



Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental

Facultad de Ingeniería Química

**“Propuesta de un Sistema de Filtración Sustentable Basado en un
Modelo Físico para Comunidades Colindantes al Manantial de la
Mintzita”**

Tesis

**para obtener el grado de:
Maestro en Ciencias en Ingeniería Ambiental**

Presentado por:

Yael Alberto Lizárraga Morales

Ingeniero Químico

Director de Tesis

Dr. Roberto Guerra González

Co director de Tesis:

Dr. Rodrigo Gómez Monge

Morelia, Michoacán de Ocampo, agosto 2025.

Contenido

Resumen	4
Abstrac	5
Capitulo I.- Generalidades.....	6
1.1. Introducción	6
1.2. Planteamiento del Problema.....	7
1.3. Objetivos	7
Objetivo General.....	7
Objetivos Específicos:.....	7
1.4. Hipótesis.....	7
1.5. Preguntas de Investigación.....	8
1.6. Justificación.....	8
1.7. Antecedentes	8
Capitulo II.- Descripción del área de Investigación	10
2.1. Ubicación	10
2.1.1. Michoacán.....	10
2.1.2. Morelia	11
2.1.3. La Mintzita.....	12
2.2. Fisiografía	13
2.3. Geología.....	13
2.4. Clima.....	13
2.5. Hidrografía	14
2.6. Flora y Fauna.....	16
2.6.1. Flora	16
2.6.2. Fauna	16
Capitulo III.- Marco Teórico	17
3.1. Ciclo Hidrológico	17
3.2. Manantial	18
3.3. Agua.....	19
3.3.1. Contaminación del agua	21
3.4. Adsorción	28
3.5. Materiales Adsorbentes.....	30

3.5.1. Carbón Activado	31
3.6. Barreras Reactivas Permeable	34
Capitulo IV.- Metodología	36
4.1. Síntesis de Carbón Activado	36
4.2. Diseño mecánico y elaboración de la barrera permeable.....	38
4.2.1. Diseño y elaboración prototipo	38
4.2.2. Diseño Pre Simulación	41
4.2.3. Simulación de filtro	43
4.2.4. Diseño Filtro Domestico.....	45
Capitulo V.- Resultados	46
5.1. Cálculos de Solidos Totales y Solidos en Suspensión.....	46
5.2. Análisis del Semáforo de Calidad del Agua en el manantial la Mintzita.	47
5.3. Análisis DRX	66
5.5. Evaluación de Remoción de N _{NH3}	68
5.6. Análisis de Costos	71
Capitulo VI. – Conclusiones.....	74
Referencias	75

Resumen

El manantial la Mintzita, situada en Morelia, es uno de los principales recursos hídricos del estado de Michoacán, es considerado el segundo manantial más significativo de la región donde suministra cerca del 33% del agua potable a la ciudad de Morelia, así como también sus colindancias como el ejido de Cointzio y San Nicolas de Obispo, lo que lo hace un elemento crucial para la vida diaria de miles de familias y las actividades socioeconómicas de la región.

No obstante, el manantial la Mintzita enfrenta graves retos como el derramamiento y acumulación de aguas residuales que deterioran la calidad del agua y amenazan su conservación, a esto se añade una crisis medioambiental más extensa, causada por el desarrollo urbano, las modificaciones del uso de suelo y el incremento de actividades industriales, que ejercen una presión adicional sobre los recursos naturales de la región, todos esto ha llegado a ocasionar múltiples problemas ambientales, socioeconómicos y de salud a las zonas colindantes del manantial.

El propósito de este proyecto fue proponer un modelo físico que actúe como un sistema de filtración sustentable apoyado de un material adsorbente natural proveniente del bagazo de caña (*Saccharum officinarum*) con la finalidad de poder disminuir contaminantes en cuerpos de agua.

Palabras Clave: Materiales adsorbentes, bagazo de caña, contaminantes, agua, carbón activado.

Abstrac

The La Mintzita Spring, located in Morelia, is one of the main water resources in the state of Michoacán. It is considered the second most significant spring in the region, supplying nearly 33% of the drinking water to the city of Morelia, as well as its surrounding areas such as the Cointzio ejido and San Nicolas de Obispo. This makes it crucial for the daily lives of thousands of families and for the region's socioeconomic activities.

However, the La Mintzita Spring faces serious challenges, such as the spillage and accumulation of wastewater that deteriorate water quality and threaten its conservation. Added to this is a broader environmental crisis caused by urban development, land-use changes, and the increase in industrial activities, which place additional pressure on the region's natural resources. All of this has led to multiple environmental, socioeconomic, and health problems in the areas surrounding the spring.

The purpose of this project was to propose a physical model that acts as a sustainable filtration system supported by a natural adsorbent material derived from sugarcane bagasse (*Saccharum officinarum*) in order to reduce pollutants in water bodies.

Capítulo I.- Generalidades

1.1. Introducción

El manantial la Mintzita, ubicado en la región de Morelia, Michoacán, es un recurso natural de gran relevancia y un símbolo de la riqueza hídrica del estado, considerado como el segundo manantial más importante de Michoacán, este cuerpo de agua es fundamental para el funcionamiento del ecosistema regional, desempeñándose principalmente en el suministro de agua potable a la ciudad de Morelia, la Mintzita establece conexiones tanto ecológicas como territoriales con importantes áreas vecinas, entre las que destacan el ejido de Cointzio, San Nicolás de Obispo, la industria papelera “Escribe”, y, naturalmente, la capital moreliana. Su relevancia no solo radica en su ubicación estratégica, sino también en su capacidad para proporcionar alrededor del 33% del agua que consume la ciudad. Este porcentaje convierte al manantial en el principal cuerpo de agua natural que sostiene la vida cotidiana de miles de familias, así como también las actividades socioeconómicas de Morelia.

Sin embargo, el manantial enfrenta actualmente una serie de desafíos que amenazan su integridad y su capacidad para seguir abasteciendo a la población. Entre las problemáticas más evidentes esta la proliferación descontrolada de maleza acuática, un fenómeno que no solo afecta el flujo natural del agua, sino que también altera las condiciones ecológicas del entorno. Además, el desagüe y la acumulación de aguas residuales en los alrededores del manantial se han convertido en una preocupación crítica para las autoridades locales y los organismos encargados de su conservación. Estas prácticas han generado un efecto perjudicial en la calidad del agua y han amenazado la dinámica natural del manantial evidenciando un deterioro progresivo que requiere atención inmediata. Por otro lado, la situación se agrava aún más cuando se considera el contexto más amplio de crisis ambiental que enfrenta la región. Durante los últimos años, los cambios en las actividades cotidianas y en los usos del suelo han modificado significativamente la interacción entre las comunidades vecinas y el manantial. Estas transformaciones incluyen el crecimiento urbano y la intensificación de actividades industriales, factores que han ejercido una presión adicional sobre los recursos naturales de la zona y han contribuido a la crisis hídrica que se vive en Michoacán.

1.2. Planteamiento del Problema

El manantial la Mintzita contribuye al suministro de agua para la ciudad de Morelia, así como también para las regiones colindantes, en los últimos años se ha presentado una situación crítica en materia ambiental y socioeconómica en donde poco a poco se ha visto una alteración en la capacidad y calidad del agua, ocasionado por aspectos tanto naturales como urbanos, lo que ha llegado a traer múltiples problemas ambientales, socioeconómicos y de salud a las zonas colindantes del manantial.

1.3. Objetivos

Objetivo General

Diseñar un modelo físico con materiales adsorbentes naturales que disminuya contaminantes orgánicos en cuerpos de agua.

Objetivos Específicos:

- ✚ Sintetizar un material adsorbente mediante el uso de residuos de caña “*Saccharum officinarum*”.
- ✚ Analizar la habilidad de adsorción y las características físicas del material natural sintetizado.
- ✚ Analizar el costo de elaboración del carbón activado y el modelo de impresión.

1.4. Hipótesis

- ✚ La implementación de un modelo físico de descontaminación del agua a través de materiales adsorbentes naturales, permitirá reducir el nivel de contaminación en el agua permitiendo que la población pueda utilizarla para su uso.
- ✚ La síntesis del carbón activado mediante el residuo orgánico "Bagazo de caña" se realizará de manera satisfactoria.
- ✚ La habilidad de adsorción del bagazo de caña y los resultados de las características físicas dará un resultado satisfactorio mediante su contacto con un contaminante.
- ✚ El análisis de costos nos mostrara una viabilidad a comparación de otros métodos o filtros comerciales.

1.5. Preguntas de Investigación

- ✚ ¿Cuál será el modelo físico adecuado al tratamiento de agua que mejor se adapte a la implementación de materiales adsorbentes naturales?
- ✚ ¿Cuál es el efecto que tendrá el bagazo de caña a partir su síntesis como uso en el tratamiento de agua?
- ✚ ¿Cuál será el porcentaje de remoción del bagazo de caña y sus propiedades físicas en su aplicación a un contaminante del agua?
- ✚ ¿Cuál será la viabilidad de costos del bagazo de caña como alternativa a comparación de los filtros comerciales?

1.6. Justificación

La disponibilidad y la calidad del agua es esencial para el bienestar de los ecosistemas acuáticos, así como también para el bienestar humano. Durante estos años recientes se ha observado un incremento de contaminación natural y urbana. Lo que ha llegado a causar un impacto adverso en la disponibilidad y calidad de agua para su uso, afectando a las comunidades y las zonas colindantes del manantial la Mintzita.

1.7. Antecedentes

Tabla 1.- Antecedentes

Autor	Titulo	Año
Ortega-Murillo María del Rosario et al.	Estado trófico de la presa la Mintzita, Morelia, Michoacán, con base en la abundancia y distribución del fitoplancton.	2007
Vázquez Aguirre, A. A.	Limnología de Cuatro Sistemas Acuáticos de la Subcuenca de Morelia, Michoacán	2008
Umbacia, Soto, M. S.	Aplicación De Barreras Reactivas Permeables Para La Eliminación De Hidrocarburos En Suelos Contaminados.	2014
Ramírez Arcila, H., & Jaramillo Peralta, J.	Agentes Naturales como Alternativa para el Tratamiento del Agua. Revista Facultad De Ciencias Básicas	2016

Organista Mota, R.	Estudio de Calidad de Agua Subterránea y su Relación con la Salud Pública en la Región de Capula-Cointzio.	2017
Ávila Olivera, J.A.	“Vulnerabilidad Del Agua Subterránea Al Poniente De La Ciudad De Morelia, Michoacán”	2018
Prieto et al.	Adsorción de Cadmio desde Soluciones Acuosas en Carbón Activado de Bagazo de Caña de Azúcar variedad roxa.	2020
Díaz Rodríguez, Y.	Capacidad de Adsorción de Materiales Naturales para el Tratamiento de Aguas de Proceso de la Actividad Petrolera	2021
Del Ángel, E.	Tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando carbono activado preparado de bagazo de caña de azúcar	2022
Somoza Sandino, C. A.	Diseño y evaluación de un sistema de barreras reactivas permeables a escala piloto para la reducción de carga de nitrato en agua de escorrentía superficial agrícola	2023
<i>Jaén Jiménez, J. C., & Zamora Umaña, G. J.</i>	Obtención de carbón activado a partir del bagazo de caña, para su uso en la remoción de los fármacos diclofenaco y amoxicilina en aguas residuales.	2024

Capítulo II.- Descripción del área de Investigación

El análisis del área de investigación está compuesto de los siguientes aspectos:

- ✚ **Ubicación:** Al determinar una ubicación y delimitarlo nos facilita hacer una descripción en el cual podemos ver por ejemplo donde pertenece, sus colindancias, así como también posibles riesgos que puedan afectar la zona de estudio.
- ✚ **Fisiografía y Geología:** Estos aspectos hacen referencia principalmente de cómo está conformada la zona de estudio respecto a si está conformada por ejes volcánicos, elevaciones, masas de roca, así como también el sustrato geológico, y que tipo de rocas podemos encontrar
- ✚ **Clima:** Mediante este aspecto podemos describir los diferentes tipos de climas presentes en la zona, cual puede predominar más en donde se determine aspectos como temperatura, humedad, lluvia, etc.
- ✚ **Hidrografía:** Mediante la hidrografía podemos describir el tipo de cuerpo de agua que se encuentra en la zona, sus principales redes de conexión, si hay presencia de ríos, presas, manantiales, así como sus entradas y salidas.
- ✚ **Flora y Fauna:** Por medio de estos dos aspectos podemos ver y conocer las principales especies nativas de flora y fauna, con esto podemos determinar porque son importantes, y conocer cuáles pueden ser más susceptibles a estar en peligro de extinción

2.1. Ubicación

2.1.1. Michoacán

El estado de Michoacán está situado en la parte suroeste de la meseta central de México, colinda con las regiones de Jalisco, Guanajuato, Querétaro, Edo. de México y Guerrero y Colima. Está dividido en 113 municipios, de los cuales su capital es Morelia. Se sitúa entre los ríos Lerma y Balsas, junto al Océano Pacífico, pertenece al Eje Neovolcánico y a la Sierra Madre del Sur (Pedraza Pérez, 2018).



