la Universidad Francisco de Paula Santander participará activamente en el ámbito de la revisión de la literatura y, además, tendrá una implicación de manera directa en la realización de actividades en el laboratorio de aguas para llevar a cabo el análisis de los objetivos planteados.

4.3 Recursos Financieros

Tabla 1

Datos generales para el desarrollo del proyecto

GASTOS GENERALES PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO		RECURSOS PROPIOS	RECURSOS INSTITUCIONALES
Servicios generales			
Transporte	$ 300.000	X	
Papelería	$ 40.000	X	
Internet	$ 100.000	X	
Imprevistos	$ 80.000	X	
Total	$ 520.000		
Laboratorios			
Botellas de ámbar, guantes, cava, etc.	$ 40.000		X
Filtros de papel	$ 2.412		X
Químico diclorometano	$ 232.616	X	
Químico molibdato	$ 43.036	X	
Químico Nihindrina	$ 365.538	X	
Imprevisto	$ 30.000	X	
Total	$ 713.603		
Recursos tecnologicos			
Imperesora	$ 40.000	X	
Computador	$ 50.000	X	
Espectrofotomrteo	$ 17.105		X
bomba de vacio	$ 37.344		X
Horno	$ 50.801		X
Centrifugador	$ 99		X
TOTAL	$ 610.000		

5 Identificar las actividades que generan los posibles vertimientos con contenido de glifosato y que son desarrollados en la rivera del rio Tejo, con el propósito de establecer los puntos críticos que aportan la mayor concentración.

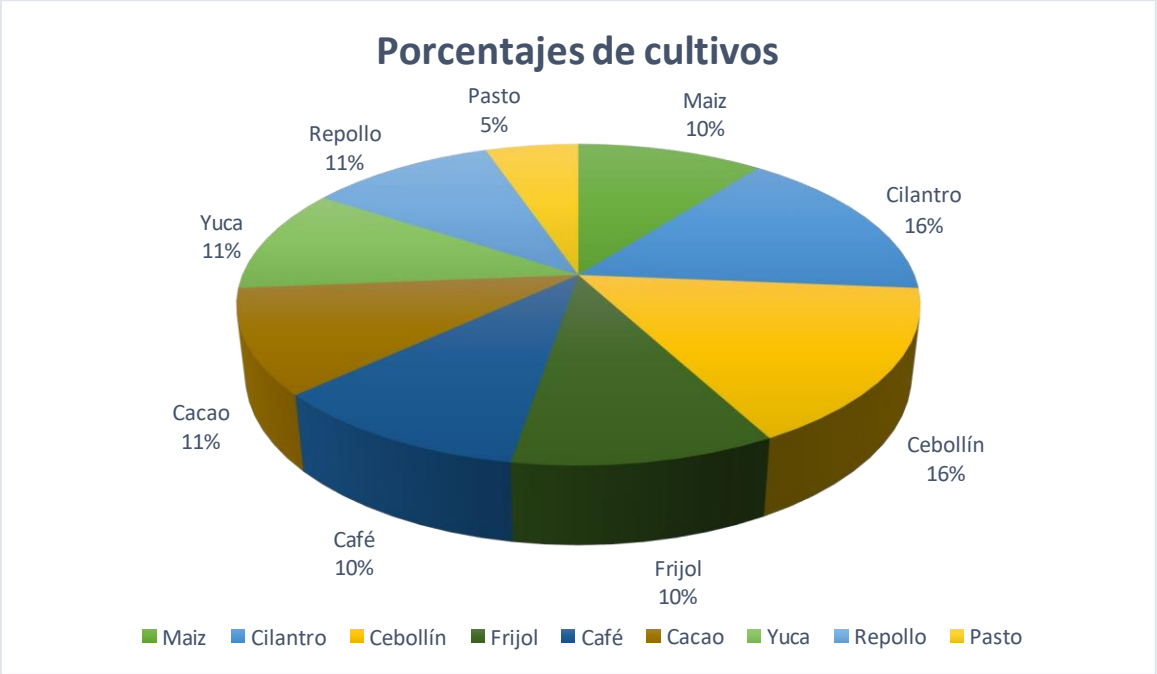
5.1 Encuestas

5.1.1 Cultivos sembrados en la zona

Estas parcelas y fincas ubicadas a los alrededores del rio Tejo siembran diversos cultivos como maíz, yuca, repollo, cilantro, cebollín, frijol, pasto, café y cacao. Siendo el cebollín con un 16%, el café (10%), la yuca (11%), el repollo (11%) y el cacao con un 11% de los cultivos más destacados de la zona.

Figura 4

Cultivos de la zona

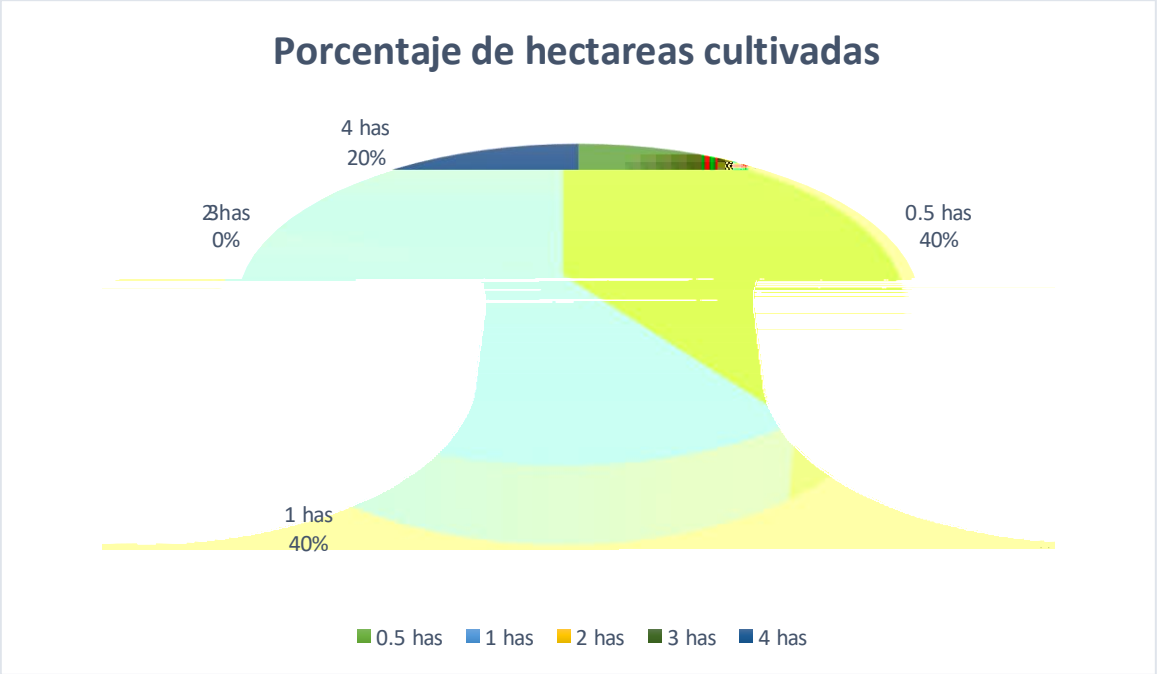


5.1.2 Hectáreas cultivadas al año

Las hectáreas más sembradas al año por los agricultores varían en un rango que va desde 0.5 hectáreas hasta 4 hectáreas, reflejando la diversidad en el tamaño de las parcelas utilizadas para la producción agrícola.

Figura 5

Cantidad de hectáreas cultivadas

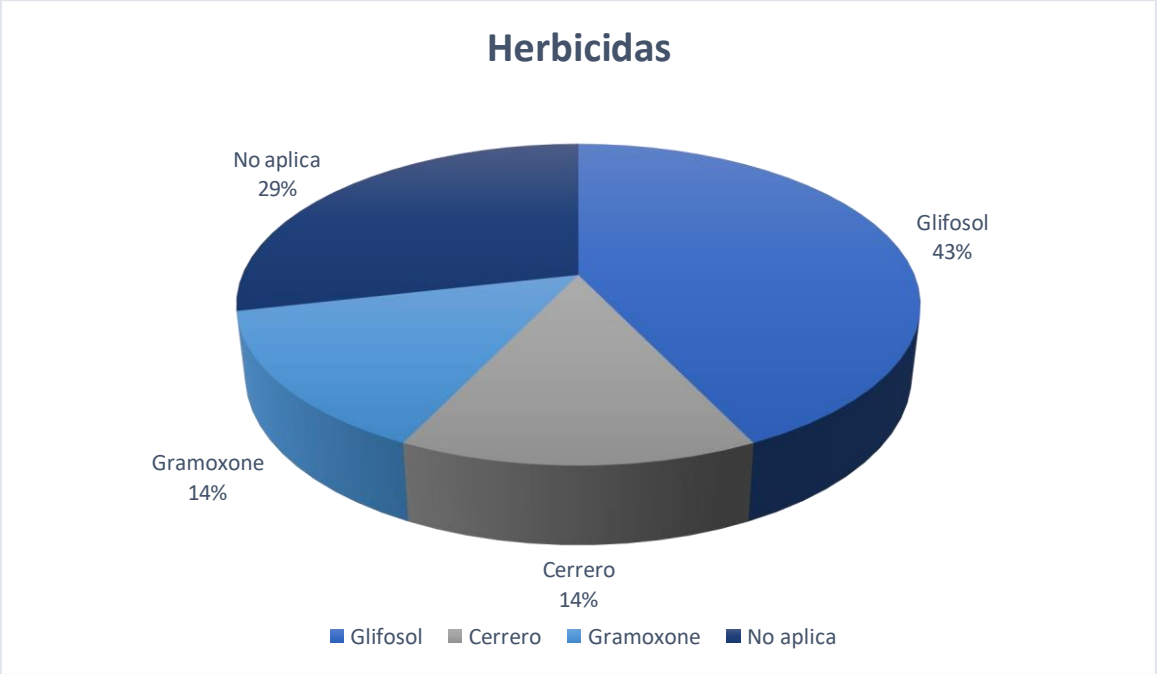


5.1.3 Herbicidas más usados por los agricultores

Para el control de malezas y plagas, los agricultores encuestados emplean herbicidas como el Glifosol, Cerrero y Gramoxone. Según los resultados de la encuesta, se observa que el Glifosol es el herbicida más ampliamente utilizado, representando el 43% de las preferencias, lo que lo posiciona como el más utilizado en comparación con otros herbicidas. Este dato destaca al Glifosato como una elección dominante entre los agricultores para el manejo efectivo de malezas y plagas en sus cultivos.

Figura 6

Herbicidas utilizados



5.1.4 Motivo por el cual se elige un herbicida

Las personas que respondieron a la encuesta, manifiestan que los herbicidas son utilizados para el control y la radicación de la maleza y todo tipo de plagas que puedan interponerse en sus cultivos, Además, destacan que el uso de herbicidas les permite mantener el buen estado y productividad de sus cultivos al eliminar competidores no deseados, facilitando así un mejor rendimiento agrícola. Algunos entrevistados subrayan la importancia de aplicar estos productos de manera responsable; aunque no todos tienen conocimiento de las recomendaciones técnicas para minimizar impactos ambientales y proteger la biodiversidad en sus áreas de cultivo.

