

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

1.1.1. Características generales

“El Censo de Población y Vivienda, realizado el 21 de noviembre de 2 012, empadronó en el departamento de Tarija un total de 483 518 habitantes, es decir, 92 292 habitantes más que en 2 001, representando una tasa media de crecimiento anual del orden de 1,9 por ciento, en dicho período.” (INE, Censo de Población y Vivienda 2012 - TARIJA, 2015)

Tabla 1 Tarija: Distribución de la población por género, según censo y área, Censo 2012

CENSO Y ÁREA	POBLACIÓN			PARTICIPACIÓN PORCENTUAL		
	TOTAL	HOMBRES	MUJERES	TOTAL	HOMBRES	MUJERES
2 012	483 518	241 118	242 400	100	100	100
Urbana	314 510	153 330	161 180	65	63,6	66,5
Rural	169 008	87 788	81 220	35	36,4	33,5

Fuente: Instituto Nacional de Estadística 2015

Según los datos oficiales del censo 2 012, Tarija tiene una población de 483 518 habitantes. El crecimiento poblacional en Tarija es acelerado, según el periodo censal 1 992 - 2 001 cada año la población de Tarija se incrementa con 12 400 habitantes, Actualmente “Según proyecciones a 2 021, el departamento de Tarija tiene aproximadamente 591 800 Habitantes: 50,5 % hombres y 49,5 % mujeres.” (INE, Tarija en cifras, 2021)

El cambio climático tiene un efecto directo en la reducción de la disponibilidad de agua, por lo que es de prioridad su captación y almacenamiento para el desarrollo departamental.

Tarija es un Departamento que cuenta con importantes recursos hídricos. “La disponibilidad neta de agua en el departamento es de 6 914 Hm³, considerando los

escurrimientos superficiales en los sistemas hídricos del departamento. Es importante determinar a partir de la disponibilidad neta, la disponibilidad efectiva y real del agua para consumo humano, riego y agua para la naturaleza, y poder sopesar con el consumo o demanda total de agua, que actualmente se estima en 211,88 Hm³.” (Secretaría de Medio Ambiente y Agua, 2013)

El agua es un recurso natural renovable, cuando se controla cuidadosamente su uso, tratamiento, liberación y circulación. Es patrimonio común de la humanidad, por esto, es nuestro deber hacer un buen uso de esta. Con el incremento de la población mundial y el desarrollo tecnológico, se ha incrementado de manera proporcional el consumo del agua.

La oferta de agua actual ya no es suficiente para cubrir la demanda especialmente durante la época de estiaje, y se agravará más en el futuro si no se realizan mejoras en la producción y distribución del agua. Hay zonas que no reciben servicio continuo de abastecimiento, sufriendo racionamientos durante el estiaje.

1.1.2. Fuentes de abastecimiento de agua potable

Las principales fuentes de abastecimiento de agua potable actualmente para la ciudad de Tarija son:

1.1.2.1. La Victoria

La principal fuente de abastecimiento de agua potable para la ciudad de Tarija es actualmente el río Victoria. Las obras de captaciones directas son dos: una de ellas mediante un vertedero lateral que conduce a un canal gravitacional, y una galería filtrante ubicada aguas abajo de la toma directa. Todas las obras de toma se encuentran sobre el mismo río Victoria y están ubicados aproximadamente a 12 km al oeste de la ciudad.

En la siguiente Tabla se detallan las características principales del sistema de abastecimiento de agua potable, cuya fuente es el río la Victoria.

Tabla 2 Resumen de características - Fuente río la Victoria

COMPONENTE	SISTEMA DE AGUA POTABLE
Fuente	<p><u>Rincón de la Victoria:</u></p> <p>1) Caudales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Caudal medio época de lluvia 326,44 l/s, mínimo 90 l/s, máximo 342,9 l/s (limitado por la capacidad de conducción del canal). • Caudal medio época de estiaje 142,06 l/s. • Caudal medio anual 249,62 l/s. <p>2) Obras de captación: a 12 km, al oeste de la ciudad a una altura de 2 200 msnm.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Presa de derivación: Rincón de la Victoria del año 1 989. • Galería filtrante: 1 600 m, debajo de la presa de derivación del año 1 939. • Toma directa. <p>3) Aducción: desde la presa derivadora del Rincón de la Victoria hasta el desarenador, y luego a la Planta de Tratamiento de Tabladita, con una longitud total de aproximadamente 13 km y mediante un canal de mampostería de piedra con tramos de tubería de hierro fundido.</p>
Tratamiento	<p>Planta Potabilizadora de Tabladita</p> <p>El agua es tratada en la Planta de Tratamiento de Tabladita construida el año 1 990, con los siguientes procesos:</p> <ol style="list-style-type: none"> a) Floculación. b) Sedimentación. c) Filtración. d) Cloración.
Almacenamiento después de Tratamiento	<p>En la misma planta en tanques de almacenamiento para su distribución directa a la red, en un reservorio de 1 800 m³, también en los tanques La Loma.</p>
Distribución	<p>Red de agua domiciliaria Tarija a través de medidores de consumo administrativos por COSAALT.</p>

Fuente: TYP SA (2015)

1.1.2.2. Las Tipas

Una segunda fuente de captación es la denominada Las Tipas, la cual entra en funcionamiento únicamente en época de estiaje y está ubicada en el Angosto de Aranjuez, de donde se dirigen las aguas del río Guadalquivir mediante bombeo y una línea de impulsión al tratamiento existente en Tabladita.

En la siguiente Tabla se detallan las características principales del sistema de abastecimiento de agua potable, cuya fuente es la toma de las Tipas.

Tabla 3 Resumen de características - Fuente las Tipas

COMPONENTE	SISTEMA DE AGUA POTABLE
Fuente	<p><u>Sistema de Bombeo Las Tipas:</u></p> <p>1) Caudales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Caudal medio época de lluvia 1,40 l/s. • Caudal medio época de estiaje 74,76 l/s. • Caudal medio anual 31,97 l/s. <p>2) Obras de captación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Toma directa. <p>3) Impulsión:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tubería de fierro fundido dúctil de 300 mm, de diámetro con una longitud de 1 650 m. <p>4) Datos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Altura de bombeo 98 m. • Bombeo a través de 2 bombas de 100 Hp y con caudales de 40 l/s cada una.
Tratamiento	<p>El agua es tratada en la Planta de Tratamiento de Tabladita construida el año 1 990, con los siguientes procesos:</p> <ul style="list-style-type: none"> e) Floculación. f) Sedimentación. g) Filtración. h) Cloración.
Almacenamiento después de Tratamiento	<p>En la misma planta en tanques de almacenamiento para su distribución directa a la red.</p>

COMPONENTE	SISTEMA DE AGUA POTABLE
Distribución	Red de agua domiciliaria Tarija.

Fuente: TYPESA (2015)

1.1.2.3. Río Erquis

Otra fuente es la captación mediante Galería Filtrante en el Río Erquis. Se trata de una toma sub superficial, en la cual el agua se conduce mediante bombeo a través de una línea de impulsión hasta el tanque de Las Barrancas.

En la siguiente Tabla se detallan las características principales del sistema de abastecimiento de agua potable, cuya fuente es el Río Erquis.

Tabla 4 Resumen de características - Fuente Río Erquis

COMPONENTE	SISTEMA DE AGUA POTABLE
Fuente	<p>Sistema de Bombeo Erquis:</p> <p>1) Caudales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Caudal medio época de lluvia 39,26 l/s. • Caudal medio época de estiaje 44,39 l/s. • Caudal medio anual 41,40 l/s. <p>2) Obras de captación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Galería filtrante. <p>3) Impulsión:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bombeo 2 bombas de 100 Hp cada uno, hacia el tanque Las Barrancas, mediante tubería de acero los primeros 140 m y el resto hasta el tanque Las Barrancas con tubería PVC longitud total de la tubería de impulsión 1,84 km y altura de bombeo de 68 m. • Bombeo hacia los Tanques Tomatas A y Tomatas B, mediante una bomba de 20 HP.
Tratamiento	Cloración.
Almacenamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Tanque Las Barrancas. • Tanque Tomatas A y Tomatas B.
Almacenamiento después de Tratamiento	En la misma planta en tanques de almacenamiento para su distribución directa a la red.

COMPONENTE	SISTEMA DE AGUA POTABLE
Distribución	Sistema de distribución independiente: la red de agua de Tomatitas se abastece del tanque Tomatas A y la red de agua de Tarija del tanque Las Barrancas.

Fuente: TYPSA (2015)

1.1.2.4. San Jacinto

Existe otra fuente superficial denominada Lago San Jacinto, la cual no se encuentra en funcionamiento debido a indicios de presencia de plaguicidas desde el año 2 006. En condiciones operacionales, esta fuente bombea aguas desde la represa de San Jacinto hasta la planta del mismo nombre.

1.1.3. Registros mensuales de caudales en las fuentes de agua potable

Los registros mensuales de caudales de producción en las fuentes: la Victoria, las Tipas y Erquis, durante los últimos 5 años, se presentan en la siguiente Tabla.

Tabla 5 Caudales medios mensuales y producción media anual 2 007 – 2 011 (l/s) Tarija

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO ANUAL
2 007	348	349	349	348	344	302	277	239	221	228	252	344	300
2 008	350	350	350	350	346	292	275	44	218	234	285	342	303
2 009	349	350	347	347	348	333	299	256	244	218	247	340	306
2 010	406	406	431	428	409	415	270	276	249	246	225	269	336
2 011	365	367	378	393	392	306	301	271	263	223	248	370	323
Promedio 2007-2011	364	364	371	373	368	330	284	257	239	230	251	333	314

Fuente: TYPSA (2015)

Con la obra de toma en Erquis, la producción aumentó en promedio de 303 l/s (2 007 - 2 009) a 330 l/s (2 010 – 2 011). La variación en la producción de agua de las fuentes superficiales y sub superficiales está entre 373 l/s en época de lluvia y 230 l/s en época de estiaje.

Los caudales captados (l/s) en los pozos operados por COSAALT durante el periodo 2 007 – 2 011 se presentan en la siguiente Tabla.

Tabla 6 Producción de fuentes subterráneas COSAALT 2 007 – 2 011 (l/s) Tarija

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO ANUAL
2007	128	123	113	106	103	138	167	193	198	200	185	125	148
2008	114	115	103	105	107	117	155	176	196	201	182	128	142
2009	111	118	119	111	107	112	125	158	165	181	180	131	135
2010	104	102	101	101	101	98	200	219	240	242	244	237	166
2011	159	152	149	145	140	139	159	203	237	245	244	162	178
Promedio 2007-2011	123	122	117	114	112	121	161	190	207	214	207	157	154

Fuente: TYPESA (2015)

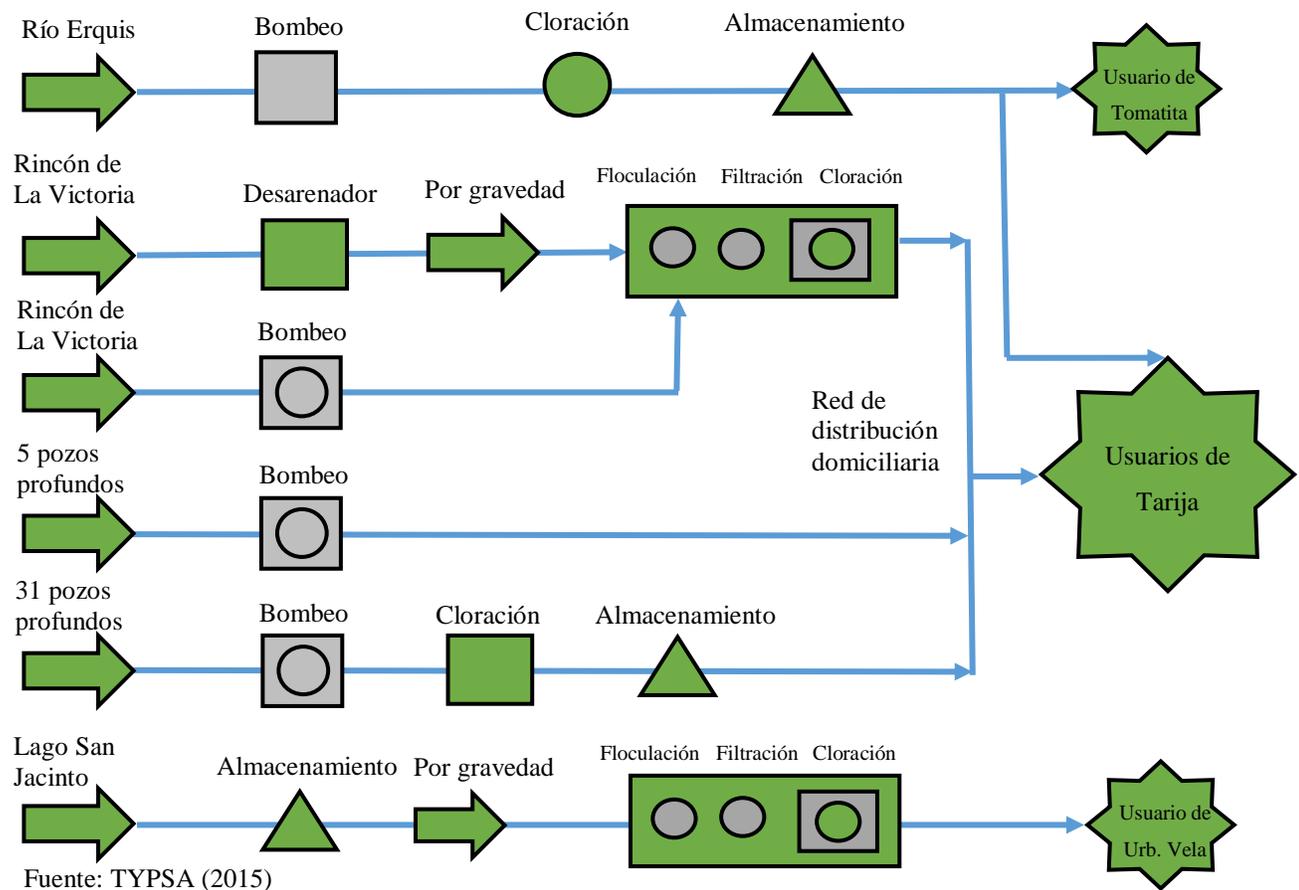
La variación en la producción de agua de las fuentes subterráneas está entre 112 l/s en época de lluvia y 214 l/s en época de estiaje.

1.1.4. Sistema de abastecimiento actual de agua potable en la ciudad de Tarija

El Flujograma siguiente presenta la descripción operativa del sistema de abastecimiento de agua potable actual en la ciudad de Tarija, donde se observan todos los componentes:

- Fuentes
- Aducciones
- Impulsiones
- Plantas de potabilización
- Almacenamiento
- Distribución

Figura 1 Abastecimiento de agua para la ciudad de Tarija



1.1.5. Plantas de potabilización

En el sistema de abastecimiento de agua de Tarija se cuenta con 3 plantas de tratamiento para potabilizar el agua, las cuales son:

- La Tabladita
- San Jacinto
- Urbanización Velas

Tabla 7 Plantas de tratamiento de agua potable – Tarija

NOMBRE DE LA PLANTA	UNIDAD	CAPACIDAD INSTALADA	2010	2011	2012	2013
La Tabladita	l/ s	160	256,6	256,6	256,6	256,6
San Jacinto (paralizada desde año 2 006)	l/ s	160	0,0	0,0	0,0	0,0
Urb. Velas	l/ s	1	1,0	1,0	1,0	1,0
Total, capacidad de tratamiento	l/ s	321	257,6	257,6	257,6	257,6

Fuente: TYPSA (2015)

1.1.5.1. Planta de tratamiento “La Tabladita”

Está ubicada en la zona de La Tabladita, construida en los años 1 989 – 1 990, es de tipo convencional, con una capacidad nominal de 160 l/s. El proceso de tratamiento se inicia en el desarenador que está localizado 1 095 m antes de llegar a la planta de tratamiento. Este desarenador es un depósito rectangular de $L = 14$ m, $A = 5,0$ m y $H = 3,0$ m; construido con mampostería de piedra y revoque de cemento. A la entrada tiene un dissipador de energía que permite redireccionar el flujo y disminuir su velocidad. La diferencia de nivel desde el desarenador hasta la planta es de 97 m. A la fecha está en buenas condiciones de funcionamiento en sus estructuras principales, siendo la gran limitación la poca capacidad de tratamiento ya que en periodos de diciembre a mayo ingresa agua en mayor cantidad por existir en la fuente. (TYPSA, 2015)

Las unidades de la planta son:

- a) **Unidad de mezcla de compuestos químicos:** En esta unidad se realiza el preparado de los químicos para facilitar la eliminación de los sólidos en suspensión que contiene el agua. Los compuestos químicos utilizados son sulfato de aluminio y cal, de acuerdo a la turbiedad se dosifican los mismos y se preparan en esta unidad y es adicionado al agua en el canal para la mezcla rápida.

- b) **Unidad de mezcla rápida:** En esta unidad se adiciona los compuestos químicos y se produce la mezcla rápida para homogeneizar el mezclado del mismo con el agua cruda.
- c) **Unidad de floculación:** Existen 6 unidades de 12,3 metros de largo; 3,50 metros de ancho y 1,50 metros de profundidad para tratar los 160 l/s nominales. Desde la unidad de mezcla rápida el agua es conducida por canal a la unidad de floculación, donde se dispone en su interior pantallas de madera en cantidad total de 102 pantallas espaciados entre 0,50 hasta 0,70 metros. El objetivo de esta unidad es permitir que el agua de mezcla forme flóculos para precipitar en el sedimentador. (TYPESA, 2015)
- d) **Unidad de sedimentación:** A la salida de la unidad de floculación el agua es conducida por un canal que distribuye el agua floculada a esta unidad que contiene placas de PVC inclinadas para precipitar los flóculos. El ingreso es ascendente, es decir de abajo arriba, donde varias tuberías perforadas conducen el agua clarificada en esta unidad y se transporta a la unidad de filtración.
- e) **Unidad de filtración:** La unidad de filtración es descendente y el agua sedimentada atraviesa una capa de antracita en un espesor de 50 centímetros, luego una capa de arena de 25 centímetros de espesor, seguido de una capa de grava de 25 centímetros y finalmente el agua es captada con un fondo tipo Wheler y después el agua filtrada pasa a la unidad de cloración o desinfección.
- f) **Unidad de desinfección:** El agua filtrada es conducida a una cámara de desinfección mediante cloro líquido hipoclorito de sodio al 8,5%.
- g) **Unidad de almacenamiento de agua tratada:** Luego de salir de las unidades de filtración y agregarle la solución de hipoclorito en línea, el agua tratada es conducida mediante tubería de FFD en diámetro de 400 mm, a dos tanques de almacenamiento de 900 m³ cada uno localizados en el mismo predio de la planta La Tabladita.

A partir de aquí, el agua es conducida a los tanques de regulación en la loma de San Juan en tubería de 400 mm, y a una distancia de 1 840 m. de la planta, así como también a la red de distribución.

1.1.5.2. Planta de tratamiento “San Jacinto”

El Proyecto Múltiple San Jacinto cuenta con una Planta de Tratamiento de Agua Potable PTAP, la capacidad nominal de dicha planta es de 160 l/s y las unidades son similares a la de La Tabladita.

La Planta dio agua potable desde 1996 al 2004, primero desde el mes de septiembre hasta los primeros días de diciembre. Después empezaron a dar agua potable desde julio hasta diciembre toda época de estiaje.

El agua se lleva a la planta desde el lago San Jacinto, tiene 3 sistemas de bombeos conectados en serie. Comienza con el bombeo cerca de la represa de San Jacinto hasta la estación de la Tablada 1 (cerca del colegio Lassalle), luego se bombea a Tablada 2 y posteriormente se bombea hacia la PTAP “San Jacinto”

Las condiciones actuales son de abandono, pero la infraestructura de hormigón se considera en buen estado. Pero en el año 2006, después de diez años de funcionamiento, suspendió su operación debido a problemas con la calidad del agua proveniente desde el embalse San Jacinto, análisis de la Universidad Autónoma Nacional de México UNAM evidenció que existía presencia de contaminantes como metales pesados (plomo Pb) y agroquímicos (plaguicidas).

1.1.5.3. Planta de tratamiento “Urbanización Velas”

Esta planta potabilizadora opera con aguas de pozos subterráneos con caudal mínimo de 1 l/s. La planta de tratamiento Velas, se localiza en las inmediaciones de la Urbanización Velas. Consta de los procesos de filtrado horizontal en medio grueso y filtro lento de arena, complementado con cloración.

El agua llega por tubería y entra a través de una rampa, donde se le dosifica sulfato de aluminio, que es mezclado por la turbulencia que se forma por la caída del agua e inmediatamente pasa por la filtración gruesa y seguidamente por los filtros lentos de arena.

El agua es desinfectada con hipoclorito de sodio antes de ser bombeada hasta un tanque elevado localizado en la parte norte de la misma Urbanización.

El área total que ocupa la planta está limitada a 388,79 m² y está localizada entre el Manzano B y C de la Urbanización Velas.

El filtro grueso está dividido en 3 recamaras de 3,73 m. de ancho por 2,90 m. de largo que contienen material granular de diferentes tamaños de mayor a menor; la primera sección contiene grava gruesa, la segunda grava mediana y la tercera grava pequeña. Al final del filtro de grava pequeña el agua pasa al canal que distribuye hacia los dos filtros lentos de arena fina, siendo recolectada luego para agregarle cloro y descargar en la cámara de bombeo caja de agua potable, desde donde es enviada al tanque elevado para su distribución por gravedad.

1.1.6. Informe técnico de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

La interpretación del “Diagnóstico de la calidad del agua, sedimentos, jacintos y peces del lago San Jacinto”, estudio encargado al “Laboratorio de Proyectos Ambientales de la Universidad Nacional Autónoma de México”, denominado “Informe de la UNAM”, ha brindado criterios preliminares para identificar las fuentes de contaminación y correlación entre los diferentes grupos de constituyentes de calidad del agua. El muestreo de agua fue realizado en diferentes sitios de la represa, ríos Tolomosa, Tolomosita y Mena, así como en la entrada y salida de la planta de potabilización de San Jacinto. La campaña de muestreo fue desarrollada en los meses de enero y febrero del 2006, durante el periodo lluvioso.