Ilustración 1.- Mapa del Estado de Michoacán. (INEGI, 2025)

2.1.2. Morelia

El municipio de Morelia está ubicado al Noroeste del Estado de Michoacán y pertenece a la cuenca Hidrológica del Lago de Cuitzeo (Vázquez Aguirre, 2008). Limita con un total de 14 municipios: Coeneo, Huaniqueo, Chucándiro, Copándaro, Tarímbaro, Charo, Tzitzio, Madero, Acuitzio, Pátzcuaro, Huiramba, Tzintzuntzan y Quiroga (Pedraza Pérez, 2018). En el Municipio de Morelia, se localizan las presas de Umécuaro, Loma Caliente, Las Angustias y el manantial “la Mintzita” (Vázquez Aguirre, 2008).



Ilustración 2.- Estado de Michoacán y Morelia. (INEGI, 2025)

2.1.3. La Mintzita

El manantial de la Mintzita se localiza al Suroeste de la ciudad de Morelia, forma parte de la subcuenca del Lago de Cuitzeo, Pertenece al Municipio de Morelia, y se ubica al suroeste de la ciudad del mismo nombre en la Tenencia de “la Mintzita” (Marín Togo & Blanco García, 2009). Colinda con el Ejido de San Juanito Itzicuaró, el Ejido de Cointzio, la Tenencia Morelos, Emiliano Zapata, Cointzio y la papelería, San Javier y San Nicolás Obispo y con el asentamiento irregular conocido como Jardines de “la Mintzita” (Bahena Fraga, 2010).

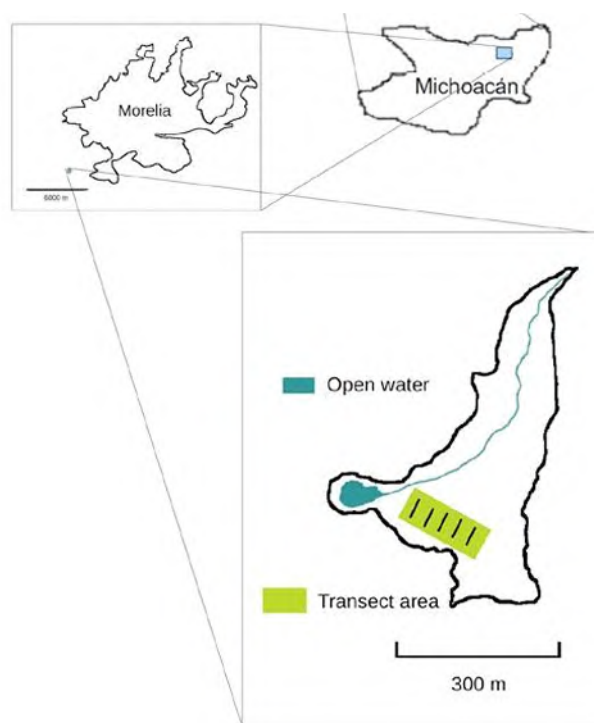


Ilustración 3.- Localización de la Mintzita (Rodríguez Arias et al., 2018).

2.2. Fisiografía

La región del estado de Michoacán se compone de dos áreas fisiográficas importantes, la Sierra Madre del Sur y el Eje Neovolcánico Transversal. Está formada principalmente por rocas volcánicas de tipo exclusivo y sedimentarios continentales fruto de múltiples erupciones. Esta condición resultó en un relieve volcánico suave, con colinas de alturas relativas de menos de 150 metros, laderas suaves de menos de 30° de inclinación comunes en las mesetas volcánicas (Bahena Fraga, 2010).

2.3. Geología

El sustrato geológico se compone de rocas ígneas extrusivas, originadas en el periodo Cuaternario, que corresponde a rocas basálticas, además de tobas arenosas, de composición riolítica y sedimentos lacustres (Marín Togo & Blanco García, 2009). El Área Natural Protegida manantial la Mintzita se localiza en una falla de tipo normal, que la atraviesa al Sur en dirección Norte-Este y Sur-Oeste a la altura del Balneario Cointzio. La litología de la zona se distingue por su procedencia volcánica y los procesos tectónicos de fallas activas que generan la dinámica de tectónicas de la zona (Bahena Fraga, 2010).

2.4. Clima

La zona del manantial la Mintzita predomina un clima templado subhúmedo, caracterizado por lluvias en temporada de verano. Durante todo el año la temperatura está situada en 17.5°C, su temporada más baja transcurre en enero con aproximadamente en 14.1°C. (Marín Togo & Blanco García, 2009). La precipitación anual promedio es de 810.36 mm. En primavera se alcanza un promedio de precipitación de 65.09 mm, en verano 492.3 mm, otoño 220.14 mm y en invierno de 32.83 mm. (Bahena Fraga, 2010).

2.5. Hidrografía

El manantial pertenece a la Cuenca del Lago de Cuitzeo, siendo los ríos más importantes el Grande y el Chiquito. La presa más relevante es la de Cointzio, aunque también posee otras más pequeñas como la de Umécuaro. Además, los manantiales de aguas termales en la región son relevantes debido a que se utilizan como balnearios, figurando los de Cointzio, El Ejido y El Edén (Bahena Fraga, 2010).

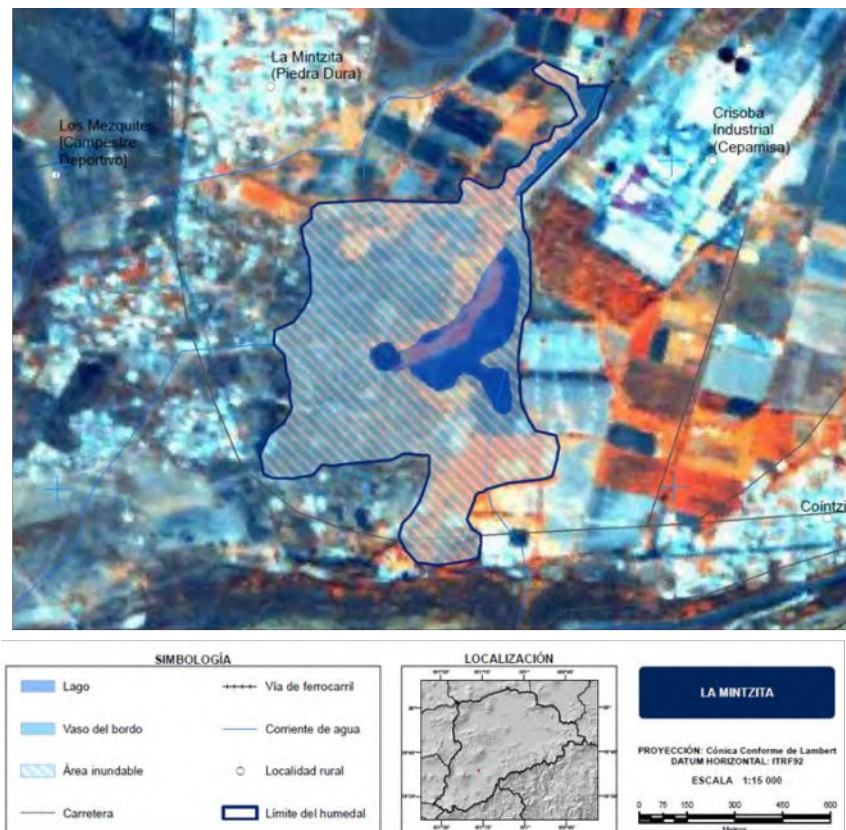


Ilustración 4.- Cuerpo de agua “la Mintzita” (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2020).

El agua almacenada desemboca directamente hacia el río grande, su excedente se usa para suministrar a la ciudad de Morelia y las comunidades a su alrededor. Por otro lado, la industria papelera (Kimberly Clark) toma agua del manantial para sus procesos y luego la devuelve al río grande la cual se emplea posteriormente para agua de riego. (Marín Togo & Blanco García, 2009).

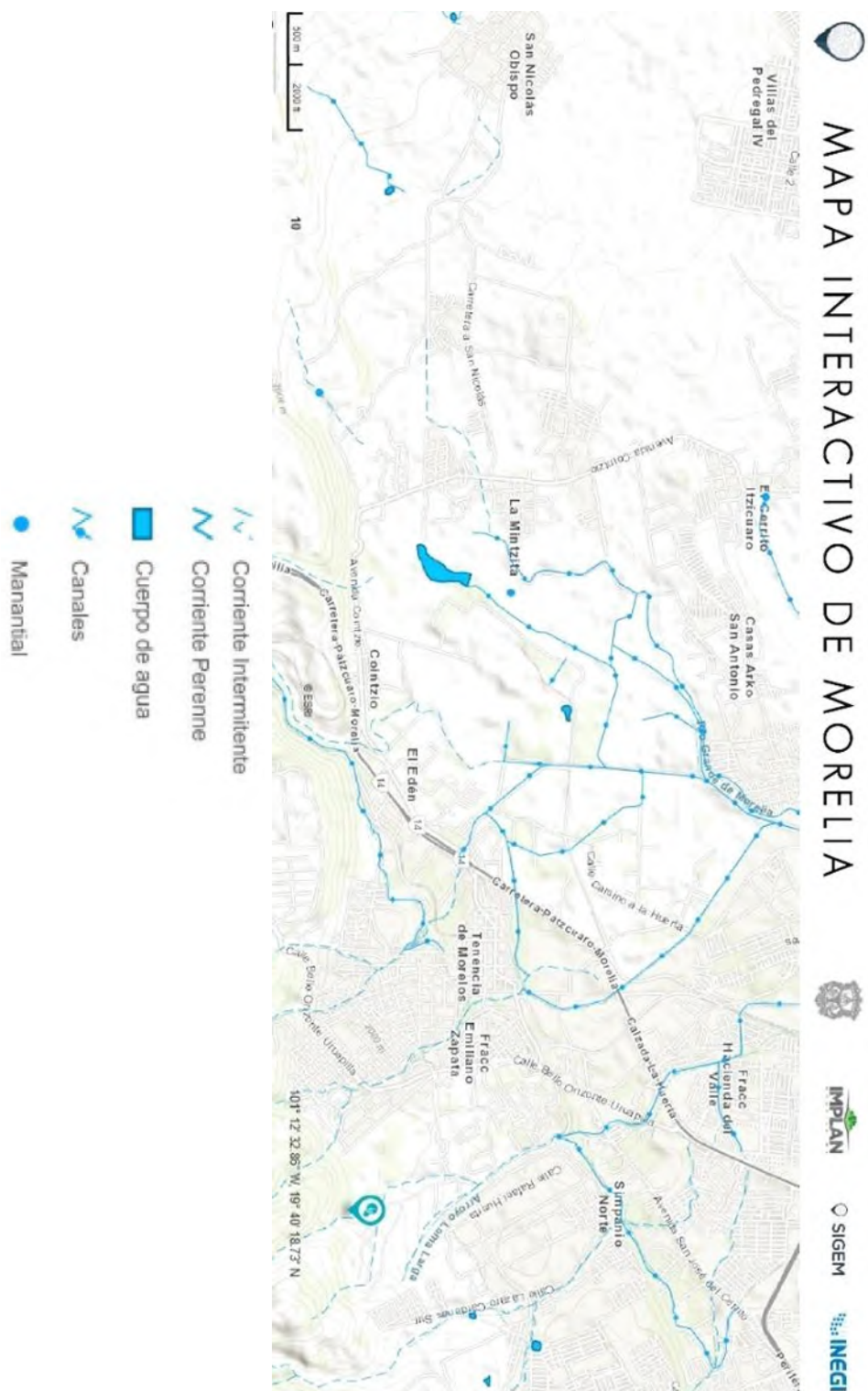


Ilustración 5.- Mapa Mintzita Hidrología entradas y salidas (SIGEM, s.f.).