5.1.5 Tipo de herbicida, polvo o solución

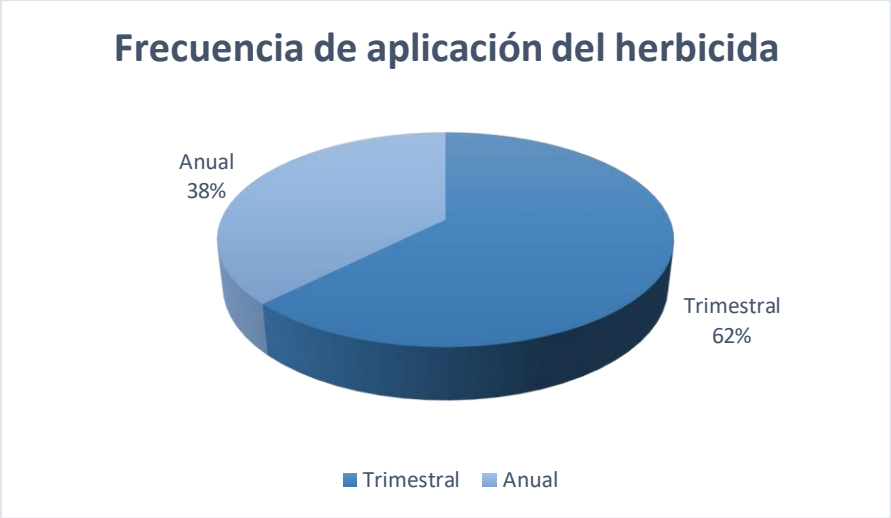
Los agricultores resaltan que la aplicación de herbicidas en forma líquida les proporciona una mayor versatilidad y precisión durante el proceso de aplicación. La formulación líquida facilita una distribución más uniforme sobre la superficie de los cultivos, permitiendo un control más eficiente de la maleza y otras plagas. Algunos agricultores mencionan que esta modalidad de aplicación les brinda la posibilidad de ajustar las dosis de manera más precisa. Además, destacan la conveniencia de poder mezclar diferentes productos para abordar múltiples problemas simultáneamente, optimizando así la gestión integral de sus campos agrícolas.

5.1.6 Regularidad en la aplicación del herbicida

Los agricultores mencionan que en la mayoria del tiempo el herbicida es aplicado trimestalmente con un porentaje del 62%, y otros anualmente con un porcentaje del 32% esto hace parte de los encuestados.

Figura 7

Frecuencia de aplicación del herbicida



5.1.7 Tipo de aspersión del herbicida

Los agricultores señalan que el método de aplicación más común para la fumigación de herbicidas en sus cultivos es mediante la aspersión. Este proceso implica la pulverización uniforme de la solución herbicida sobre la superficie de las plantas y la maleza, utilizando equipos de aspersión, como pulverizadores de mochila. Destacan que la aspersión les proporciona una cobertura efectiva y rápida, permitiendo alcanzar áreas extensas de cultivo en un tiempo relativamente corto. Seguido a esto ellos afirman que no hacen ninguna mezcla con el herbicida.

5.1.8 Meses en los que se aplica el herbicida

Los agricultores optan por aplicar herbicidas durante meses específicos como mayo, marzo, abril, septiembre y noviembre. Destaca que el mes con la mayor frecuencia de aplicación de herbicidas es septiembre, con un porcentaje significativo del 29%.

Figura 8

Meses de aplicación del herbicida

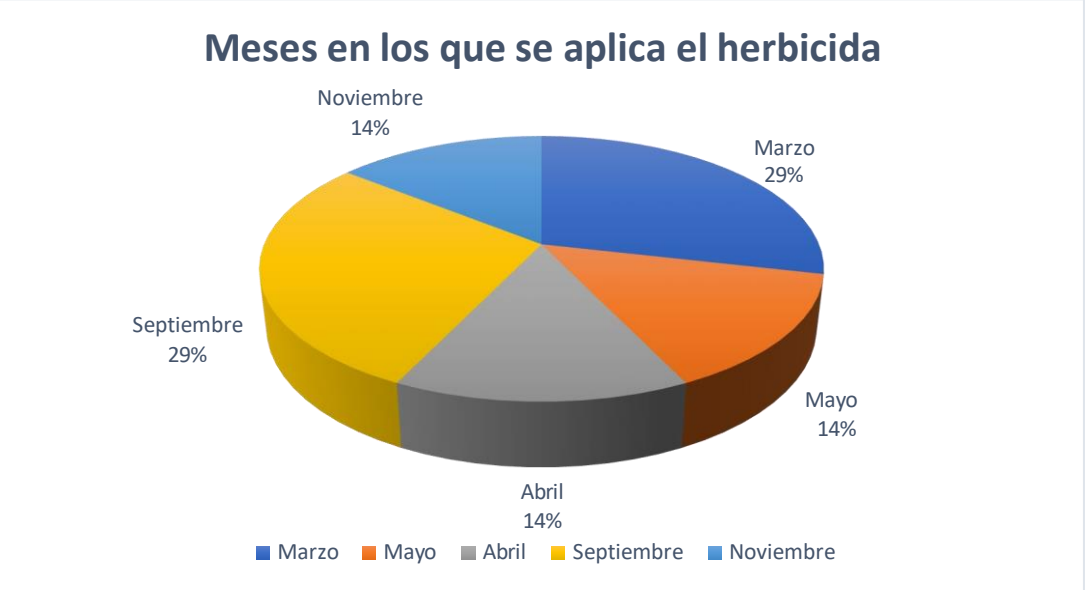
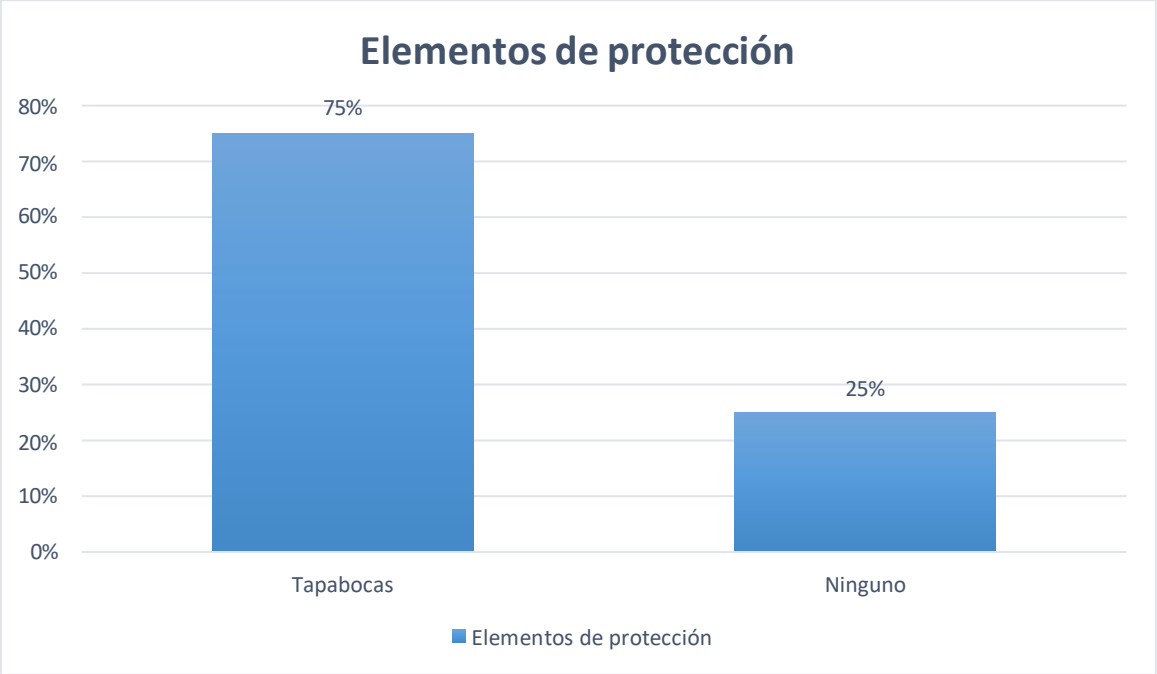


Figura 9

Elementos de protección al esparcir el herbicida



5.1.9 Destino final de los recipientes utilizados para el glifosato

Es importante destacar que una parte significativa de los agricultores resalta la importancia de gestionar adecuadamente los recipientes utilizados para el glifosato. Algunos agricultores optan por almacenar los recipientes vacíos de glifosato de manera segura en instalaciones designadas para productos químicos agrícolas, con el fin de evitar posibles riesgos de contaminación y garantizar un manejo responsable de los envases.

Por otro lado, hay agricultores que llevan a cabo prácticas de desecho adecuadas, asegurándose de que los recipientes vacíos sean tratados de acuerdo con las regulaciones ambientales y normativas locales. Este enfoque se alinea con las buenas prácticas agrícolas

y contribuye a minimizar los impactos ambientales asociados con la eliminación inadecuada de envases contaminados.

En ambos casos, la conciencia sobre la gestión adecuada de los recipientes utilizados refleja un compromiso de los agricultores hacia prácticas agrícolas sostenibles y respetuosas con el medio ambiente, reconociendo la importancia de preservar la salud del suelo, del agua y de los ecosistemas circundantes.

En el mismo sentido, es relevante señalar que un porcentaje de agricultores puede carecer de conocimiento sobre prácticas agrícolas sostenibles, incluyendo la gestión adecuada de envases de productos con glifosato. La falta de conciencia podría influir en decisiones como no lavar los recipientes, esto sucede en la mayoría de los casos, ya que los agricultores podrían no estar completamente informados sobre los posibles riesgos asociados con la contaminación residual de herbicidas.

5.1.10 Formas de realizar el riego con agua

A la pregunta, ¿ha presentado alguna reacción alérgica o gastrointestinal posterior al uso del glifosato? Una persona encuestada respondió que ha experimentado alergias en la piel e irritación en los ojos después de utilizar el herbicida, esta respuesta subraya la importancia de considerar los posibles efectos adversos para la salud relacionados con el

uso del glifosato, Estos síntomas podrían indicar sensibilidad o reacción alérgica a los componentes del glifosato.

Es esencial destacar que las reacciones individuales a productos químicos pueden variar, y la información proporcionada destaca la necesidad de una evaluación más detallada de los efectos secundarios asociados con el uso del glifosato. De las familias encuestadas, ninguna presenta enfermedades como alzhéimer, Parkinson o problemas reproductivos.

5.2 Identificación de los puntos de mayor cultivo en la zona para el muestreo.

5.2.1 Punto 1.

La muestra de agua recolectada en la bocatoma de la planta El Llanito, ubicada en el municipio de Ocaña, reviste una gran importancia en la presente investigación. Es imperativo resaltar que esta agua superficial, aunque previamente desarenada, se convierte en foco importante de análisis. En este contexto, la bocatoma se erige como el punto inicial donde se obtiene la muestra que servirá como indicador de la cantidad de glifosato presente en el suministro hídrico. La recolección de esta muestra desempeña un papel fundamental, ya que captura la realidad del agua que será sometida a los procesos de tratamiento en la Planta El Llanito. El enfoque de esta investigación recae en entender la presencia y la

magnitud de glifosato en la fuente misma, brindando así una base esencial para evaluar la calidad y seguridad del agua destinada al consumo humano en la región.

Al tener atención en la bocatoma, se está considerando el punto de entrada del agua en el sistema, proporcionando una visión integral de la presencia de glifosato en el recurso hídrico desde sus fuentes iniciales. Esta aproximación se revela como un componente clave en la comprensión de la contaminación por glifosato en el suministro de agua.

Figura 10

Toma de muestra en la bocatoma



5.2.2 Punto 2

En el segundo punto de muestreo observado en la figura 10, se encontrará plantaciones de café y plátano a lo largo de la ribera del río. Vale la pena señalar que, según la información proporcionada por los propietarios de la parcela, en esta siembra no se

emplea el glifosato para el riego. Este hecho se debe a que el glifosato se utiliza comúnmente en cultivos de ciclo corto, mientras que el cafeto, según datos, puede perdurar hasta 25 años. A partir de esta información, es crucial resaltar que la aplicación de un herbicida no selectivo como el glifosato podría tener un impacto adverso en la calidad y sostenibilidad de las plantaciones de café.

Figura 11

Muestreo #2 Agua superficial



5.2.3 Punto 3

En el tercer punto de recolección, se observa en la figura 11 una plantación de pasto elefante (Pennisetum purpureum). Estas siembras, caracterizadas por su resistencia y versatilidad, suelen tener un ciclo de vida que varía según la altitud del terreno. En zonas altas, como la presente, se estima una duración típica de 120 días antes de la cosecha, mientras que en zonas bajas este período se reduce a 45 días para la recolección.