Trazas de plaguicidas endrin, heptacloro lindano, y metoxicloro, contaminantes nutricionales nitratos, fosfatos y carga orgánica en la represa, parecen tener un origen común y obvio, fuentes difusas relacionadas con las actividades agrícolas y el arrastre de materia orgánica hacia la represa por las escorrentías. (Medina H., Smolders Alfons, Lebrato Martinez, Coronel S., & Orozco)

La presencia de trazas de plaguicidas clorados en la mayoría de los puntos de muestreo, no significa necesariamente contaminación por plaguicidas en la represa ni sus tributarios, pues estos no sobrepasan las normativas nacionales e internacionales para agua potable, a excepción del heptacloro que solo para las muestras tomadas a la

entrada y salida de la Planta potabilizadora de San Jacinto, los niveles superan levemente los valores guías, pero no los máximos permisibles. (Medina H., Smolders Alfons, Lebrato Martinez, Coronel S., & Orozco)

Metales pesados como el plomo, están asociados a las partículas sedimentables y en suspensión, en estado insoluble y posiblemente en forma de minerales piritosos originados en las cabeceras de la cuenca, relacionados con afloraciones minerales (por ejemplo, Cerro Bella Vista entre la comunidad de Bella Vista y Tolomosa).

Por sus características preliminares el informe de la UNAM, es considerado como una referencia para iniciar estudios y diagnósticos más profundos y precisos a corto plazo, que conlleven a tomar decisiones definitivas sobre el uso del agua de estas fuentes y el diseño de acciones de emergencia y mitigación.

Este trabajo saca a la luz que la planta de San Jacinto no está en operación debido a la presencia de plaguicidas en el agua de la represa.

Se entiende por contaminación del agua, cuando un constituyente sobrepasa un cierto valor, establecido como guía o límite máximo de acuerdo al uso de esta. Para determinar el tipo y grado de contaminación, se ha procedido a comparar las concentraciones de cada parámetro de calidad reportados por la UNAM, con los límites máximos y/o valores guía de los diferentes reglamentos nacionales para agua potable y cuerpos de agua según su objeto de uso.

En función al informe de la UNAM – 2 006 Universidad Nacional Autónoma de México, los resultados de análisis simples que se obtuvieron fueron:

Tabla 8 Resultados de análisis - UNAM 2 006

VARIABLE	UNIDADES	MÍNIMO	MÁXIMO	MEDIA	DESVIACIÓN TÍPICA
Color	UC	300	500	319,231	56,045
Turbiedad	UNT	50	120	71,154	17,339
Temperatura	°C	18,600	28,600	23,362	2,372
Conductividad	μ mhos/cm	470	620	541,154	37,372
pH		6,810	8,360	7,763	0,450
Solidos Sedimentables	ml/l	0,100	1,060	0,452	0,293
Solidos Tol. Disueltos	mg/l	22,108	102,198	74,124	22,349
Aceites y Grasas	mg/l	0,200	0,700	0,435	0,167
DBO5	mg/l	4,980	269,170	170,901	84,935
DQO	mg/l	17,630	329,260	189,055	89,559
NMPCF	NMP/ml	0,000	110,000	47,308	36,550
Parásitos	N/l	0,000	5,000	2,308	1,601
Oxígeno Disuelto	mg/l	60,000	80,000	66,923	6,006
Fenol	μg/l	0,000	2,780	0,415	0,817
SAAM	mg/l	0,000	1,750	0,418	0,562
Amoniac	mg/l	0,168	0,669	0,483	0,171
Antimonio	mg/l	0,000	0,002	0,001	0,001
Bario	mg/l	0,000	0,322	0,124	0,117
Boro	mg/l	0,125	0,500	0,298	0,109
Calcio	mg/l	6,585	108,620	22,001	26,648
Cloruros	mg/l	152,900	198,100	180,138	12,471
Cobre	mg/l	0,000	0,074	0,051	0,032
Cromo +3	mg/l	0,000	0,327	0,151	0,170
Cobalto	mg/l	0,000	0,097	0,037	0,049
Fluoruros	mg/l	0,012	0,981	0,155	0,250
Fosfatos	mg/l	0,019	0,730	0,450	0,176
Hierro Soluble	mg/l	0,000	0,298	0,193	0,096

Litio	mg/l	0,000	0,026	0,004	0,007
Magnesio	mg/l	1,051	3,999	1,679	0,775
Manganeso	mg/l	0,055	0,277	0,158	0,060
Níquel	mg/l	0,000	0,142	0,033	0,062
Nitratos	mg/l	0,170	0,841	0,406	0,207
Nitritos	mg/l	0,098	0,390	0,252	0,092
Nitrógeno Total	mg/l	5,100	7,800	6,677	0,907
Plomo	mg/l	0,000	0,142	0,044	0,068
Sodio	mg/l	87,184	190,651	115,699	27,812
Sulfatos	mg/l	86,000	243,000	193,538	43,542
Sulfuros	mg/l	0,062	0,128	0,098	0,023
Zinc	mg/l	0,021	0,153	0,082	0,050
Endrin	µg/l	0,000	0,023	0,003	0,007
Heptacloro	µg/l	0,000	0,196	0,022	0,054
Lindano	µg/l	0,000	0,025	0,003	0,007
Metoxicloro	µg/l	0,000	0,308	0,061	0,104

Fuente: Medina H., Smolders Alfons, Lebrato Martinez, Coronel S., & Orozco

Solo el Heptacloro sobrepasa los valores guías establecidos por la NB 512 – OMS en las muestras tomadas a la entrada y salida de la Planta de San Jacinto. El mismo plaguicida sobrepasa el límite máximo admisible del RMCH – Ley 1 333, pero solo en la entrada de la Planta de San Jacinto. En ningún caso sobrepasa el límite máximo admisible para agua potable establecido por la EPA a la que se adhiere la NB 512.

Por tanto, para mejorar la calidad de agua a la entrada de la Planta de Tratamiento de Agua Potable “San Jacinto” se pretende proponer alternativas en un módulo para la remoción de los plaguicidas, haciendo uso como fuente bibliográfica el Trabajo de Tesis Doctoral titulado **“Remoción de pesticidas presentes en agua mediante procesos de adsorción sobre carbón activado y silica funcionalizada”**; autor: Lic. Agustín Spaltro – Año 2 017, haciendo uso de técnicas como la “Estandarización por Espectrofotometría luz Ultravioleta - Visible”, usando como solvente el cloruro de sodio (NaCl). También se tiene el Trabajo de Grado (Tesis) titulado **“Estandarización**

de la técnica de análisis del plaguicida clorpirifos en matriz acuosa por espectrofotometría de luz ultravioleta”; autor: Kelly Tatiana Angarita Cardona – Año 2 014, que usó como solvente el isopropanol (C_3H_8O).

1.2. Objetivos del trabajo de investigación

1.2.1. Objetivo General

Diseñar un módulo adicional para la Planta de Tratamiento de Agua Potable “San Jacinto”, para reducir el contenido de plaguicidas en cumplimiento a lo establecido en la Normativa Boliviana NB 512 - Calidad de Agua Potable.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Realizar diagnóstico del sistema actual que tiene la PTAP “San Jacinto”.
- Realizar el diagnóstico de la situación actual de calidad de aguas de ingreso a la PTAP “San Jacinto”.
- Identificar los plaguicidas presentes a la entrada de la PTAP “San Jacinto”.
- Incorporar un módulo para la remoción de plaguicidas identificados y que exceden lo establecido en la Normativa Boliviana NB 512.

1.3. Justificaciones del trabajo de investigación

1.3.1. Justificación Económica

La necesidad de una buena relación de costo - beneficio es fundamental en este trabajo de investigación, por lo cual se buscará nueva técnica de remoción de plaguicidas usando como adsorbente el carbón activado para remover su concentración en aguas superficiales que cumpla con la normativa boliviana de Medio Ambiente y resulte tanto eficaz, como rentable.

Las zonas urbana y rural de Tarija están creciendo rápidamente y con ella la demanda de agua, la oferta de agua actual ya no es suficiente para cubrir la demanda especialmente durante la época de estiaje, y se agravará más en el futuro si no se

realizan mejoras en la captación y distribución del agua. Hay zonas que no reciben servicio continuo de abastecimiento, sufriendo racionamientos durante el estiaje.

Las tarifas del servicio de agua potable y saneamiento del departamento es un aspecto a ser analizado ya que existe una fuerte resistencia de la población a cualquier incremento en la tarifa de los servicios básicos. En ese contexto se debe analizar la posibilidad de rehabilitar la PTAP “San Jacinto” para poder cubrir la demanda actual de agua.

1.3.2. Justificación Tecnológica

Esta planta no contempla tratamiento de aguas que tengan presencia de agroquímicos y como se tienen estudio de la UNAM y otros laboratorios que encontraron presencia de agroquímicos en la entrada y salida de la PTAP “San Jacinto” notando que los resultados de sus análisis se encuentran fuera de la NB - 512, se pretende verificar si siguen llegando en esos niveles para readecuarla y si es posible adicionar un módulo para la remoción de agroquímicos presentes a la entrada de PTAP “San Jacinto”

1.3.3. Justificación Ambiental

Si Tarija no prioriza e invierte en agua, su futuro estará comprometido. El agua es una de las grandes preocupaciones del ser humano, porque se trata de un elemento de relevancia, urgencia social y ambiental. Es imprescindible para la existencia de los seres humanos, los animales, las plantas y los microorganismos del planeta. Todos dependemos del agua y la falta de disponibilidad de la misma es una de las causas de la pobreza para toda la población actual y futura.

1.3.4. Justificación Social

Se busca asegurar la disponibilidad de agua para la población tarijeña con relación a su calidad, cantidad y acceso suficientes para cubrir las necesidades humanas de subsistencia, aseo y desarrollo con calidad para el vivir bien, sentido del derecho humano al agua, como derecho de todas las personas a disponer de agua limpia, potable, suficiente, salubre, segura, aceptable, accesible para el uso personal y

doméstico, en cantidad, calidad, continuidad y cobertura. Agua que deberá cumplir los requisitos de la NB - 512 Calidad de agua potable.

1.3.5. Justificación Personal

En consideraciones anteriores nace el interés de este Proyecto de Grado titulado Módulo para la remoción de plaguicidas en la Planta de Tratamiento de Agua Potable “San Jacinto” ya que actualmente en la ciudad de Tarija se tiene instalada La Planta de Tratamiento de Agua Potable “San Jacinto” que está conectada a la red de distribución del Casco Viejo de la Ciudad de Tarija, la cual no está operando para la capacidad que fue diseñada.

Es alarmante la situación ya que se cuenta con una planta que se está deteriorando, una inversión importante convirtiéndose en un recurso accesible para ayudar a cubrir la demanda actual de agua, lograr el aprovechamiento y beneficio de los recursos naturales disponibles.

Hoy en día no nos podemos dar el lujo de malgastar un recurso de vida tan importante como lo es el agua, se debe encontrar las medidas y procesos más eficientes que utilicen estrictamente el agua necesaria para su objetivo.

CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO

1.1. Problemática de los plaguicidas

Desde mediados del siglo XX se ha generado una creciente preocupación por el cuidado del medio ambiente, lo que ha llevado, por un lado, al establecimiento de normas en referencia a los contaminantes específicos y por el otro, a la generación de una mayor conciencia en los actos cotidianos.

Durante décadas, toneladas de sustancias biológicamente activas, sintetizadas para su uso en la agricultura, industria, medicina, etc. han sido vertidas al medio ambiente de manera inadecuada generando una serie de problemas altamente perjudiciales hacia todo el entorno. Junto al tema de la contaminación de las aguas subterráneas y superficiales, se suma la creciente escasez de este recurso no renovable debido al cambio climático y la creciente desertización que está sufriendo el planeta a causa de la deforestación desmedida.

El Artículo 2 del Código Internacional de Conducta para la Distribución y Utilización de Plaguicidas define como plaguicida a *“cualquier sustancia o mezcla de sustancias destinadas a prevenir, destruir o controlar cualquier plaga que cause perjuicio o que interfiera de cualquier otra forma en la producción, elaboración, almacenamiento, transporte o comercialización de alimentos, productos agrícolas, madera y productos de madera o alimentos para animales”*. También se los denomina agrotóxicos, agroquímicos, fitosanitarios o pesticidas.

Los herbicidas, insecticidas, acaricidas, fungicidas, son venenos destinados a matar seres vivos, aplicados mediante diversos métodos en actividades de tipo forestal, granjas, hábitats acuáticos, carreteras, zonas urbanas, jardines, entre otros. Son, en definitiva, productos insalubres con distinto grado de toxicidad, y con impacto sobre la salud humana provocando trastornos endócrinos e inmunológicos, neumopatías crónicas, abortos espontáneos en mujeres sanas, malformaciones congénitas, cáncer y otros.

La presencia de plaguicidas en aguas subterráneas es una consecuencia de su utilización como productos fitosanitarios en la agricultura. Aunque los datos sobre contenidos de plaguicidas en aguas son todavía escasos, quizás debido a la gran dificultad para la identificación y cuantificación de estos compuestos y de sus productos de degradación, existen evidencias que indican que la cantidad de plaguicidas en el medioambiente está aumentando en los últimos años.

La agresión química afecta a todas las personas, directa o indirectamente, debido a los residuos de plaguicidas en los alimentos, en el agua potable y a la exposición directa por aplicación, provocando daños en la salud a corto plazo, tanto agudos como crónicos, así como enfermedades que se generan luego de años de exposición con los plaguicidas. Los trabajadores del campo son los más expuestos y los que más posibilidades tienen de sufrir estas enfermedades. (Agustín, 2017)

El control de plaguicidas ha cobrado mayor relevancia para la sociedad debido al mayor conocimiento de los potenciales peligros asociados a su uso. En este sentido, la legislación ambiental mundial establece límites máximos permitidos de residuos de plaguicidas en aguas y alimentos cada vez más estrictos. (Agustín, 2017)

Según la Organización de las Naciones Unidas de la Alimentación y la Agricultura (FAO), el uso de plaguicidas en Bolivia se duplicó entre 2 005 y 2 018, pasando de 7 146 toneladas a 14 758 toneladas respectivamente. El mayor uso de plaguicidas está estrechamente vinculado con la introducción de la soya durante los 90 y más específicamente con la legalización de la soya genéticamente modificada resistente a glifosato evento en el 2 005.

De acuerdo con el Instituto Boliviano de Comercio Exterior (IBCE), las importaciones de plaguicidas se incrementaron en 491% desde el 2 007 al 2 016, pasando de 6 594 toneladas en el 2 007 a 39 000 toneladas el 2 016, por un valor acumulado de 1 652 millones de dólares americanos.

Solo el año 2 019, Bolivia importó un total de 52 489 toneladas de plaguicidas por un valor FOB total de 247 millones de dólares americanos. Hasta finales de 2 020, el

Servicio Nacional de Sanidad Agropecuaria e Inocuidad Alimentaria SENASAG tenía registrados 2 120 productos de insumos agrícolas en todo el país, de los cuales 1 863 eran plaguicidas químicos de uso agrícola.

Estos plaguicidas químicos se centran principalmente en tres categorías: herbicidas 35,5%, insecticidas 33,3% y fungicidas 27,8%. Siendo que la mayoría de ellos, el 46,2% están destinados al cultivo de soya, luego al barbecho 10,9%, al cultivo de arroz 10,6%, maíz 7%, papa 3,4%, caña de azúcar 2,4% y trigo 2,3%.

Bolivia depende enteramente de los plaguicidas importados de otros países, ya sea de forma legal o ilegal. La amplia mayoría de los plaguicidas químicos de uso agrícola que contaban con un registro sanitario vigente hasta finales de 2 020 provenían de China: 49,8 % del total; en menor medida de países vecinos y foráneos como: Uruguay 9,6%, Paraguay 6,7%, India 6,3%, Brasil 4,5%, Argentina 4,7%, Ecuador 2,7% y Perú 2,1 % (Villalobos M., Los agroquímicos más usados en Bolivia, 2021).

1.1.1. Efecto de los residuos de plaguicidas sobre el Medio Ambiente

Los plaguicidas por su composición química son persistentes en el medio ambiente. El manejo agronómico, que considera la aplicación, la formulación de los productos y el manejo del riego, inciden en la biodisponibilidad de los residuos.

Una vez que ingresa al suelo, el plaguicida se reparte en las fases sólida, líquida y gaseosa.

- En la fase líquida está disponible para ser transformado a otros compuestos o para ser transportado por el agua hacia zonas más profundas y finalmente llegar al agua subterránea.
- En la fase sólida es retenido con diferente fuerza en lugares de enlace de materia orgánica e inorgánicos del suelo. En esta situación, los plaguicidas pueden migrar transportados por el agua, (erosión hídrica) o transportados por el aire (erosión eólica).

- En la fase gaseosa, es incorporado a la atmósfera cuando se volatiliza desde el suelo o desde el agua que se encuentra en el suelo.

A mayor uso de plaguicidas, las probabilidades de contaminar el agua superficial o subterránea aumentan, volviéndose en factores de riesgo para la salud humana y el medio ambiente debido a los compuestos químicos tóxicos que poseen; las consecuencias son irreversible.

Al contaminar el agua no solo se contamina el ambiente y la diversidad sino también al ser humano en sí.

1.1.2. Clasificación de los plaguicidas

Los plaguicidas pueden ser clasificados según sus características, tales como toxicidad aguda, vida media, estructura química y uso.

En relación a su utilidad, los plaguicidas se clasifican como:

- Insecticidas (insectos)
- Fungicidas (hongos)
- Herbicidas (plantas nocivas)
- Acaricidas (ácaros)
- Nematicidas (gusanos y parásitos)
- Rodenticidas (roedores)
- Bactericidas (bacterias), etc.

Existe una amplia gama de sustancias químicas capaces de eliminar a un gran espectro de los seres vivos del ecosistema.

Desde el punto de vista de su toxicidad aguda en animales, la Organización Mundial de la Salud (OMS), los clasifica en cinco categorías:

- Ia (extremadamente peligroso).

- Ib (altamente peligroso).
- II (moderadamente peligroso).
- III (poco peligroso).
- IV (no ofrecen peligro bajo uso normal y adecuado).

Se denomina **DL₅₀** (Dosis Letal 50%) a la dosis de una sustancia que resulta mortal para la mitad de un conjunto de animales de prueba. Los valores de la DL₅₀ son usados como un indicador general de la toxicidad aguda de una sustancia. Se expresa en mg de sustancia tóxica por kg de peso del animal. Algunas de las características de los pesticidas de acuerdo a esta clasificación toxicológica, se muestran en la siguiente tabla.

Tabla I-1 Clasificación de plaguicidas según la OMS

CLASIFICACIÓN SEGÚN LA OMS	FORMULACIÓN LÍQUIDA DL50 AGUDA		FORMULACIÓN SÓLIDA DL50 AGUDA		EJEMPLOS
	Oral	Dérmica	Oral	Dérmica	
Ia (extremadamente peligroso)	< 20	< 40	< 5	< 10	Bromuro de metilo
Ib (altamente peligroso)	20 a 200	40 a 400	5 a 50	10 a 100	Clorpirifós
II (moderadamente peligroso)	200 a 2000	400 a 4000	50 a 5000	100 a 1000	DDT
III (poco peligroso)	2000 a 3000	> 4000	500 a 2000	> 1000	Malation
IV (no ofrecen peligro)	> 3000	-	> 2000	-	-

Fuente: Agustín (2017)

Desde el punto de vista de su vida media, se clasifican en:

- ✓ **Permanentes.**
- ✓ **Persistentes.**
- ✓ **Moderadamente persistentes.**
- ✓ **No persistentes.**

Alguna de las características de los plaguicidas de acuerdo a esta clasificación, se muestran en la siguiente tabla.

Tabla I-2 Clasificación de plaguicidas según la vida media

PERSISTENCIA	VIDA MEDIA	EJEMPLOS
No persistente	De días hasta 12 semanas	Malatión, Diazinón
Moderadamente persistente	De 1 a 18 meses	Paratión
Persistente	Varios meses hasta 20 años	DDT, Aldrín
Permanentes	Indefinida	Productos mercúricos

Fuente: Agustín (2017)

De acuerdo a su estructura química, se pueden clasificar en organofosforados, organoclorados, carbamatos, etc. y compuestos inorgánicos. En la tabla siguiente se muestra esta clasificación.

Tabla I-3 Clasificación de plaguicidas según su estructura química

FAMILIA QUÍMICA	EJEMPLOS
Organoclorados	DDT, Endrín, Aldrín
Organofosforados	Triclorfón, Dimetón, Paratión, Clorpirifos
Carbamatos	Carbofurán, Metomil, Aldicarb
Piretroides	Cipermetrina, Aletrina, Resmetrina
Bipiridilos	Paraquat, Diquat
Triazinas	Atrazina, Ametrina
Ureas	Diuron, Isoproturon
Compuestos inorgánicos	Cloruro de mercurio, Selenio, Fósforo

Fuente: Agustín (2017)

Se emplean particularmente los compuestos organofosforados y organoclorados.

Los 1 863 plaguicidas que cuentan con registro sanitario vigente del SENASAG hasta fines de 2 020 se componen de uno o varios “Ingredientes Activos” (IA). Una revisión detallada de la base de datos del SENASAG señala la presencia de unos 200 IA.