2.6. Flora y Fauna

2.6.1. Flora

Tabla 2.- Distribución de la Flora en la Mintzita (Marín Togo & Blanco García, 2009).

Flora	
Bosque de Galerías	Está compuesto principalmente por las siguientes especies: el sauce (<i>Salix bonplandiana</i>), el fresno (<i>Fraxinus uhdei</i>).
Vegetación Arraigada	Hay presencia de estas especies: tule (<i>Thypha domingensis</i>) y carrizo (<i>Phragmites australis</i>)
Matorral subtropical	Podemos encontrar las siguientes especies: <i>Ipomoea murucoides</i> , <i>Tecoma stans</i> , <i>Cedrela dugesii</i> , <i>Celtis caudata</i> , <i>Forestiera phyllireoides</i> ,
Estrato Herbáceo	Está compuesto principalmente por: verdolaga (<i>Portulaca aleracea</i>), diente de león (<i>Taraxacum officinale</i>), malva (<i>Malva</i> sp.) y <i>Salvia</i> sp.
Maleza	Podemos encontrar las siguientes especies: <i>Solanum americanum</i> , <i>Melampodium perfoliatum</i> , <i>Chenopodium ambrosioides</i> .

2.6.2. Fauna

Tabla 3.- Distribución de la Fauna en la Mintzita (Marín Togo & Blanco García, 2009) y (Bahena Fraga, 2010).

Fauna	
Peces	Hay presencia de cinco familias de peces (Catostomidae, Cichlidae, Cyprinidae, Poeciliidae, y Goodeidae) con 13 especies: (<i>Scartomyzum austrinus</i> , <i>Oreochromys niloticus</i> , <i>Hybopsis calientis</i> , <i>Yuriria alta</i> , <i>Cyprinus carpio</i> , <i>Xiphophorus hellerii</i> , <i>Poecilia reticulata</i> , <i>Poeciliopsis infans</i> , <i>Zoogoneticus quitzeensis</i> , <i>Allophorus robustus</i> , <i>Goodea atripinnis</i> , <i>Skiffia lermae</i> , <i>Xenotocavariata</i> .
Anfibios y Reptiles	Hay presencia de un total de 26 especies de anfibios y reptiles, de las cuales ocho son anfibios y 18 de reptiles distribuidas en seis familias cada una. Algunas de estas especies son: <i>Eleutherodactylus angustidigitum</i> , <i>Rana dunni</i> , <i>Rana montezumae</i> , <i>Thamnophis eques</i> , <i>Thamnophis cyrtopsis</i> , <i>Lampropeltis triangulum</i>
Aves	En el manantial se han listado 117 especies de 36 familias, cuatro especies son las más abundantes, la cerceta de ala azul (<i>Anas discors</i>), el martín pescador norteno (<i>Ceryle alcyon</i>), la perlita azul gris (<i>Poliophtila caerulea</i>) y el mosquero cardenal (<i>Pyrocephalus rubinus</i>).
Mamíferos	Se tiene un listado con presencia de 29 especies agrupadas en 12 familias. como es el caso del coyote (<i>Canis latrans</i>), el tlacuache (<i>Didelphys virginiana</i>), dos especies de musarañas (<i>Neotoma albigula</i> , y <i>Peromyscus maniculatus</i>) y una rata de campo (<i>Notiosorex crawfordi</i> :

Capítulo III.- Marco Teórico

3.1. Ciclo Hidrológico

La ideología del ciclo hidrológico lo ha llevado a ser el más conocido, ya sea, por su circulación ante nuestra vista, así como también nuestra interacción con él, lo podemos definir sencillamente como el constante movimiento de las masas de agua pasando entre sus diferentes estados (líquido, gaseoso, sólido), sin embargo, conforme vamos estudiando más sobre él y sus diferentes etapas nos damos cuenta que el ciclo hidrológico es más complejo de lo que pensamos.

El ciclo hidrológico generalmente consta de las siguientes etapas:

- **Evaporación:** El agua proveniente especialmente de océanos se transforma de líquido a vapor provocado por el calor del sol ascendiéndola hacia la atmósfera.
- **Condensación:** El vapor de agua en el aire se va enfriando formando pequeñas gotas para formar las nubes.
- **Precipitación:** Es la parte del ciclo donde el agua proveniente de la nube cae hacia la superficie forma de lluvia, granizo, nieve, etc.
- **Infiltración:** Es la etapa donde el agua proveniente de la precipitación se adentra en la superficie terrestre (suelo), alimentando los acuíferos subterráneos.
- **Escorrentía:** El agua no infiltrada fluye por la superficie terrestre hasta llegar a los cuerpos naturales de agua como las cuencas, ríos, lagos, etc. Donde vuelve a evaporarse y comenzar nuevamente el ciclo hidrológico.

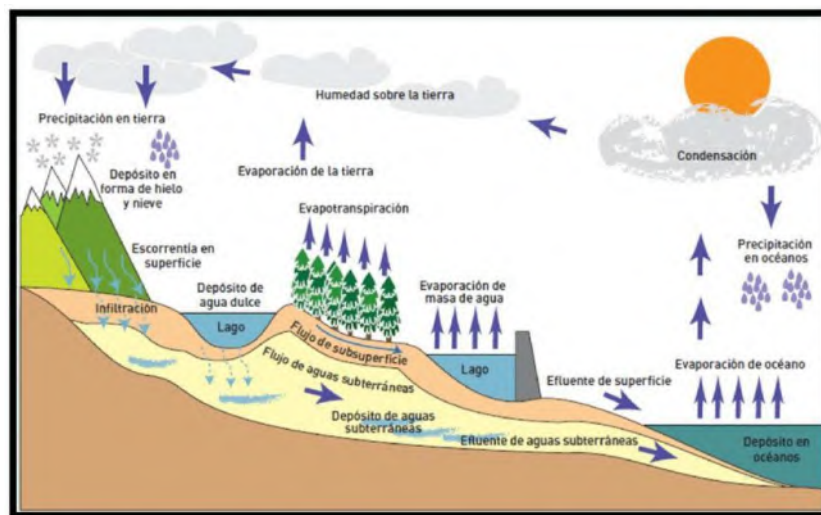


Ilustración 6.- Ciclo Hidrológico (García Vega et al., 2016).

3.2. Manantial

Al hablar de manantiales nos referimos a un flujo constante de agua natural subterránea que emerge mediante una abertura o fractura en el suelo. Rodríguez García et al. (2003) menciona “Los manantiales son fuentes o recursos de aguas subterráneas que, a causa de su orografía, surgen a la superficie, usualmente en pendientes o llanuras”.

Identificamos dos tipos básicos de manantiales de acuerdo a sus diferentes características como el caudal, la temperatura, el flujo, etc. Por lo que estos dos tipos son:

- **Perenes:** Son aquellos en donde el flujo de agua se realiza de forma constante a lo largo de todo el año, generalmente no se ve amenazado o en riesgo por las estaciones o las condiciones climáticas.
- **Intermitentes:** También conocidos como estacionarios son aquellos que no tienen un flujo constante, por lo que la existencia de manantiales y su caudal dependerá de la estacionalidad y frecuencia de infiltración de las lluvias y aguas superficiales en la corteza terrestre.

Como se mencionó anteriormente hay dos tipos básicos de manantiales en donde podemos distinguirlos mediante las diferentes características que poseen cada uno:

Tabla 4.- Características de los tipos de Manantiales y sus características (Elaboración Propia).

Características	Manantiales Perennes	Manantiales Intermitentes
Flujo de Agua	Continuo durante el año	Variable, depende de la temporada
Disponibilidad de Agua	Continuamente disponible	No siempre disponible
Dependencia de Precipitaciones	Baja	Alta
Impacto Climático	Menos dependencia del clima	Altamente dependiente del clima
Uso Humano	Agua potable, Riego constante, Recreación	Riego estacional, Menos confiable para consumo

De esta manera [Herraiz \(2009\)](#) apunta en su investigación que el agua subterránea se ha aprovechado desde la antigüedad para el abastecimiento de la población y para riego, en la actualidad con las mejoras de la técnica de perforación de pozos se ha llegado a tales casos donde dicha explotación ha provocado reducciones significativas en ríos y manantiales, degradando su capacidad, calidad e intrusión marina.

3.3. Agua

Al hablar de agua lo relacionamos a un recurso esencial para la vida del planeta, sabemos que es crucial no solo para el consumo humano, sino que también es fundamental en diversos procesos industriales, agrícolas y domésticos. Durante estos recientes años, hemos notado un incremento representativo en la necesidad de agua ocasionado por el aumento poblacional y sus necesidades vitales, higiénicas, alimentarias, así como actividades agrícolas, ganaderas, industriales y energéticas. Dado que el 70% aproximadamente de nuestro planeta y cuerpo de agua este recurso es vital para la humanidad, así como también es fundamental que los ríos, lagos y mares se utilicen de forma sostenible, sin embargo, la contaminación acuática se ha transformado en una preocupación mundial donde la salud humana y el equilibrio ecológico son las principales incógnitas de este problema.

Tal como argumenta [El agua en México \(2006\)](#) a través de su publicación menciona que, en México, el agua es considerado un tema táctico y de seguridad nacional, actualmente, se ha transformado en un componente fundamental dentro de la política ambiental, donde su disponibilidad determina la posibilidad de progreso en ciertas regiones del país y su calidad es un elemento de vital importancia para la salud y el bienestar de la población”.

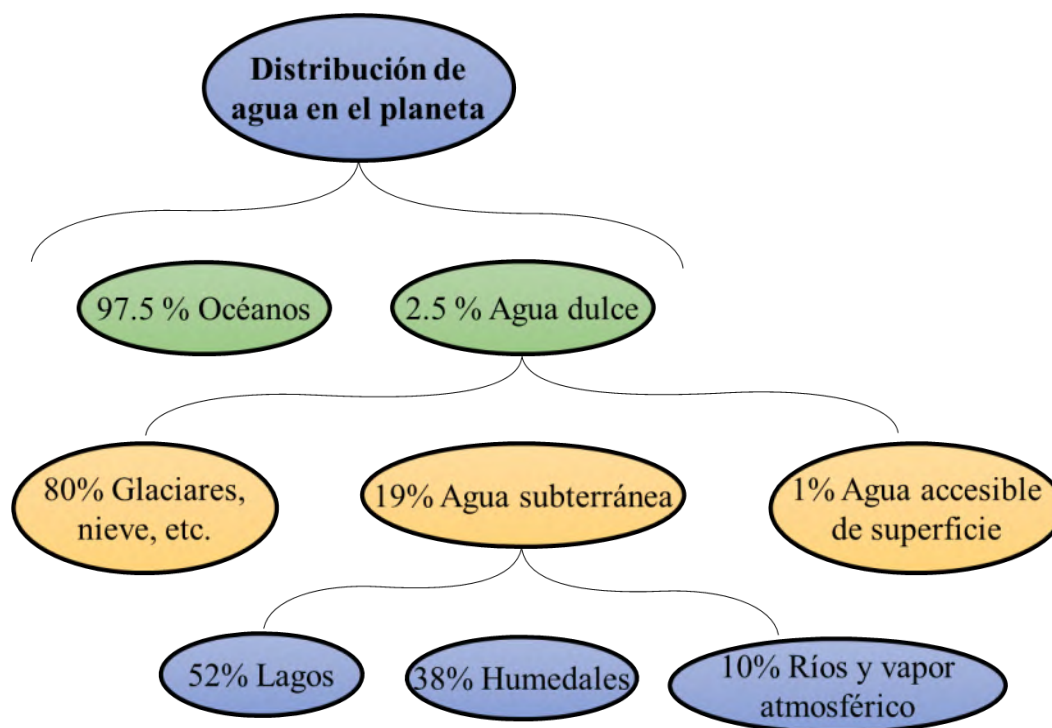


Ilustración 7.- Distribución del Agua (Fernández Cirelli, 2012).

De acuerdo a lo anterior, concluimos que el agua es y seguirá siendo un recurso esencial para la vida y el desarrollo continuo de la población en general, además es reconocida por su importancia cultural en diversas civilizaciones alrededor del mundo, por lo tanto, la Organización de las Naciones Unidas ha declarado el día 22 de marzo como “Día mundial del agua”.