A través de las imágenes adjuntas, se podrá apreciar con detalle la coexistencia de esta variedad de pasto con la siembra estratégica de plátanos en el mismo punto de muestreo.

Figura 12

Muestreo #3 Agua superficial



5.2.4 Punto 4

En la siguiente locación de recolección, una vez más, como se observa en la figura 11 se contempla a la orilla del río siembras de plátano, una constante que hemos observado en los puntos de recolección anteriores. Sin embargo, en este sitio específico, emerge una dimensión adicional de interés para nuestra investigación. Se revelan dos siembras significativas de cebolla y cebollín (también conocido como cebolla larga). Estos cultivos, fundamentales para nuestro estudio, atraviesan su ciclo completo antes de someter el terreno a la fumigación con glifosato como parte del proceso de preparación para una nueva siembra.

Es fundamental destacar que, a medida que se avanza metros abajo desde este punto de muestreo, se anticipa un aumento significativo en las concentraciones de glifosato en la cuenca hídrica. Este patrón emergente refuerza la necesidad de una evaluación exhaustiva de las prácticas agrícolas y su impacto directo en la calidad del agua en la región. (observar figura 13)

Figura 13

Muestreo #4 Agua superficial



5.2.5 Punto 5

Se tomo este punto de recolección a una distancia prudente del punto 4 y antes de la unión del río Tejo con la quebrada. Esta elección permite obtener información sobre la afectación que la fumigación con glifosato tiene en este curso de agua. Además, esta ubicación estratégica brinda la precaución de no tomar muestras con un caudal mayor al realizar este muestreo antes de producirse la confluencia del río Tejo con la quebrada adyacente. (observar figura 14)

Figura 14

Muestreo #5 Agua superficial



5.2.6 Punto 6

Este punto específico se seleccionó estratégicamente en el área de confluencia entre el río Tejo y la quebrada. La elección de este sitio se fundamenta en la necesidad de evaluar minuciosamente la presencia de glifosato en esta intersección hidrográfica. Este enfoque permitirá no solo medir la cantidad inicial de glifosato en este punto, sino también comprender cómo la contaminación proveniente de la quebrada podría influir en su concentración.

Figura 15

Muestreo #6 Agua superficial



5.2.7 Punto 7

Este último punto en la cuenca se puede afirmar que al analizar la cantidad de glifosato presente en este punto y monitorear cualquier cambio subsiguiente, podremos obtener una comprensión más precisa de los efectos acumulativos de la contaminación en este curso de agua. Este enfoque holístico contribuirá significativamente a nuestra evaluación general de la salud ambiental de la región.

Figura 16

Muestreo #7 Agua superficial



5.2.8 Punto 8

Este punto adquiere relevancia primordial al considerar que se trata del agua destinada al consumo humano, producida por la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) "El Llanito". La cual luego de ser tratada será dirigida a un tanque de almacenamiento.

Figura 17

Muestreo #8 Agua tratada



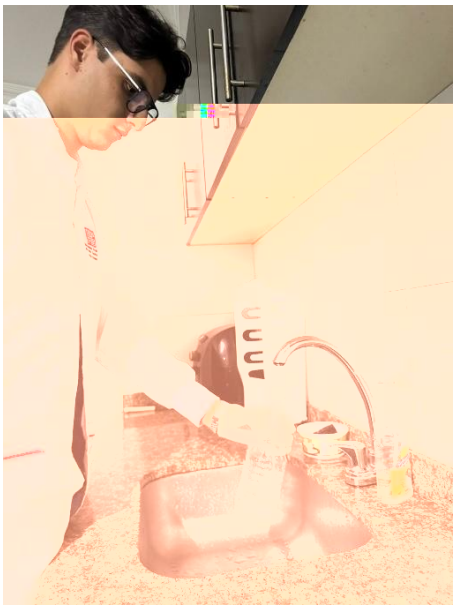
5.2.9 Punto 9

Esta muestra se tomó de una de las casas la cual está en el sistema abastecido por la planta el Llanito. Es muy importante resaltar la inclusión de agua tratada del río Algodonal en el proceso de almacenamiento de agua potable, debido a que introduce una variable significativa, ya que dicho recurso podría estar afectado por la presencia de glifosato. Por tanto, la obtención de muestras en este punto permitirá evaluar de manera específica si las prácticas de tratamiento en ambas PTAP logran efectivamente disminuir la concentración

de glifosato en el agua destinada al consumo humano. Este análisis técnico resultará esencial para poder determinar si el agua que está llegando al tanque desde la otra planta de tratamiento genera más contaminación en el agua producida por la PTAP el Llanito.

Figura 18

Muestra # 9 Casa de un suscriptor de la PTAP el Llanito



Es esencial señalar que la totalidad del suministro hídrico distribuido por esta instalación no se origina exclusivamente en sus propias fuentes; más bien, recibe agua tratada proveniente del río Algodonal, la cual se almacena en un tanque destinado para tal fin. En este contexto, la toma de muestras en este punto específico nos proporcionará información crucial acerca de la eficacia del tratamiento implementado en la PTAP para reducir la presencia de glifosato en el suministro hídrico.

6 Cuantificar la concentración de glifosato en el agua superficial y potable logrando así comparar los resultados obtenidos con la normativa vigente a nivel nacional e internacional.

6.1 Método Analítico para la cuantificación del glifosato

6.1.1 Materiales

Agua destilada; Glifosato (Sal (isopropilamina) de N-fosfonometil glicina, equivalente a 360g/l de ácido glifosato, formulación a 20°C), concentración de 480 g/l; Ninhydrin; Sodio Molibdato; Diclorometano; Filtros.

6.1.2 Equipo

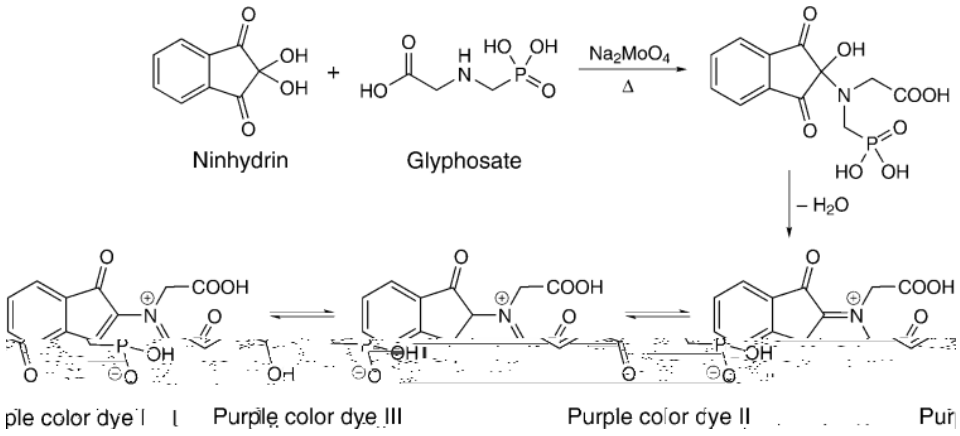
Bascula RADWAG, micropipeta transferpette, Agitador magnético Heidolph MR-Hei Standard, baño maría Memmert, Sistema de filtración al vacío rocker, espectrofotómetro UV/VIS DR 6000.

6.1.3 Método

Para la cuantificación del glifosato, se empleó el método propuesto por Nagaraja, et al. En este procedimiento, el grupo amino de la molécula de glifosato reacciona con la ninhidrina en presencia de molibdato de sodio como catalizador. Durante esta reacción, se elimina una molécula de agua, dando origen a los productos I y II. Estos productos forman un compuesto coloreado de tonalidad púrpura en un medio acuoso neutro (Bhaskara & Nagaraja, 2006).

Figura 19

Ruta de reacción propuesta del glifosato con ninhidrina en presencia de molibdato de sodio



Fuente: (Bhaskara & Nagaraja, 2006)

6.1.4 Curva de Calibración

Se ajustó la curva de calibración mediante una alteración en los volúmenes de los reactivos, siguiendo el enfoque propuesto por Nagaraja, et al (Bhaskara & Nagaraja, 2006). Para iniciar el proceso, se preparó una solución stock de Glifosato con una concentración de 500 partes por millón (ppm), compuesta de 100ml de agua destilada más 120ml de glifosato. Después, se extrajeron porciones de esta solución, variando sus cantidades en el doble, desde 0.0625 µl hasta 180 µl. Estas porciones se transfirieron a tubos de ensayo, a los que se añadieron 500 µL de Ninhidrina al 5% y 500 µL de Molibdato de Sodio al 5%. Los tubos se sellaron y se colocaron en un baño María a una temperatura constante de 85°C durante un período de 12 minutos. Luego, las muestras se enfriaron a temperatura ambiente y se ajustaron a un volumen final de 5 mL agregando agua destilada. La medición se llevó a cabo utilizando un espectrofotómetro, con una longitud de onda óptima de 568 nm (consultar Figura 20). Utilizando estos datos, se elaboró una curva de calibración en triplicado, relacionando la absorbancia con la concentración de Glifosato en el rango de 0.0625 a 18 ppm (consultar Figura 21). Para el control de blanco del instrumento, se utilizó una solución compuesta por 500 µL de Ninhidrina y 500 µL de Molibdato de Sodio, a la que se añadió agua destilada hasta alcanzar un volumen total de 5 mL.

Figura 20

Longitud de onda máxima para la derivatización del Glifosato con Ninhidrina y Molibdato de Sodio.

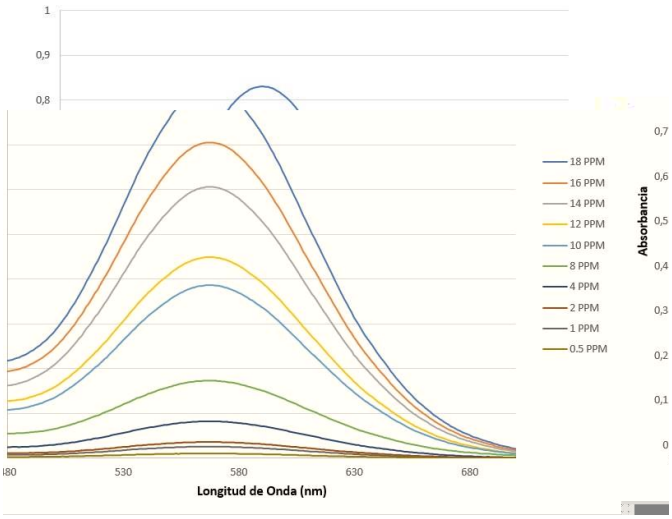
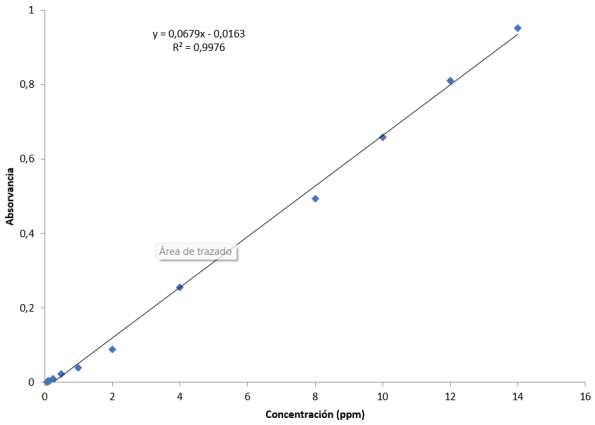


Figura 21

Curva calibración para cuantificación de Glifosato



6.2 Cuantificación del Glifosato en las Muestras de agua obtenidas

En el procedimiento replicado 2 veces para cada sitio de estudio, se obtuvo 500 ml de las muestras de agua cruda y potable, las cuales respectivamente se filtraron y luego se

procedió a realizar una evaporación controlada del líquido no permitiendo que hubiese perdidas del glifosato, hasta reducir la cantidad de muestra recolectada a menos de 4 ml y con esto obtener la concentración del mismo por medio del método ya propuesto en la curva de calibración. En la tabla se puede observar los datos obtenidos.