De todos estos, el más recurrente es el Glifosato, que cuenta con 121 diferentes productos registrados. En segundo lugar, se encuentra el Azoxystrobin, con 77 registros; seguido por el Thiamethoxam, Imidacloprid y Paraquat, con 71, 65 y 54

productos registrados respectivamente. Estos cinco IA están destinados principalmente al cultivo de la soya y el barbecho, así como al maíz, sorgo y trigo, entre otros cultivos; este hecho que ilustra en gran medida la alta dependencia de insumos tecnológicos que tiene la actual agroindustria exportadora del país, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla I-4 Principales ingredientes activos (IA) en plaguicidas registrados por el SENASAG, 2020

N°	NOMBRE IA PRINCIPAL	N° PRODUCTOS REGISTRADOS	%	PATÓGENO QUE ACTÚA	PRINCIPAL CULTIVO A SER APLICADO	RANGO CLASIFICACIÓN TOXICIDAD	N° PAÍSES QUE PROHÍBEN SU USO
1	Glyphosate	121	6,5%	Herbicida	Barbecho, soya	II, III y IV	3
2	Azoxystrobin	77	4,1%	Fungicida	Soya, otras oleaginosas, arroz	II, III y IV	-
3	Thiamethoxam	71	3,8%	Insecticida	Soya, maíz, sorgo	II, III y IV	28
4	Imidacloprid	65	3,5%	Insecticida	Soya, maíz, trigo	II, III y IV	28
5	Paraquat	54	2,9%	Herbicida	Barbecho, soya	Ib, II y III	48
6	Emamectin Benzoate	54	2,9%	Insecticida	Soya, maíz, arroz	II, III y IV	-
7	Mancozeb	50	2,7%	Fungicida	Tomate, papa, soya, trigo	III y IV	29
8	Abamectin	45	2,4%	Insecticida/Acaricida	Soya	Ib y II	-
9	Atrazine	44	2,4%	Herbicida	Maíz, caña de azúcar	II, III y IV	41
10	2, 4 - D	42	2,3%	Herbicida	Barbecho, pasturas, soya, arroz, caña de azúcar, trigo	II y III	3
11	Tebuconazole	42	2,3%	Fungicida	Soya, trigo, arroz	II, III y IV	1
12	Lambda-cyhalothrin	40	2,2%	Insecticida	Soya, maíz, trigo	Ib, II, III y IV	28
13	Carbendazim	35	1,9%	Fungicida	Soya	II, III y IV	32
14	Fipronil	35	1,9%	Fungicida	Soya, frijol, maíz	II y III	37
15	Chlorpyrifos	33	1,9%	Insecticida	Soya, maíz, tomate	Ib y II	35
16	Clethodim	31	1,7%	Herbicida	Soya, girasol, barbecho	II, III y IV	-
17	Lufenuron	26	1,4%	Insecticida	Soya, maíz, trigo	II, III y IV	28
18	Chlorantraniliprole	25	1,4%	Insecticida	Soya, maíz	II, III y IV	-
19	Cyproconazole	22	1,2%	Fungicida	Soya, maíz, arroz	II, III y IV	-
20	Bifenthrin	20	1,1%	Insecticida	Soya, maíz	Ib y II	29

Fuente: Villalobos M. (2021)

1.2. Leyes, normativas y marco legal

1.2.1. Constitución Política del Estado (CPE)

Bolivia cuenta con un amplio abanico legal que regula e incluso prohíbe el uso de agroquímicos dentro del territorio nacional, de modo que la gran cantidad de pesticidas altamente tóxicos que se registran en el país se contradice con esta normativa. El amplio bagaje legal inicia desde la misma Constitución Política del Estado (CPE), la cual expresamente prohíbe la *“importación, producción y comercialización de organismos genéticamente modificados y elementos tóxicos que dañen la salud y el medio ambiente”* (Art. 255). La prohibición expresa que señala la CPE se articula y complementa con una serie de Leyes nacionales, destacándose: Ley 71 de Derechos de la Madre Tierra, Ley 144 de Revolución Productiva Comunitaria Agropecuaria, Ley 300 Marco de la Madre Tierra y Desarrollo Integral para Vivir Bien y la Ley 401 de Celebración de Tratados (Villalobos M., 2021)

1.2.2. Ley 71 de los Derechos de la Madre Tierra

La Ley N° 71 de los Derechos de la Madre Tierra, además de conferir una personería jurídica a la Madre Tierra (Art. 2), proclama como uno de sus derechos *“(...) la diversidad de la vida (...) sin ser alterados genéticamente ni modificados en su estructura de manera artificial”* y *“A vivir libre de contaminación (...) así como de residuos tóxicos y radiactivos (...)”* (Art. 7. I, 7). Asimismo, la Ley N° 71 dispone como una de las obligaciones del Estado el desarrollar políticas públicas y acciones para *“(...) evitar que las actividades humanas conduzcan a la extinción de poblaciones de seres, la alteración de los ciclos y procesos que garantizan la vida o la destrucción de sistemas de vida (...)”*, así como el *“Desarrollar formas de producción y patrones de consumo equilibrados (...), salvaguardando las capacidades regenerativas y la integridad de los ciclos, procesos y equilibrios vitales de la Madre Tierra.”* (Art. 8. 1 y 2).

La Ley Marco de la Madre Tierra, establece como una de las bases y orientaciones del Vivir Bien a través del desarrollo integral en agricultura y ganadería el *“Desarrollar*

acciones que promuevan la eliminación gradual de cultivos de organismos genéticamente modificados autorizados en el país (...); así como *“Regular el uso de plaguicidas y otros insumos agropecuarios que causan daño y a la salud humana, según norma específica”* (Art. 24, 8 y 13).

1.2.1. Ley 1 333 del Medio Ambiente

Una de las leyes más relevantes en este aspecto es la Ley 1 333 del Medio Ambiente, promulgada el 27 de abril de 1 992 y publicada en la Gaceta Oficial de Bolivia el 15 de junio de 1 992.

Esta Ley destaca que es de necesidad, utilidad pública e interés social el *“control de la calidad ambiental”*, cuyo objeto es *“Preservar, conservar, mejorar y restaurar el medio ambiente y los recursos naturales a fin de elevar la calidad de vida de la población”* (Art 18 y 19, No. 1). Además, el Artículo 20 establece como factores de degradación ambiental las actividades que *“contaminan el aire, las aguas en todos sus estados, el suelo y el subsuelo”*; siendo el Estado el encargado de normar y controlar el vertido de *“sustancia o residuo líquido, sólido y gaseoso que cause o pueda causar la contaminación de las aguas o la degradación de su entorno”* (Art. 39), así como la *“conservación y manejo adecuado de los suelos”* (Art. 45).

En el tema específico de agroquímicos, la Ley 1 333 en su Artículo 30 dictamina que el Estado es el que *“regulará y controlará la producción, introducción y comercialización de (...) agrotóxicos y otras sustancias peligrosas y/o nocivas para la salud y/o del medio ambiente.”*; así como el establecimiento de la *“reglamentación correspondiente, normas técnicas y de control para (...) el uso de agroquímicos”* (Art. 66, No. 4). El Artículo 85 señala, asimismo, que le corresponde al Estado *“Controlar la introducción o generación de tecnologías que atenten contra el medio ambiente”*. Finalmente, la Ley 1 333 establece como un delito ambiental el que vierta o arroje *“(…) líquidos químicos o bioquímicos (...) en los cauces de aguas, en las riberas, acuíferos, cuencas, ríos, lagos, lagunas, estanques de aguas, capaces de contaminar o degradar*

las aguas” (Art. 107). (Villalobos M. & Ramírez, Agroquímicos: El país de las normas pisoteadas, 2021)

1.2.1.1. Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica

El Reglamento de Contaminación Hídrica define un plan director para el sistema de prevención y control de la contaminación hídrica, en el marco del desarrollo sostenible y los límites máximos admisibles de parámetros en cuerpos receptores de los potenciales elementos contaminantes, así como las condiciones fisicoquímicas, microbiológicos, elementos pesados y plaguicidas que debe cumplir un efluente para ser vertido en uno de los cuatro tipos de cuerpos receptores definidos en relación con su aptitud de uso, obedeciendo a los siguientes lineamientos:

CLASE “A” Aguas naturales de máxima calidad, que las habilita como agua potable para consumo humano sin ningún tratamiento previo, o con simple desinfección bacteriológica en los casos necesarios verificados por laboratorio.

CLASE “B” Aguas de utilidad general, que para consumo humano requieren tratamiento físico y desinfección bacteriológica.

CLASE “C” Aguas de utilidad general, que para ser habilitadas para consumo humano requieren tratamiento físico-químico completo y desinfección bacteriológica.

CLASE “D” Aguas de calidad mínima que, para consumo humano en los casos extremos de necesidad pública, requieren un proceso inicial de presedimentación, pues pueden tener una elevada turbiedad por elevado contenido de sólidos en suspensión, luego tratamiento físico - químico completo y desinfección bacteriológica especial contra huevos y parásitos intestinales. (Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica, 1992)

1.2.2. Normativa Boliviana 512 “Agua Potable – Requisitos”

Esta Norma tiene por objeto establecer los valores máximos aceptables de los diferentes parámetros que determina la calidad de agua abastecida con destino al uso y consumo humano y las modalidades de aplicación y control.

En la presente Norma se han incluido requisitos químicos, orgánicos y microbiológicos en atención a necesidades actuales de control a nivel nacional.

La actualización de esta Norma fue posible gracias a la participación de profesionales del sector, el Instituto Boliviano de Normalización y Calidad (IBNORCA) y otras instituciones que de manera desinteresada contribuyeron para que nuestro país cuente con este valioso instrumento técnico. (Hannabolivia, 2021)

Los requisitos establecidos en la NB 512 para plaguicidas son:

Tabla I-5 Requisitos para plaguicidas NB 512

CARACTERÍSTICAS	VALOR MÁXIMO ACEPTABLE (µg/l)	OBSERVACIONES
PLAGUICIDAS ORGANOCORADOS		
Aldrin	0,03	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
DDT	1	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Dieldrin	0,03	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Endosulfan	20	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Endrin	0,6	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Heptacloro	0,03	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Heptacloroepóxido	0,03	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Lindano	2	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Metoxicloro	20	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Clordano	0,2	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Otros plaguicidas individuales (*)	< 0,1	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
PLAGUICIDAS ORGANOFOSFORADOS		
Clorpirifos	10	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Dimetoato	6	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Etilparation	10	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Malation	190	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Metilparation	9	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Monocrotofos	1	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Propiconazole	100	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
Glifosato	900	Valor mayor tiene efecto sobre la salud

CARACTERÍSTICAS	VALOR MÁXIMO ACEPTABLE ($\mu\text{g/l}$)	OBSERVACIONES
Otros plaguicidas individuales (*)	< 0,1	Valor mayor tiene efecto sobre la salud

Fuente: Hannabolivia (2021)

NOTA 1

Aunque algunos de estos plaguicidas no están permitidos, se asignan valores límite debido a su persistencia en el medio ambiente.

NOTA 2

En caso de detectar un plaguicida que supere los valores establecidos, se debe proceder de acuerdo a la reglamentación correspondiente.

El valor límite para “plaguicida individual” se aplica y se debe comparar para cada compuesto definido como plaguicida, detectado y cuantificado individualmente.

(*) Existen plaguicidas cuyos valores individuales aceptables pueden ser superiores o inferiores a 0,1; en el caso guiarse por las recomendaciones de la OMS y valores de la EPA, que están basados en la Ingesta Diaria Admisible – IDA de 1% y la Ingesta Diaria Tolerable – IDT de 10%. (Hannabolivia, 2021)

1.2.3. Lista de plaguicidas prohibidos y restringidos en Bolivia

El Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA) conjuntamente el Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras (MDRyT), a través del Servicio Nacional de Sanidad Agropecuaria e Inocuidad Alimentaria (SENASAG) y el Ministerio de Salud, han desarrollado la siguiente lista con el fin de aportar claridad sobre los plaguicidas prohibidos y restringidos, de modo que los productores y público en general esté informado sobre qué plaguicidas tienen características altamente peligrosas y no deben ser utilizados para una producción. (Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2019)

Tabla I-6 Lista de plaguicidas prohibidos y restringidos en Bolivia

PLAGUICIDAS PROHIBIDOS		
Disposición Legal	Plaguicidas	Justificativos Técnicos
Resolución Administrativa SENASAG N° 021/2005 de fecha 22 de febrero de 2 005.	1.- Dieldrin 2.- Endrin 3.- Toxafeno 4.- Mirex 5.- Dicloro Difenil Tricloroetano 6.- DDT 7.- Clordano 8.- Hexaclorobenceno 9.- Aldrin 10.- Heptacloro	<ul style="list-style-type: none"> Por el riesgo y daño que puede provocar el uso de los Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP's), en la salud humana, su elevada persistencia y propiedades de bioacumulación en el ambiente.
Resolución Administrativa SENASAG N° 024/2015 de fecha 16 de marzo de 2 015.	Endosulfan y sus mezclas.	<ul style="list-style-type: none"> Sustancia química dañina tanto para la salud como para el medio ambiente, forma parte de los Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs).
Resolución Administrativa SENASAG N° 025/2015 de fecha 8 de abril de 2 015.	Monocrotophos y sus mezclas.	<ul style="list-style-type: none"> Por ser altamente tóxico para la salud humana y por causar daños al medio ambiente. Incluido en el Anexo III del Convenio de Rotterdam.
Resolución Administrativa SENASAG N° 170/2015 de fecha 2 de diciembre de 2 015.	Methamidophos y sus mezclas.	<ul style="list-style-type: none"> Altamente tóxico a la salud y el medio ambiente.
PLAGUICIDAS QUÍMICOS DE USO AGRÍCOLA RESTRINGIDOS		
Disposición Legal	Plaguicidas	Justificativos técnicos
Resolución Administrativa	Methomyl y sus mezclas. Restringe el uso, la	<ul style="list-style-type: none"> Se autoriza su importación, comercialización y uso sólo para

PLAGUICIDAS PROHIBIDOS			
SENASAG	Nº	importación y comercialización.	cultivos de soya, maíz y trigo, bajo receta prescrita por un Ingeniero Agrónomo acreditado ante el SENASAG. • Es nocivo para la salud y el medio ambiente, pero se puede mitigar los riesgos con restricción en el uso de plaguicidas químicos de uso agrícola a base de methomyl.
186/2015	de fecha 18 de diciembre de 2015.	Se incluye en la etiqueta “Producto de uso restringido” y “venta bajo receta prescrita por un ingeniero agrónomo”	

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Agua (2019)

1.3. Planta de tratamiento de agua potable “San Jacinto”

1.3.1. Localización

La ubicación de la PTAP “San Jacinto” se muestra a continuación:

- **Coordenadas Universal Transversal de Mercator UTM:**

Este: 320232.00 m E

Norte: 7616056.00 m S

- **Coordenadas Grados, Minutos, Segundos:**

Latitud: 21°32'57.52"S

Longitud: 64°44'9.45"O

Figura I-1 Ubicación de la planta de tratamiento de agua potable "San Jacinto"



Fuente: Elaboración propia 2021

Figura I-2 Planta de tratamiento de agua potable "San Jacinto"



Fuente: Elaboración propia 2021

1.3.2. Unidades de la Planta de Tratamiento de Agua Potable “San Jacinto”

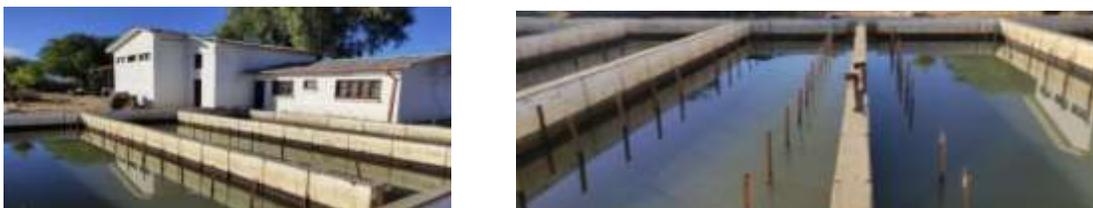
El Proyecto “Sistema de Agua Potable San Jacinto” consiste en una estructura de hormigón armado compuesta esencialmente por tres partes: floculadores, sedimentadores y filtros divididos en dos módulos con una capacidad de tratamiento de 80 l/s cada uno, las partes se conectan entre si mediante canales de hormigón, compuertas y válvulas mariposas que permiten la operación del sistema.

Un sistema de drenaje compuesta por canales, tuberías y válvulas permite evacuar las aguas de limpieza de cada componente.

Para el tratamiento del agua con sulfato de aluminio y cloro se dispone de cinco tanques de hormigón armado revestidos con fibra de vidrio con sus respectivos dosificadores, agitadores y conexiones.

Los floculadores tienen un total de 132 pantallas de madera formando laberintos para un mayor tiempo de circulación del agua dentro los mismos.

Figura I-3 Floculadores de la PTAP "San Jacinto"



Fuente: Elaboración propia 2021

Los sedimentadores están compuestos por 780 placas de asbesto cemento apoyados y espaciados en listones de madera formando planos sucesivos con una separación de 50 mm, ocho tubos perforados de acero de 200 mm de diámetro ubicados en las pared superior de los sedimentadores colectan las aguas para llevarlos a los filtros.

Figura I-4 Sedimentadores de la PTAP "San Jacinto"



Fuente: Elaboración propia 2021

Los filtros están constituidos por ocho capas de material granular: gravas de diferentes granulometrías ($e=36\text{cm}$), arena ($e=0.25$), y antracita ($e=0.5\text{ cm}$) sustentadas en viguetas prefabricadas de hormigón armado.

Figura I-5 Filtros de la PTAP "San Jacinto"



Fuente: Elaboración propia 2021

Forman parte de este conjunto, el cerco de malla olímpica, la motobomba para el lavado, la electrobomba y caseta para el agua potable, la pintura, los muebles de laboratorio y oficina, barandas y escaleras, zona verde, aceras, área de camino, plataformas de madera para sulfato.

1.3.3. Tanque de regulación

Consiste en una estructura de hormigón armado de 1800 m³ de capacidad dividida en dos módulos conectados a la planta de tratamiento y permite almacenar el agua tratada para su distribución. Dos válvulas flotador impiden la alimentación cuando el tanque está lleno.

Una cámara de entrada provista de dos válvulas mariposa Ø 300 mm y demás accesorios (tees, manguitos, codos, reducciones, etc.) permiten la operación de ingreso del agua a cada módulo.

Una cámara de salida provista de 4 válvulas mariposa Ø 450 mm, el desagüe de excedencias y evacuación de las aguas de limpieza del tanque.

1.3.4. Sala de operaciones

Consiste en una construcción de 142 m² donde se encuentran los ambientes destinados a la operación de la planta, incluye el laboratorio, una oficina, un baño de área para el almacenamiento y operaciones de dosificación y depósito. El área que corresponde al almacenamiento y depósito es una estructura de dos plantas de hormigón armado y muros de ladrillo; el área restante es una construcción de una sola planta con cimientos corridos, muros portantes de ladrillo, techo de calamina sobre cerchas de madera y piso de cerámica.

Incluye este conjunto la cámara séptica, el pozo absorbente y las instalaciones de agua potable y sanitario.

1.3.5. Sala de cloración

Consiste en una construcción de una sola planta de 25,2 m² ubicada aguas debajo de la planta de tratamiento, y destinada a la cloración del agua. En la misma se encuentran ubicados dos tanques de cloración con sus respectivos dosificadores y la cámara de salida del agua tratada hacia el tanque.

La estructura es de cimientos corridos, muros de ladrillo, techo de calamina sobre cerchas de madera y piso de cerámica. El acceso a los tanques de cloración es mediante una escalera y pasarela de hormigón armado.

1.3.6. Vivienda del operador

Consiste en una construcción de una sola planta de 42 m² ubicada cerca del portón de acceso, consta de dos dormitorios, una cocina y un baño. La estructura es de cemento corrido, muros de ladrillo, el techo de calamina sobre cerchas de madera y piso de cerámica.

1.3.7. Tuberías de impulsión y aducción

La tubería de impulsión conecta la estación de bombeo de Tablada II y la planta de tratamiento, es una tubería de acero soldado de Ø 350 mm con revestimiento interior y exterior, una presión de servicio de 10 kg/cm² y una longitud de 1 406 m la salida de la estación de bombeo está provista de dos válvulas mariposa Ø 250 mm, dos válvulas de retención y demás accesorios de conexión (maguitos, codos, etc.); el punto bajo esta provisto de una cámara de desagües de hormigón. con sus accesorios que permiten desagotar la tubería.

La tubería de aducción conecta el tanque de regulación con la red de la ciudad de Tarija, es una tubería de acero soldado de Ø 450 mm (L = 350 m) y Ø 400 (L = 1597 m) con revestimiento interior y exterior, una presión de servicio de 10 kg/cm². El empalme con la red existente está provisto de una válvula Ø 400 mm y demás accesorios; el punto bajo esta provisto de una cámara de desagüe de hormigón con sus accesorios: la tubería Ø 400 mm que cruza el Río Guadalquivir esta envainada por un macizo de hormigón de 1m x 1m; un tramo aéreo de la tubería Ø 450 mm esta provista de una junta de dilatación.

La tubería está colocada en zanjas apoyados en una cama de arena de 0,10 m de espesor y rellenos con tierra cernida hasta 10 cm por encima y luego un relleno de tierra común hasta la superficie.

1.4. Alternativas para la remoción de plaguicida de estudio

1.4.1. Empleo de adsorbentes

Los procesos de adsorción no generan subproductos indeseables al agua potable; sin embargo, se requieren altas tasas de consumo de adsorbente en el caso de usar carbón activado para absorber contaminantes orgánicos polares.

Los materiales carbonosos CAT y CARBOPAL, en su estructura molecular cuenta con gran cantidad de grupos carboxilo, propiedad que le permite aumentar su volumen en presencia de agua; son adsorbentes muy poderosos, con alta superficie activa, efectivos para la eliminación por adsorción. (Agustín, 2017)

Las variables externas relacionadas con el proceso de adsorción son: **concentración, pH, fuerza iónica, temperatura.** a fin de realizar un estudio exhaustivo de la adsorción.

El modelo matemático que mejor se adapta a la cinética de adsorción, es el de **pseudo segundo orden**, existiendo una muy buena correlación entre los datos experimentales y los predichos por el modelo para ambos adsorbentes.

Un aumento del pH se ve traducido en una disminución de la cantidad de plaguicida adsorbido.

La capacidad de adsorción disminuye con el aumento de la temperatura, tratándose entonces de un proceso exotérmico.

La fuerza iónica también afecta al proceso de adsorción probablemente debido a que un aumento en la concentración salina generaría un impedimento para provocar las interacciones adsorbato - adsorbente.

1.4.2. Eficiencia de los biofiltros

Trabajos realizados por el USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos), reportan estudios sobre la eficiencia de los biofiltros en la remoción de plaguicidas en agua de escorrentía superficial. Indican que el aumento en la infiltración

del agua es el factor que de mejor manera permite explicar la reducción de plaguicidas en ella. (Tapia, 2000)

Por tanto, se puede estimar que para el caso de los residuos de plaguicidas es importante incluir al menos dos estratas, una herbácea y otra arbustiva para mejorar la eficiencia en la remoción de plaguicidas solubles. Un factor importante es propiciar la infiltración del agua o maximizar la superficie de contacto (escorrentía – suelo – vegetación), lo cual facilita la adsorción del contaminante.

Para determinar la eficiencia de los biofiltros en la reducción de su concentración, es necesario, primeramente, conocer algunas propiedades físicas y químicas de los productos empleados por los agricultores en el manejo de sus cultivos y huertos frutales. Por lo tanto, en un estudio de esta naturaleza es fundamental conocer estas propiedades para poder comprender la dinámica de los residuos de plaguicidas en el suelo y en el agua. (Tapia, 2000)

Las propiedades fisicoquímicas más relevantes para el movimiento de los plaguicidas son la **solubilidad en agua, la vida media y el coeficiente de partición por carbón orgánico**.