Mediante [Araque Arellano \(2022\)](#) podemos establecer la siguiente clasificación del agua en la naturaleza según su ciclo hidrológico llevándose de la siguiente manera:

✚ **Aguas pluviales:** Es aquella donde se compone principalmente por el agua procedente de lluvia, nieve y granizo.

✚ **Aguas superficiales:** Son aquellas donde se integran las aguas provenientes de ríos, drenajes de lagos y drenajes de reservorios.

✚ **Aguas subterráneas:** Son aquellas que componen las aguas de los acuíferos y se caracterizan como suelos permeables situados en las proximidades de la superficie terrestre, donde el agua fluye y se acumula.

3.3.1. Contaminación del agua

A medida que el agua circula a través de los procesos del ciclo hidrológico, entra en contacto con diversas sustancias químicas, minerales, así como también contaminantes de origen humano. Según lo establecido por el [Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento \(s.f.\)](#) menciona que la disponibilidad del agua no refleja el verdadero problema, la liberación de aguas residuales sin tratar y los vertidos con agroquímicos contaminan cuerpos de aguas superficiales y subterráneos, amenazando la salud de la población.

Por otro lado, argumenta [Fernández Cirelli \(2012\)](#) que los efectos principales del agua contaminada en el medio ambiente incluyen: la disminución de los ecosistemas acuáticos (Biodiversidad); el peligro de infecciones y enfermedades crónicas en el ser humano y la reducción de la capacidad productiva en terrenos regados.

Mediante [Araque Arellano \(2022\)](#) podemos distinguir las formas de contaminación de la siguiente manera:

Tabla 5.- Formas de Contaminación en el Agua (Araque Arellano, 2022).

Formas de Contaminación	
Contaminación física:	Generan un efecto visual negativo del paisaje natural y afectan notablemente la flora y fauna acuática. Efectúa particularmente en el tono de las aguas debido a la presencia de materia orgánica, minerales y compuestos de hierro, influye en el aroma y gusto de las aguas.
Contaminación química:	Es consecuencia de la existencia de sustancias químicas en grandes cantidades. Se pueden citar los siguientes: ácidos, álcalis, detergentes, jabones, petróleo, aceites, grasas de azufre o de nitrógeno.
Contaminación bioquímica:	Se distingue por el deterioro del agua debido a la existencia de componentes químicos y biológicos.
Contaminación microbiológica:	Ocurre debido a la existencia de microorganismos patógenos que pueden ser bacterias (tales como shigella, escherichia coli, Vibrio), los virus (tales como virus Norwalk y rotavirus) y parásitos.
Contaminación radiactiva:	Es originada por la existencia de elementos radiactivos en el agua que poseen la habilidad de limitar protones, rayos gamma y electrones desde sus núcleos, lo que constituye la radiactividad. Los existentes en la naturaleza son: Torio 232, Uranio 238, Uranio 235; los elementos artificiales son: Torio 233, Uranio 233, Uranio 239, Neptunio 239 y Plutonio 239.

Como vimos anteriormente hay diferentes maneras en las que se puede contaminar el agua, y por lo consiguiente tener graves consecuencias para el ecosistema, y la salud de las personas. Principalmente las enfermedades infecciosas se propagan por medio de las excretas humanas y de animales; las infecciones vinculadas al agua se originan a través de la ingestión o por contacto. (Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, s.f.).

Tabla 6.- Enfermedades transmitidas por el agua (Romero Rojas, 2002).

Enfermedad	Organismo Causante	Fuente del organismo en el agua	Síntoma
Gastroenteritis	Salmonella	Excrementos humanos o de animales	Diarrea aguda y vomito.
Tifoidea	Salmonella typhosa	Excrementos humanos	Intestino inflamado, bazo agrandado, alta temperatura.
Disentería	Shigella	Excrementos humanos	Diarrea.
Colera	Vibro comma	Excrementos humanos	Vómito, diarrea severa.
Hepatitis Infecciosa	Virus	Excrementos humanos y mariscos	Piel amarilla, dolores.
Amibiasis	Entamoeba hystolitica	Excrementos humanos	Diarrea, disentería crónica.
Giardiasis	Giardia lamblia	Excrementos humanos y animales	Diarrea, retortijones.

Por medio del [Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento \(s.f.\)](#), a través de su publicación hace énfasis mencionando que anualmente se registran 1,300 millones de casos de diarrea en niños menores de cinco años en países en vías de desarrollo, y 4 millones de fallecimientos debido a diarrea aguda, asociadas al 50%-70% de los casos con deshidratación. Considerando que el agua es el medio de transmisión de contaminantes químicos y biológicos, estos pueden causar enfermedades de diferente severidad ([Orellana, 2005](#)). La descontaminación y desinfección del agua siempre ha sido un tema de vital importancia, sin embargo, como se ha señalado previamente, en años recientes se ha observado un incremento en la necesidad del agua, por otro lado, su uso en procesos industriales, donde se liberan en cuerpos de agua sin ningún tratamiento ha desatado todo tipo de inquietud tanto de los gobiernos como la población en general para poder recuperar este recurso vital.

A través de [Chulluncuy Camacho \(2011\)](#) se puede hacer referencia a los procesos utilizados en el tratamiento del agua:

Tabla 7.- Principales procesos para el tratamiento de agua ([Chulluncuy Camacho, 2011](#)).

Procesos Empleados para el Tratamiento de Agua	Cribado	En este proceso se eliminan los sólidos de mayor tamaño que se encuentran en el agua (ramas, madera, piedras, plásticos, etcétera) por medio de rejillas, en las que estos materiales quedan retenidos.
	Coagulación-floculación	La coagulación consiste en la adición de coagulantes con el fin de desestabilizar las partículas coloidales para que sean removidas. Mientras que la floculación es el proceso por el cual las partículas desestabilizadas chocan entre sí y se aglomeran formando los floc. En estos procesos, aparte de la remoción de turbiedad y color también se eliminan bacterias, virus, organismos que producen sabor y olor en algunos casos.
	Sedimentación	Es el proceso físico mediante el cual las partículas en suspensión presentes en el agua son removidas o separadas del fluido, debido al efecto de la gravedad. La remoción de partículas se puede conseguir dejando sedimentar el agua, filtrándola o ejecutando ambos procesos.
	Filtración	Es un proceso que consiste en la separación de partículas y pequeñas cantidades de microorganismos (bacterias, virus) a través de un medio poroso. Es la fase responsable de que se cumplan los estándares de calidad para el agua potable.
	Desinfección	Es el último proceso de tratamiento del agua, que consiste en la destrucción selectiva de los organismos potencialmente infecciosos.

Durante todo este capítulo hemos aprendido sobre el agua, como se desarrolla, como se convive con él y porque es importante para la vida, sin embargo, también hemos aprendido que este recurso está pasando por grandes dificultades como su disponibilidad y su aumento en la contaminación de cuerpos naturales, llegando a afectar ecosistemas y la salud humana.

Pero, ¿Cómo sabemos que el agua que utilizamos para su uso y consumo está bien?, a través de los años, la Organización Mundial de la Salud (OMS), y este caso México por ser la ubicación de la investigación, mediante las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) y reglamentos asociados a dependencias ambientales establecen criterios y parámetros técnicos que sirven de referencia para los distintos procesos de tratamientos de aguas cuyo propósito es garantizar que todos los elementos vinculados al uso y manejo del agua se lleven a cabo de manera segura, eficiente y responsable.

Basándose en la pirámide de Kelsen tenemos la siguiente normativa establecida para la calidad y el tratamiento de aguas:

Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos

- 🏠 Artículo 4: Derecho al agua y medio ambiente adecuado.
- 🏠 Artículo 27: Recursos hídricos como propiedad nacional.

Leyes Federales Específicas

- 🏠 Ley de Aguas Nacionales
- 🏠 Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente
- 🏠 Ley de Protección y Defensa al Usuario de Servicios Financieros

Reglamentos y Normas Oficiales Mexicanas

- 🏠 NOM-127-SSA-2021: Calidad del agua para consumo humano
- 🏠 NOM-230-SSA-2002: Agua tratada para consumo humano
- 🏠 NOM-001-SEMARNAT-1996: Aguas residuales tratadas
- 🏠 NOM-002-ECOL-1996: Límites de contaminantes en aguas residuales urbanas
- 🏠 NOM-003-SEMARNAT-1997: Agua para riego y actividades industriales

Normas Locales y Municipales

- 🏠 Reglamentos Municipales de Agua Potable y Saneamiento
- 🏠 Normas locales de calidad del agua
- 🏠 Reglamentos de permisos para vertido de aguas residuales

Ilustración 8.- Pirámide de Kelsen en base al tratamiento de agua para consumo y uso (Elaboración Propia).

De acuerdo a la estructura normativa mediante la pirámide de Kelsen, vemos que en México existen múltiples reglamentos y normativas para cada aspecto ya sea por un lado el medio ambiental o la socioeconómica en este contexto, existen diversas normas oficiales mexicanas (NOM) que controlan la calidad del agua para sus diversos usos, para esta investigación nos auxiliaremos con las siguientes normas:

- ✚ **NOM-127-SSA-2021: Calidad del agua para consumo humano:** Esta norma define los niveles máximos permitidos de contaminantes en el agua apta para el consumo humano. Su meta es evitar y prevenir la propagación de enfermedades vinculadas con el agua. Esta norma es aplicable a todas las fuentes de agua potable, ya sea pública o privada, y define los métodos y procedimientos para la valoración de la calidad del agua ([secretaría de Salud \(SSA\), 2021](#)).
- ✚ **NOM-230-SSA-2002: Agua tratada para consumo humano:** Esta norma regula las condiciones de calidad del agua tratada para consumo humano, las cuales deben ser respetadas por los sistemas de suministro público y privado durante su gestión. Incluye requisitos sobre la desinfección residual, el pH, los metales pesados y patógenos que se encuentran en el agua ([secretaría de Salud \(SSA\), 2002](#)).
- ✚ **NOM-001-SEMARNAT-2021: Aguas residuales tratadas:** Esta normativa define los niveles máximos permitidos de contaminantes en las aguas residuales tratadas que pueden ser depositadas en cuerpos de aguas superficiales para garantizar la protección del medio ambiente. Es obligatorio su acatamiento para las compañías y organismos encargados de la administración de aguas residuales ([secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales \(SEMARNAT\), 2021](#)).
- ✚ **NOM-002-ECOL-1996:** Esta normativa define principalmente los niveles máximos permitidos de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de drenaje urbano o municipal, con el objetivo de evitar y regular la contaminación de las aguas ([secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales \(SEMARNAT\), 1996](#)).

🚦 **NOM-003-SEMARNAT-1997: Agua para riego y actividades industriales:** Esta norma regula la calidad del agua utilizada para el riego agrícola y las operaciones industriales. Establece principalmente las fronteras de los parámetros químicos y biológicos en el agua para estos propósitos. Su meta es evitar la contaminación alimentaria y garantizar un empleo eficaz del agua en la agricultura e industria ([secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales \(SEMARNAT\), 1997](#)).

Los principales parámetros se dividen en 3 categorías: físicos, químicos y biológicos, algunos de ellos son los siguientes:

Tabla 8.- Parámetros de Calidad de Agua (*Elaboración Propia*).

<i>Tipo</i>	<i>Parámetro</i>	<i>Descripción</i>
<i>Físicos</i>	Temperatura	Afecta la solubilidad de gases y la vida acuática.
	Color	Indicativo de la presencia de materia orgánica, SDT o metales.
	Turbidez	Es una medida de la claridad de agua, y puede ser afectada por partículas suspendidas.
	Sólidos Disueltos Totales	Es el total de sustancias disueltas en el agua, puede incluir sales, metales, etc.
<i>Químicos</i>	pH	Mide la acidez o alcalinidad del agua. En condiciones extremas puede perjudicar los ecosistemas.
	Oxígeno Disuelto	Cantidad de oxígeno disponible en el agua, es importante para la vida acuática.
	Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Mide la cantidad de oxígeno requerida para oxidar compuestos orgánicos e inorgánicos en el agua.
	Nitratos y Fosfatos	Nutrientes que, en grandes cantidades pueden provocar eutrofización.
	Amoníaco	Presente en aguas residuales y fertilizantes, puede ser tóxico para la vida acuática.
	Metales Pesados	Contaminantes tóxicos que pueden afectar la salud del ser vivo. (Algunos son: plomo, cadmio, arsénico, mercurio, etc.)
<i>Biológicos</i>	Coliformes Fecales y Totales	Indicadores de contaminación por materia fecal, pueden causar enfermedades.
	Bacterias Patógenas	Su presencia indica riesgos para la salud pública, los más conocidos son: E. coli y Salmonella.