Tabla 2

Concentración del glifosato presente en cada punto de muestreo del Rio Tejo y la PTAP El Llanito

Rio Tejo (ppm)					
Punto	**Absorbancia**		**Promedio**	**Desviación**	**CV (%)**
1. (Bocatoma)	0,023	0,021	0,022	0,00141	6,4282
2. (rio tejo)	0,107	0,096	0,1015	0,00778	7,6632
3. (rio tejo)	0,235	0,218	0,2265	0,01202	5,3072
4. (rio tejo)	0,113	0,105	0,109	0,00566	5,1898
5. (rio tejo)	0,333	0,305	0,319	0,01980	6,2066
6. (rio tejo)	0,264	0,289	0,2765	0,01768	6,3934
7. (rio tejo)	0,082	0,089	0,0855	0,00495	5,7892
7. (agua tratada en la PTAP el Llanito)	0,026	0,023	0,0245	0,00212	8,6585
9. (agua de una casa incluida en la distribución de la PTAP el Llanito)	0,588	0,673	0,6305	0,06010	9,5328

Es importante en igual sentido, señalar que desde la bocatoma se transporta el agua hacia la PTAP una distancia de 4km por una tubería de 16”. Se tratan alrededor de 70 L/s. Su tanque de almacenamiento cuenta con una capacidad de 2000 m3. Al tanque de almacenamiento de la planta de tratamiento llegan 200 L/s de agua tratada de la PTAP El

Algodonal debido a que esta no abastece en su totalidad la necesidad de la población suscrita.

El día de la toma de muestras el agua tratada contaba con los siguientes parámetros:

Cloro en agua potable: 1.05

Turbidez: 0.27

PH: 7

Una vez confirmada la presencia de glifosato en el suministro de agua potable, se procedió a realizar la evaluación cuantitativa del riesgo considerando los parámetros más restrictivos. No se detectaron efectos adversos en el Nivel de Efectos Adversos (NOAEL) reportado en la literatura, el cual en este caso fue de 3,0 mg/kg-día (CANADA, 2006). Por lo tanto, la ingesta diaria tolerable (TDI) se calcula utilizando la siguiente ecuación (Cumings, 1962), con un factor de incertidumbre (UF) del 100%. Las normativas de calidad del agua potable de Canadá se basan en este mismo NOAEL (CANADA, 2006):

$$TDI = \frac{NOAEL}{UF}$$

TDI = tolerable daily intake (ingesta diaria tolerable).

NOAEL = no observed adverse effect level (nivel sin efecto adverso observado)

UF = uncertainty factor (factor de incertidumbre)

$$TDI = \frac{3{,}0}{100}$$

$$TDI = 0{,}03 \frac{mg}{Kg * d}$$

Se determinó el valor de referencia (GV) para la exposición al glifosato mediante la siguiente ecuación (Cumings, 1962).

$$GV = \frac{TDI * bw * P}{C}$$

bw = body weight (peso corporal).

P = fraction of the TDI allocated to drinking-water (fracción del TDI asignada al agua potable).

C = daily drinking-water consumption (consumo diario de agua potable).

Se consideraron los siguientes parámetros:

una ingesta diaria tolerable (TDI) de 0,03 mg/kg por día, un peso corporal de 70 kg, una fracción de TDI (P) del 20% y un consumo de 1,5 L por día, según las Directrices Canadienses de Calidad del Agua Potable. El resultado obtenido fue un valor de referencia de 0,28 mg/l por día.

$$GV = \frac{0.03 \frac{mg}{Kg * d} * 70Kg * 20\%}{2L}$$

Tabla 3

Determinación del riesgo para el glifosato

Organización Parametro	Directrices para la calidad del agua potable de Canadá	Organización Mundial de la Salud
GV (mg/L)	0,28	0,18
ED (Concentración (mg/L))	0.258 ± 0.06	0.258 ± 0.06
HQ	0,921	1,433
Riesgo	Bajo	Moderado

6.3 Concentraciones máximas de glifosato en aguas superficiales

La regulación del glifosato en aguas superficiales sin tratar es de suma importancia para garantizar la calidad y la salud de los ecosistemas acuáticos. Dada su amplia utilización en la agricultura y su potencial impacto negativo en la biodiversidad acuática, es fundamental establecer medidas efectivas de control y reducción de su presencia, es este sentido el ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico de España plantea un límite máximo de glifosato en aguas superficiales de 0.0001 (ppm). Esto no solo protege la flora y fauna acuática, sino también la salud humana, ya que estas aguas pueden ser utilizadas para consumo humano o actividades recreativas. Por lo tanto, la evaluación y

regulación rigurosa del glifosato son fundamentales para preservar la sostenibilidad y la calidad de las aguas superficiales no tratadas (Calleja et al., 2021).

Tabla 4

Parámetros con normativa internacional

	Concentración (ppm)	Requerimiento
Concentración máxima permitida	0.0001	
2. (rio tejo)	0,1015	No cumple
3. (rio tejo)	0,2265	No cumple
4. (rio tejo)	0,109	No cumple
5. (rio tejo)	0,319	No cumple
6. (rio tejo)	0,2765	No cumple
7. (rio tejo)	0,0855	No cumple

6.4 Concentraciones de glifosato en el agua potable máximas permitidas por normativa

En el contexto colombiano, la regulación sobre la concentración de Glifosato en el agua destinada al consumo humano no está definida con claridad. Aunque existen normativas como la Resolución 2115 de 2007 que establece parámetros para las características químicas del agua potable, y la Resolución 631 de 2015 que fija límites para los pesticidas en vertimientos a cuerpos de agua, el Glifosato no se incluye específicamente en estas disposiciones debido a su clasificación actual como sustancia de baja toxicidad.

Por otro lado, en comparación internacional, países como Estados Unidos, Canadá y Australia han establecido límites permisibles para la presencia de Glifosato en el agua potable, los cuales son más flexibles en comparación con los estándares más estrictos impuestos por la Unión Europea y el Reino Unido. Estas diferencias reflejan la diversidad en la gestión de riesgos y la protección de la salud pública a nivel global.

Es importante destacar que la falta de una regulación específica para el Glifosato en Colombia implica un riesgo para la salud, y se hace importante señalar la necesidad de una revisión y actualización de las normativas para garantizar la seguridad y el bienestar de la población. Mientras tanto, la vigilancia y el control de la calidad del agua siguen siendo fundamentales para prevenir posibles impactos negativos derivados de la presencia de cualquier tipo de contaminantes.

Tabla 5

Máximas cantidades de glifosato normativas internacionales

País	organización	Concentración (ppm)	Observación
Australia	Australian Drink Water Guidelines (Water & Management, 2022)	1	Es altamente improbable que la presencia de plaguicidas en el agua destinada al consumo humano alcance concentraciones que representen un riesgo para la salud.
Estados Unidos	Environmental Proctection Agency (EPA, 2023)	0,7	Objetivo de nivel máximo de contaminante (MCLG) y nivel máximo de contaminante (MCL)
Canadá	Guidelines for Canadá Drinking Water Quality (CANADA, 2006)	0,28	Máxima concentración aceptada (MAC)
Unión Europea	Drink Water Directive (Dolan et al., 2013)	0,0001	Esta disposición se extiende a la totalidad de los pesticidas

Tabla 6

Parámetros con muestras tomadas

	Agua tratada PTAP Llanito	Agua PTAP Llanito mezclada agua PTAP El Algodonal
Concentración	0,0245	0,6305
Australia	Cumple	No cumple
Estados Unidos	Cumple	No cumple
Canadá	Cumple	No cumple
Unión Europea	No cumple	No cumple

7 Evaluar los tratamientos realizados por la PTAP El Llanito y sus procesos de optimización para el control de contaminantes como el glifosato y de esta manera proponer estrategias para la mejora del sistema.

7.1 Panta de Tratamiento de Agua Potable el Llanito

La planta convencional de filtración rápida, con tecnología anterior a 1950, operaba con una capacidad nominal de 40-45 litros por segundo. En la figura 22 podemos observar este sistema, el agua pasa por procesos de coagulación, floculación, sedimentación y filtración para garantizar su potabilidad. Aunque antigua, esta tecnología desempeño un papel fundamental en el suministro de agua potable a comunidades en todo el mundo.

Figura 22

Imagen aérea de la PTAP el Llanito



7.1.1 Captación

La captación, también conocida como bocatoma, es el punto donde se toma el agua cruda de una fuente natural, como un río, un lago, o un arroyo. En este componente, se instalan rejillas o tamices para retener objetos grandes como ramas, palos y otros residuos sólidos. Su función principal es captar agua de una fuente natural, y derivar parte o la totalidad del caudal hacia sistemas de riego, centrales hidroeléctricas o puntos de consumo poblacional (UCC, 2023).

7.1.2 Desarenador

El desarenador es una estructura diseñada para eliminar la arena y otros sedimentos pesados presentes en el agua cruda, mediante la acción de la gravedad; las partículas más densas se depositan en el fondo del desarenador.

En la planta el llanito el agua desarenada continúa su camino por 4 km de tubería de 16 pulgadas hacia la cámara de floculación.

7.1.3 Cámara de Floculación

El floculador, como parte esencial del proceso de tratamiento de agua, se encarga de proporcionar una agitación controlada a la masa de agua coagulada mediante la aplicación de velocidades decrecientes mecánicamente. Esta acción tiene como objetivo promover el crecimiento de los flóculos y su retención dentro del tanque de floculación hasta que la suspensión de agua y flóculos alcance el siguiente paso del proceso. Simultáneamente, en la cámara de floculación, se introduce un coagulante, como el sulfato de aluminio, en el agua cruda. Este coagulante facilita la aglutinación de partículas finas en flóculos más grandes, simplificando su posterior extracción del agua. Durante esta fase, se fomenta la formación de flóculos mediante una agitación suave y controlada, permitiendo así una eficiente eliminación de impurezas (*Floculadores,* 2024).

7.1.4 Sedimentación

La sedimentación es un proceso en el tratamiento de agua donde los flóculos se separan del agua mediante la acción de la gravedad, depositándose en el fondo del sedimentador, mientras que el agua clarificada se recoge en la parte superior. Este proceso, fundamental para la eliminación de sólidos suspendidos, se basa en la capacidad gravitacional para separar los materiales sólidos transportados por el agua (GUTIERREZ, 2022).

7.1.5 Filtros

Los filtros, esenciales en el proceso para una planta de filtración rápida, actúan como barreras efectivas para retener partículas y microorganismos presentes en el agua clarificada. Este medio poroso, comúnmente compuesto de arena, requiere una limpieza regular para conservar su capacidad de filtración. El tipo de filtro utilizado en la PTAP el Llanito es de falsos fondos con lecho filtrante de manera descendente. Posteriormente, se añade cloro al agua tratada como medida de protección adicional, asegurando su idoneidad para el consumo humano al prevenir posibles contaminaciones.

7.1.6 Tanque de Almacenamiento

Después de pasar por los filtros, el agua tratada se almacena en un tanque. Este tanque garantiza un suministro constante y permite distribuir el agua a la red de distribución según la demanda.

7.2 Capacidad de remoción del glifosato

Desde nuestra investigación se puede resaltar que no hay remoción del glifosato en la PTAP el Llanito debido a que en la captación ingresan 0.022 (ppm) y llega al tanque 0.0245 (ppm). En el mismo sentido en el artículo titulado “Removal and degradation of glyphosate in water treatment: a review” escrito por Jörgen Jönsson, Rob Camm y Tom Hall, se aborda la remoción y degradación del glifosato en el tratamiento del agua. Su presencia en el agua potable es poco deseable y puede provocar incumplimientos en la Unión Europea si se encuentra en concentraciones superiores a 0.0001 (ppm), partiendo de lo mencionado es importante resaltar que la investigación se realizó en una planta la cual cuenta con un pretratamiento como lo es la Filtración bancaria y que este puede variar los resultados con la investigación en curso (Jönsson et al., 2013). En la siguiente tabla se expondrán los porcentajes de remoción de cada parte del tratamiento citados del artículo en mención.