Al contrastar la concentración de los residuos de plaguicidas al ingreso del área de los biofiltros, con su concentración a la salida, luego de pasar por los biofiltros, se estima la eficiencia de estas asociaciones vegetales en la reducción de dichos contaminantes y se pueden considerar como una “buena práctica agrícola”.

Las mayores eficiencias se logran con aquellos productos que presentan mayor solubilidad y movilidad en el agua de riego.

1.4.3. Procesos de oxidación avanzada

Los procesos de oxidación de contaminantes son métodos efectivos que se basan en la ruptura de la estructura de la molécula mediante el ataque a sus grupos funcionales disminuyendo, por tanto, la actividad biológica de dichos compuestos. Una de las

desventajas que presentan estas técnicas es que la oxidación de compuestos orgánicos conduce a la formación de productos secundarios. (Monge, Silva, & Bengoa, 2016)

Algunos de los oxidantes más empleados en la eliminación de contaminantes emergentes son **ozono, cloro, dióxido de cloro, Fe^{+3} y proceso Fenton** (implica la reacción de peróxido de hidrogeno en presencia de Fe, con objeto de generar radicales hidroxilos).

Sin embargo, la mineralización completa es costosa debido a que los compuestos intermedios que se generan son más difíciles de degradar, tienen desventajas frente a esos mismos sistemas convencionales de tratamiento como su elevado coste de operación asociado a su alto consumo de energía eléctrica lo que convierte en procesos catalíticos (particularmente si se emplea radiación UV) y el empleo de reactivos caros como peróxido de hidrógeno u ozono. (Monge, Silva, & Bengoa, 2016)

Los POA son especialmente útiles como pretratamiento antes de un tratamiento biológico para contaminantes resistentes a la biodegradación o como proceso de postratamiento para efectuar un pulido de las aguas antes de la descarga a los cuerpos receptores. Los POA presentan una serie de ventajas frente a los tratamientos convencionales las cuales se enumeran a continuación:

- No sólo cambian de fase al contaminante, sino que lo transforman químicamente.
- Generalmente se consigue la mineralización completa (destrucción) del contaminante.
- Usualmente no generan barros que a su vez requieren de un proceso de tratamiento y/o disposición.
- Sirven para tratar contaminantes a muy baja concentración.
- No se forman subproductos de reacción, o se forman en baja concentración.
- Eliminan compuestos formados por pretratamientos alternativos.
- Generalmente, mejoran las propiedades organolépticas del agua tratada.
- En muchos casos consumen menos energía que otros métodos.

- Permiten transformar contaminantes refractarios en productos tratables luego por métodos más económicos como el tratamiento biológico.
- Eliminan efectos sobre la salud de desinfectantes y oxidantes residuales como el cloro.
- Sirven de pretratamiento para un método biológico.
(Monge, Silva, & Bengoa, 2016)

1.5. Selección de la alternativa

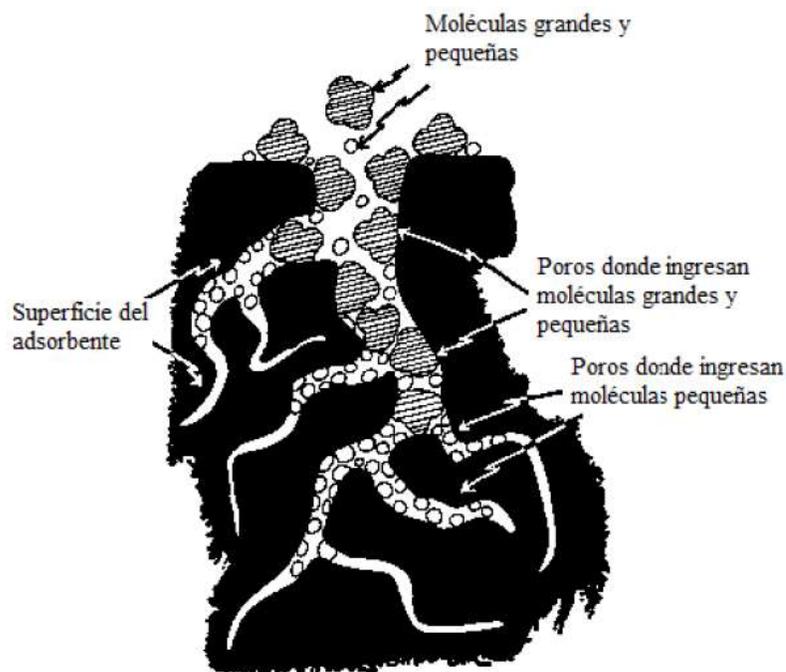
En el presente Trabajo de Grado se optó por la primera alternativa en la remoción de plaguicida de estudio cual es el empleo de adsorbente haciendo uso del carbón activado, para lograr la remoción del plaguicida con el objetivo de determinar la cinética de adsorción de los compuestos estudiados, se llevará a cabo diversos experimentos en discontinuo.

1.5.1. Factores que influyen en la adsorción en fase líquida

La cantidad de soluto que se puede acomodar en un determinado sólido dependerá de la accesibilidad de las moléculas orgánicas a la superficie del adsorbente siendo su tamaño molecular un factor clave en el proceso de adsorción. Así, bajo condiciones experimentales apropiadas, moléculas de bajo peso molecular pueden acceder a los microporos (diámetro $< 2\text{nm}$), la materia orgánica natural puede ingresar a los mesoporos (2 - 50nm), mientras que las macromoléculas o algunas bacterias sólo pueden tener acceso a macroporos (diámetro $> 50\text{nm}$).

La siguiente figura es una representación del ingreso de las moléculas a una partícula de un material adsorbente.

Figura I-6 Ingreso de un sustrato a un adsorbente según el tamaño



Fuente: (Agustín, 2017)

Existen varios factores que pueden afectar a la extensión y velocidad del proceso de adsorción y que se describen a continuación.

1.5.1.1. Naturaleza del adsorbente

La capacidad de adsorción de un adsorbente está determinada por:

- 1) La naturaleza química de la superficie, que influye en la interacción del adsorbato-adsorbente o adsorbente-solvente.
- 2) Las propiedades estructurales: superficie específica, distribución de tamaño de poro (que influye en el acceso de las moléculas del adsorbato a la superficie interior del sólido) y tamaño de las partículas del material usado.

Generalmente, cuanto mayor es la superficie específica, mayor es su grado de adsorción. El tamaño de los poros de los adsorbentes afecta la adsorción de dos maneras:

- ✓ En primer lugar, al disminuir el tamaño de los poros aumenta la fuerza de interacción durante la adsorción, debido a que los puntos de contacto entre el adsorbato y la superficie del adsorbente aumentan y el potencial de adsorción entre las paredes opuestas de los poros empiezan a solaparse una vez que el tamaño del microporo es menor que aproximadamente el doble del diámetro del adsorbato.
- ✓ En segundo lugar, la exclusión de tamaño limita la adsorción de contaminantes de determinada forma y tamaño si los poros son demasiado pequeños. En sistemas acuosos, la exclusión de tamaño se observa cuando la anchura de poro es menor que aproximadamente 1,7 veces la dimensión del adsorbato.

1.5.1.2. Naturaleza del adsorbato

Entre las características del adsorbato que influyen principalmente en el proceso de adsorción se encuentran tamaño molecular, solubilidad, pK_a y naturaleza del sustituyente. Los sustituyentes presentes en un anillo aromático pueden ser donores o atractores de electrones, lo que influye en las interacciones de dispersión. El tamaño molecular controla la accesibilidad a los poros del adsorbente, mientras que la solubilidad en el medio acuoso determina las interacciones hidrófobas. Si su solubilidad es baja, generalmente el soluto tiene tendencia a interactuar con el adsorbente. Si se trata de sustancias con carácter ácido-base, el pK_a de la molécula determina la facilidad para su disociación.

1.5.1.3. pH del medio

El pH de la solución es uno de los factores que más afectan al proceso de adsorción de compuestos orgánicos debido a que controla las interacciones electrostáticas entre el adsorbente y el adsorbato. Además, el pH también influye en la disociación de los compuestos en la solución a través de su pK_a . La importancia del pH está relacionada con la fuerte adsorción de los iones hidronio e hidroxilo, que compiten con los solutos por los sitios activos. A su vez, el pH influye directamente en la carga neta superficial de los distintos materiales y en el grado de disociación de los adsorbatos, modificando y controlando las interacciones electrostáticas entre ambos.

Una solución cuyo pH es menor que el pH_{PCC} (punto de carga cero) o el pH_{PIE} (punto isoeléctrico) ocasionará que la superficie tenga carga positiva, mientras a un pH mayor, la superficie tendrá carga negativa.

El efecto del pH no sigue una tendencia que se pueda determinar únicamente conociendo la estructura del soluto y sus propiedades químicas. Un aumento o disminución de pH puede aumentar o disminuir la capacidad de adsorción sobre un material. Existen estudios donde ambas consecuencias se han podido comprobar.

1.5.1.4. Fuerza iónica

Es conocido que la solubilidad de los compuestos orgánicos en agua es dependiente de la concentración de electrolito presente en la solución acuosa. Por lo tanto, la fuerza iónica es otro factor clave que controla las interacciones electrostáticas. Estas interacciones, ya sean atractivas o repulsivas, pueden ser aumentadas o disminuidas al modificar la concentración de sales disueltas en el medio.

Cuando la interacción electrostática entre la superficie y el adsorbato es repulsiva, un aumento de la fuerza iónica aumentará la capacidad de adsorción. Mientras que, por el contrario, cuando la interacción es atractiva, o la concentración superficial es suficientemente baja, un aumento de la fuerza iónica disminuirá la adsorción.

No existe una única explicación para determinar el efecto que produce la concentración salina en un determinado sistema adsorbato - adsorbente. Pero cabe mencionar dos de ellos el denominado *salting out* y el de apantallamiento.

En el *salting out* un aumento en la cantidad de sal añadida a la solución genera un descenso de la solubilidad de las moléculas orgánicas en la fase acuosa aumentando la adsorción. El agregado de sales a la solución hace que sus iones atraigan fuertemente a las moléculas de agua formando esferas de hidratación, y por lo tanto esas moléculas de agua ya no estarán disponibles para la disolución del compuesto orgánico (adsorbato) disminuyendo de esta manera la solubilidad del compuesto y favoreciendo la difusión de las moléculas orgánicas hacia el adsorbente.

El efecto de apantallamiento se puede dar con el aumento de la concentración salina, disminuyendo de ese modo las interacciones entre el adsorbente y el adsorbato.

1.5.1.5. Naturaleza del solvente

Respecto del solvente, se pueden tener en cuenta las siguientes características:

- Estructura química: influye tanto en la solubilidad como en las interacciones soluto - adsorbente.
- Tensión superficial: influye en el ángulo de contacto entre el sólido y el líquido.
- Poder disolvente: Existe una relación inversa entre la capacidad de adsorción del soluto y su solubilidad en el medio. (Agustín, 2017)

1.5.1.6. Temperatura

El calor de adsorción proporciona una medida directa de la fortaleza del enlace entre el adsorbato y la superficie. La adsorción física es exotérmica, como se puede deducir a partir de conceptos termodinámicos. Dado que la molécula adsorbida tiene a lo sumo dos grados de libertad en movimientos de traslación y que su libertad rotacional es menor que las de las moléculas en la fase fluida, el cambio en la entropía de adsorción ($\Delta S = S_{ads} - S_{liq}$) es necesariamente negativo.

Un aumento de la temperatura conduce a un aumento de la energía libre de Gibbs, generando así un aumento en la energía de las interacciones adsorbato - adsorbente, lo que facilita la difusión de las moléculas de adsorbato. Por lo tanto, las mismas tendrían facilidad para cruzar la capa límite externa y los poros internos de las partículas del adsorbente, disminuyendo la capacidad de adsorción, con algunas excepciones.

1.5.1.7. Competencia con otros adsorbatos

La presencia de otros solutos influye en la velocidad de adsorción. Estos compuestos pueden favorecer la adsorción o interferir haciendo que ésta sea más lenta o incluso bloqueando el proceso. En la mayoría de los casos afecta negativamente a la adsorción de los compuestos que se pretenden eliminar.

1.5.2. Fenómeno de la adsorción

La adsorción es una de las técnicas más eficientes, prometedoras y ampliamente utilizada en los procesos de tratamiento de aguas residuales. Es una técnica de gran importancia tecnológica, siendo los adsorbentes utilizados también para otros fines (desecantes, catalizadores o soportes de catalizadores, separación de gases, protección respiratoria).

En 1881 Kayser introdujo el término adsorción para connotar la condensación de gases sobre superficies libres para diferenciarla de la absorción gaseosa donde las moléculas de gas penetran dentro del sólido. En 1909 McBain utilizó el término sorción para abarcar tres procesos: adsorción sobre las superficies, absorción dentro del sólido y condensación capilar que ocurre en el interior de los poros. Pero en general la palabra adsorción se emplea indistintamente para la condensación capilar o para la adsorción en superficies.

La adsorción ha sido definida por la IUPAC como el enriquecimiento o vaciamiento de uno o más componentes en una interfase. El material que se encuentra adsorbido por el sólido es llamado adsorbato, para distinguirlo del adsorbido, que es un término que se le da al material en la fase condensada que es potencialmente capaz de ser adsorbido.

En el caso de la adsorción de una solución sobre un sólido, las moléculas de soluto se reparten desde la fase fluida al adsorbente, conduciendo a un cambio en la concentración de la solución, así como en el sitio de adsorción. El fenómeno de adsorción depende de la interacción entre la superficie del adsorbente y la especie adsorbida. La interacción puede deberse a: enlaces químicos, enlaces de hidrógeno, interacciones hidrofóbicas y de Van Der Waals. (Library, 2022)

Los materiales utilizados como adsorbentes deben cumplir una serie de características, tales como: gran superficie específica, alta capacidad de adsorción, buena capacidad de regeneración, alta vida útil y bajo costo. El adsorbente más empleado en los procesos de tratamiento de aguas residuales es el carbón activado, que puede presentarse en forma de polvo o granular.

La técnica de adsorción permite la remoción de una gran cantidad de contaminantes orgánicos e inorgánicos en baja concentración de manera simple, ya sea en estado gaseoso o en solución. Cuando el adsorbato es un electrolito que se disocia en solución acuosa, se generan interacciones electrostáticas; la naturaleza de éstas (atractivas o repulsivas) depende de la densidad de carga de la superficie del material, de las características químicas del adsorbato y de la fuerza iónica de la solución. Durante el proceso de adsorción se va produciendo el incremento en la concentración de los adsorbidos sobre la superficie de los adsorbentes. A lo largo del tiempo la velocidad de adsorción y de desorción se igualan, alcanzando el estado de equilibrio dinámico.

En la adsorción se ponen en juego fuerzas intermoleculares entre el adsorbido presente en la solución y el adsorbente. A medida que una molécula se aproxima a la superficie sólida, se establece un equilibrio entre las fuerzas intermoleculares atractivas y repulsivas. Las fuerzas de dispersión, responsables de la condensación de los gases y la no-idealidad de los mismos, son las que se establecen entre adsorbato-adsorbente. Estas interacciones no dependen de la naturaleza polar del adsorbente o adsorbido y por lo tanto se consideran no específicas debido a las fluctuaciones en la densidad electrónica, lo que induce en las moléculas vecinas la dispersión de la nube electrónica, dada por la ecuación:

$$E_D(r) = -\frac{C}{r^m}$$

donde **C** es una constante relacionada con la polarizabilidad del adsorbente y del adsorbido y **m** una constante empírica. La repulsión de corto alcance es el resultado de la interpenetración de la nube electrónica, y se expresa mediante la ecuación:

$$E_R(r) = -\frac{B}{r^n}$$

donde **B** y **n** son constantes empíricas. Para muchos propósitos, se considera que el potencial de Lennard-Jones es un punto de partida satisfactorio para establecer estas interacciones en la fase fluida y sobre la superficie del sólido. Por lo que la energía potencial total se expresa mediante la ecuación:

$$E_{DR}(r) = \frac{B}{r^{12}} - \frac{C}{r^6}$$

A partir de esta fórmula se puede generar un diagrama de energía potencial vs distancia intermolecular. Si bien estas interacciones se pueden aplicar a los sistemas gas - sólido y líquido - sólido, estas últimas son más complejas dado que se establecen fuerzas de interacción adsorbente - adsorbato, adsorbato - adsorbato y solvente - adsorbato. Así, las características del solvente influyen en el proceso favoreciendo a la adsorción en el caso que el adsorbato no tenga afinidad con el solvente. La presencia de dos componentes en el caso de la adsorción en fase líquida implica la competencia entre el soluto y el solvente por los sitios activos de los adsorbentes, lo que ocasiona que no existan zonas vacías en la superficie del sólido, siendo el proceso cinéticamente más lento y más complejo. (Library, 2022)

1.5.3. Experimentos de adsorción en discontinuo

Estos experimentos son los más comunes para el estudio de adsorción ya sea de compuestos orgánicos, como inorgánicos o metales.

Los estudios de adsorción en solución mediante experimentos discontinuos en modo Bach, permiten determinar la eficacia de la eliminación de algún adsorbato específico, así como también la capacidad de adsorción máxima de algún material sólido. Para realizar este experimento, se colocan soluciones acuosas con mismas concentraciones de adsorbato en contacto con diferente cantidad de adsorbente, manteniéndolas en suspensión mediante agitación magnética o mecánica el tiempo necesario para alcanzar el equilibrio. En cuanto al adsorbente se hará uso del carbón activado C.A. granular, empleando soluciones acuosas con misma concentración del pesticida a diferentes masas de adsorbentes en cada ensayo.

Luego se cuantifica la concentración remanente en solución, y se considera que la diferencia entre ésta y la concentración inicial del adsorbato es la cantidad adsorbida por el material, obteniendo así la capacidad de adsorción máxima del adsorbente q_e .

1.5.3.1. Cinética de adsorción

Es necesario establecer el tiempo necesario para que el sistema alcance el equilibrio dinámico. Para ello se realizó el estudio cinético de adsorción para cada sistema adsorbato-adsorbente. Para tal fin se preparó una solución madre del plaguicida con concentración conocida en NaCl 0,01 M, de la cual se tomaron alícuotas para efectuar las posteriores mediciones. Luego se pesa una determinada cantidad de adsorbente carbón activado en Erlenmeyer de 1 000 ml. Todos los experimentos se colocaron con agitación magnética a 300 rpm. Se extrajeron muestras de los diferentes sistemas a intervalos regulares de tiempo midiéndose las concentraciones por espectrofotometría luz UV - V.

Para el cálculo de la cantidad máxima de soluto adsorbido “ q_e ”, se utiliza la ecuación recomendada por (Agustín, 2017):

$$q_e = \frac{(C_i - C_f) * V}{m}$$

Donde:

q_e = es la capacidad de adsorción máxima del adsorbente carbon activado

(mg/g)

C_i = es la concentración inicial (mg/l).

C_f = es la concentración de equilibrio o final a un tiempo "t" (mg/l).

V = es el volumen de la solución empleada en cada sistema (l).

m = es la masa de adsorbente carbon activado (gr).

CAPÍTULO II

PARTE EXPERIMENTAL

2.1. Introducción

El presente Trabajo de Grado se ejecuta con el objetivo de diseñar un módulo adicional para la Planta de Tratamiento de Agua Potable “San Jacinto”, para reducir el contenido de plaguicidas que pueden darse, más aún que se tienen reportes de pasadas gestiones que indican la posibilidad de que estas aguas provenientes del Lago San Jacinto, podrían tener contenidos de agroquímicos que estuvieran fuera de la Normativa Boliviana NB 512 - Calidad de Agua Potable, planteándose una alternativa viable técnica y económica para dotar de agua potable a la población beneficiaria.

Para plantear la implementación del módulo adicional es necesario previamente realizar un análisis de calidad de agua que se dotará como punto de partida; tal ensayo se realiza el 17 del mes de agosto del 2021 para identificar la presencia de plaguicidas presentes, para ello, se realizó la toma de muestra a la entrada de la PTAP “San Jacinto” y posterior análisis en instalaciones del Laboratorio del CEANID de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho. El formulario de muestreo fue llenado en base a la NB 496. Ver Anexo A

Se procedió a la toma de muestra de 4 litros de agua en frascos ámbar, posteriormente se le añade Ácido Clorhídrico 6 N para la conservación de los plaguicidas presentes en el agua a continuación, tal como se muestra el registro fotográfico. Ver Anexo A

Posteriormente se llevó las muestras al laboratorio del CEANID donde se realizó el análisis de plaguicidas organoclorados, dando como resultados. Ver Anexo A

Según la técnica o método de ensayo utilizando los resultados presentados por el laboratorio CEANID, se observa que todos los plaguicidas organoclorados están por debajo del límite de detección.

Como en la fecha de muestreo no se tiene agua contaminada, pero existe la posibilidad de que en alguna otra época del año se presente algún nivel de contaminación con

plaguicidas por encima de lo establecido en la NB 512, se plantea llevar adelante una simulación de contaminación con un plaguicida conocido siendo uno de los más comerciales en la ciudad de Tarija y que a la vez tiene uso frecuente aguas arriba y abajo de la Represa de San Jacinto, dato consolidado mediante encuestas de agricultores que viven cerca las zonas y agropecuarias comerciales. Ver Anexo B

La simulación se realiza con el plaguicida cuyo nombre comercial es **Paladín** que en su composición contiene el insecticida **clorpirifos** que es similar a los que fueron detectados anteriormente ya que en la actualidad no se encuentran los mismos.

Por tanto, la presente investigación será de tipo aplicada, descriptiva y experimental, que se basa en la aplicación de una alternativa factible para la determinación y remoción de la concentración del plaguicida insecticida Clorpirifos.

Por medio de espectrofotometría de luz ultravioleta visible, en donde se realiza análisis en el laboratorio de las muestras preparadas, se evalúa en cuanto es la capacidad de adsorción del absorbente Carbón Activado frente al insecticida clorpirifos.

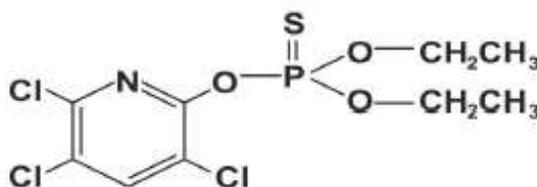
2.1.1. Características del Paladín

El Paladín que en su composición contiene al plaguicida clorpirifos es un insecticida del grupo químico organofosforado que actúa por contacto, ingestión e inhalación de notable y amplio efecto translaminar y buen poder residual.