3.4. Adsorción

La adsorción es definida o asociada a un procedimiento que sucede cuando un gas o líquido se concentran en la superficie de un sólido o líquido (Adsorbente), creando una capa molecular o atómica (Adsorbato) (Burciaga Montemayor et al., 2020).

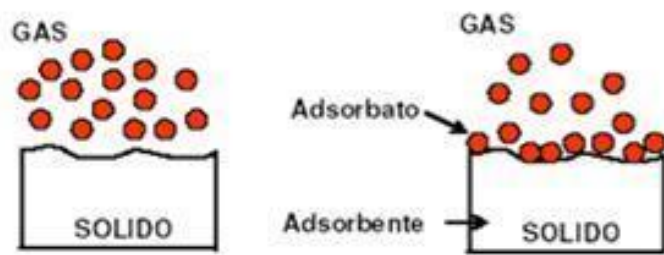


Ilustración 9.- Adsorción (Procesos de Adsorción, 2015).

Comúnmente el principio de adsorción se puede enunciar mediante las siguientes metodologías:

1. La molécula que se adsorbe (Adsorbato), se traslada de la superficie de la fase líquida hacia el material adsorbente, durante este proceso la molécula pasará por una fina capa que envuelve la partícula del adsorbente, denominada película de difusión.
2. La molécula del adsorbato es trasladada al lugar activo en el poro del adsorbente. Esta fase del procedimiento se le denomina como Difusión en los poros.
3. La molécula de adsorbato se acopla a la superficie del sitio activo del adsorbente. Este procedimiento comúnmente se conoce como adsorción. (Báez Santana, 2019)

Tipos de Adsorción

- ✚ **Adsorción Física:** Principalmente impulsada por las fuerzas de Van der Waals, se producen entre las moléculas del adsorbato y los átomos que constituyen la superficie del adsorbente
- ✚ **Adsorción Química:** Se produce de la reacción química entre el sólido y la sustancia adsorbida. Una repercusión significativa de la quimisorción es que una vez que la superficie ha sido revestida con una única capa de moléculas adsorbidas, se alcanza un estado de saturación.

✚ **Intercambio Iónico:** La adsorción se infiltra completamente en el intercambio iónico, a lo que frecuentemente se le denomina adsorción por este tipo de intercambio. Este procedimiento se realiza entre los iones que se mantienen en la superficie. (García Rojas et al., 2012)

Con base a lo planteado, los principales factores que afectan a la adsorción son los siguientes:

Tabla 9.- Factores de afectación al proceso de adsorción (Ramos, 2017).

Propiedades Texturales del adsorbente	Área específica, Volumen del poro, Diámetro promedio del poro.
Propiedades fisicoquímicas del adsorbente	Tipo de sitio activo, Concentración, Composición química.
Características fisicoquímicas del adsorbato	Tamaño de molécula, Polaridad, Solubilidad.
Características de la fase líquida	Temperatura, pH, Fuerza iónica Polaridad.

La gestión de datos experimentales y la evaluación de los procesos de adsorción, se representan mediante isothermas de adsorción. Por un lado, los isothermas de adsorción tienen la capacidad de establecer el nivel de separación a alcanzar, mientras que los modelos cinéticos proporcionan una comprensión al fenómeno de adsorción (Tejada Tovar et al., 2015).

Tabla 10.- Modelos cinéticos e isothermas (Tejada Tovar et al., 2015).

Isothermas	Ecuación	Parámetros
<i>Isoterma de Freundlich</i>	$q_e = k_F \cdot C_e^{1/n}$	k_F es el indicador de la capacidad de absorción, n es la intensidad de absorción, C_e es la concentración del metal o sustancia.
<i>Isoterma de Langmuir</i>	$q_e = \frac{q_{max} b C_e}{1 + b C_e}$	q_{max} es la cantidad máxima metal /peso de biomasa, b es la afinidad de los sitios de unión, C_e es la concentración del metal o sustancia.
Modelo cinético	Ecuación	Parámetros
<i>Pseudo-primer orden</i>	$q_t = q_e (1 - e^{-k_1 t})$	q_e es la capacidad de adsorción en equilibrio (mmol/g), k_1 es la constante de pseudo primer orden (min ⁻¹)
<i>Pseudo-segundo orden</i>	$q_t = \frac{t}{\left(\frac{1}{(k_2 q_e^2)}\right) + (t/q_e)}$	k_2 es la constante de pseudo segundo orden (g/mmol.min), q_e es la capacidad de adsorción en equilibrio (mmol/g)

3.5. Materiales Adsorbentes

En la actualidad, la descontaminación del agua es una de las tareas más relevantes en la administración ambiental, debido a la creciente escasez de agua potable y la diversidad de contaminantes, que abarcan metales pesados, sustancias orgánicas, pesticidas y microplásticos. Dado por la complicada naturaleza de estos desechos y las carencias de los métodos actuales utilizados, para lograr la reducción de los contaminantes a los niveles regulados para su disposición final, se hace imprescindible la implementación de nuevos materiales adsorbentes que simplifiquen la gestión para su correcta disposición (Díaz et al., 2021).

El desarrollo de nuevos materiales adsorbentes como implementación a nuevas técnicas innovadoras abre la puerta a soluciones más sostenibles y económicas. Existen 2 tipos principales de materiales adsorbentes, los naturales y los sintéticos, cada uno con sus propiedades y características individuales, algunos de estos materiales pueden ser:

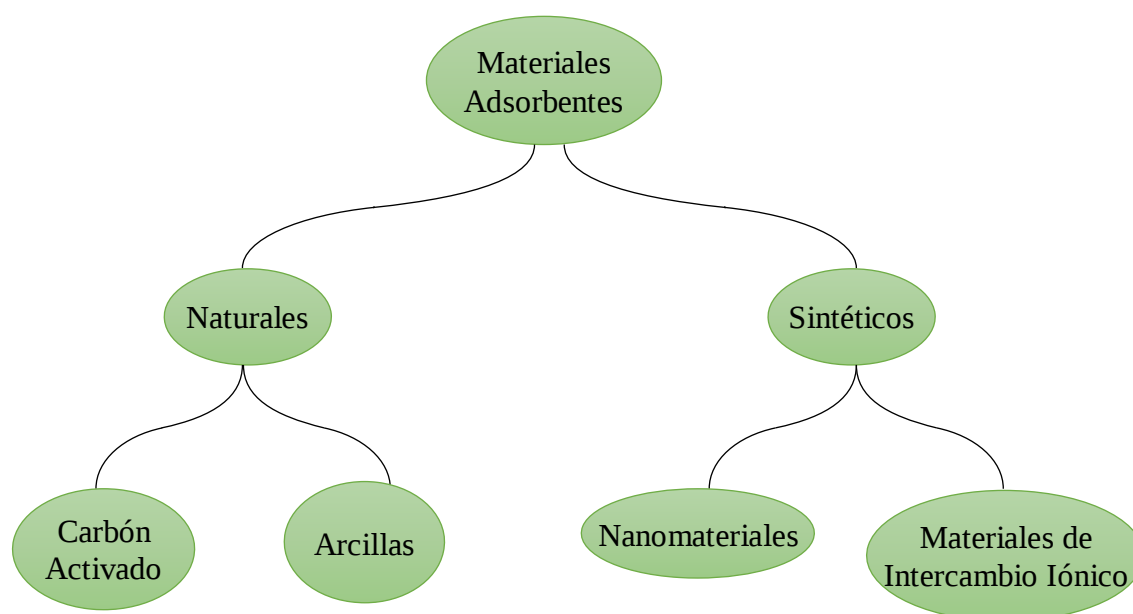


Ilustración 10.- Tipos de Materiales Adsorbentes (Elaboración Propia).

3.5.1. Carbón Activado

Los inicios del carbón activado se realizaron con madera carbonizada, en Grecia se encontraron vestigios del año 1550 a.c., donde se menciona su aplicación como adsorbente en algunas prácticas de medicina. Por otro lado, se conoce que en el año 450 a.c., los barcos fenicios guardaban agua para consumo en barriles con madera que había sido parcialmente carbonizada (Salas et al., 2021).

Actualmente los adsorbentes fabricados con materiales orgánicos o naturales han ganado terreno con un interés particular ya que los materiales empleados deben ser amigables con el entorno ambiental. Los carbones activados son materiales con un área superficial de alta densidad, se preparan mediante un proceso de carbonización y activación con el objetivo de alcanzar un alto nivel de porosidad y una amplia superficie interna (Capítulo III, s.f.),

Los carbones activados se distinguen por su amplia superficie resultado de su estructura micro porosa y su capacidad de regeneración sencilla, ya que en su superficie se encuentran grupos funcionales como grupos carboxílicos, compuestos fenólicos, cetonas, etc (Jaén Jiménez & Zamora Umaña, 2024).

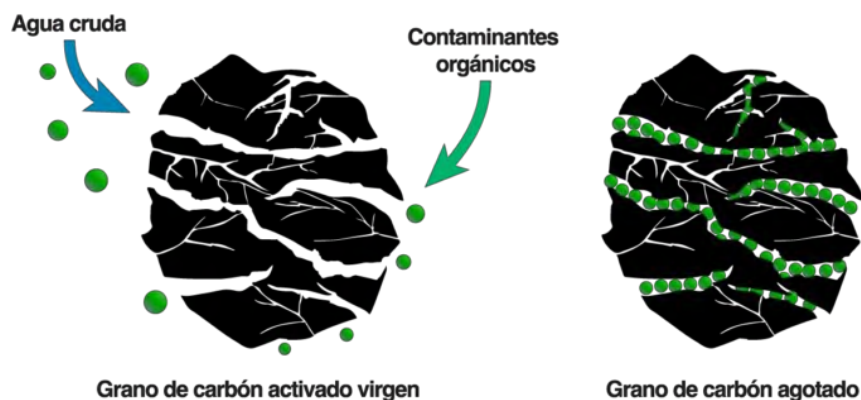


Ilustración 11.- Proceso ilustrativo de la adsorción del carbón activado (¿Qué Es el Carbón Activado y Para Qué Sirve? - Carbotecnia, 2025).

Estos carbones se distinguen por su amplia gama de tamaños de poros, de acuerdo con la denominación IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemist), los poros se categorizan en función de su diámetro de acuerdo a la siguiente referencia: Los Microporos ($0 < 2 \text{ nm}$), los Mesoporos ($2 < 0 < \text{nm}$) y los Macroporos ($0 > 50 \text{ nm}$).

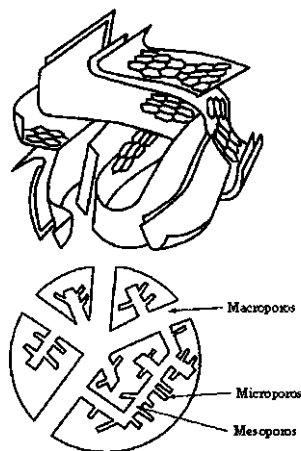


Ilustración 12.- Clasificación de poros (González Navarrete, 2017).

Se han reportado diversos precursores debido a la facilidad de obtener biomasa, tales como cáscara de coco, cáscara de arroz, hoja de palma, corteza de madera, cáscara de cacahuate, entre otros (Del Ángel et al., 2021).

Tabla 11.- Residuos para fabricación de carbón activado (Capítulo III, s.f.).

Residuos de la industria alimentaria	
Huesos de frutas y semillas	Aceituna, aguacate, durazno, ciruela, mango, naranja, guayaba.
Cascaras de frutos secos	Almendra, avellana, coco, nueces
Cascaras blandas	Aguacate, granada, naranja, plátano, yuca, maíz y sandia.
Fibras	Coco, plátano, palma.
Residuos del sector agrícola y de la madera	
Tallos y hojas	Pajas de cereales (trigo), girasol, algodón, cáñamo, bambú, bagazo de caña de azúcar, maíz.
Madera	Corteza de árboles y/o aserrín (eucalipto abeto, pino, acacia, encina olivo, palma)

Es empleado de forma extensiva en las instalaciones de procesamiento de agua para quitar olores, sabores y separación de compuestos orgánicos, sin embargo, en esta fase también es posible separar los metales pesados ([Prieto García et al., 2020](#)). Así como también, se emplea como adsorbente de productos en el sector farmacéutico, alimentario, por lo que sus propiedades más importantes son las texturales (porosidad) y la química superficial ([Moliner, 2016](#)). La elaboración de carbón activado (CA) se fundamenta en dos etapas. Primero se lleva a cabo la carbonización de la materia prima y en segundo lugar se activa el material, la cual puede llevarse a cabo de forma física o química. ([Jaén Jiménez & Zamora Umaña, 2024](#)).