Tabla 7

Remoción en los componentes de una PTAT estudiada por la unión europea

Sistema convencional	Remoción (%)	Referencia
Coagulación – Floculación	16	(Jönsson et al., 2013)
Sedimentación	40	(Jönsson et al., 2013)
Filtración	>80	(Jönsson et al., 2013)
Cloración	74	(Jönsson et al., 2013)

Teniendo en cuenta lo anterior y que las investigaciones sobre la remoción del glifosato no son abundantes, se expondrá en la siguiente tabla la cantidad de glifosato al ingresar y al salir del tratamiento en Plantas de tratamiento.

Tabla 8

Remoción del glifosato en plantas de tratamiento convencional

País	Antes (ppm)	Después (ppm)	Remoción (%)	Referencia
México	1,43 ± 0.01	-	100	(Reynoso et al., 2020)
Colombia (río pamplonita)	0.396	0.216	46	(Angelica & Bayona, 2021)
E.E.U.U. (Ohio river)	739 (µg/L)	696 (C)	6	(Zarza, 2023)

Sin embargo, es importante destacar que la literatura científica disponible sobre la capacidad de remoción del glifosato en las plantas convencionales es limitada. Esta falta de información detallada sobre el proceso de remoción del glifosato por parte de las plantas convencionales representa un área de investigación que merece una mayor atención. Dado el impacto significativo que el glifosato puede tener en el medio ambiente y la salud

humana, es crucial realizar estudios exhaustivos para comprender mejor cómo estas plantas interactúan con este herbicida ampliamente utilizado.

7.3 Alternativas de solución

Según la investigación "Technologies Employed in the Treatment of Water Contaminated with Glyphosate: A Review" realizada por Patricio J. Espinoza-Montero et al., se han identificado varias alternativas de solución para la remoción de glifosato en el agua potable. Entre estas alternativas se incluyen métodos físico-químicos como la adsorción, la coagulación, la fotocatálisis y la ozonización, así como también tecnologías biológicas como la bioadsorción y la biodegradación. Estas opciones muestran un potencial prometedor para la eliminación efectiva del glifosato del suministro de agua, proporcionando una gama diversa de enfoques que pueden adaptarse a diferentes condiciones y requerimientos de tratamiento (Espinoza-Montero et al., 2020).

Tabla 9

alternativas de solución

Tratamiento	Remoción	Tipo de tratamiento	Referencia
Lodo de alumbre	99,8	Psicoquimico	(Wang et al., 2017)
Cascara de coco activada biocarbón de carbono y madera	98,45-100	Psicoquimico	(Dissanayake Herath et al., 2019)

Tratamiento	Remoción	Tipo de tratamiento	Referencia
Photocatalytic degradation(UV-TiO2)	99,9	oxidación avanzada	(Assalin et al., 2010)
Organic GK NF membranes	94,8	filtración por membrana	(Liu et al., 2012)
(TFC) Polyamide membrane	80	filtración por membrana	(Saitúa et al., 2012)

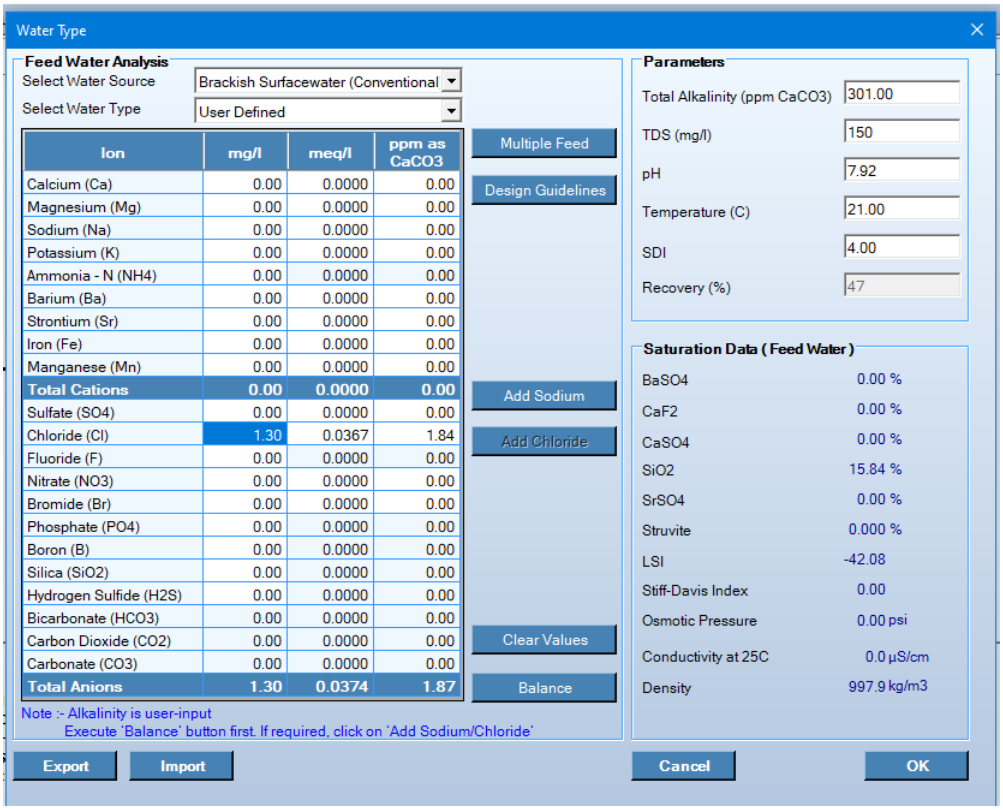
7.4 Winflows 3.3.3

"El programa de diseño Winflows es una herramienta intuitiva y accesible que facilita a los usuarios la creación ágil de sistemas tanto simples como complejos de ósmosis inversa (RO), nanofiltración (NF) y electrodesionización (EDI). Este software brinda acceso a las membranas RO/NF de Veolia y a las pilas E-Cell EDI, además de ofrecer una variedad de productos de filtros de cartucho y sistemas NF y RO preconfigurados" (Veolia, 2024).

En la figura 23 observamos como introducir el tipo de flujo a trabajar y las caracteristicas de este.

Figura 23

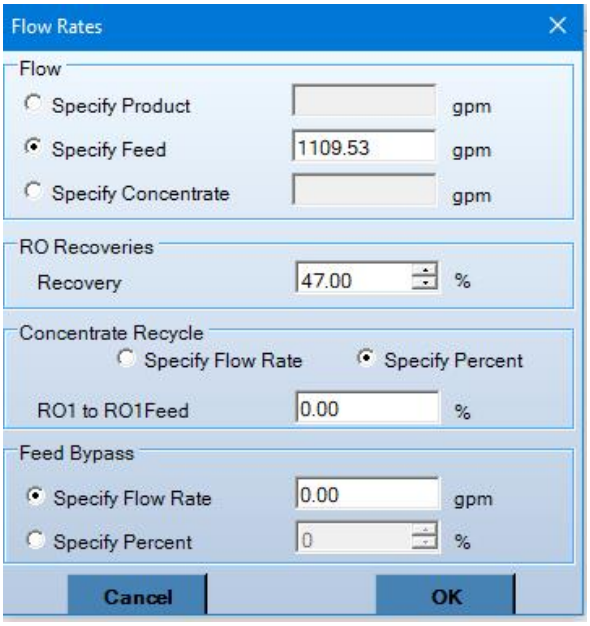
se insertan los parámetros físico químicos y microbiológicos



Se especifican las condiciones del flujo.

Figura 24

Especificación condiciones de flujo



Se selecciona el tipo de membrana que en este caso será: BW30-365 (BW con un área de membrana de 365 pies2 (33.9 m2))

Se calcula el número de elementos.

$$N_E = \frac{QQ_P}{f \cdot S_E}$$

Se divide el caudal de permeado de diseño QP por el flujo de diseño f y por el área de superficie de la membrana del elemento seleccionado SE (pies2 o m2) para obtener el número de elementos NE.

$$N_E = \frac{(1109.526\ gpm)\ (1440\ \frac{gpd}{gpm})}{15\ gpd\ x\ 365\ ft^2} = 292$$

Se calcula el número de recipientes a presión necesarios

Se divida el número de elementos NE por el número de elementos por recipiente a presión, NEpV para obtener el número de recipientes a presión, NV, redondee al número entero más cercano. Para sistemas grandes, los recipientes de 6 elementos son estándar, pero los recipientes con hasta 8 elementos son disponibles. Para sistemas más pequeños y/o compactos, se pueden seleccionar recipientes más cortos

$$N_V = \frac{N_E}{N_{EPV}}$$

$$N_V = \frac{292}{8} = 37$$

Se selecciona el número de etapas = 2 para una recuperación del 47%

El número de etapas define por cuántos recipientes a presión en serie pasará la alimentación hasta que salga del sistema y se descargue como concentrado.

Cada etapa consta de un cierto número de recipientes a presión en paralelo.

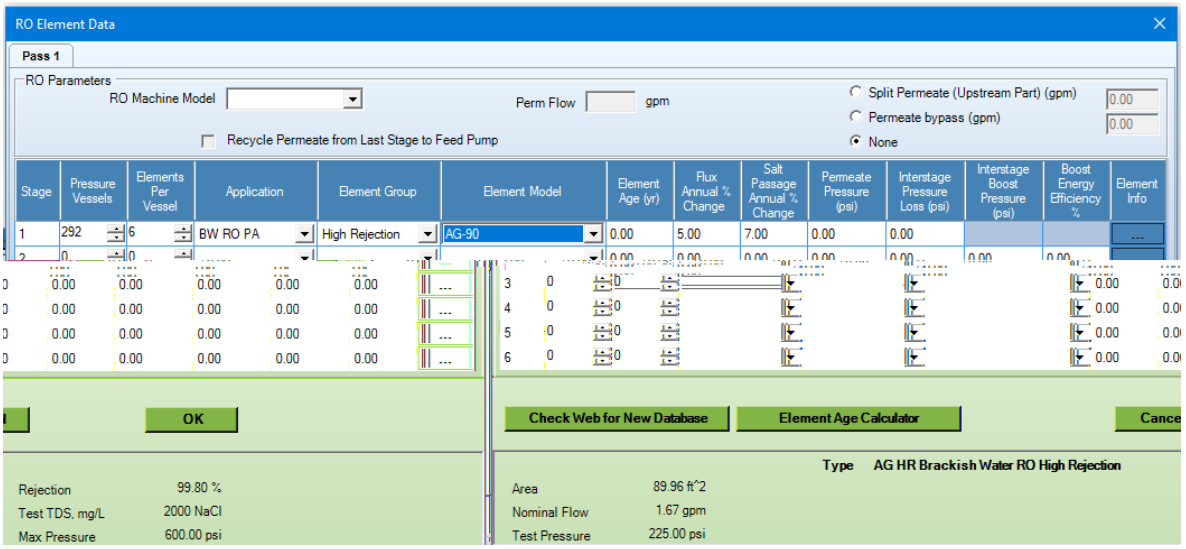
El número de etapas es función de la recuperación planificada del sistema, el número de elementos por recipiente y la calidad del agua de alimentación.

Cuanto mayor sea la recuperación del sistema y menor la calidad del agua de alimentación, mayor será la duración del sistema con más elementos en serie.

Se inserta el número de membranas.