Su acción es inmediata y efectiva, controlando una amplia gama de insectos de follaje en diversos cultivos, tales como comedores de hojas, barrenadores de brotes, picadores, chupadores, etc. (Navarro Brom, 2014)

Su fórmula química es: 0,0 - dietilfosforotioato de 0 - 3,5,6 - tricloro - 2 - piridilo ó 0,0 - dietil 0 - (3,5,6 - tricloro - 2 - piridil) fosforotioato y cuya molécula estructural es la siguiente:





Farmacodinamia en el cultivo: es un fitosanitario únicamente de cobertura, no es sistémico, por lo tanto, en la planta no se absorbe por los tejidos aéreos ni por la raíz.

En agua tiene una vida media (DT_{50}) a pH 8 y 25°C de 1,5 días, pero si está en solución de buffer fosfato a pH 7 y 15 °C puede llegar a 100 días. En los suelos y a condiciones de campo, la (DT_{50}), cuando el producto es incorporado, es de 33 a 56 días, si se realizan aplicaciones superficiales es de 7 a 15 días.

La molécula de este fitofármaco se degrada en varios metabolitos cuyos compuestos finales son: organoclorados y anhídrido carbónico.

Características físico-químicas: es un cristal incoloro con débil olor a mercaptano, tiene una alta presión de vapor (2,7 mPa a 25 °C) por esta razón puede sublimar con relativa facilidad. Es muy poco soluble en agua: 1,4 mg/l a 25 °C. Es muy soluble en solventes orgánicos como ser benceno, acetona, alcohol isopropílico, cloroformo, disulfuro de carbono, etc. (Navarro Brom, 2014)

El coeficiente de partición n - octanol/agua ($\log K_{wo}$) del insecticida es de 4,7. Este valor indica que tiene una alta afinidad por los lípidos.

Su hidrólisis aumenta al incrementarse el pH y puede formar quelatos en presencia de cobre y otros metales pesados. (Navarro Brom, 2014)

Compatibilidad: se puede mezclar, en aplicaciones foliares, con otros productos con excepción de los que tienen reacción alcalina, tal como polisulfuro de calcio.

Fitotoxicidad: no es fitotóxico a las dosis y técnicas de aplicación recomendadas (Navarro Brom, 2014)

Su ficha técnica se muestra en el Anexo C (Tienda, 2021)

2.1.2. Espectrofotometría

La espectrofotometría describe la relación que existe entre la radiación (especialmente la radiación electromagnética) y la materia. Toda la radiación electromagnética está determinada por una longitud de onda (λ), una frecuencia (ν) y una energía (E); la relación presente entre ellas se define mediante la ecuación de Planck. (Angarita Cardona, 2019):

Ecuación 1 Ecuación de planck.

$$E = h * \nu = h * c / \lambda$$

Dónde:

E = Energía [J fotón⁻¹]

h = Constante de Planck ($6,6256 * 10^{-34}$ J s / fotón)

c = Velocidad de la luz ($2,9979 * 10^8$ J m / s)

λ = Longitud de onda (m)

ν = Frecuencia de la radiación (1/s)

2.1.2.1. Espectrofotometría de Luz Ultravioleta - Visible

La espectrofotometría ultravioleta-visible hace referencia al uso de la luz de la región visible y las adyacentes (cercano UV y cercano IR). La absorción de la luz visible, afecta directamente el color percibido de los productos químicos que están siendo analizados.

La descomposición de la luz cuando es pasada a través de un prisma o un cuerpo reflector se denomina espectro. Cada uno de los colores reflectados posee una frecuencia y longitud de onda propia, en donde la longitud de onda en la cual se produce mayor absorbancia se conoce como λ_{\max} .

La señal que es emitida por el espectro de luz ayuda en la identificación de algunos grupos funcionales que se encuentran en las moléculas y en la estimación de la concentración de una sustancia.

La función principal de un espectrofotómetro UV-V es determinar la concentración de cierto compuesto que se encuentra diluido en una solución.

2.1.3. Carbón Activado

Carbón activado o carbón activo es un término genérico que describe una familia de adsorbentes carbonáceos altamente cristalinos y con una porosidad interna altamente desarrollada.

Es un material que se caracteriza por poseer una cantidad muy grande de microporos (poros menores a 2 nanómetros de radio). A causa de su alta microporosidad, el carbón puede poseer una superficie de 50 m²/g o más si es activo, llegando a valores de más de 2 500 m²/g.

Los materiales utilizados como adsorbentes deben cumplir una serie de características: gran superficie específica, alta capacidad de adsorción, buena capacidad de regeneración, alta vida útil y bajo costo. El carbón activado puede presentarse en forma de polvo o granular. (Agustín, 2017)

El carbón activado se utiliza en la extracción de metales, para absorber compuestos organofosforados como insecticidas, herbicidas, etc., la purificación de agua potable (tanto para la potabilización a nivel público como doméstico), en Medicina Veterinaria y Medicina Humana para casos de intoxicación, en el tratamiento de aguas residuales, clarificación de jarabe de azúcar, purificación de glicerina, en máscaras antigás, en filtros de purificación y en controladores de emisiones de automóviles, entre otros muchos usos.

El carbón activado a utilizar en este trabajo es en grano, que tiene las siguientes especificaciones.

- Capacidad de adsorción de tolueno a 10 ppmv: > 14 % en peso.

- Capacidad de adsorción de benceno a 100 ppmv: > 12 % en peso.
- Densidad: 480 ± 30 g/l.
- Diámetro del granulado: 4 o 3 mm.
- Dureza: > 97 %.
- Humedad: < 4 %.
- Proceso de remoción: Adsorción.

2.1.4. Extracción líquido - líquido

Es un proceso en el cual se separan componentes que se encuentran en una solución en capas líquidas inmiscibles de diferentes densidades. Esta técnica consiste en la agregación de un disolvente que contiene una mayor afinidad por alguno de los líquidos presentes, siendo ésta la característica que permite la separación.

El disolvente que se usa para la extracción puede ser puro o mezcla de varios disolventes. Si la solución está en matriz acuosa se usa un disolvente orgánico y si la solución es orgánica se usa comúnmente agua.

El proceso de extracción líquido - líquido cuenta con cinco componentes que son: alimentación, que se refiere a la solución en la que se contiene el soluto o los solutos que se quieren extraer; disolvente, es el líquido inmiscible que se agrega a la solución con el objetivo de extraer uno o varios solutos; soluto, que alude a los componentes presentes en la solución; refinado, que es el resultado de la solución ya tratada y el extracto que se describe como la disolución con el soluto recuperado. (Angarita Cardona, 2019)

2.1.5. Diseño de un Filtro de Carbón Activado

Un filtro es un equipo que contiene materia porosa, a través de la cual se hace pasar un fluido para clarificar o depurar en una sola etapa de tratamiento, es una alternativa más barata y de mayor validez para el tratamiento de aguas. El filtro es más eficiente que otras alternativas técnicas permitiendo así el uso inmediato de las aguas tratadas.

Estos sistemas se caracterizan porque el agua es depurada al pasar a través de un sistema poroso, muy eficiente para eliminar, metales pesados, pesticidas, cloro, olor y sabor.

El material granular del lecho filtrante juega un papel determinante en la eficiencia del tratamiento. Materiales porosos han demostrado que el Carbón Activado alcanza una mayor eficiencia en la remoción de contaminantes de plaguicidas. (Zanini, y otros, 2014)

El presente proyecto desarrolla un filtro a bajo costo que permite obtener agua purificada empleando carbón activado N° E153 con la capacidad de eliminar microorganismos, ya que también permite la remoción, aprovechando las propiedades de adsorción que tiene el carbón, este proceso combina la filtración y desinfección en un solo paso.

Los espacios vacíos del carbón activado tienen una relación directa con la porosidad del carbón activado.

El tamaño del carbón activado seleccionado es de 4 mm de diámetro, mismo dato que será utilizado para el diseño del filtro.

2.2. Ejecución de la fase experimental

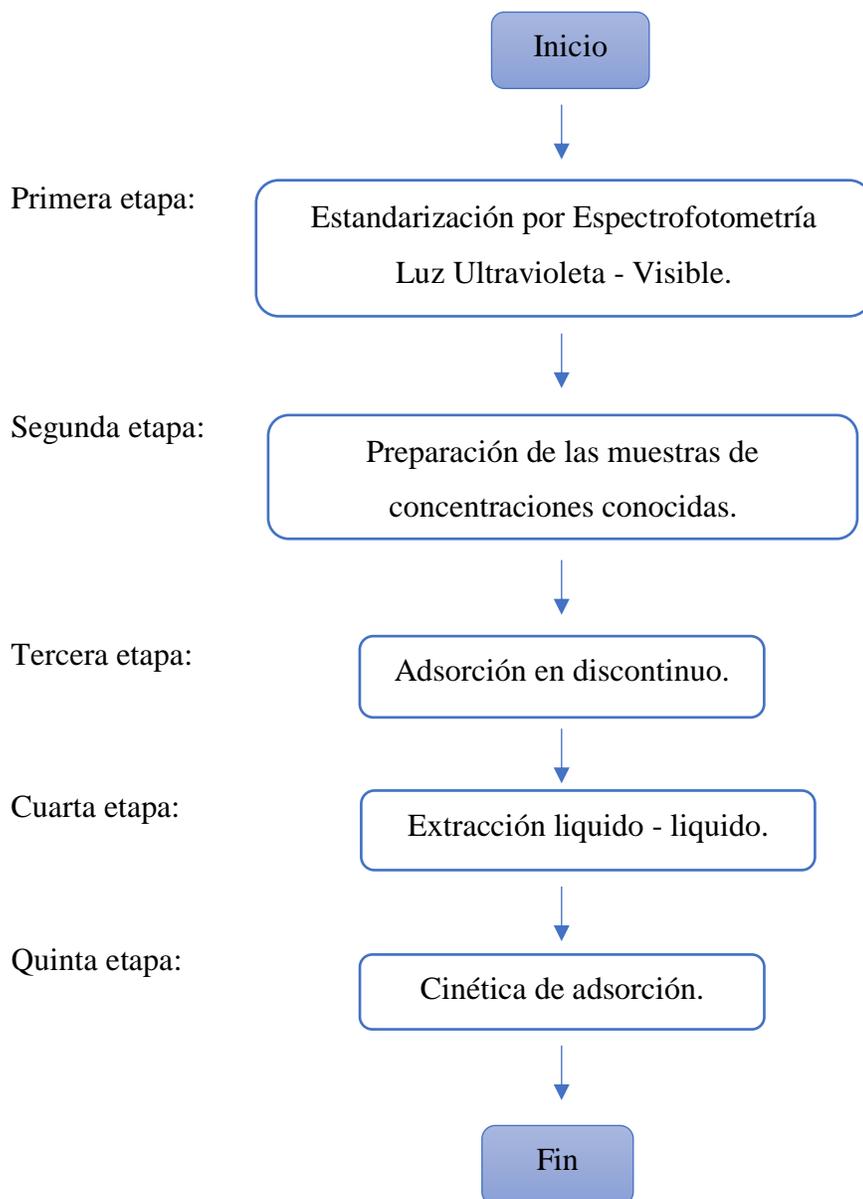
Para la ejecución del trabajo experimental, se definió como metodología el dividir en cinco etapas, que son las que definen secuencialmente el proceso experimental y son:

- i. Estandarización de la técnica de análisis del insecticida clorpirifos en matriz acuosa por espectrofotometría de luz ultravioleta - visible.
- ii. Preparación de muestras de concentración conocidas para la simulación.
- iii. Remoción del clorpirifos presente en el agua mediante el proceso de adsorción en discontinuo usando como adsorbente carbón activado.
- iv. Extracción líquido – líquido para aislar el insecticida clorpirifos del resto de la muestra.

- v. Finalmente, de esa manera poder determinar la cantidad del clorpirifos adsorbido en el proceso planteado.

2.2.1. Diagrama de flujo propuesto para el desarrollo de la parte experimental

Toda la fase experimental la dividiremos en cinco etapas como se muestra a continuación:



Fuente: Elaboración propia 2021

2.2.2. Metodología de estudio

La explicación de las cinco etapas secuencialmente es:

2.2.2.1. Primera Etapa: Estandarización por Espectrofotometría Luz Ultravioleta - Visible

a) Preparación de la muestra patrón solución madre

Se prepara un volumen (ml) de solución madre mediante un volumen determinado del insecticida clorpirifos, disolviéndolo con el solvente seleccionado para alcanzar una concentración conocida. Esta **solución madre** posteriormente se utiliza para preparar las soluciones diluidas de distintas concentraciones.

El cálculo para preparar la solución madre, se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

Donde:

C_1 = es la concentración inicial conocida del insecticida comercial (ppm).

V_1 = es el volumen inicial requerido del insecticida clorpirifos (ml).

C_2 = es la concentración final requerida teóricamente (ppm).

V_2 = es el volumen final de la solución a preparar (ml).

b) Preparación de las muestras patrón soluciones diluidas

A partir de la solución madre se toman diferentes alícuotas de la misma para preparar cinco disoluciones de diferentes concentraciones conocidas en balones aforados, pero disolviéndolas de nuevo con el mismo solvente que se utiliza en la preparación de la solución madre. Para el cálculo se realiza de la misma manera que en el punto anterior.

c) Barrido con muestra patrón en el Espectrofotómetro Luz UV - Visible

El barrido se realiza con una de las cinco disoluciones, haciendo uso del equipo Espectrofotómetro de Luz UV – V, que se encuentra en las instalaciones del **Laboratorio CEANID** ubicado en la **Universidad Autónoma Juan Misael Saracho**.

Dicho barrido se realiza entre un rango establecido de longitud de onda para así poder determinar a qué longitud de onda se tiene la absorbancia máxima del patrón y con ese dato poder elaborar la curva de calibración.

d) Curva de calibración

Para crear la curva de calibración, previamente se lee las cinco diferentes disoluciones preparadas anteriormente haciendo uso del Espectrofotómetro de Luz UV – V a una longitud de onda máxima que fue establecido en el barrido; u punto anterior, logrando así proceder a crear la curva de calibración en la cual se presenta la absorbancia frente a la concentración.

2.2.2.2. Segunda Etapa: Preparación de las muestras de concentraciones conocidas

Todas las muestras se prepararán en un Erlenmeyer mezclando el insecticida clorpirifos con agua de grifo. En estas muestras preparadas posteriormente se realizará la simulación de la remoción en adsorción en discontinuo haciendo uso del Carbón Activado C.A. como catalizador.

2.2.2.3. Tercera Etapa: Adsorción en discontinuo

Para la adsorción en discontinuo se pone en contacto la muestra preparada en la segunda etapa con una determinada cantidad de carbón activado C.A. previamente pesado, introduciendo a dicho Erlenmeyer, posteriormente llevando a agitación constante controlada, en cada ensayo se extrae alícuotas a diferentes intervalos de tiempo.

Lo que se pretende es alcanzar el equilibrio de adsorción es por eso que el tiempo estimado puede ser más o menos.

- Cada 2 horas
- Cada 4 horas
- Cada 6 horas
- Cada 8 horas

2.2.2.4. Cuarta Etapa: Extracción líquido - líquido

Debido a que el insecticida clorpirifos se encuentra disuelto dentro de la muestra preparada de agua, se requiere un método de separación que logre aislar el clorpirifos del resto de la muestra. El método de extracción líquido - líquido es una técnica muy útil para llevar a cabo análisis de matrices acuosas. Consiste en la disolución del analito en agua y esta a su vez en un disolvente de baja polaridad como lo es el hexano que tiene la capacidad de retener uno de los líquidos y de esta forma se obtienen dos capas líquidas inmiscibles de diferentes densidades. (Angarita Cardona, 2019)

La extracción comienza tomando una de las alícuotas extraídas en la 3^{era} etapa, llevando a filtración hasta que el papel filtro quede seco, en seguida se deposita el filtrado en el embudo de decantación y se adiciona el hexano a esta, se espera por unos minutos para lograr separar las dos fases. La fase orgánica se lleva en una cápsula de porcelana a la estufa dejando evaporar el hexano hasta sequedad, de tal forma que allí solo quedará el insecticida clorpirifos como residuo.

Con la muestra totalmente seca, se resuspende con el mismo solvente orgánico seleccionado inicialmente durante unos minutos y finalmente se lleva a análisis de lectura de absorbancia en el equipo espectrofotómetro de luz UV – V a una longitud de onda que fue establecida en la 1^{era} etapa. El mismo proceso se lleva a cabo con todas las demás alícuotas.

2.2.2.5. Quinta Etapa: Cinética de adsorción

Se realiza el estudio cinético de adsorción para cada sistema adsorbato - adsorbente, hasta alcanzar el equilibrio mostrando la cantidad del insecticida clorpirifos adsorbida sobre el carbón activado C.A. granular en función del tiempo.

Para el cálculo de la cantidad máxima de soluto adsorbido “ q_e ”, se utiliza la ecuación, recomendada por (Agustín, 2017):

Ecuación 2 Capacidad de adsorción máxima del adsorbente

$$q_e = \frac{(C_i - C_f) * V}{m}$$

Donde:

q_e = es la capacidad de adsorción máxima del adsorbente carbón activado

(mg/g)

C_i = es la concentración inicial de la muestra (mg/l).

C_f = es la concentración final a un tiempo "t" (mg/l).

V = es el volumen de la muestra empleada en cada sistema (l).

m = es la masa de adsorbente carbón activado (gr).

El proceso de adsorción se desarrolla en dos etapas:

✓ Una inicial en la que el clorpirifos se adsorbe rápidamente debido a la mayor disponibilidad y accesibilidad de los sitios de adsorción, ya que éstos están situados en la superficie externa del material, produciéndose enlaces de tipo físico.

✓ Una posterior, más lenta, en la que se produce la difusión del compuesto a los centros menos accesibles del carbón. Esta segunda etapa implica la formación de uniones de carácter químico, más fuertes, requiriéndose un mayor tiempo de contacto hasta alcanzar el equilibrio. (Agustín, 2017)

CAPÍTULO III

RESULTADOS DEL ESTUDIO

Se procedió a ejecutar la 1^{era} etapa que es la “Estandarización por Espectrofotometría luz Ultravioleta - Visible”, usando como solvente el cloruro de sodio NaCl tal como fue planteado inicialmente para la preparación de la muestra patrón y se detectó que no se puede realizar la lectura en el equipo debido a que el insecticida clorpirifos no es soluble en agua, siendo ello un factor muy importante.

Es necesario aclarar que se optó el cambio de la técnica en el desarrollo de la parte experimental, debido a que se presentaron dificultades con el solvente a ser usado.

Buscamos una técnica alternativa y se encontró un trabajo de investigación titulado “Estandarización de la técnica de análisis del plaguicida clorpirifos en matriz acuosa por espectrofotometría de luz ultravioleta”; autor: Kelly Tatiana Angarita Cardona que uso como solvente el isopropanol C_3H_8O , se procedió a usar dicho solvente con el cual se hizo la estandarización logrando así tener respuesta positiva y por tanto se toma la decisión de hacer cambio de técnica.

3.1. Primera etapa: Estandarización por espectrofotometría luz ultravioleta-visible

a) Preparación de la muestra patrón solución madre

Se prepara 100 ml de solución madre, mezclando el insecticida clorpirifos con el solvente isopropanol, pretendiendo alcanzar una concentración de 5 000 mg/l para lo cual el cálculo se muestra a continuación:

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

Donde:

C_1 = es la concentración inicial conocida del insecticida comercial

(480 g/l = 480 000 mg/l).

V_1 = es el volumen inicial requerido (ml).

C_2 = es la concentración final requerida teóricamente (5 000 mg/l).

V_2 = es el volumen final de la solución a preparar (100 ml).

Por tanto:

$$V_1 = \frac{C_2 * V_2}{C_1}$$

$$V_1 = \frac{5\ 000\ \cancel{\text{mg/l}} * 100\ \text{ml}}{480\ 000\ \cancel{\text{mg/l}}}$$

$$V_1 = 1,042\ \text{ml}$$

Por tanto, necesitamos un volumen de 1,042 ml del insecticida clorpirifos para preparar 100 ml de solución cuya concentración tendrá 5 000 mg/l del insecticida clorpirifos.

b) Preparación de las muestras patrón soluciones diluidas

A partir de la solución madre se prepara cinco disoluciones de diferentes concentraciones conocidas en balones aforados cada uno de 10 ml, disolviéndola en isopropanol de nuevo para lograr concentraciones entre 600 – 1 000 mg/l, el cálculo se muestra a continuación:

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

Donde:

C_1 = es la concentración inicial conocida de la solución madre (5 000 mg/l)

V_1 = es el volumen inicial requerido (ml).

C_2 = es la concentración final requerida teóricamente (mg/l).

V_2 = es el volumen final de la solución a preparar (10 ml).

Para la preparación de todas las disoluciones el cálculo es el mismo.

- **Disolución con concentración requerida de 600 mg/l.**

$$C_1 = 5\,000 \text{ mg/l}$$

$$V_1 = ?$$

$$C_2 = 600 \text{ mg/l}$$

$$V_2 = 10 \text{ ml}$$

$$V_1 = \frac{C_2 * V_2}{C_1}$$

$$V_1 = \frac{600 \text{ mg/l} * 10 \text{ ml}}{5\,000 \text{ mg/l}}$$

$$V_1 = 1,2 \text{ ml}$$

Esto significa que necesitamos un volumen de 1,2 ml de la solución madre para preparar 10 ml de la disolución cuya concentración tendrá 600 mg/l del insecticida clorpirifos.

- **Disolución con concentración requerida de 700 mg/l**

$$C_1 = 5\,000 \text{ mg/l}$$

$$V_1 = ?$$

$$C_2 = 700 \text{ mg/l}$$

$$V_2 = 10 \text{ ml}$$

$$V_1 = \frac{C_2 * V_2}{C_1}$$

$$V_1 = \frac{700 \text{ mg/l} * 10 \text{ ml}}{5\,000 \text{ mg/l}}$$

$$V_1 = 1,4 \text{ ml}$$

Ahora necesitamos un volumen de 1,4 ml de la solución madre para preparar 10 ml de la disolución cuya concentración tendrá 700 mg/l del insecticida clorpirifos.

- **Disolución con concentración requerida de 800 mg/l**

$$C_1 = 5\,000 \text{ mg/l}$$

$$V_1 = ?$$

$$C_2 = 800 \text{ mg/l}$$

$$V_2 = 10 \text{ ml}$$

$$V_1 = \frac{C_2 * V_2}{C_1}$$

$$V_1 = \frac{800 \text{ mg/l} * 10 \text{ ml}}{5\,000 \text{ mg/l}}$$

$$V_1 = 1,6 \text{ ml}$$

Lo que significa que necesitamos un volumen de 1,6 ml de la solución madre para preparar 10 ml de la disolución cuya concentración tendrá 800 mg/l del insecticida clorpirifos.