3.4.1.1. Caña de azúcar

La caña de azúcar pertenece a la familia gramíneas (poacea) del género *Saccharum officinarum*, esta especie es caracterizada por su alto contenido de azúcares y un jugo espeso, abarcando una producción en el 2020 de 1,869,715,086 toneladas ([Jácome Pilco et al., 2023](#)). Esta grimea es producida en más de 130 países, donde México ocupa el sexto lugar abarcando el 3.5% de la producción mundial, establecida en 12 estados de la república mexicana como Jalisco, Michoacán, Veracruz, Oaxaca, Chiapas, etc. Se estima que de cada zafra producida se genera de 0.1 a 0.15 toneladas (Peso seco) por cada tonelada de caña de azúcar procesada y la mitad de este residuo no es aprovechada generando contaminación ([Montes et al., 2018](#)).

El bagazo se refiere a los desechos que quedan de los tallos de la caña de azúcar una vez que se ha llevado a cabo el proceso de extracción del jugo, este residuo se distingue por su gran diversidad morfológica y por tener dos partes: la fibra de estructura cristalina establemente química y el meollo o parénquima que tiene una gran capacidad de absorción. ([Del Rio Calle, 2018](#)).

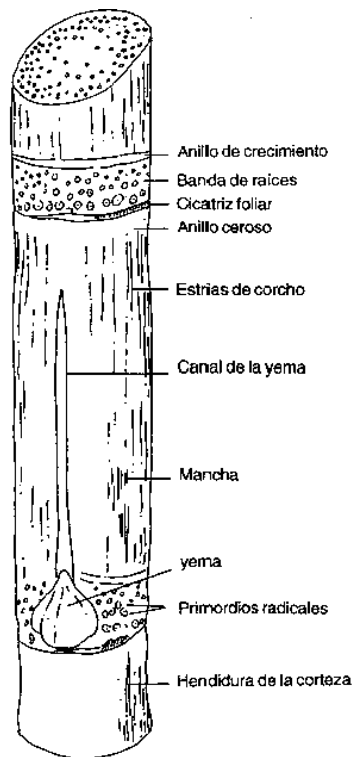


Ilustración 13.- Composición del tallo de la caña de azúcar (Del Rio Calle, 2018).

3.6. Barreras Reactivas Permeable

A través de los años hasta el día de hoy los estudios e investigaciones relacionado con el agua y sus ecosistemas están enfocadas en su tratamiento especialmente de metales, plaguicidas o materia orgánica, sin embargo, con el desarrollo de tecnologías, y el aumento considerado de productos para uso cotidiano como: fármacos, productos de higiene y cuidado personal, plásticos, etc. Ha provocado que dichos productos estén presentes por diversas vías en el medio acuático con mayor notoriedad.

Por otra parte, con la ayuda de la tecnología en cuestiones de remediación ambiental, aunque es avanzado y eficiente, peca de tener varias desventajas como: ser demasiados costosos, consumir grandes cantidades de energía, generar cantidades grandes de residuos (lodos), y algunos métodos requieren alguna complejidad para operar adecuadamente. Hoy en día, la implementación de nuevos métodos y procesos es esencial en donde se busque soluciones más económicas y energéticamente eficientes sin la necesidad de consumir grandes cantidades, además de lograr que se pueda convivir con el medio ambiente sin necesidad de incrementar la huella ambiental.

Una barrera reactiva permeable (PRB, por sus siglas en inglés) es una estructura que se edifica en el subsuelo con el objetivo de eliminar la contaminación proveniente de las aguas subterráneas. Esta estructura es “permeable”, lo que implica que puede permitir el paso de las aguas subterráneas, para que el agua sea tratada es necesario pasar por la PRB ([Oficina de Administración de la Tierra y Gestión de Emergencia, 2021](#)). El hierro, la piedra caliza y el carbono son algunos de los materiales más eficientes que se pueden utilizar, estos materiales se combinan con arena para permitir que el agua se desplace a través de la pared ([United States Environmental Protection Agency, 2001](#)).

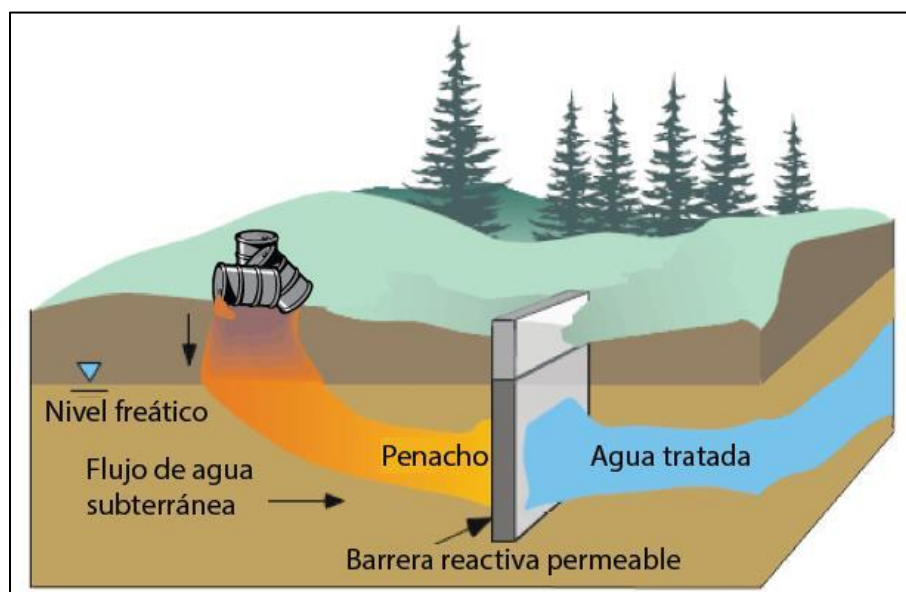


Ilustración 14.- Representación de la BRP ([Oficina de Administración de la Tierra y Gestión de Emergencia, 2021](#)).

De acuerdo a la (EPA), el tipo de material utilizado para cubrir la zanja varía según la clase del compuesto químico perjudicial presente en las aguas subterráneas. Diversos materiales contrarrestan la contaminación utilizando diferentes técnicas ([United States Environmental Protection Agency, 2001](#))

Capítulo IV.- Metodología

La metodología para este trabajo de investigación está implementada en 5 etapas, las cuales se describen a continuación:

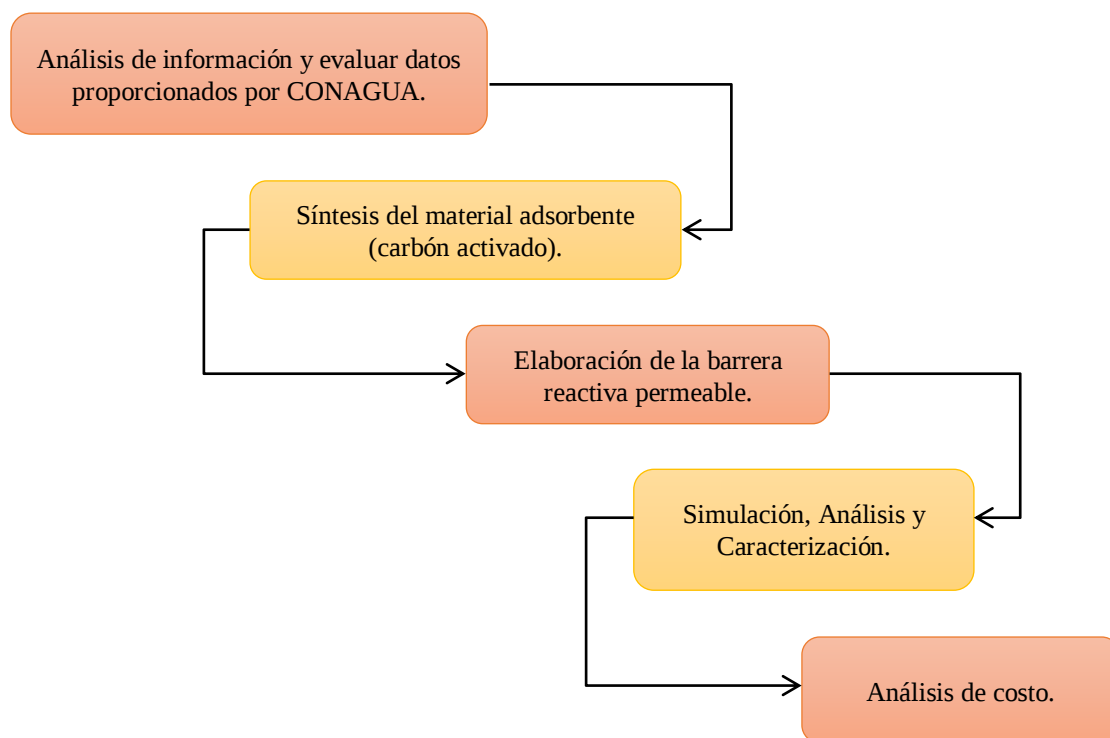


Ilustración 15.- Metodología General.

4.1. Síntesis de Carbón Activado

Para la síntesis de carbón activado se utilizó como referencia el trabajo de [Del Angel et al, \(2021\)](#), en donde la metodología se muestra a continuación:

1. Se recolecta el bagazo de caña proveniente de las fiestas guadalupanas en la calzada de San Diego. Una vez recolectado, se deja secar al sol durante 10 días (cada día se dejó alrededor de 6 horas aproximadamente, en algunos casos fue distinto debido a las condiciones climáticas de la temporada).

2. Posteriormente, se llevó a una máquina para procesar y se pesa para ver su cantidad restante. Después lo pasamos a otro proceso de secado en un horno a 450°C, por 1 hora aproximadamente.
3. Impregnamos el bagazo de caña con una solución de ácido sulfúrico por 48 horas, esto con el propósito de activarlo químicamente, posteriormente pasamos al proceso de carbonización a 600°C aproximadamente durante 1 hora en la mufla.
4. Tras el proceso de carbonización, la materia resultante (carbón), se lava con agua destilada pasando a una temperatura de 70°C aproximadamente e ir agregando una solución de hidróxido de sodio (NaOH) 2.0M, esto para ajustar a un pH de 6, por último, secamos el carbón activado en un horno a 150°C durante 8 horas.

Metodología para el cálculo de la solución 2.0 Molar de NaOH:

$$\text{moles de soluto: (Molaridad) * (Volumen de disolución)}$$

$$\text{moles de soluto: (2.0) * (0.30) = 0.6 moles de NaOH}$$

*Peso Molecular del NaOH: 40 g/mol

$$\text{Gramos necesarios: (0.6 moles NaOH) * } \left(40 \frac{\text{g}}{\text{mol}}\right) = 24 \text{ g de NaOH}$$

Disolvemos los gramos calculados de NaOH en agua destilada después lo colocamos en un matraz volumétrico de 500 ml, y aforamos hasta completar los mililitros del matraz utilizado.