Figura 25

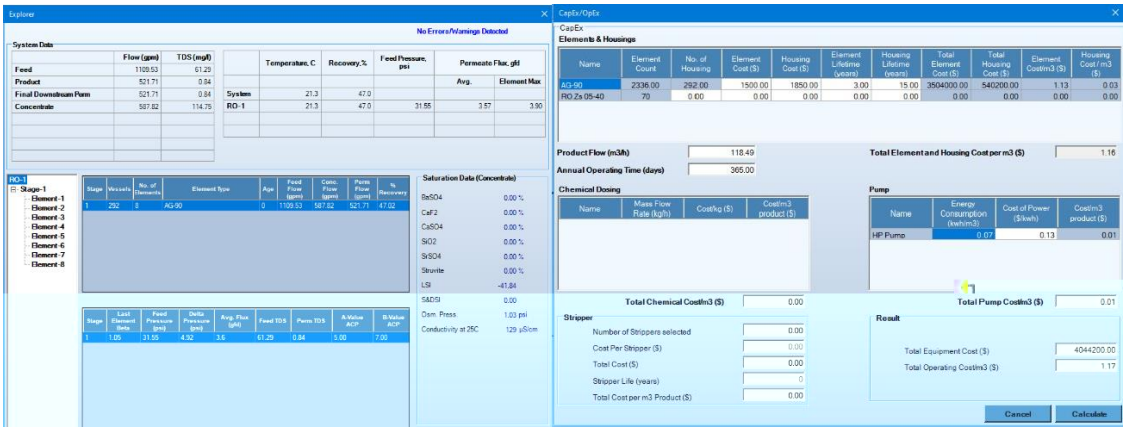
número de membranas



Se selecciona calcular y se verifica que el sistema no tenga errores.

Figura 26

calculo



7.5 Reporte Solución

Para poder ingresar los datos en el programa fue necesario calcular una proyección de caudal a un total de 25 años sabiendo que la PTAP el Llanito tiene un total de 10.000 suscriptores y según el Dane por vivienda en el municipio de Ocaña hay 3.3 habitantes.

Utilizamos el método de crecimiento geométrico:

$$r = \left(\frac{P_{uc}}{P_{ci}}\right)^{\left(\frac{1}{T_{uc}-T_{ci}}\right)} - 1$$

$$P_f = P_{uc}(1+r)^{T_f - T_{uc}}$$

Puc = (Población del último censo).

Pci = (Población censo inicial).

Tuc = (año último censo).

Tci = (año censo inicial).

Proyección para el año 2049

r = 0.01725

Pf = 186151,79 * 25% (porcentaje de la población ocañera a la que la PTAP el Lanito suministra agua potable) /3.3(equivalencia habitantes por cada suscriptor)

Pf = 14102 susc.

Para determinar el consumo futuro y realizar el diseño con una proyección de 25 años se utilizaron las siguientes ecuaciones.

$$Consumo\ (\frac{L}{hab} * d) = \frac{\log(Pf) - 1{,}8}{0{,}014}$$

$$Consumo\ (\frac{L}{hab} * d) = 204{,}84$$

$$QQ_{Promedio}\ (\frac{L}{s}) = \frac{Consumo * Pf}{86400}$$

$$QQ_{Promedio}\ (\frac{L}{s}) = 110.34$$

$$QQ_{maximo\ diario} = 1{,}2 * QQ_{Promedio}$$

$$QQ_{maximo\ diario} = 132{,}40$$

Nuestro caudal de diseño fue de 132,40.

En la figura 27 y 28 se puede observar los parámetros (fisicoquímicos y microbiológicos) con los cuales el agua luego del tratamiento en la PTAP El Llanito y de su mezcla con el agua de la PTAP el Algodonal, antes de ser suministrada a la población.

Figura 27

Parámetros de entrada

SUEZ Water Technologies & Solutions

Winflows Version 3.3.3 **DataBase Version 3.21**

Input Data Summary

Project Information

Project Name	Determinación de la presencia del glifosato en el agua superficial y potable, que abastece la planta El Llanito
Engineer	Rafael Reyes - Ramón Robles
Location	Ocaña, Norte de Santander
Mail ID	
Phone No.	
Comments	

Flowsheet Configuaration

Flowsheet Type	Single Pass Flowsheet	Feed Dosing	No
AfterFeed Dosing	No	Product Dosing 1	Yes
Product Dosing 2	No	Feed Stripping	No
Product Stripping	No	Raw Feed Bypass	No

Feed Information

Temperature, C	21	RO-1:	21
Feed pH	7.45	Silt Density Index:	4

Feed Stream Composition(mg/l): Source - Brackish Surfacewater (Conventional)

Calcium (Ca)	0.00		**Sulfate (SO4)**	15.00
Magnesium (Mg)	0.00		**Chloride (Cl)**	1.30
Sodium (Na)	139.12		**Fluoride (F)**	0.00
Potassium (K)	0.00		**Nitrate (NO3)**	0.00
Ammonia - N (NH4)	0.00		**Bromide (Br)**	0.00
Barium (Ba)	0.00		**Phosphate (PO4)**	0.00
Strontium (Sr)	0.00		**Boron (B)**	0.00
Iron (Fe)	0.00		**Silica (SiO2)**	0.00
Manganese (Mn)	0.00		**Hydrogen Sulfide (H2S)**	0.00
			Bicarbonate (HCO3)	182.31
			Carbon Dioxide (CO2)	10.10
			Carbonate (CO3)	0.28

Flow Rate Specifications

Feed Flow:		3300.28 gpm
Recovery %	RO1	47

First Pass Array Data

					Pre-stage Pressure Change, psi		Permeate Pressure	Annual Change %	
Stage	Housing	Element	Element Type	Element Age (yr)	Boost	Drop	psi	A-Value	B-Value
1	868	8	AG-90	0	0.00	0.00	0.00	5	7

Dosing Specification

Product Dosing 1 to 7 pH using Calcium Hydroxide

Figura 28

Parámetros de entrada

SUEZ Water Technologies & Solutions

Winflows Version 3.3.3 **DataBase Version 3.21**

Results Summary

Flow Data	gpm	Analytical Data	mg/l
Raw Feed	3300.28	Raw Feed TDS	433.92
Product	1552.15	Product TDS	19.71
Concentrate	1748.13	Concentrate TDS	814.18

System Data **Single Pass Design**

Temperature: C RO-1: 21 System Rec. 47.0 %

Average Flux (gfd), Pass and Stage

Pass	Average	Stage 1
Pass 1	3.58	3.58

Array Data **Pass 1**

Recovery %: 47.00 Conc. TDS(mg/l): 814.18 Conc. Flow: 1748.13 gpm

	Total			Flow, gpm		Pressure psi		Perm TDS
Stage	Housing	Element	Element Type	Feed	Perm	Feed	DP	mg/l
1	868	6944	AG-90	3300.28	1552.15	37.04	4.91	5.25
Total	868	6944						

	mg/l					mg/l		
Cation	Product	Feed	Conc		Anion	Product	Feed	Conc
Ca	3.61	0.00	0.00		SO4	0.07	15.00	28.26
Mg	0.00	0.00	0.00		Cl	1.09	97.20	182.54
Na	1.62	139.12	261.21		F	0.00	0.00	0.00
K	0.00	0.00	0.00		NO3	0.00	0.00	0.00
NH4	0.00	0.00	0.00		Br	0.00	0.00	0.00
Ba	0.00	0.00	0.00		PO4	0.00	0.00	0.00
Sr	0.00	0.00	0.00		B	0.00	0.00	0.00
Fe	0.00	0.00	0.00		SiO2	0.00	0.00	0.00
Mn	0.00	0.00	0.00		H2S	0.00	0.00	0.00
TDS mg/l	19.71	433.92	814.18		HCO3	13.32	182.31	341.17
pH	7.00	7.45	7.70		CO2	2.26	10.10	10.36
					CO3	0.01	0.28	0.99
Saturation Data								
BaSO4 %	0.00	0.00	0.00		CaF2 %	0.00	0.00	0.00
CaSO4 %	0.00	0.00	0.00		SiO2 %	0.00	0.00	0.00
SrSO4 %	0.00	0.00	0.00		LSI	-2.65	-42.55	-42.30
Struvite %	0.00	0.00	0.00		Pi psi	0.16	4.21	7.76

a complimentary service and does not constitute a performance Disclaimer This projection is provided as warranty

Page 2 of 9

En la figura 29 se puede observar el proceso que se lleva a cabo para la remoción del glifosato en un agua convencional utilizando 292 membranas AG-90 y RO.Zs 05-40 con osmosis inversa. Asimismo, se puede observar que se utiliza el hidróxido de calcio para modificar el pH pues luego del tratamiento este tiene un valor de 5.48 mg/L.

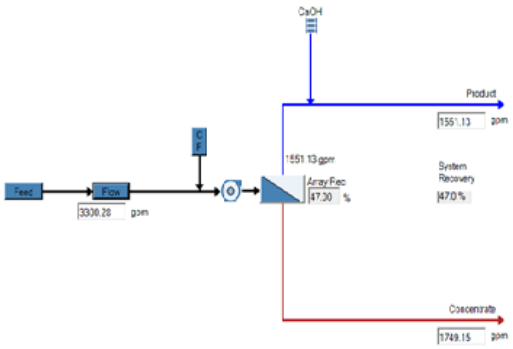
Figura 29

Proceso

SUEZ Water Technologies & Solutions

Winflows Version 3.3.3 **DataBase Version 3.21**

Process Data Sheet



Flow Data	gpm	Analytical Data	mg/l
Raw Feed	3300.28	Raw Feed TDS	433.92
Product	1552.15	Product TDS	19.71
Concentrate	1748.13	Concentrate TDS	814.18

System Data **Single Pass Design**

Temperature: C RO-1: 21

		Pass 1	Pass 2	Pass 3
Feed Flow to 1st Stage Housing	gpm	3300.28		
Feed Pressure	psi	37.04		
Array Recovery	%	47.00		
Permeate Flow	gpm	1552.15		
Split Permeate Flow	gpm	0.00		

Pump Summary

Main Pump			Pass 1	Pass 2	Pass 3
	Feed Flow	gpm	3300.28		
	Inlet Pressure	psi	0.00		
	Discharge Pressure	psi	37.04		
	Total Efficiency	%	83.81		
	Power	kW	63.44		

Total Power Consumption	kW	63.44

Chemical Additions

Addition (chemical as 100 %)	Kg/Day	mg/L in feed		
Calcium Hydroxide in Product 1	43.54	5.15	pH	7

Cartridge Filter

207 RO.Zs 05-40 Filter Cartridges at 4 gpm Flow per TIE. dP for new filters = 1.04 psi.

Figura 30

Proceso

SUEZ Water Technologies & Solutions

Winflows Version 3.3.3 **DataBase Version 3.21**

Streams Analytical Data

Ions, mg/l		Total Feed	RO1 Feed	Final Downstream Perm	Product
Calcium		0.00	0.00	0.00	3.61
Magnesium		0.00	0.00	0.00	0.00
Sodium		139.12	139.12	1.62	1.62
Potassium		0.00	0.00	0.00	0.00
Ammonia - N (NH4)		0.00	0.00	0.00	0.00
Barium		0.00	0.00	0.00	0.00
Strontium		0.00	0.00	0.00	0.00
Iron		0.00	0.00	0.00	0.00
Manganese		0.00	0.00	0.00	0.00
Sulfate		15.00	15.00	0.07	0.07
Chloride		97.20	97.20	1.09	1.09
Fluoride		0.00	0.00	0.00	0.00
Nitrate		0.00	0.00	0.00	0.00
Bromide		0.00	0.00	0.00	0.00
Phosphate		0.00	0.00	0.00	0.00
Boron		0.00	0.00	0.00	0.00
Silica		0.00	0.00	0.00	0.00
Hydrogen Sulfide		0.00	0.00	0.00	0.00
Bicarbonate		182.31	182.31	2.47	13.32
Carbon Dioxide		10.10	10.10	10.08	2.26
Carbonate		0.28	0.28	0.00	0.01
TDS, mg/l		433.92	433.92	5.25	19.71
Flow	gpm	3300.28	3300.28	1552.15	1552.15
Temperature	C	21.00	21.00	21.00	21.00
Pressure	psi	0.00	37.04	0.00	0.00
Osm. Pressure	psi	4.21	4.21	0.13	0.16
pH		7.45	7.45	5.62	7.00
Conductivity at 25C	µS/cm	635.00	635.00	8.60	26.00
Saturation Data					
BaSO4	%	0.00	0.00	0.00	0.00
CaF2	%	0.00	0.00	0.00	0.00
CaSO4	%	0.00	0.00	0.00	0.00
SiO2	%	0.00	0.00	0.00	0.00
SrSO4	%	0.00	0.00	0.00	0.00
Struvite	%	0.00	0.00	0.00	0.00
LSI		-42.55	-42.55	-44.38	-2.65
S&DI		0.00	0.00	0.00	-3.17