- **Disolución con concentración requerida de 900 mg/l**

$$C_1 = 5\ 000\ \text{mg/l}$$

$$V_1 = ?$$

$$C_2 = 900\ \text{mg/l}$$

$$V_1 = \frac{C_2 * V_2}{C_1}$$

$$V_1 = \frac{900\ \cancel{\text{mg/l}} * 10\ \text{ml}}{5\ 000\ \cancel{\text{mg/l}}}$$

$$V_1 = 1,8\ \text{ml}$$

Por tanto, necesitamos un volumen de 1,8 ml de la solución madre para preparar 10 ml de la disolución cuya concentración tendrá 900 mg/l del insecticida clorpirifos.

- **Disolución con concentración requerida de 1 000 mg/l**

$$C_1 = 5\ 000\ \text{mg/l}$$

$$V_1 = ?$$

$$C_2 = 1\ 000\ \text{mg/l}$$

$$V_2 = 10\ \text{ml}$$

$$V_1 = \frac{C_2 * V_2}{C_1}$$

$$V_1 = \frac{1\ 000\ \cancel{\text{mg/l}} * 10\ \text{ml}}{5\ 000\ \cancel{\text{mg/l}}}$$

$$V_1 = 2\ \text{ml}$$

Esto significa que necesitamos un volumen de 2 ml de la solución madre para preparar 10 ml de la disolución cuya concentración tendrá 1 000 mg/l del insecticida clorpirifos.

c) **Barrido con muestra patrón en el Espectrofotómetro Luz UV - Visible**

El barrido se realiza con la disolución de concentración 900 mg/l de insecticida clorpirifos, con un rango de longitud de onda (λ) entre 230 – 460 nanómetros (nm). Los resultados leídos en el equipo Espectrofotómetro Luz UV - V se observa en la siguiente tabla:

Tabla III-1 Barrido en la disolución hija de 900 mg/l de clorpirifos en un rango de longitud de onda.

λ (nm)	ABSORBANCIA
230	0,791
243	1,510
309	2,456
318	0,215
460	0,100

Fuente: Elaboración propia 2021

Como se puede observar la longitud de onda que presenta mayor Absorbancia de **2,456** es de **309 nm**, por esta razón se elige como la longitud de onda a la cual deben analizarse las disoluciones con las cuales se elaborará la curva de calibración.

d) Curva de calibración

Para esto primero se lectura las cinco disoluciones en el Espectrofotómetro de Luz UV – V a una longitud de onda de **309 nm**. Presentándose a continuación los resultados de dos lecturas realizadas:

Tabla III-2 Análisis de las disoluciones hijas a 309 nm.

CONCENTRACIÓN DE DISOLUCIONES (mg/l)	ABSORBANCIAS	
	LECTURA 1	LECTURA 2
600	0,903	0,897
700	1,031	1,022
800	1,205	1,202
900	1,289	1,284
1000	1,510	1,514

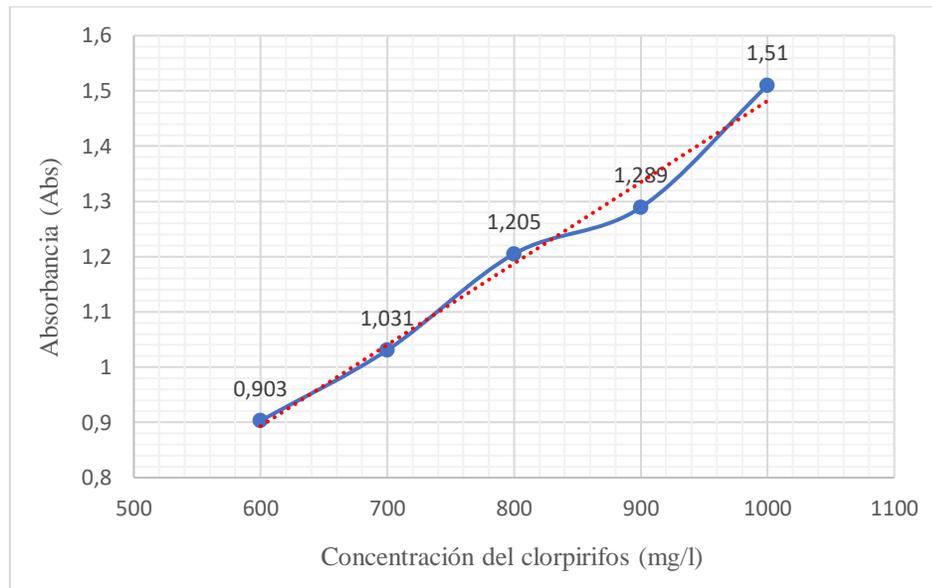
Fuente: Elaboración propia 2021

Una vez obtenidas las lecturas de absorbancia en las cinco disoluciones, se procede a construir las curvas de calibración donde se presentan la **Absorbancia Vs Concentración**.

- **Curva de calibración de lectura 1**

Considerando los datos obtenidos en la lectura 1 se construye la siguiente gráfica:

Figura III-1 Gráfico de lectura 1, Absorbancia vs Concentración



Fuente: Elaboración propia 2021

Como se puede observar se obtiene una curva que se asemeja a una recta donde en el eje “y” se tiene la absorbancia (Abs) y en el eje “x” se tiene la concentración de nuestro analito insecticida clorpirifos (mg/l).

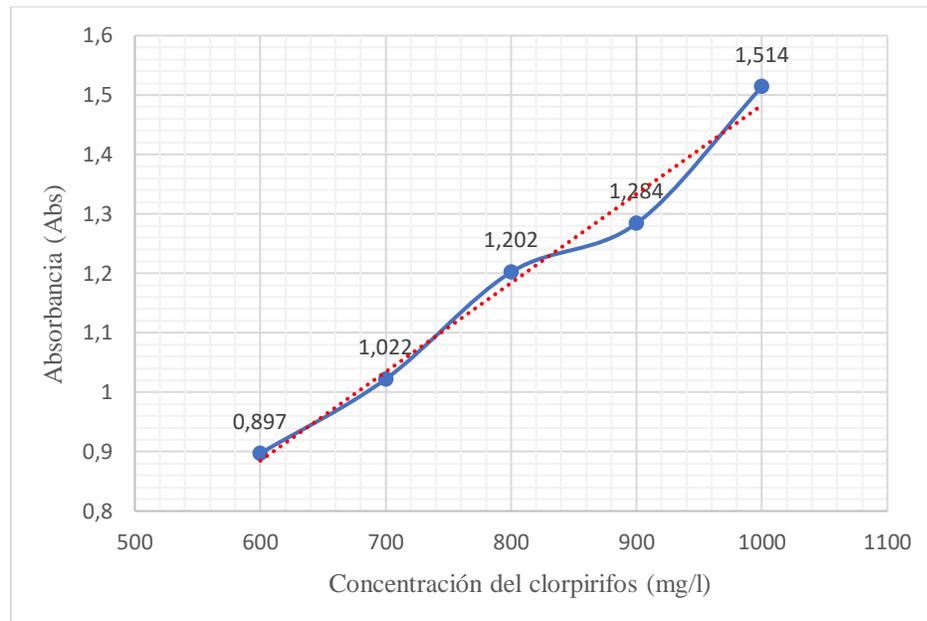
Trazando su línea de tendencia en la curva se obtiene su ecuación lineal y R cuadrado del gráfico:

$$y = 0,0015 x + 0,01 \quad \text{con} \quad R^2 = 0,9847$$

- **Curva de calibración de lectura 2**

Considerando los datos obtenidos en lectura 2 se construye la siguiente gráfica:

Figura III-2 Gráfico de lectura 2, Absorbancia vs Concentración



Fuente: Elaboración propia 2021

Como se puede observar se obtiene una curva que se asemeja a una recta donde en el eje “y” se tiene la absorbancia (Abs) y en el eje “x” se tiene la concentración de nuestro analito insecticida clorpirifos (mg/l).

Trazando su línea de tendencia en la curva se obtiene su ecuación lineal y R cuadrado del gráfico:

$$y = 0,0015x - 0,013 \quad \text{con} \quad R^2 = 0,9823$$

Por tanto, analizando cada curva de ambas lecturas, se evidencia que la curva de calibración con los datos de la lectura 1 tiene un factor de correlación R^2 mayor frente a la curva de calibración con los datos de la lectura 2, dato importante para seleccionar con que ecuación lineal se trabajará posteriormente.

Dando como resultado que se trabajará con la siguiente ecuación:

$$y = 0,0015x + 0,01 \quad \text{con} \quad R^2 = 0,9847, \text{ que dio con los datos de la lectura 1.}$$

Es así que para poder determinar la concentración del analito insecticida clorpirifos presente en cualquier muestra de agua superficial, se debe despejar la variable “x” dejándola en función de “y” que es el dato de la Absorbancia que se lee haciendo uso del equipo espectrofotómetro de luz UV - V.

3.2. Segunda etapa: Preparación de las muestras de concentraciones conocidas

Se preparan cuatro muestras por separado A, B, C y D cada una en un Erlenmeyer mezclando el insecticida con agua de grifo.

Cada Erlenmeyer contiene 1 litro de muestra todas con misma concentración de 1 000 mg/l del insecticida clorpirifos, el cálculo para la preparación es el siguiente:

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

Donde:

C_1 = es la concentración inicial conocida del insecticida comercial

$$(480 \text{ g/l} = 480\,000 \text{ mg/l}).$$

V_1 = es el volumen inicial requerido (ml).

C_2 = es la concentración final requerida teóricamente (1 000 mg/l).

V_2 = es el volumen final de la solución a preparar (1 000 ml).

Por tanto:

$$C_1 = 480\,000 \text{ mg/l}$$

$$V_1 = ?$$

$$C_2 = 1\,000 \text{ mg/l}$$

$$V_2 = 1\,000 \text{ ml}$$

$$V_1 = \frac{C_2 * V_2}{C_1}$$

$$V_1 = \frac{1\,000 \text{ mg/l} * 1\,000 \text{ ml}}{480\,000 \text{ mg/l}}$$

$$V_1 = 2,1 \text{ ml}$$

Lo que significa que necesitamos un volumen de 2,1 ml del insecticida comercial para preparar 1 litro (1 000 ml) de muestra cuya concentración tendrá 1 000 mg/l del insecticida clorpirifos. Estas cuatro muestras preparadas fueron utilizadas para la simulación posteriormente.

3.3. Tercera etapa: Adsorción en discontinuo

Una vez preparadas las muestras de concentración conocida, se procede con la 3^{era} etapa de adsorción en discontinuo.

Tras un tiempo de remoción en agitación controlada de 300 revolución por minuto (rpm) con muestras acuosas de misma concentración del insecticida clorpirifos estando en contacto con diferentes masas de carbón activado (C.A.), se extraen alícuotas a diferentes intervalos de tiempo para posteriormente realizar la extracción líquido – líquido y poder medir la absorbancia en el equipo espectrofotómetro luz UV - V.

La absorbancia es un parámetro que nos permite calcular la concentración del pesticida en la muestra de manera indirecta. Lo que se espera es que los valores de absorbancia vayan decreciendo según transcurra el tiempo de remoción, lo cual quiere decir que se adsorbe más en el carbón activado (C.A.) debido a su alta porosidad capturando así al pesticida.

Las especificaciones de las cuatro muestras preparadas para la simulación se muestran a continuación:

- **Muestra “A”**

Se inicia con la muestra “A”, tiene un volumen total de 1 litro con una concentración inicial C_i de 1 000 mg/l del insecticida **clorpirifos** que a la vez se encuentra en contacto con 40 gramos de carbón activado (C.A.) granular.

Se mantiene la muestra todo el tiempo en agitación constante de 300 rpm y se extraen alícuotas de 100 ml cada una a diferentes intervalos de horas tal como se muestra a continuación:

Tabla III-3 Adsorción en discontinuo en muestra "A" a diferentes intervalos de tiempo.

MUESTRA	VOLUMEN DE MUESTRA (l)	CONCENTRACIÓN INICIAL C_i (mg/l)	MASA C.A. (gr)	TIEMPO (hr)
A	1	1 000	40	2
				4
				6
				8
				24
				26
				28
				48
				54

Fuente: Elaboración propia 2021

Como se puede observar se extraen un total de 9 alícuotas en la muestra A, se observa que en las primeras 2 horas se tiene una buena cantidad adsorbida del insecticida por parte del carbón activado; por esto se decide hacer en la segunda muestra "B" un análisis con la misma cantidad de carbón activado C.A., haciendo énfasis antes de las 2 horas para saber que ocurre en ese tiempo, realizando la medición a menores intervalos de tiempo.

- **Muestra "B"**

La segunda muestra "B", tiene un volumen total de 1 litro con una concentración inicial C_i de 1 000 mg/l del insecticida **clorpirifos** que a la vez se encuentra en contacto con 40 gramos de carbón activado C.A. granular.

Se mantiene la muestra todo el tiempo en agitación constante de 300 rpm y se extrae 4 alícuotas de 100 ml cada una en intervalos de 15 minutos tal como se muestra a continuación:

Tabla III-4 Adsorción en discontinuo en muestra "B" a diferentes intervalos de tiempo.

MUESTRA	VOLUMEN DE MUESTRA (l)	CONCENTRACIÓN INICIAL C_i (mg/l)	MASA C.A. (gr)	TIEMPO (min)
B	1	1 000	40	15
				30
				45
				60

Fuente: Elaboración propia 2021

Se considera que intervalos de 15 minutos es un tiempo coherente de remoción para lo cual se opta trabajar en esos mismos intervalos. Una vez teniendo los intervalos de tiempo de remoción, se considera hacer variar la cantidad de carbón activado en la siguiente muestra "C", para saber de qué manera influye la cantidad de masa, pero realizando las mediciones en ese mismo tiempo con una menor masa de carbón activado.

- **Muestra "C"**

La muestra "C", tiene un volumen total de 1 litro con una concentración inicial C_i de 1 000 mg/l del insecticida **clorpirifos** que a la vez se encuentra en contacto con 20 gramos de carbón activado granular.

Se mantiene la muestra todo el tiempo en agitación constante de 300 rpm y se extraen 4 alícuotas de 100 ml cada una a intervalos de 15 minutos tal como se muestra a continuación:

Tabla III-5 Adsorción en discontinuo en muestra "C" a diferentes intervalos de tiempo.

MUESTRA	VOLUMEN DE MUESTRA (l)	CONCENTRACIÓN INICIAL C_i (mg/l)	MASA C.A. (gr)	TIEMPO (min)
C	1	1 000	20	15
				30
				45
				60

Fuente: Elaboración propia 2021

Para poder realizar un análisis y saber que ocurre con la cantidad de absorbente utilizado, se considera disminuir más la cantidad de carbón activado en la última muestra “D”, tomando alícuotas en los intervalos de tiempo ya establecido anteriormente.

- **Muestra “D”**

La última muestra “D”, tiene un volumen total de 1 litro con una concentración inicial C_i de 1 000 mg/l del insecticida **clorpirifos** que a la vez se encuentra en contacto con 5 gramos de carbón activado granular.

Se mantiene la muestra todo el tiempo en agitación constante de 300 rpm y se extraen 4 alícuotas de 100 ml cada una a intervalos de 15 minutos tal como se muestra a continuación:

Tabla III-6 Adsorción en discontinuo en muestra “D” a diferentes intervalos de tiempo.

MUESTRA	VOLUMEN DE MUESTRA (l)	CONCENTRACIÓN INICIAL C_i (mg/l)	MASA C.A. (gr)	TIEMPO (min)
D	1	1 000	5	15
				30
				45
				60

Fuente: Elaboración propia 2021

Para concluir con la 3^{era} etapa de Adsorción en Discontinuo, se reúnen todas las alícuotas de las cuatro muestras A, B, C y D para pasar a la cuarta etapa de la parte experimental denominada Extracción Líquido - Líquido y así poder realizar el análisis en cada una de las alícuotas.

3.4. Cuarta etapa: Extracción líquido – líquido

Se obtienen un total de 21 alícuotas cada una de 100 ml de muestra extraídas en la 3^{era} etapa de adsorción en discontinuo a diferentes intervalos de tiempos.

Para el análisis de extracción líquido - líquido en una de las 21 alícuotas, lo primero que se realiza es filtrar los 100 ml de la muestra depositando el filtrado en una ampolla

de separación, posteriormente se adiciona 10 ml de hexano a la ampolla y se espera por 20 minutos para lograr separar las fases. La fase orgánica se coloca en una estufa a temperatura de 70 °C en una cápsula de porcelana por un lapso de 24 hrs aproximadamente, pretendiendo evaporar por completo el hexano hasta sequedad de manera que sólo quede el insecticida **clorpirifos** como residuo.

Una vez que la muestra está totalmente seca, se resuspende con 5 ml de isopropanol (solvente orgánico) durante 30 min y finalmente se lleva a análisis para leer la Absorbancia en el equipo espectrofotómetro luz UV – V a una longitud de onda de 309 nm, ya que el dato de absorbancia nos permite calcular la concentración final del insecticida clorpirifos en la muestra de manera indirecta.

3.4.1. Análisis de las muestras A, B, C y D

Las especificaciones y lecturas de absorbancias en cada muestra se detallan a continuación:

- **Muestra “A”**

Una vez realizada la extracción líquido - líquido en las 9 alícuotas de la muestra “A” cada una de 100 ml a diferentes intervalos de horas, en el equipo espectrofotómetro luz UV - V, se realizan las respectivas mediciones a una longitud de onda de 309 nm. En la siguiente tabla se muestran las lecturas de absorbancias de cada alícuota:

Tabla III-7 Lecturas de absorbancias en la muestra “A”

MUESTRA	VOLUMEN DE MUESTRA (l)	CONCENTRACIÓN INICIAL Ci (mg/l)	MASA C.A. (gr)	TIEMPO (hrs)	ABSORBANCIA A 309 nm
A	1	1 000	40	0	0
				2	0,028
				4	0,021
				6	0,012
				8	0,050
				24	0,038
				26	0,037

MUESTRA	VOLUMEN DE MUESTRA (l)	CONCENTRACIÓN INICIAL C_i (mg/l)	MASA C.A. (gr)	TIEMPO (hrs)	ABSORBANCIA A 309 nm
				28	0,044
				48	0,052
				54	0,030

Fuente: Elaboración propia 2021

Como se explica anteriormente estos datos de absorbancia nos sirven para calcular la concentración final del insecticida clorpirifos en la muestra “A”, a partir de la curva de calibración que ya fue seleccionada en la 1^{era} etapa de la parte experimental llamada Estandarización por Espectrofotometría Luz UV - V, específicamente en el inciso **d**) Curva de calibración.

Una vez que se desarrolla la técnica, se realizan los cálculos pertinentes reemplazando los valores de las absorbancias obtenidas en la ecuación de la gráfica seleccionada:

$$y = 0,0015 x + 0,01$$

Donde:

y = es la absorbancia leída en el espectrofotómetro luz UV – V (Abs).

$x = C_f$, es la concentración final del insecticida clorpirifos que se tiene

en la muestra (mg/l).

Despejando “x” se tiene:

$$x = \frac{(y - 0,01)}{0,0015}$$

Reemplazando las absorbancias incógnitas “y” en la ecuación despejada se obtienen los siguientes resultados de concentraciones finales, tal como se muestran a continuación:

Tabla III-8 Resultados de concentraciones finales en la muestra "A".

M	Vm (l)	Ci (mg/l)	m C.A. (gr)	T (hrs)	Abs a 309 (nm)	Cf (mg/l)
A	1	1 000	40	0	0	0
				2	0,028	12,000
				4	0,021	7,333
				6	0,012	1,333
				8	0,050	26,666
				24	0,038	18,666
				26	0,037	18,000
				28	0,044	22,666
				48	0,052	28,000
				54	0,030	13,333

Fuente: Elaboración propia 2021

De la muestra A se puede observar en la Tabla IV - 8, como resultado relevante que a las **2 horas** de absorción la remoción del plaguicida es alta pues disminuye de **1 000 mg/l** a **12 mg/l**.

- **Muestra "B"**

Consecuentemente una vez realizada la extracción líquido - líquido en las 4 alícuotas de la muestra "B" cada una de 100 ml a intervalos de 15 minutos, en el equipo espectrofotómetro luz UV - V se realizan las respectivas mediciones a longitud de onda de 309 nm. En la siguiente tabla se muestran las lecturas de absorbancias de cada alícuota:

Tabla III-9 Lecturas de absorbancias en la muestra "B"

MUESTRA	VOLUMEN DE MUESTRA (l)	CONCENTRACIÓN INICIAL Ci (mg/l)	MASA C.A. (gr)	TIEMPO (min)	ABSORBANCIA A 309 nm
B	1	1 000	40	0	0
				15	0,061
				30	0,038
				45	0,064

MUESTRA	VOLUMEN DE MUESTRA (l)	CONCENTRACIÓN INICIAL C_i (mg/l)	MASA C.A. (gr)	TIEMPO (min)	ABSORBANCIA A 309 nm
				60	0,069

Fuente: Elaboración propia 2021

De igual manera las mediciones de absorbancia nos sirven para calcular la concentración final del insecticida clorpirifos en la muestra “B”, a partir de la curva de calibración ya seleccionada:

$$y = 0,0015 x + 0,01$$

Donde:

y = es la absorbancia leída en el espectrofotómetro luz UV – V (Abs).

$x = C_f$, es la concentración final del insecticida clorpirifos que se tiene en la muestra (mg/l).

Despejando “x” se tiene:

$$x = \frac{(y - 0,01)}{0,0015}$$

Reemplazando las absorbancias incógnitas “y” en la ecuación despejada se obtienen los siguientes resultados de concentraciones finales, tal como se muestran a continuación:

Tabla III-10 Resultados de concentraciones finales en la muestra “B”.

M	Vm (l)	C_i (mg/l)	m C.A. (gr)	T (min)	Abs a 309 (nm)	C_f (mg/l)
B	1	1 000	40	0	0	0
				15	0,061	34,000
				30	0,038	18,666
				45	0,064	36,000
				60	0,069	39,333

Fuente: Elaboración propia 2021

En la muestra B se puede observar que los datos mostrados en la Tabla IV - 10, se tiene como resultado relevante que a los **30 minutos** de remoción del plaguicida muestra que la concentración disminuye de **1 000 mg/l** a **18,666 mg/l**.