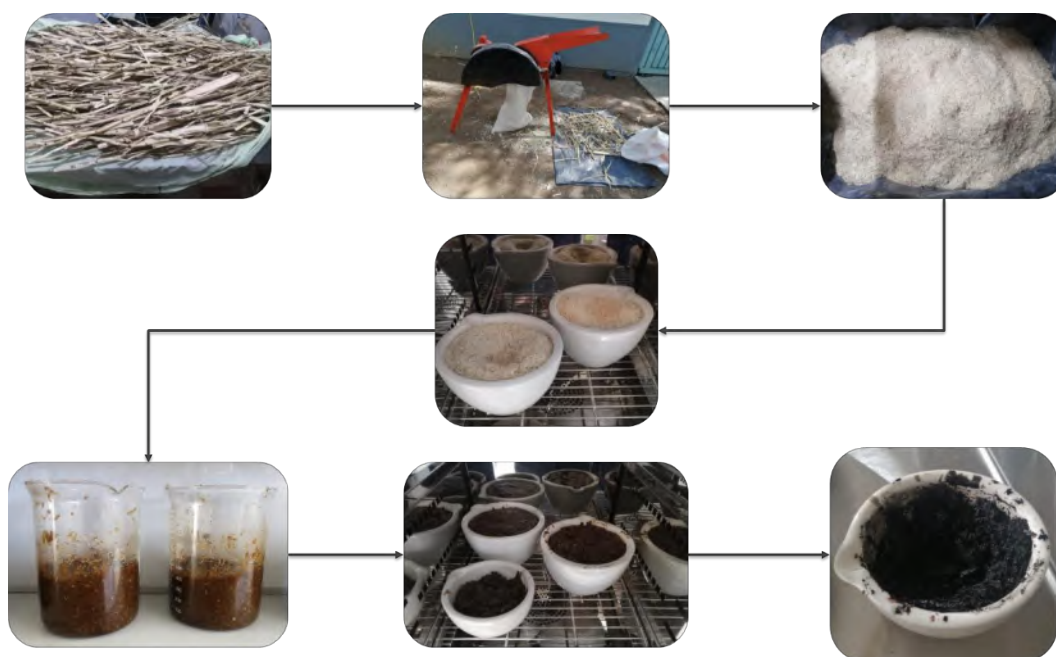


Ilustración 16.- Esquema de preparación del carbón activado.

4.2. Diseño mecánico y elaboración de la barrera permeable

4.2.1. Diseño y elaboración prototipo

Para el desarrollo de la barrera reactiva permeable nos basamos e inspiramos en el concepto original empleado para el tratamiento de aguas subterráneas que consiste en una barrera sólida con materiales reactivos en su interior, como en este caso nuestro trabajo de investigación está enfocado para el agua superficial, quisimos adaptarlo y hacer un diseño original con el objetivo de lograr su máxima eficiencia. La creación del diseño fue mediante el programa Solid Works, es un software de diseño asistido por computadora que nos ayuda en la construcción del modelo, así como simulaciones de proyectos.

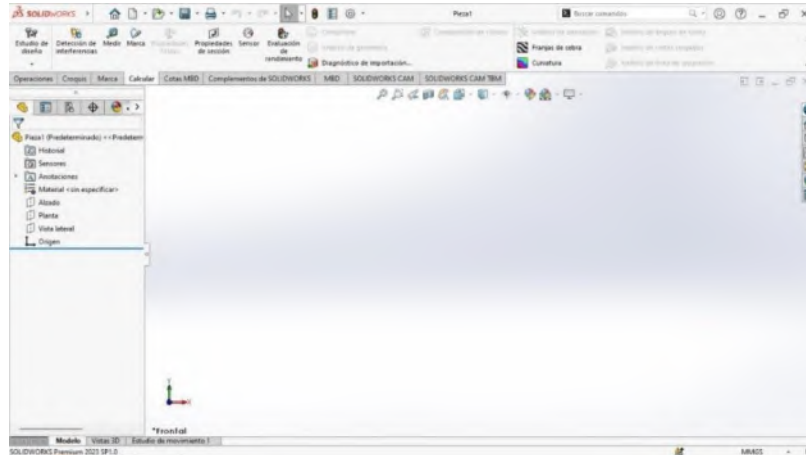


Ilustración 17.- Programa Solid Works.

Al tener el programa en funcionamiento, lo siguiente que hicimos fue iniciar con el boceto de la barrera reactiva permeable, el diseño está planteado en dos partes principales, la primera es el diseño de una base sólida y la segunda es el diseño de cartuchos que se pudieran colocar adentro los materiales que tendrán la función de adsorber los contaminantes del agua. Para la base sólida, primero nos enfocamos en la zona de estudio, esto nos dio un beneficio de hacer el diseño recto, teniendo esta base sólida:

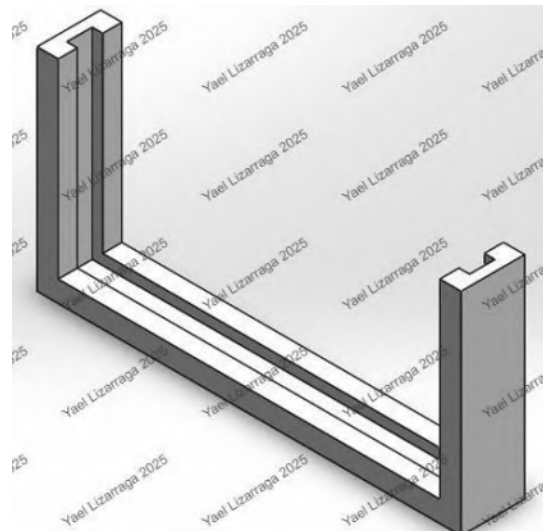


Ilustración 18.- Base Sólida.

Teniendo en cuenta el primer diseño ahora nos enfocamos en como colocar los materiales adsorbentes, lo que se nos ocurrió fue la implementación de cartuchos intercambiables, esto cuyo propósito de una buena manipulación tanto de la estructura como del mismo material, teniendo esta propuesta de cartucho intercambiable:

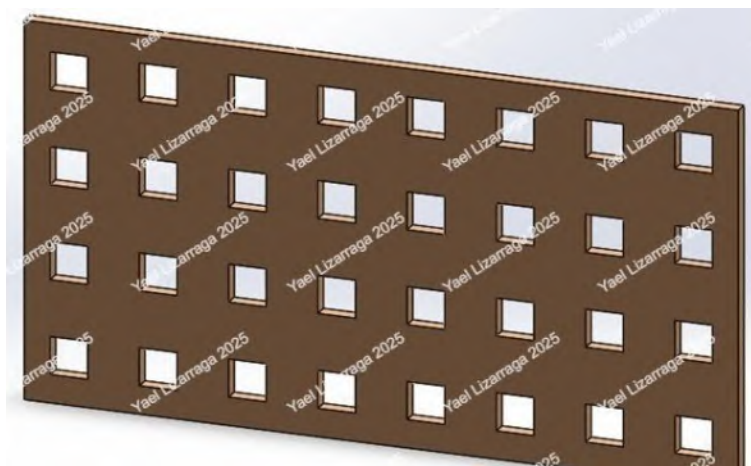


Ilustración 19.- Cartucho Intercambiable.

Teniendo en cuenta ambas partes del diseño, la unión de ambos sería el siguiente:

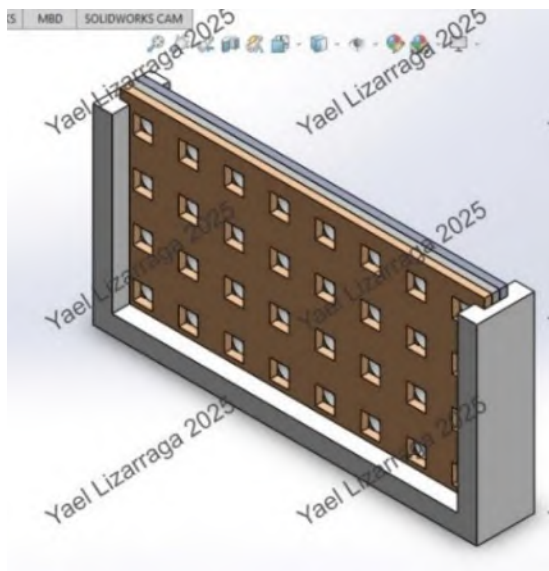


Ilustración 20.- Unión de ambos diseños.

Como se mencionó anteriormente nos enfocamos principalmente en las características de la zona de estudio, y el intercambio de los cartuchos esto como uno de los objetivos de al momento que un cartucho este en su máxima adsorción se pueda remplazar fácilmente con uno nuevo, dando la oportunidad de que el viejo cartucho pase por un tratamiento y pueda ser utilizado nuevamente.

4.2.2. Diseño Pre Simulación

Al tener el concepto general en el diseño tanto de la barrera como de su soporte pasamos al diseño para la pre simulación, se optó por realizar un diseño individual esto con el objetivo de analizar dos cosas, la primera probar el diseño impreso para detectar alguna falla o mejorar algún aspecto técnico del mismo diseño, la segunda aprovechar y hacer el análisis individual de cada material adsorbente con este diseño.

En el aspecto de la base sólida lo que se realizo fue una expansión en forma de recipiente para ahí vaciar el agua a estudiar, optamos por unas dimensiones pequeñas de forma que se pueda trasladar fácilmente y que se pueda llevar a cabo la simulación de manera correcta, así como también algunos detalles para agregarle los accesorios necesarios para llevar a cabo la simulación.

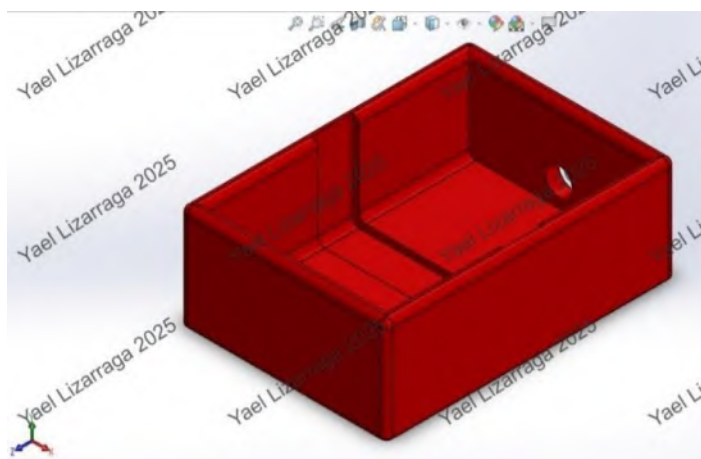


Ilustración 21.- Representación 3d de la base para la pre simulación

En el aspecto de la barrera el diseño anterior notamos unos aspectos a corregir alguno consto de unas paredes con el propósito de colocar de manera más eficiente el material adsorbente, por otro lado, bordeamos las mismas paredes para colocar una malla y no permitir que se salga el material, además de un hueco en las superficies laterales e inferiores para colocar el empaque y así evitar alguna fuga.

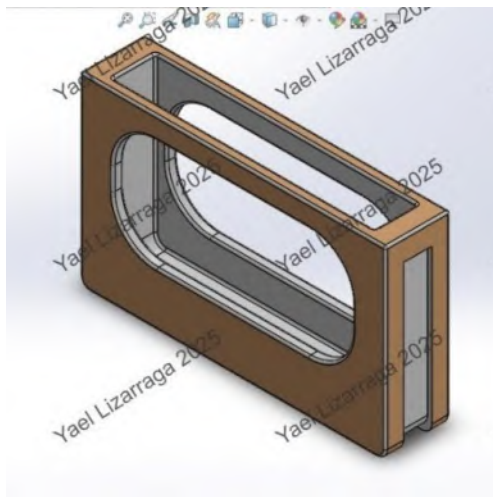


Ilustración 22.- Representación de la barrera para la presimulación

El resultado de la impresión con los ajustes mencionados se muestra en la siguiente ilustración:



Ilustración 23.- Modelo impreso para la presimulación

4.2.3. Simulación de filtro

Al contar con los materiales adsorbentes y el diseño de la barrera reactiva permeable listos, se procede a la fase de simulación, que consta de los siguientes pasos:

La primera fase de la simulación consiste en la evaluación individual de cada material adsorbente. Para ello, se recolecto agua contaminada, la cual se dejó sedimentar durante un día. Pasado ese tiempo, se procedió a utilizar un modelo de impresión 3D individual (ver imagen), para complementar el diseño de la barrera nos auxiliamos con una malla y un empaquetamiento, con el objetivo de hacerlo más práctico, y al mismo tiempo, prevenir posibles fugas de agua.

Como primer material adsorbente, colocamos carbón activado sobre un papel de filtración y se introdujo cuidadosamente en el cartucho, asegurándose de cubrir completamente el espacio disponible, evitando así cualquier hueco. Una vez preparado, se procedió al vaciado inicial del agua.

El agua fue filtrada a través del material adsorbente, estableciendo intervalos de tiempo de 15, 30, 45, 60, 90 y 120 minutos para el proceso. Al finalizar cada uno de estos periodos, se vació una cantidad adicional de agua del rio. Para el análisis posterior, se recolectaron 50 ml de agua filtrada en tubos cónicos en cada intervalo de tiempo.