Figura 31

Proceso

Ions, mg/l		Concentrate
Calcium		0.00
Magnesium		0.00
Sodium		261.21
Potassium		0.00
Ammonia - N (NH4)		0.00
Barium		0.00
Strontium		0.00
Iron		0.00
Manganese		0.00
Sulfate		28.26
Chloride		182.54
Fluoride		0.00
Nitrate		0.00
Bromide		0.00
Phosphate		0.00
Boron		0.00
Silica		0.00
Hydrogen Sulfide		0.00
Bicarbonate		341.17
Carbon Dioxide		10.36
Carbonate		0.99
TDS, mg/l		814.18
Flow	gpm	1748.13
Temperature	C	21.00
Pressure	psi	32.13
Osm. Pressure	psi	7.76
pH		7.70
Conductivity at 25C	µS/cm	1169.00
Saturation Data		
BaSO4	%	0.00
CaF2	%	0.00
CaSO4	%	0.00
SiO2	%	0.00
SrSO4	%	0.00
Struvite	%	0.00
LSI		-42.30
S&DI		0.00

Figura 32

Proceso

SUEZ Water Technologies & Solutions

Stage Permeate Data RO 1

Permeate, mg/l		RO 1 Stage 1
Calcium		0.00
Magnesium		0.00
Sodium		1.62
Potassium		0.00
Ammonia - N (NH4)		0.00
Barium		0.00
Strontium		0.00
Iron		0.00
Manganese		0.00
Sulfate		0.07
Chloride		1.09
Fluoride		0.00
Nitrate		0.00
Bromide		0.00
Phosphate		0.00
Boron		0.00
Silica		0.00
Hydrogen Sulfide		0.00
Bicarbonate		2.47
Carbon Dioxide		10.08
Carbonate		0.00
TDS	mg/l	5.25
Flow	gpm	1552.15
Temperature	C	21.00
Pressure	psi	0.00
Osm. Pressure	psi	0.13
pH		5.48
Conductivity at 25C	µS/cm	8.6

En la figura 33 se pueden observar los resultados finales luego del proceso de remoción del glifosato, se debe tener en cuenta también que este no es solo el contaminante que se elimina pues la osmosis inversa en tratamiento de agua potable adicionalmente elimina diversos compuestos inorgánicos como bromato, iones de bromuro, colorantes, de la misma manera orgánicos como muchos tipos de bacterias, virus, también productos químicos agrícolas (Najafpour, 2007).

Figura 33

Resultados finales

SUEZ Water Technologies & Solutions

Winflows Version 3.3.3 **DataBase Version 3.21**

Element detail Data

Element By Element Data								
Pass 1 Stage 1	Elem 1	Elem 2	Elem 3	Elem 4	Elem 5	Elem 6	Elem 7	Elem 8
Flow, gpm								
Feed	3.80	3.55	3.30	3.07	2.84	2.62	2.41	2.21
Perm	0.25	0.24	0.24	0.23	0.22	0.21	0.20	0.19
Pressure, psi								
Feed	37.04	36.18	35.40	34.70	34.06	33.49	32.98	32.53
Net Driving	32.19	31.06	29.97	28.91	27.87	26.84	25.81	24.74
Delta P	0.86	0.78	0.71	0.64	0.57	0.51	0.45	0.40
Feed Osm. Press	4.21	4.50	4.82	5.17	5.57	6.02	6.52	7.10
Other								
Recovery, %	6.66	6.88	7.13	7.41	7.71	8.05	8.42	8.81
Beta (Conc. Pol.)	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04
Flux, gfd	4.05	3.91	3.77	3.64	3.51	3.38	3.25	3.12
A-Value, µm/(s-MPa)	9.02	9.02	9.02	9.03	9.03	9.03	9.03	9.03
Permeate Ions, mg/l								
Calcium	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Magnesium	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sodium	1.08	1.20	1.34	1.49	1.67	1.88	2.13	2.43
Potassium	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ammonia - N (NH4)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Barium	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Strontium	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Iron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Manganese	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sulfate	0.05	0.05	0.06	0.07	0.07	0.08	0.09	0.11
Chloride	0.73	0.81	0.90	1.00	1.13	1.27	1.44	1.64
Fluoride	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Nitrate	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bromide	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Phosphate	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Silica	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Hydrogen Sulfide	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bicarbonate	1.76	1.92	2.10	2.30	2.55	2.84	3.18	3.60
Carbon Dioxide	9.96	9.99	10.02	10.05	10.09	10.14	10.19	10.25
Carbonate	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TDS, mg/l	3.61	3.97	4.39	4.87	5.42	6.07	6.85	7.78
pH	5.48	5.51	5.55	5.59	5.63	5.68	5.72	5.77
Conductivity at 25C, µS/cm	6.40	6.90	7.50	8.10	8.90	9.80	11.00	12.00
Saturation Data								
BaSO4, %	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaF2, %	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaSO4, %	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SiO2, %	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SrSO4, %	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Struvite, %	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
LSI	-44.52	-44.49	-44.45	-44.41	-44.37	-44.32	-44.28	-44.23
S&DI	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Page 8 of 9

En la figura 34 se puede observar los costos que tendrá la producción de 1 m^3 utilizando las membranas de osmosis inversa mencionadas anteriormente, con la inversión de activos a largo plazo (CAPEX) y los gastos operativos diarios (OPEX).

Figura 34

CAPEX / OPEX

SUEZ Water Technologies & Solutions

Winflows Version 3.3.3 **DataBase Version 3.21**

Capex/Opex

Elements and Housing

Product Flow (m3/hr) : 118.49
Annual Operating time (days): 365.00

Capital Expenditures

	Count		Cost ($)		LifeTime (yr)		Total Cost ($)		Total Cost/m3 ($)	
Element Name	Element	Pressure Vessel	Element	Vessel	Element	Vessel	Element	Vessel	Element	Vessel
AG-90	2336.00	292.00	1500.00	1850.00	3.00	15.00	3504000.00	540200.00	1.13	0.03
RO.Zs 05-40	70.00	147.00	1470.00	0.00	1.00	15.00	102900.00	0.00	0.10	0.00
Total				1850.00			3606900.00	540200.00	1.22	0.03

Dosing

Chemical	Cost/kg ($)	Consumption (kg/hr)	Cost/m3 ($)

Total Dosing Cost/m3 Product ($): 0.00

Pumping

Pump	Energy Consumtion (kwh/m3)	Cost of Power ($/kwh)	Cost/m3
HP Pump	0.07	0.13	0.01

Total Pump Cost/m3 Product ($): 0.01

Stripping

Total Strippers: 0.00
Cost/Stripper ($): 0.00
Stripper Lifetime (yrs): 0.00
Total Stripper Cost ($): 0.00
Cost/m3 Product ($): 0.00

Total

Total Equipment Cost ($): 4147100.00
Total Operating Cost/m3 Product ($): 1.27

8 Conclusiones

Mediante la identificación de las actividades generadoras de vertimientos con glifosato a lo largo de la ribera del río Tejo, y la correlación con los cultivos presentes en estas zonas, se logró establecer con precisión los puntos críticos de contaminación. Este enfoque brindo una comprensión clara de las fuentes principales de contaminación, para poder implementar estrategias específicas y efectivas que aborden de manera directa estos focos, promoviendo así la protección y conservación del ecosistema acuático del río Tejo y la salud de las comunidades que dependen de él.

Los resultados obtenidos tras identificar las actividades generadoras de vertimientos con contenido de glifosato en la ribera del río Tejo revelan una situación preocupante. La presencia de glifosato en todos los puntos de recolección y el hecho de que ninguna muestra de agua superficial cumpla con los límites máximos permitidos según la normativa española subrayan la gravedad de la contaminación en esta área.

Habiendo analizado la calidad del agua potable producida por la planta El Llanito en comparación con las normativas internacionales, se observa que cumple la mayoría de los estándares establecidos, excepto los exigidos por la normativa española, que son particularmente rigurosos.

Es crucial destacar que el suministro de agua a la población se ve comprometido, ya que el agua proveniente de la planta El Llanito se mezcla con el agua proveniente de la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) Algodonal, generando un foco adicional de contaminación, evidenciando que los niveles de glifosato encontrados en la casa de un usuario de la PTAP, no cumple ninguna normativa internacional vigente.

En cuanto a la remoción, con los resultados obtenidos de las cantidades de glifosato presente al ingreso de la planta, el tratamiento y la salida al almacenamiento, se puede resaltar que el contaminante no disminuye su cantidad, resaltando que los tratamientos realizados por la PTAP el Llanito no disminuyen su concentración.

La optimización planteada por medio de winflows nos permite identificar la máxima remoción del glifosato y el costo de por m^3, de nuestro planteamiento de solución estableciendo la hibridación con membranas AG-90 y RO.Zs 05-40.

9 Recomendaciones

Se sugiere a las entidades encargadas del medio ambiente y la salud a nivel nacional que establezcan regulaciones sobre los niveles aceptables de glifosato presentes en el agua superficial y potable. Además, se les insta a incluir directrices técnicamente exigibles que requieran la implementación obligatoria, adaptada a los diferentes contextos locales, de sistemas avanzados de tratamiento de agua potable. Estos sistemas deben ser capaces de eliminar de manera efectiva contaminantes como el glifosato, garantizando así la calidad del agua para el consumo humano.

En consonancia con lo anterior, se sugiere que las autoridades ambientales y de salud implementen regulaciones que requieran a las empresas fabricantes de glifosato proporcionar información sobre la toxicidad y los efectos adversos, tanto del producto en sí como de su derivado AMPA, en los envases o etiquetas. Esto es importante para concienciar sobre los posibles impactos una vez que estos productos lleguen a los ecosistemas, y el desecho de su envase en las riberas de los ríos.

En el ámbito internacional, es importante que para normativa nacional se tenga en cuenta las diferentes normativas existentes sobre la presencia de glifosato en el agua superficial y potable, con el objetivo de ser igual o más restrictivos a niveles que no representen un riesgo para la salud humana.

En el ámbito local se recomienda a la empresa de servicios públicos ESPO tener presente la solución planteada en esta investigación para tener alternativas y mejorar la calidad del agua en el municipio de Ocaña.

Es necesario realizar estudios con un alcance mayor, en cuanto a la remoción del glifosato en los componentes de las PTAPS para realizar comparaciones con las cantidades de glifosato que ingresan sin tratamiento y que reducción se tiene al salir a distribución.

10 Referencias

Ambiente, M. D. E., & Territorial, V. Y. D. (2007). *LOS MINISTROS DE LA PROTECCIÓN SOCIAL Y DE AMBIENTE , VIVIENDA RESUELVE : CAPÍTULO I.*

Angelica, M., & Bayona, A. (2021). *ANÁLISIS DE LA OCURRENCIA DE CONTAMINANTES EMERGENTES (GLIFOSATO, PARAQUAT E IBUPROFENO) EN FUENTES SUPERFICIALES Y EN AGUA POTABLE DE CÚCUTA - NORTE DE SANTANDER, Y SU REMOCIÓN UTILIZANDO TECNOLOGIA DE MEMBRANAS*.