- **Muestra “C”**

Consecuentemente una vez realizada la extracción líquido - líquido en las 4 alícuotas de la muestra “C” cada una de 100 ml a intervalos de 15 minutos, en el equipo espectrofotómetro luz UV - V, se realizan las respectivas mediciones a una longitud de onda de 309 nm. En la siguiente tabla se muestran las lecturas de absorbancias de cada alícuota:

Tabla III-11 Lecturas de absorbancias en la muestra “C”

MUESTRA	VOLUMEN DE MUESTRA (l)	CONCENTRACIÓN INICIAL C_i (mg/l)	MASA C.A. (gr)	TIEMPO (min)	ABSORBANCIA A 309 nm
C	1	1 000	20	0	0
				15	0,354
				30	0,261
				45	0,132
				60	0,112

Fuente: Elaboración propia 2021

De igual manera las mediciones de absorbancia nos sirven para calcular la concentración final del insecticida clorpirifos en la muestra “C”, a partir de la curva de calibración ya seleccionada:

$$y = 0,0015 x + 0,01$$

Donde:

y = es la Absorbancia leída en el espectrofotómetro luz UV – V (Abs).

$x = C_f$, es la concentración final del insecticida clorpirifos que se tiene en la muestra (mg/l).

Despejando “x” se tiene:

$$x = \frac{(y - 0,01)}{0,0015}$$

Reemplazando las absorbancias incógnitas “y” en la ecuación despejada se obtienen los siguientes resultados de concentraciones finales, tal como se muestran a continuación:

Tabla III-12 Resultados de concentraciones finales en la muestra “C”.

M	Vm (l)	Ci (mg/l)	m C.A. (gr)	T (min)	Abs a 309 (nm)	Cf (mg/l)
C	1	1 000	20	0	0	0
				15	0,354	229,333
				30	0,261	167,333
				45	0,132	81,333
				60	0,112	68,000

Fuente: Elaboración propia 2021

Por tanto, en la muestra C se puede observar como resultado relevante que a los **60 minutos** de remoción la concentración de la muestra disminuye de **1 000 mg/l** a **68 mg/l**.

- **Muestra “D”**

Por último, una vez realizada la extracción líquido - líquido en las 4 alícuotas de la muestra “D” cada una de 100 ml a intervalos de 15 minutos, en el equipo espectrofotómetro luz UV - V, se realizan las respectivas mediciones a una longitud de onda de 309 nm. En la siguiente tabla se muestran las lecturas de absorbancias de cada alícuota:

Tabla III-13 Lecturas de absorbancias en la muestra “D”

MUESTRA	VOLUMEN DE MUESTRA (l)	CONCENTRACIÓN INICIAL Ci (mg/l)	MASA C.A. (gr)	TIEMPO (min)	ABSORBANCIA A 309 nm
				0	0

MUESTRA	VOLUMEN DE MUESTRA (l)	CONCENTRACIÓN INICIAL Ci (mg/l)	MASA C.A. (gr)	TIEMPO (min)	ABSORBANCIA A 309 nm
D	1	1 000	5	15	0,938
				30	0,560
				45	0,420
				60	0,206

Fuente: Elaboración propia 2021

De igual manera las mediciones de absorbancia nos sirven para calcular la concentración final del insecticida clorpirifos en la muestra “D”, a partir de la curva de calibración ya seleccionada:

$$y = 0,0015 x + 0,01$$

Donde:

y = es la Absorbancia leída en el espectrofotometro luz UV – V (Abs).

$x = C_f$, es la concentración final del insecticida clorpirifos que se tiene en la muestra (mg/l).

Despejando “x” se tiene:

$$x = \frac{(y - 0,01)}{0,0015}$$

Reemplazando las absorbancias incógnitas “y” en la ecuación despejada se obtienen los siguientes resultados de concentraciones finales, tal como se muestran a continuación:

Tabla III-14 Resultados de concentraciones finales en la muestra “D”.

M	Vm (l)	Ci (mg/l)	m C.A. (gr)	T (min)	Abs a 309 (nm)	Cf (mg/l)
				0	0	0

M	Vm (l)	Ci (mg/l)	m C.A. (gr)	T (min)	Abs a 309 (nm)	Cf (mg/l)
D	1	1 000	5	15	0,938	618,666
				30	0,560	366,666
				45	0,420	273,333
				60	0,206	130,666

Fuente: Elaboración propia 2021

Por tanto, en la muestra D se puede observar como resultado relevante que a los **60 minutos** de remoción la concentración de la muestra disminuye de **1 000 mg/l** a **130,666 mg/l**.

Como reflejan las tablas anteriores, podemos observar que en las cuatro muestras “A, B, C y D” a diferentes intervalos de tiempos, estando en contacto con diferentes masas de carbón activado granular en agitación constante de 300 revoluciones por minuto (rpm), la remoción del insecticida **clorpirifos** con las concentraciones finales de manera es decreciente según va transcurriendo el tiempo de remoción por tanto la concentración inicial que fue de 1 000 mg/l en todos los casos disminuye notando así además una relación directa entre la masa de carbón activado y la adsorción.

Esto significa que en algún momento el carbón activado llega a su capacidad máxima de adsorción. De esa manera se concluye la cuarta etapa para posteriormente realizar el análisis de cada muestra simulada mediante su cinética de adsorción.

3.5. Quinta etapa: Cinética de adsorción

Para los estudios cinéticos es necesario especificar que en las 4 muestras: A, B, C y D se mantiene los mismos datos utilizando una concentración inicial de Clorpirifos de 1 000 mg/l, volumen total de la muestra de 1 litro.

Reemplazando todos los datos se tiene los resultados de adsorción máxima q_e en cada muestra "A, B, C y D", esto permite a su vez graficar la cinética de adsorción. El mismo cálculo se realiza para las 4 muestras.

- **Muestra "A"**

Para cuantificar la capacidad de adsorción máxima q_e en modo discontinuo se utiliza la siguiente ecuación: (Agustín, 2017)

$$q_e = \frac{(C_i - C_f) * V}{m}$$

Donde:

q_e = es la capacidad de adsorción máxima del adsorbente carbon activado (mg/g)

C_i = es la concentración inicial (1 000 mg/l).

C_f = es la concentración de equilibrio o final a un tiempo "t" (mg/l).

V = es el volumen de la solución empleada en cada sistema (1 l).

m = es la masa de adsorbente carbon activado (40 gr).

Reemplazando los datos de la muestra "A", se muestran a continuación los resultados de capacidad de adsorción máxima q_e :

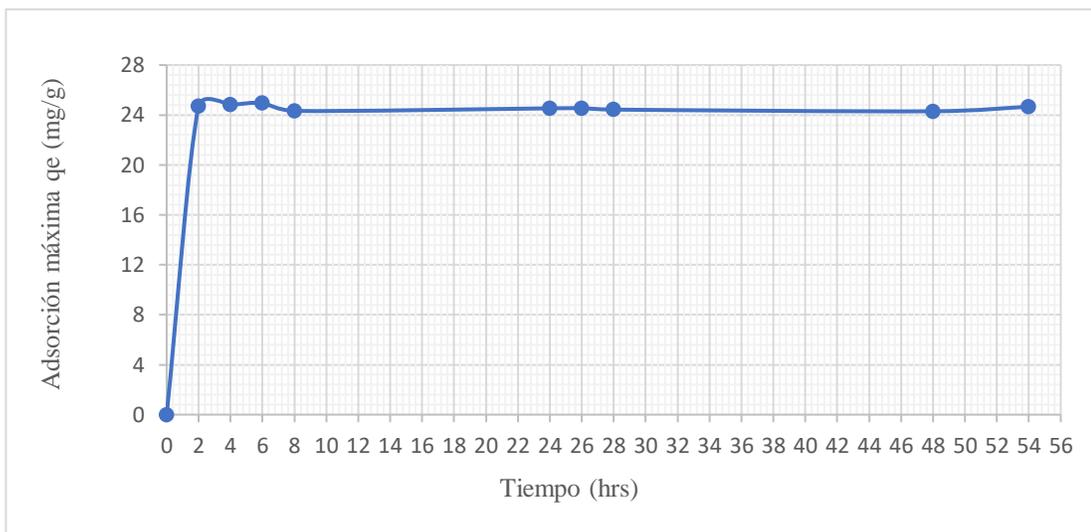
Tabla III-15 Resultados de muestra "A"- Adsorción máxima q_e

M	Vm (l)	Ci (mg/l)	m C.A. (gr)	T (hrs)	Cf (mg/l)	q_e (mg/g)
A	1	1 000	40	0	0	0
				2	12,000	24,700
				4	7,333	24,816
				6	1,333	24,966
				8	26,666	24,333
				24	18,666	24,533
				26	18,000	24,550
				28	22,666	24,433
				48	28,000	24,300
				54	13,333	24,666

Fuente: Elaboración propia 2021

Teniendo la capacidad de adsorción máxima q_e , la siguiente gráfica muestra la cinética de adsorción de clorpirifos sobre el carbón activado C.A. granular de origen vegetal en función del tiempo:

Figura III-3 Cinética de adsorción de clorpirifos sobre C. A, muestra "A" - Adsorción máxima vs Tiempo.



Fuente: Elaboración propia 2021

- **Muestra "B"**

Para poder cuantificar la capacidad de adsorción máxima q_e en modo discontinuo se utiliza la siguiente ecuación:

$$q_e = \frac{(C_i - C_f) * V}{m}$$

Donde:

q_e = es la capacidad de adsorción máxima del adsorbente carbon activado (mg/g)

C_i = es la concentración inicial (1 000 mg/l)

C_f = es la concentración de equilibrio o final a un tiempo "t" (mg/l).

V = es el volumen de la solución empleada en cada sistema (1 l)

m = es la masa de adsorbente carbon activado (40 gr)

Reemplazando los datos de la muestra "B", se muestran a continuación los resultados de capacidad de adsorción máxima q_e :

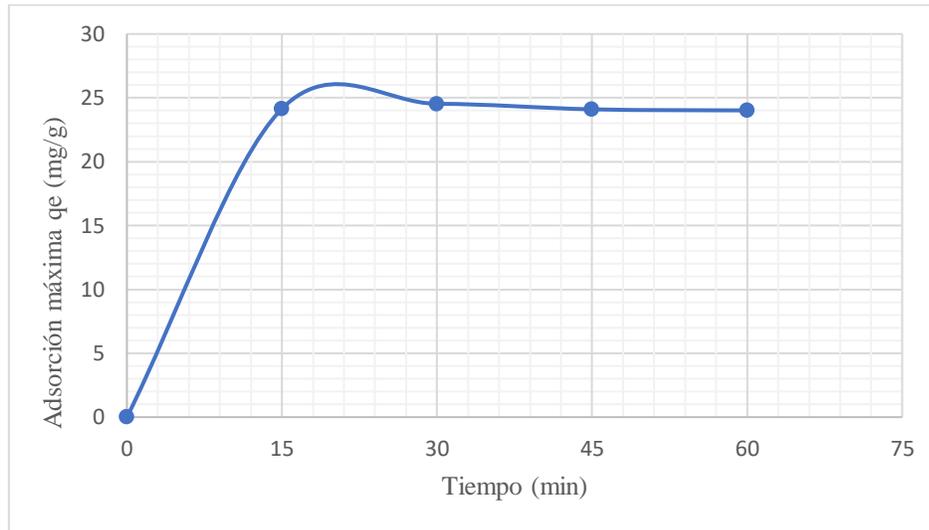
Tabla III-16 Resultados de muestra "B"- Adsorción máxima q_e

M	Vm (l)	Ci (mg/l)	m C.A. (gr)	T (min)	Cf (mg/l)	q_e (mg/g)
B	1	1 000	40	0	0	0
				15	34,000	24,150
				30	18,666	24,533
				45	36,000	24,100
				60	39,333	24,016

Fuente: Elaboración propia 2021

Teniendo la capacidad de adsorción máxima q_e , la siguiente gráfica muestra la cinética de adsorción de clorpirifos sobre el carbón activado C.A. granular de origen vegetal en función del tiempo:

Figura III-4 Cinética de adsorción de clorpirifos sobre C. A, muestra "B" - Adsorción máxima vs Tiempo.



Fuente: Elaboración propia 2021

- **Muestra "C"**

Para poder cuantificar la capacidad de adsorción máxima q_e en modo discontinuo se utiliza la siguiente ecuación:

$$q_e = \frac{(C_i - C_f) * V}{m}$$

Donde:

q_e = es la capacidad de adsorción máxima del adsorbente carbón activado
(mg/g)

C_i = es la concentración inicial (1 000 mg/l)

C_f = es la concentración de equilibrio o final a un tiempo "t" (mg/l).

V = es el volumen de la solución empleada en cada sistema (1 l)

m = es la masa de adsorbente carbón activado (20 gr)

Reemplazando los datos de la muestra "C", se muestran a continuación los resultados de capacidad de adsorción máxima q_e :

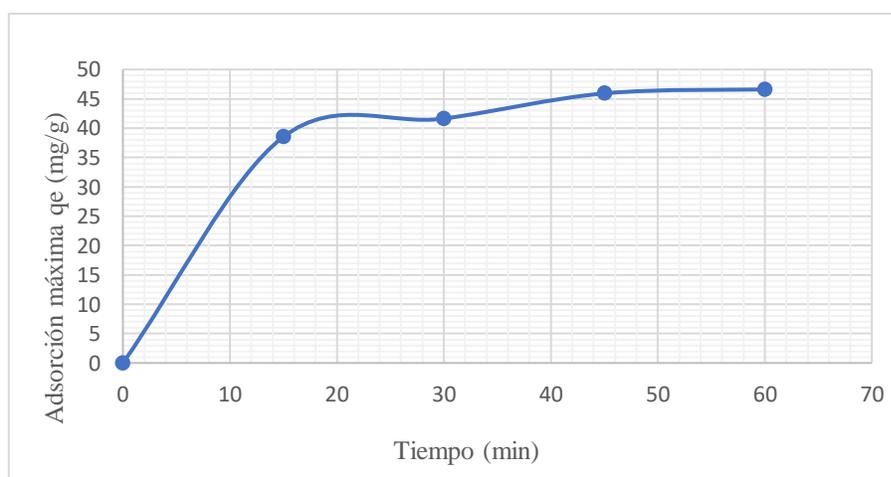
Tabla III-17 Resultados de muestra "C"- Adsorción máxima q_e

M	Vm (l)	Ci (mg/l)	m C.A. (gr)	T (min)	Cf (mg/l)	q_e (mg/g)
C	1	1 000	20	0	0	0
				15	229,333	38,533
				30	167,333	41,633
				45	81,333	45,933
				60	68,000	46,600

Fuente: Elaboración propia 2021

Teniendo la capacidad de adsorción máxima q_e , la siguiente gráfica muestra la cinética de adsorción de clorpirifos sobre el carbón activado C.A. granular de origen vegetal en función del tiempo:

Figura III-5 Cinética de adsorción de clorpirifos sobre C. A, muestra "C" - Adsorción máxima vs Tiempo.



Fuente: Elaboración propia 2021

- **Muestra “D”**

Para poder cuantificar la capacidad de adsorción máxima q_e en modo discontinuo se utiliza la siguiente ecuación:

$$q_e = \frac{(C_i - C_f) * V}{m}$$

Donde:

q_e = es la capacidad de adsorción máxima del adsorbente carbón activado
(mg/g)

C_i = es la concentración inicial (1 000 mg/l)

C_f = es la concentración de equilibrio o final a un tiempo "t" (mg/l).

V = es el volumen de la solución empleada en cada sistema (1 l)

m = es la masa de adsorbente carbón activado (5 gr)

Reemplazando los datos de la muestra “D”, se muestran a continuación los resultados de capacidad de adsorción máxima q_e :

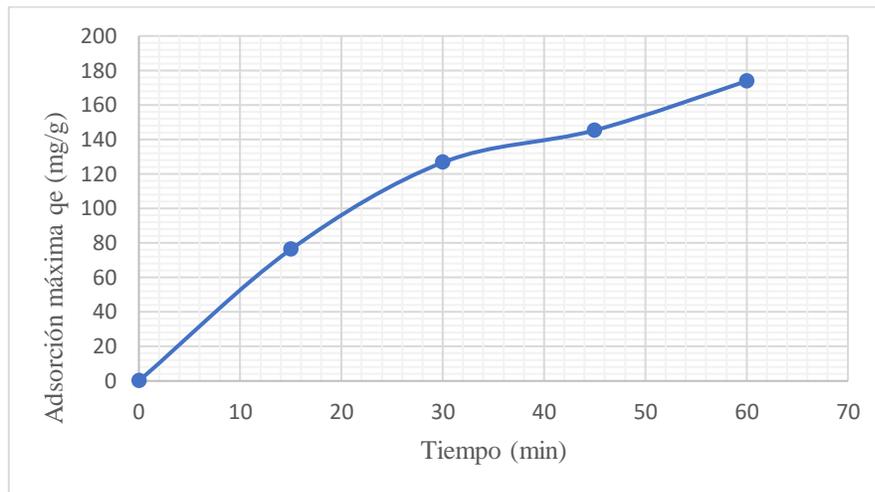
Tabla III-18 Resultados de muestra "D"- Adsorción máxima q_e

M	Vm (l)	Ci (mg/l)	m C.A. (gr)	T (min)	Cf (mg/l)	q_e (mg/g)
D	1	1 000	5	0	0	0
				15	618,666	76,266
				30	366,666	126,666
				45	273,333	145,333
				60	130,666	173,866

Fuente: Elaboración propia 2021

Teniendo la capacidad de adsorción máxima q_e , la siguiente gráfica muestra la cinética de adsorción de clorpirifos sobre el carbón activado C.A. granular de origen vegetal en función del tiempo:

Figura III-6 Cinética de adsorción de clorpirifos sobre C. A, muestra "D" - Adsorción máxima vs Tiempo.



Fuente: Elaboración propia 2021

3.6. Diseño de un filtro de carbón activado

3.6.1. Diseño del canal de entrada y salida del caudal

Previamente al diseño del filtro se realiza el diseño de la entrada y salida al filtro. Al ser un caudal relativamente grande de 160 l/s, se utilizará las siguientes ecuaciones:

- **Ecuación de continuidad:**

$$Q = A * V$$

- **Ecuación de manning:**

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

Donde:

Q = caudal (0,16 m³/s)

A = área de sección rectangular (m²) = b * y

V = velocidad media (m/s)

R = radio hidráulico para sección rectangular (m) ; $R = \frac{b \cdot y}{b + 2y}$

S = pendiente de la rasante de energía, adimensional (2%)

n = coeficiente de rugosidad de Manning en el hormigón (0,12)

Por tanto:

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

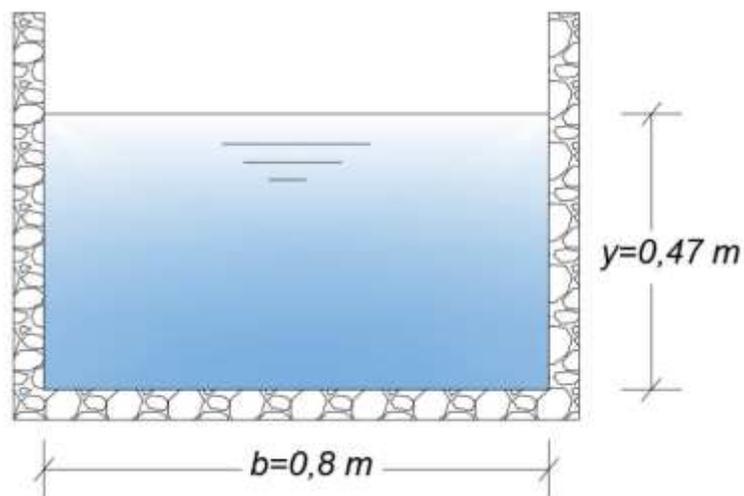
$$Q = \frac{1}{n} * b * y * \left(\frac{b * y}{b + 2y} \right)^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Asumiendo que la base: $b = 0,8$ m (medida constructiva)

$$0,16 = \frac{1}{0,12} * 0,8 * y * \left(\frac{0,8 * y}{0,8 + 2 * y} \right)^{\frac{2}{3}} * 0,02^{\frac{1}{2}}$$

$$y = 0,47 \text{ m}$$

Por tanto, el área es: $A = b * y = 0,8 \text{ m} * 0,47 \text{ m} = 0,38 \text{ m}^2$



Fuente: Elaboración propia 2022

Cálculo de la velocidad:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,16}{0,38} = 0,42 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Estimación del tiempo de circulación en el filtro:

$$t = \frac{d}{V}$$

Donde:

t = tiempo de circulación de una partícula de agua (s)

d = distancia recorrida por una partícula de agua (6 m)

V = velocidad (0,42 m/s)

$$t = \frac{6}{0,42} \approx 15 \text{ s}$$

3.6.2. Dimensionamiento del filtro

De acuerdo a los datos respecto a la cantidad de agua superficial que viene de la Represa de San Jacinto, se tiene que el caudal máximo de ingreso de agua a la PTAP “San Jacinto” es de 160 l/seg.

$$Q = 160 \frac{\text{l}}{\text{seg}} = 0,16 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Al haberse determinado en el estudio realizado para el tratamiento de las aguas superficiales en presencia del insecticida paladín consideramos que el tiempo de circulación que debe estar en contacto con el adsorbente Carbón Activado es de 15 s aproximadamente, por tanto, tenemos que el volumen vacío V_v del filtro debe ser:

$$V_v = 0,16 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 15 \text{ s} = 2,4 \text{ m}^3$$

Para calcular el volumen del filtro, conteniendo la masa de Carbón Activado, partimos del volumen que ocupan los 40 gr de carbón activado que es de 83,33 ml. Llegando así

a tener un volumen total de 1 083,33 ml más los 1 000 ml de agua tratada, considerando que el volumen real que llega a tener el agua junto al carbón activado es de 1 020 ml, por diferencia obtenemos el volumen en espacios vacíos del carbón activado, dándonos 63,33 ml.