Assalin, M. R., de Moraes, S. G., Queiroz, S. C. N., Ferracini, V. L., & Duran, N. (2010). Studies on degradation of glyphosate by several oxidative chemical processes: Ozonation, photolysis and heterogeneous photocatalysis. *Journal of Environmental Science and Health - Part B Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*, *45*(1), 89–94. https://doi.org/10.1080/03601230903404598

Baek, S., Pyo, J., & Chun, J. A. (2020). *Prediction of Water Level and Water Quality Using a CNN-LSTM Combined Deep Learning Approach*.

BBC News Mundo. (2020). *Glifosato: 3 preguntas sobre el herbicida por el que Bayer tendrá que pagar casi US$11.000 millones en demandas*. BBC News Mundo. https://www.bbc.com/mundo/noticias-53180741

Benbrook, C. M. (2016). Trends in glyphosate herbicide use in the United States and globally. *Environmental Sciences Europe*, *28*(1), 1–15. https://doi.org/10.1186/s12302-016-0070-0

Bhaskara, B. L., & Nagaraja, P. (2006). *Direct Sensitive Spectrophotometric Determination*

of Glyphosate by Using Ninhydrin as a Chromogenic Reagent in Formulations and Environmental Water Samples. *89*, 2686–2693.

Boh, D. J., & Vivas, R. (2020). *MÉTODOS ANALÍTICOS PARA LA DETERMINACIÓN DE GLIFOSATO EN MATRICES AMBIENTALES DIANNY*.

Calleja, B., González, C., Escartín, C., Magdaleno, F., Núñez, J., Rodríguez, J., Sánchez, L., & Sobrados, L. (2021). Guía para la evaluación del estado de las aguas superficiales y subterráneas. *Ministerio Para La Transición Ecológica Y El Reto Demográfico*, 1–355. https://www.miteco.gob.es/es/agua/publicaciones/guia-para-evaluacion-del-estado-aguas-superficiales-y-subterraneas_tcm30-514230.pdf

CANADA, H. (2006). *Guidelines for Canadian Drinking Water Quality Guideline Technical Document.*

Cumings, J. N. (1962). Biochemical aspects. In *Proceedings of the Royal Society of Medicine* (Vol. 55). https://doi.org/10.5005/jp/books/11431_8

Curioseando. (2023). *¿Qué es la curva de calibración?* https://curiosoando.com/que-es-una-curva-de-calibracion

Definicion.de. (2023). *DEFINICIÓN DE ESCORRENTÍA*. https://definicion.de/escorrentia/

Díaz, N. A., Ruiz, J. A. B., Reyes, E. F., Cejudo, A. G., Novo, J. J., Peinado, J. P., Meléndez-valdés, F. T., & Fiñana, I. T. (2023). *Espectrofometría : Espectros de absorción y cuantificación colorimétrica de biomoléculas*. 1–8.

Dissanayake Herath, G. A., Poh, L. S., & Ng, W. J. (2019). Statistical optimization of glyphosate adsorption by biochar and activated carbon with response surface

methodology. *Chemosphere*, *227*, 533–540. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.04.078

Dolan, T., Howsam, P., Parsons, D. J., & Whelan, M. J. (2013). *Is the EU Drinking Water Directive Standard for Pesticides in Drinking Water Consistent with the Precautionary Principle ?*

En, I., Microbiota, L. A., Suelo, D. E. L., Que, A. M., & La, A. (2020). *USO DEL GLIFOSATO EN CULTIVOS AGRÍCOLAS E ILÍCITOS: IMPACTO EN LA MICROBIOTA DEL SUELO A MEDIDA QUE AUMENTA LA TASA DE APLICACIÓN*. 1–63.

EPA. (2023). *Agua Potable*. https://espanol.epa.gov/espanol/el-agua-potable

Espinoza-Montero, P. J., Vega-Verduga, C., Alulema-Pullupaxi, P., Fernández, L., & Paz, J. L. (2020). Technologies employed in the treatment of water contaminated with glyphosate: A review. *Molecules*, *25*(23), 1–26. https://doi.org/10.3390/molecules25235550

Final, I., Grado, D. E. T. D. E., Modalidad, E. N., Evaluaci, A., Destino, D. E. L., Glifosato, D. E. L., La, E. N., & Del, C. (2023). *EVALUACIÓN DEL DESTINO DEL GLIFOSATO EN LA CUENCA DEL RÍO CANALETE, DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA*.

Floculadores. (2024).

Fluegge, K., & Fluegge, K. (2016). *Glyphosate Use Predicts Healthcare Utilization for ADHD in the Healthcare Cost and Utilization Project net (HCUPnet): A Two-Way Fixed-Effects Analysis*. *25*(4), 1489–1503. https://doi.org/10.15244/pjoes/61742

Galluzzo, V. B. (2023). *Evaluación de las propiedades embriotóxicas y teratogénicas de los herbicidas a base de glifosato mediante el bioensayo de toxicidad embrio-larval en pez cebra (Danio rerio). Informe de pasantía de la Licenciatura en Biología Humana Tutor : Dr . Daniel*.

General, I. (2023). *Ocaña tradicionalmente encantadora, guía turística y cultura*. https://www.ocanaturistica.com/informacion-general.html

GUTIERREZ, H. A. G. (2022). *Evaluación y Dimensionamiento de Unidades de Sedimentación Convencional para Cinco Diferentes Aguas Superficiales Utilizando el Tamaño de Flocs como Parámetro*.

Harcourt, P., Biology, E., & Harcourt, P. (2021). *Evaluation of Water Quality Index Using Physicochemical Characteristics of Ogbor River in Aba , Abia State , Nigeria*.

Ingrith, I., Díaz, C., Hemell, I., Quintero, F., & Lozano, E. Y. (2017). *RÍOS TEJO Y CHIQUITO : EVALUACIÓN DE LOS ICO ' s DENTRO LA ESTRUCTURA URBANA DE OCAÑA , NORTE DE SANTANDER TEJO AND CHIQUITO RIVERS : EVALUATION ICO INSIDE THE URBAN AREA OF OCAÑA , NORTE DE SANTANTER*. *13*, 213–221.

Inmunoabsorción, T. D. E., Enzimas, L. A., Paravani, E. V, Sasal, M. C., Sione, S. M., Gabioud, E. A., Oszust, J. D., Wilson, M. G., & Demonte, L. (2016). *DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE GLIFOSATO EN AGUA MEDIANTE LA TÉCNICA DE INMUNOABSORCIÓN LIGADA A ENZIMAS (ELISA)*. *32*(4), 399–406. https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.04.03

Jönsson, J., Camm, R., & Hall, T. (2013). Removal and degradation of Glyphosate in water

treatment: A review. *Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA*, *62*(7), 395–408. https://doi.org/10.2166/aqua.2013.080

Koldo Hernández, F. P. (2021). *Contaminación por glifosato en el medio acuático.*

Li, P., & Wu, J. (2019). Drinking Water Quality and Public Health. *Exposure and Health*, *11*(2), 73–79. https://doi.org/10.1007/s12403-019-00299-8

Lima, I. B., Federal, U., & Gerais, D. M. (2021). *Glifosato no Brasil : uso , contaminação aquática , efeitos ambientais e perigos para a saúde humana*. 90–115. https://doi.org/10.5752/p.2318-2962.2021v31nesp1p90

Liu, Z. Y., Xie, M., Ni, F., & Xu, Y. H. (2012). Nanofiltration process of glyphosate simulated wastewater. *Water Science and Technology*, *65*(5), 816–822. https://doi.org/10.2166/wst.2012.808

María Angélica Álvarez Bayona, Romel Jesús Gallardo Amaya, A. M. T. (2022). *Presencia de herbicidas (glifosato) en el agua su- perficial y potable del Río Algodonal Ocaña Norte de Santander*. 1–11.

Meftaul, I., Venkateswarlu, K., Dharmarajan, R., Annamalai, P., Parven, A., & Megharaj, M. (2020). Controversies over human health and ecological impacts of glyphosate: Is it to be banned in modern agriculture? *Environmental Pollution*. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114372

México, G. (2020). *Glifosato: herbicida peligroso para nuestra salud l Greenpeace*. https://www.greenpeace.org/mexico/blog/9205/glifosato-herbicida-agente-cancerigeno/#:~:text=El glifosato es un herbicida,(1) (2).

MINISTERIO DE VIVIENDA, C. Y. T. (2017). *Minvivienda, Resolucion 0330*.

MINSALUD. (2007). *Del agua y saneamiento básico*. 1–3.

Najafpour, G. D. (2007). Membrane materials and modules. *Biochemical Engineering and Biotechnology*, *1*, 459. https://books.google.com.sg/books?id=WxWdBAAAQBAJ&pg=PA459&lpg=PA459&dq=polymeric+membrane+either+dead+end+or+cross+flow&source=bl&ots=WfpQ2nsifT&sig=hXAYFZ-6htFtULnYHaW_It2ew9k&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwjd1ZSGj9_SAhUMr48KHeRlA5QQ6AEIODAF#v=onepage&q=polymeri

Note, G. (2022). *Drinking Water Inspectorate Guidance to water companies Guidance Note : Long term planning for the quality of drinking water supplies*. *September*, 1–52.

ONU. (2023). *Objetivos de desarrollo sostenible*. https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/

POCHTECA. (2023). *¿QUÉ SON LOS HERBICIDAS?* https://colombia.pochteca.net/herbicidas-que-son-y-su-empleo-en-la-produccion-agricola/

Quality, C. W. (2012). *Glyphosate 2012*.

Reynoso, E. C., Peña, R. D., Reyes, D., Chavarin-Pineda, Y., Palchetti, I., & Torres, E. (2020). Determination of glyphosate in water from a rural locality in méxico and its implications for the population based on water consumption and use habits. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *17*(19), 1–16. https://doi.org/10.3390/ijerph17197102

Risks, E. (2022). *Scientific Opinion on " Draft Environmental Quality Standards for Priority Substances under the Water Framework Directive " Erythromycin*. *February*.

Rocío, E., Royman, I., Ramírez, D., Antonio, E., & Ortiz, S. (2015). *EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO MEDIANTE INDICADORES FISICOQUÍMICOS Y MICROBIOLOGICOS EN EL RÍO ALGODONAL*. *09*, 131–141.

Saitúa, H., Giannini, F., & Padilla, A. P. (2012). Drinking water obtaining by nanofiltration from waters contaminated with glyphosate formulations: Process evaluation by means of toxicity tests and studies on operating parameters. *Journal of Hazardous Materials*, *227–228*, 204–210. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.05.035

Schwarz, Z. &. (2023). *TODO LO QUE NECESITAS SABER SOBRE LOS FOSFONATOS EN LA INDUSTRIA QUÍMICA*. https://www.zschimmer-schwarz.es/noticias/todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-los-fosfonatos-en-la-industria-quimica/

Solutions, A., Solutions, A., & Solutions, I. (1990). Standard methods: For the examination of water and waste water. *Analytical Biochemistry*, *186*(1), 183. https://doi.org/10.1016/0003-2697(90)90598-4

Twenergy. (2020). *Tipos de agua.* https://twenergy.com/ecologia-y-reciclaje/tipos-de-agua/

UCC. (2023). *Universidad Cooperativa de Colombia*. https://ucc.edu.co/

Veolia. (2024). *Winflows Membrane System Design Software*. https://www.watertechnologies.com/resources/winflows

Wang, Y., Ren, B., Zhao, Y., English, A., & Cannon, M. (2017). A comparison of alum

sludge with peat for aqueous glyphosate removal for maximizing their value for practical use. *Water Science and Technology*, *2017*(2), 450–456. https://doi.org/10.2166/wst.2018.165

Water, N., & Management, Q. (2022). *Australian Drinking Water Guidelines 6* (Issue September).

Wesseling, C., & Weiss, I. (2017). *Enfermedad renal crónica de etiología desconocida o de orígen no tradicional : ¿ una epidemia global ? 20*(4), 200–202. https://doi.org/10.12961/aprl.2017.20.04.1

Zarza, L. F. (2023). *¿Qué son las aguas superficiales?* https://www.iagua.es/respuestas/que-son-aguas-superficiales