La porosidad del lecho fijo, es la relación del volumen vacío al volumen total del lecho, expresado como fracción decimal o como porcentaje. Por lo tanto, tenemos que:

$$x = \frac{63,33 \text{ ml}}{83,33 \text{ ml}} = 0,759$$

Donde: x = porosidad, o espacio vacío del material carbón activado

El volumen del filtro V_t , determinado para el caudal entregado de tratamiento de las aguas, está dado por:

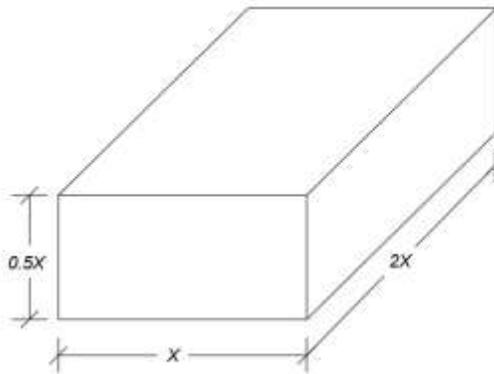
$$V_t = \frac{V_v}{x}$$

$$V_t = \frac{2,4 \text{ m}^3}{0,759} = 3,16 \text{ m}^3$$

- **Dimensionamiento del filtro:**

LARGO: ANCHO: ALTO

$$2x : 1x : 0,5x$$



Fuente: Elaboración propia 2022

El volumen total del filtro V_t , se calcula de la siguiente ecuación:

$$V_t = \text{largo} * \text{ancho} * \text{alto}$$

$$3,16 = 2x * 1x * 0,5x$$

$$3,16 = x^3$$

$$x = 1,47$$

Por tanto, las dimensiones resultan ser las siguientes:

$$\text{largo} = 2 * x = 2 * 1,47 = 2,94 \text{ m} \approx 3\text{m}$$

$$\text{ancho} = 1 * x = 1 * 1,47 = 1,47 \text{ m} \approx 1,5 \text{ m}$$

$$\text{alto} = 0,5 * x = 0,5 * 1,47 = 0,74 \text{ m} \approx 0,8 \text{ m}$$

Entonces el volumen total definitivo es:

$$V_t = 3\text{m} * 1,5 \text{ m} * 0,8 \text{ m} = 3,6 \text{ m}^3$$

- **Cálculo del Número de deflectores:**

Para determinar el número de deflectores necesarios y que incrementan el tiempo de retención del fluido al interior del filtro, se toma como base el volumen total definitivo, las relaciones para el diseño a las dimensiones entre el largo: ancho: alto del filtro y la relación ancho filtro: espaciado de los deflectores. Las relaciones son las siguientes:

LARGO: ANCHO: ALTO

$$2 x : 1 x : 0,5 x$$

ANCHO FILTRO: ESPACIADO

$$2:1$$

Por ello si:

$A_f =$ ancho del filtro = 1,5 m

$A_1 =$ espaciado de los deflectores = m

En base a la relación correspondiente entre ancho del filtro: espaciado, tenemos que:

$$\frac{2}{1} = \frac{1,5}{A_1}$$

Entonces el espaciado del deflector es: $A_1 = 0,75$ m

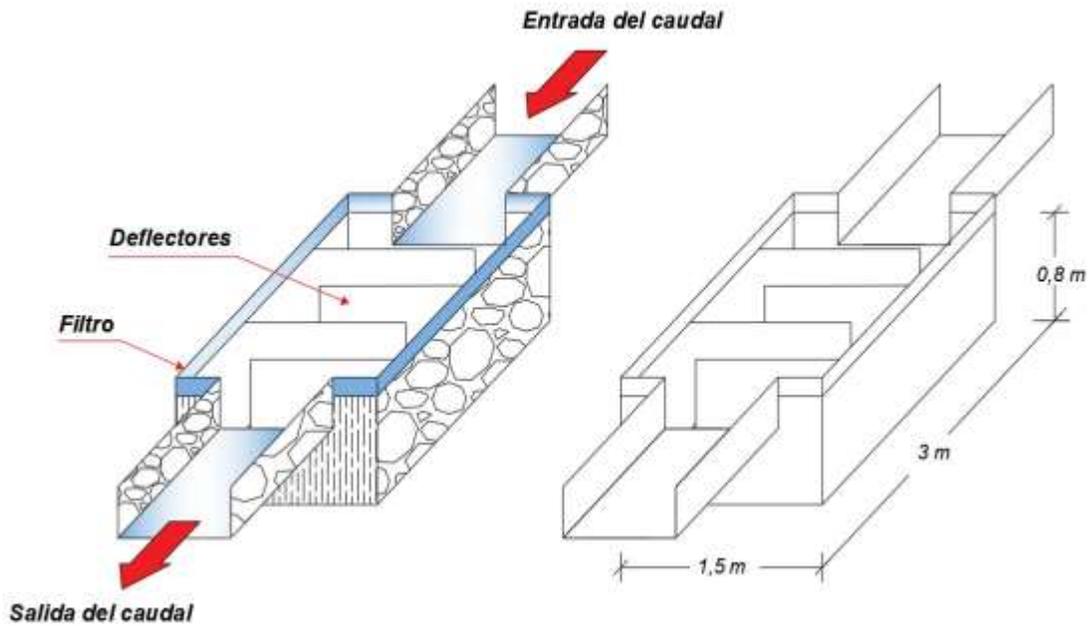
Por lo que el número de deflectores (N) a utilizar está dado por:

$$N = \frac{\text{largo del filtro}}{\text{espaciado entre deflectores}}$$

$$N = \frac{3 \text{ m}}{0,75 \text{ m}}$$

Entonces el número de deflectores es:

$$N = 4$$



Fuente: Elaboración propia 2022

3.6.3. Cálculo de masa de carbón activado para el filtro

Para el cálculo consideramos el volumen del filtro es igual a $3,16 \text{ m}^3$ que se encuentra en función de la porosidad y espacios vacíos que tiene el carbón activado, como dato importante que se tuvo en el desarrollo de este proyecto se sabe que para 1 litro de agua contaminada con plaguicidas se requiere 40 gr de carbón activado, a partir de ese dato que sale de la parte experimental analizamos cuantos gramos de carbón activado se requiere para el volumen total del filtro dato que se encuentra en función del caudal de operación que tiene la Planta de Tratamiento de agua potable “San Jacinto”.

Dicho cálculo se realizará con relación de proporcionalidad:

$$\begin{array}{l} 0,001 \text{ m}^3 - - - - - 40 \text{ gr} \\ 3,16 \text{ m}^3 - - - - - x \text{ (gr)} \\ x = 126\,400 \text{ gr} = 126,4 \text{ kg de C. A.} \end{array}$$

Lo que significa que para un caudal de 160 l/s se requiere una masa de 126,4 kg de carbón activado, donde esa cantidad de masa me ocupa un volumen total de $0,263 \text{ m}^3$ frente al volumen de filtro que es $3,16 \text{ m}^3$.

3.6.4. Balance de materia

Para el balance de materia se considera los datos de la simulación realizada.

Analizando una mayor remoción del plaguicida insecticida clorpirifos en la muestra A, donde la $C_i = 1\,000 \text{ mg/l}$ y $C_f = 12 \text{ mg/l}$ con un rendimiento del 98 %, se considera que partir del dato de la cantidad de carbón activado utilizado:

$$\begin{array}{l} 0,001 \text{ m}^3 - - - - - 40 \text{ gr} \\ 1 \text{ m}^3 - - - - - x \text{ (gr)} \\ x = 40\,000 \text{ gr} = 40 \text{ kg de C. A.} \end{array}$$



Base de cálculo = 1 m³ de agua

Considerando: $\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1\,000\text{ kg/m}^3$; $m_{\text{H}_2\text{O}} = 1\,000\,000\text{ gr}$

Balance de masa en la entrada del filtro:

$$m_{\text{entrada}} = m_{\text{C.A.}} + m_{\text{p}} + m_{\text{H}_2\text{O}}$$

Donde: $m_{\text{entrada}} = \text{masa en la entrada del filtro (gr)}$

$m_{\text{C.A.}} = \text{masa del carbon activado (gr)}$

$m_{\text{p}} = \text{masa del plaguicida (gr)}$

$m_{\text{H}_2\text{O}} = \text{masa del agua (gr)}$

Por tanto:

$$m_{\text{entrada}} = 40\,000\text{ gr} + 1\,000\text{ gr} + 1\,000\,000\text{ gr}$$

$$m_{\text{entrada}} = 1\,041\,000\text{ gr} = 1\,041\text{ Kg}$$

Balance de masa en la salida del filtro:

$$m_{\text{salida}} = m_{\text{C.A.}} + m_{\text{p}} + m_{\text{H}_2\text{O}}$$

Donde: $m_{\text{salida}} = \text{masa en la salida del filtro (gr)}$

Por tanto:

$$m_{\text{salida}} = 40\,000\text{ gr} + 12\text{ gr} + 1\,000\,000\text{ gr}$$

$$m_{\text{salida}} = 1\,040\,012 \text{ gr} = 1\,040,012 \text{ Kg}$$

Balance de masa del plaguicida clorpirifos removido:

$$m_{\text{p,R}} = m_{\text{entrada}} - m_{\text{salida}}$$

Donde: $m_{\text{p,R}}$ = masa del plaguicida removido en el filtro (gr)

Por tanto:

$$m_{\text{p,R}} = 1\,041\,000 \text{ gr} - 1\,040\,012 \text{ gr}$$

$$m_{\text{p,R}} = 988 \text{ gr}$$

Balance General:

$$\text{Entrada} = \text{Salida}$$

$$m_{\text{C.A.}} + m_{\text{p}} + m_{\text{H}_2\text{O}} = m_{\text{C.A.}} + m_{\text{p}} + m_{\text{H}_2\text{O}} + m_{\text{p,R}}$$

$$40\,000 \text{ gr} + 1\,000 \text{ gr} + 1\,000\,000 \text{ gr} = 40\,000 \text{ gr} + 12 \text{ gr} + 1\,000\,000 \text{ gr} + 988 \text{ gr}$$

$$1041\,000 \text{ gr} = 1041\,000 \text{ gr}$$

❖ **Cálculo del costo del m³ de agua**

Por tanto, para 1 m³ de agua se necesitan 40 gr de C. A.

Considerando el volumen total del filtro: $V_{\text{Tf}} = 3,16 \text{ m}^3$

La masa total de carbón activado: $m_{\text{C.A.}} = 40000 * 3,16$

$$m_{\text{C.A.}} = 126\,400 \text{ gr}$$

- **Considerando una limpieza promedio cada 10 días**

$$t = 10 \text{ dias} = 864\,000 \text{ seg}$$

$$\text{Siendo el caudal de operación: } Q = \frac{1601}{\text{seg}} = 0,16 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$$

Por tanto, el volumen que circula en 10 días es: $V = Q * t$

$$V = 0,16 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}} * 86\,400 \text{ seg} = 138\,240 \text{ m}^3$$

- **Calculamos la relación de masa de carbón activado por cada m³ de agua:**

$$\frac{m_{\text{C.A.}}}{V} = \frac{126\,400 \text{ gr}}{138\,240 \text{ m}^3}$$

$$\frac{m_{\text{C.A.}}}{V} = 0,91 \text{ gr} \frac{\text{C.A.}}{\text{m}^3}$$

- **Cálculo del precio unitario (Pu):**

Considerando ½ kg de C.A. vale 40 bs

$$1/2 \text{ kg} \text{ --- } 40 \text{ bs}$$

$$1 \text{ kg} \text{ --- } x \text{ (bs)}$$

$$x = 80 \text{ bs/kg}$$

Por tanto:

$$1\,000 \text{ gr} \text{ --- } 80 \text{ bs}$$

$$1 \text{ gr} \text{ --- } x \text{ (bs)}$$

$$x = 0,08 \frac{\text{bs}}{\text{gr}} = \text{Pu}$$

- **Finalmente, el precio por m³ de agua en función al carbón activado:**

$$\text{Precio} = \frac{m_{\text{C.A.}}}{V} * \text{Pu}$$

$$\text{Precio} = 0,91 \text{ gr} \frac{\text{C.A.}}{\text{m}^3} * 0,08 \frac{\text{bs}}{\text{gr}}$$

$$\text{Precio} = 0,0728 \frac{\text{bs}}{\text{m}^3}$$

3.6.5. Estructura de costo del Trabajo de Grado

Este Trabajo de grado fue financiado con recursos propios desde la adquisición de información, visitas a la PTAP “San Jacinto”, muestreos y análisis en el laboratorio. Los materiales y equipos fueron proporcionados por el Laboratorio Centro de Análisis Investigación y Desarrollo - CEANID.

3.6.5.1. Diagnóstico general de la situación actual de la PTAP “San Jacinto”

Tabla III-19 Costo del diagnóstico de la PTAP "San Jacinto"

Nº	ACTIVIDAD	PRECIO UNITARIO (Bs)	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PARCIAL (Bs)
1	Obtención de información	3	Hora	56	168
2	Transporte	3,77	Litro gasolina	80	301,6
3	Análisis en el CEANID	1 000	Análisis	2	2 000
4	Tiempo	12,5	Hora	160	2 000
Costo Final =					4 469,6

Fuente: Elaboración propia 2022

3.6.5.2. Desarrollo de la parte experimental

Tabla III-20 Costo de la parte experimental.

Nº	ACTIVIDAD	PRECIO UNITARIO (Bs)	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PARCIAL (Bs)	
1	Reactivos	NaCl	500	Kilogramo	0,5	250
		C ₃ H ₈ O	850	Litro	1	850
2	Materiales	100	General	1	100	
3	Equipos	200	General	1	200	
4	Insumos	Carbón Activado	80	Kilogramo	0,5	40
		Plaguicida	70	General	1	70
		Membrana de filtro fibra de vidrio	1	Pieza	40	40

5	Tiempo	12,5	Hora	480	6000
Costo Final =					7550

Fuente: Elaboración propia 2022

3.6.5.3. Documentación

Tabla III-21 Costo de la documentación.

N°	MATERIALES	PRECIO UNITARIO (Bs)	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PARCIAL (Bs)
1	Internet	3	Hora	60	180
2	Impresión	0,25	Hoja	1500	375
3	Empastado	60	Empastado	3	180
4	Anillado	5	Anillado	6	30
5	Revisión gramatical con profesor (a) de literatura	150	Documento	1	150
Costo Final =					915

Fuente: Elaboración propia 2022

3.6.5.4. Resumen del presupuesto general

Tabla III-22 Presupuesto general.

N°	ACTIVIDADES	PRECIO PARCIAL (Bs)
1	Diagnóstico general de la situación actual de la PTAP "San Jacinto"	4 469,6
2	Desarrollo de la parte experimental	7 550
3	Documentación	915
Presupuesto final =		12 934,6

Fuente: Elaboración propia 2022

El presupuesto general del trabajo de investigación presentado es Bs doce mil novecientos treinta y cuatro 60/100.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

Se tienen las siguientes conclusiones:

1. Al realizar el diagnóstico del sistema actual que tiene la planta de tratamiento de agua potable “San Jacinto”, se observó que requiere de un mantenimiento general tanto en los equipos como en los diferentes sectores de dicha planta debido a la parálisis que tuvo desde el año 2 006.
2. En lo referente al agua que ingresa a la planta que va desde la Represa de San Jacinto hasta sus instalaciones es necesario recalcar que no habría ningún problema si se quisiera reactivar la planta ya que actualmente se encuentra funcionando el sistema de canales y bombeos hacia dicha planta abasteciendo de agua para riego en las zonas cercanas.
3. En lo que toca al estudio de la UNAM y otros laboratorios que encontraron presencia de agroquímicos en la entrada y salida de la PTAP “San Jacinto”, se realizó el diagnóstico de la situación actual de calidad de aguas de ingreso a la PTAP “San Jacinto”, tomando las muestras y llevando a analizar las mismas en el laboratorio del Centro de Análisis Investigación y Desarrollo – CEANID de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, observando que los límites de detección de los plaguicidas organoclorados se encuentran por debajo de los límites de detección debido a que hoy en día, prácticamente no se encuentran en el mercado los plaguicidas reportados, lo cual junto a la disminución de plaguicidas en los cultivos debido a la época de siembra, pues los agricultores se encontraban preparando terrenos para el cultivo, no hubo lixiviación de los mismos a los cursos de agua, lo cual también justifica la razón del porqué no se haya detectado algún plaguicida presente en dichas aguas.
4. Como existe la posibilidad de que, por las prácticas agrícolas en la época de siembra, se presente cierto nivel de contaminación con plaguicidas por encima de lo establecido en la normativa boliviana.

Por ello, se planteó una simulación de contaminación con un plaguicida muy comercial y conocido por los agricultores para los cultivos tradicionales de la zona como son el maíz y tomate por ejemplo, para lo cual se realizó un estudio del uso frecuente de un insecticida que actualmente es usado en común por los agricultores que viven por la zona aguas arriba y abajo de la represa de San Jacinto, a lo cual se correlacionó con los expendedores de los plaguicidas en distintos puntos de la ciudad. Esto ayuda a definir el plaguicida con el que se pueda realizar la simulación de contaminación en aguas superficiales; el plaguicida usado en la simulación de nombre comercial **paladín** que en su composición contiene al insecticida **clorpirifos**.

5. Se identificó la adición de un módulo para la remoción del insecticida clorpirifos haciendo uso del carbón activado vegetal N° **E153** y poder determinar su adsorción máxima de ese absorbente frente al plaguicida, haciendo el análisis por espectrofotometría de luz UV - V.
6. Analizando los resultados obtenidos en la adsorción del insecticida clorpirifos en solución acuosa sobre el material carbonoso, se pueden extraer las siguientes conclusiones:
 - Los datos más relevantes en cada una de las muestras podemos observar que existe una relación directa entre la absorbancia y cantidad de carbón activado (C.A.) presente, notando así que a mayor cantidad de masa adsorbe más el insecticida disminuyendo a la vez su concentración final y viceversa a menor cantidad de masa de carbón activado adsorbe menos insecticida dejando una elevada concentración final en la muestra, como se muestra a continuación:

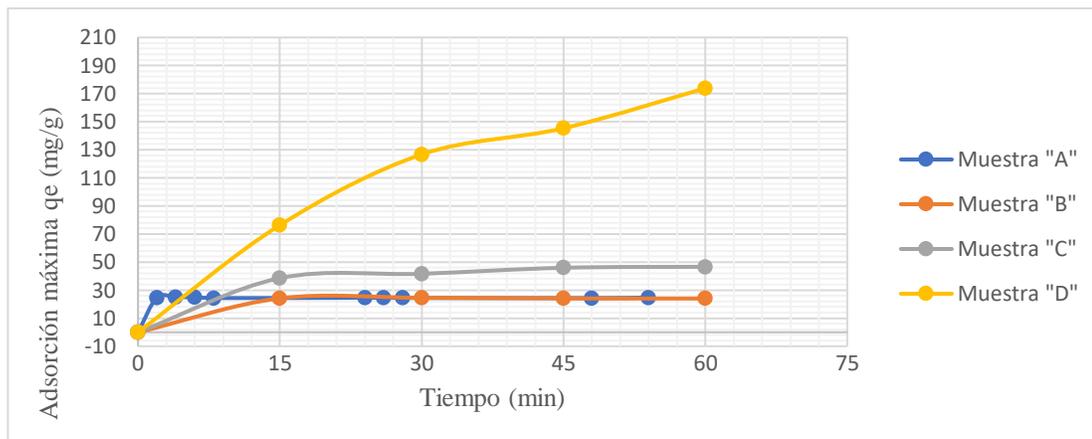
Muestra	Vm (l)	Ci (ppm)	m C.A. (gr)	T (min)	Cf (ppm)	Rendimiento de Remoción (%)
A	1	1000	40	120	12,000	98,8
B	1	1000	40	60	39,333	96,1
C	1	1000	20	60	68,000	93,2

Muestra	V _m (l)	C _i (ppm)	m C.A. (gr)	T (min)	C _f (ppm)	Rendimiento de Remoción (%)
D	1	1000	5	60	130,666	86,9

Fuente: Elaboración propia 2022

Se concluye que existe una relación directa entre masa de absorbente y remoción de plaguicida, notándose así en la muestra "A" un mayor rendimiento de adsorción en 40 gr de carbón activado.

- Como podemos observar se tuvo la capacidad de adsorción máxima (q_e) para todos los casos, tal como se muestra en la siguiente gráfica:



Fuente: Elaboración propia 2022

7. El Módulo de remoción de plaguicidas que se diseñó es el filtro de carbón activado como una propuesta, partiendo del caudal de operación dando como resultado el volumen total del filtro de $3,6 \text{ m}^3$ con las siguientes dimensiones:

Largo: 3 m

Ancho: 1,5 m

Alto: 0,8 m

- En función a los resultados de la parte experimental, para poder procesar un caudal de 160 l/s se requiere una masa de 126,4 kg de carbón activado granular, donde esa cantidad de masa me ocupa un volumen total de $0,263 \text{ m}^3$ frente al volumen de filtro que es $3,16 \text{ m}^3$.

8. A partir de los resultados obtenidos el precio por m³ de agua en función a la cantidad de carbón activado es:

$$\text{Precio} = 0,0728 \frac{\text{bs}}{\text{m}^3}$$

9. Finalmente se estimó el presupuesto general del trabajo de investigación presentado en Bs doce mil novecientos treinta y cuatro 60/100 (12 934,60).

4.2. Recomendaciones

En el desarrollo de este Trabajo de Grado se presentaron diversas situaciones y se consideran muy importantes las siguientes recomendaciones:

1. Los plaguicidas presentan moléculas polares o apolares, por lo que es necesario realizar análisis previos a las muestras para determinar qué disolvente es el más adecuado para extraer de manera satisfactoria el plaguicida de la muestra de agua, ya que si se utiliza un disolvente que no concuerda con las propiedades de este, la extracción será nula.
2. Los resultados de adsorción presentados en este estudio sugieren que los materiales carbonosos son adsorbentes muy poderosos, con alta superficie activa, efectivos para la remoción por adsorción del insecticida clorpirifos, como también se recomienda hacer uso de los resultados encontrados en este estudio puede usarse como base para futuros análisis de otros plaguicidas.
3. Tomando como punto de partida de esta investigación se recomienda instalar al inicio de las etapas de tratamiento del sistema actual de la planta de tratamiento de agua potable “San Jacinto” un filtro cuyo material sea de hormigón, así también el canal de entrada y salida, con deflectores de acero galvanizado considerando así también el diseño planteado en este trabajo. El filtro debe contener como relleno el adsorbente carbón activado (C.A.) granular en dosificación necesaria según el caudal de trabajo de dicha planta.
4. Con el fin de tener un sistema en espera para ser de uso caso que fuera necesario en la remoción de plaguicidas presente en las aguas de origen de la represa de San Jacinto.

5. Por otro lado, se sugiere hacer este tipo de estudio en otras zonas del departamento para determinar si existe riesgo de contaminación por plaguicidas o no lo hay y de esta forma encontrar una alternativa de remoción de los presentes en las aguas superficiales.
6. Es aconsejable incorporar a la comunidad en este tipo de estudios, para que de esta forma tengan la capacidad de percatarse de los daños que puedan llegar a padecer, así mismo orientarlos en el uso de este plaguicida y procurar opciones más amigables con el ambiente al cultivar, de manera que se pueda aprovechar el agua y al mismo tiempo evitar problemas de salud pública y contaminación en los recursos naturales de esta represa.