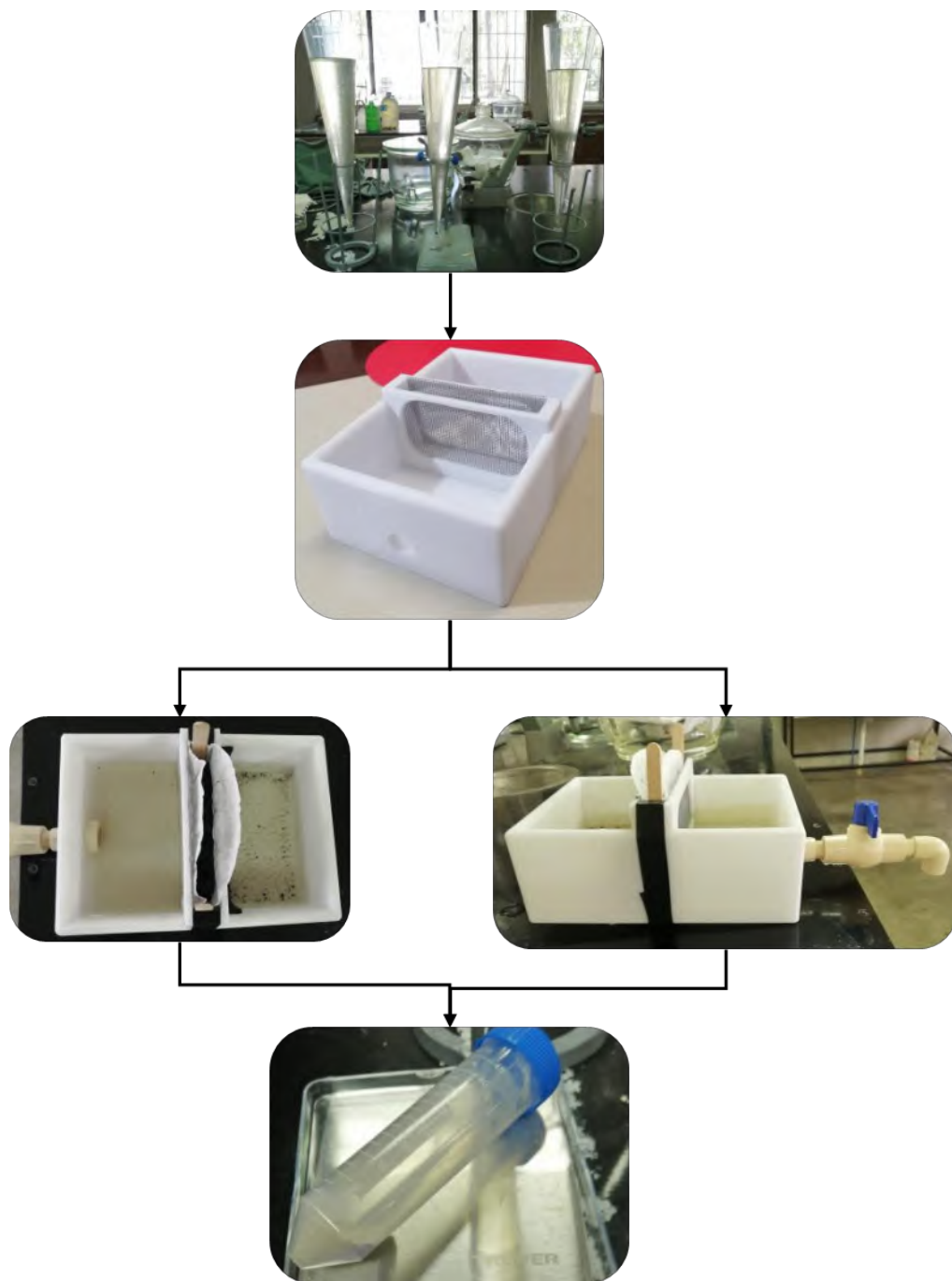


Ilustración 24.- Proceso de la presimulación

4.2.4. Diseño Filtro Domestico

Al haber concluido con el proceso de pre simulación donde pudimos ver el diseño en acción y determinar aciertos y fallos característicos propias del filtro, procedimos a corregirlos y empezar el diseño del filtro doméstico, para este diseño nos enfocamos en la corrección del diseño anterior y en la realización de 3 partes principales: el recipiente, el filtro y la tapa.

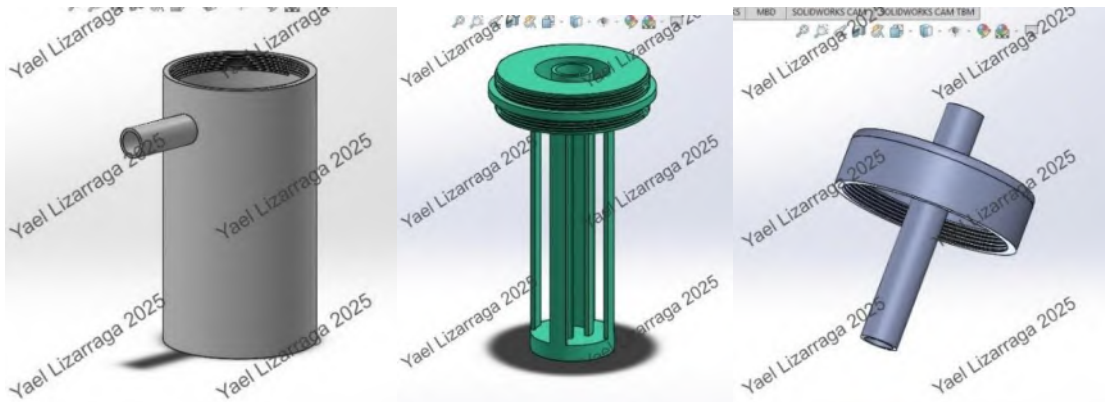


Ilustración 25.- Partes del Filtro Domestico

Como podemos observar de la ilustración, el diseño está basado en los filtros verticales domésticos donde el filtro (figura verde) es donde se colocará el carbón activado y se llevará a cabo la filtración de agua. En la ilustración “26”, se puede ver de manera general una mejor percepción del filtro donde se integran las 3 partes principales.

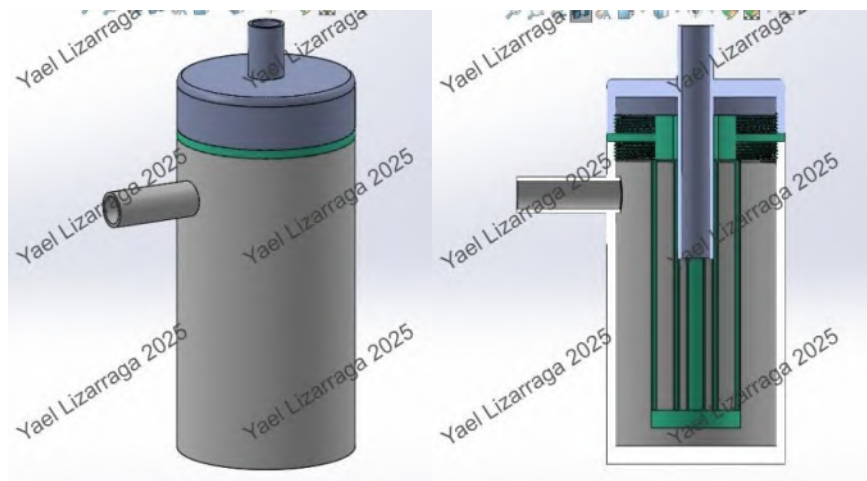


Ilustración 26.- Diseño final ensamblado del filtro doméstico.

Capítulo V.- Resultados

5.1. Cálculos de Sólidos Totales y Sólidos en Suspensión

Cálculo de Sólidos totales y sólidos en suspensión para la simulación de las pruebas individuales:

Cálculo de Sólidos Totales

Pesamos el recipiente correspondiente y anotamos su peso, posteriormente colocaremos 100 ml de agua (Agua de río) en la porcelana y lo llevaremos a evaporación a 100°C en el horno por 1 hora. Después de dejarlo el tiempo establecido, se deja enfriar y pesaremos el residuo del recipiente, con los datos obtenidos aplicaremos la siguiente fórmula:

$$ST: \frac{(B - A) * 1000 \text{ mg/gr}}{\text{Volumen de la muestra}}$$

Donde: “A” es el peso del recipiente vacío, y “B” es el peso del recipiente con el residuo.

$$ST: \frac{(68.26 \text{ g} - 68.22 \text{ g}) * 1000 \text{ mg/gr}}{0.1 \text{ Lt}} = 400 \text{ mg/Lt}$$

Sólidos en suspensión

Pesamos el papel filtro y anotamos su peso, posteriormente colocaremos el papel filtro en un embudo y vaciaremos 100 ml de agua (Agua de río) dejando que se filtre, una vez llevado a cabo la filtración, el residuo lo llevaremos a evaporar a 100°C en el horno por 1 hora. Después de dejarlo el tiempo establecido, dejaremos que se enfríe y pesaremos el residuo en el papel filtro, con los datos obtenidos aplicaremos la siguiente fórmula:

$$SS: \frac{(E - D) * 1000 \text{ mg/gr}}{\text{Volumen de la muestra}}$$

Donde: “D” es el peso del papel filtro vacío, y “E” es el peso del papel filtro con el residuo.

$$ST: \frac{(42.78 \text{ g} - 42.76 \text{ g}) * 1000 \text{ mg/gr}}{0.1 \text{ Lt}} = 200 \text{ mg/Lt}$$

5.2. Análisis del Semáforo de Calidad del Agua en el manantial la Mintzita.

Los resultados mostrados a continuación pertenecen al análisis del estudio de calidad de agua, donde los datos fueron proporcionados en la base de datos de CONAGUA, en esta base de datos se obtuvieron los parámetros de calidad de agua en 3 zonas distribuidas en el manantial la Mintzita, durante el periodo de tiempo entre 2012 a 2021, durante este análisis se elaboró un semáforo de calidad de agua basado en los indicadores de la calidad de agua superficial y subterránea de CONAGUA.

A continuación, se mostrarán los análisis y graficas mencionados con anterioridad:

Nombre Del Sitio	Estado	Municipio	Tipo De Cuerpo De Agua	Latitud	Longitud
La Mintzita 1	Michoacán De Ocampo	Morelia	Léntico (Humedal)	19.64468	-101.27443

Tabla 12.- Semáforo de calidad de agua "la Mintzita 1".

CLAVE SITIO	TIPO DE CUERPO DE AGUA	FECHA	SEMAFORO
DLMIC1716	LÉNTICO (HUMEDAL)	21/11/2012	Rojo
DLMIC1716	LÉNTICO (HUMEDAL)	17/04/2013	Rojo
DLMIC1716	LÉNTICO (HUMEDAL)	19/09/2013	Amarillo
DLMIC1716	LÉNTICO (HUMEDAL)	26/05/2014	Verde
DLMIC1716	LÉNTICO (HUMEDAL)	21/10/2014	Verde
DLMIC1716	LÉNTICO (HUMEDAL)	08/06/2015	Amarillo
DLMIC1716	LÉNTICO (HUMEDAL)	26/10/2015	Rojo
DLMIC1716	LÉNTICO (HUMEDAL)	23/03/2016	Verde
DLMIC1716	LÉNTICO (HUMEDAL)	13/10/2016	Rojo
DLMIC1716	LÉNTICO (HUMEDAL)	24/04/2017	Verde
DLMIC1716	LÉNTICO (HUMEDAL)	16/10/2017	Rojo
DLMIC1716	LÉNTICO (HUMEDAL)	13/02/2018	Verde
DLMIC1716	LÉNTICO (HUMEDAL)	11/06/2018	Rojo
DLMIC1716	LÉNTICO (HUMEDAL)	13/12/2018	Rojo
DLMIC1716	LÉNTICO (HUMEDAL)	13/03/2019	Rojo
DLMIC1716	LÉNTICO (HUMEDAL)	07/09/2020	Rojo
DLMIC1716	LÉNTICO (HUMEDAL)	29/09/2021	Verde

Mediante la tabla 13 se observan los diferentes parámetros de calidad de agua (DQO, N_NH3, P_Tot y Turbiedad) así como también sus respectivos valores en las fechas señaladas, los valores correspondientes son analizados principalmente mediante la escala de clasificación de la calidad del agua, así como también las principales normas oficiales mexicanas en función al agua, en donde el incumplimiento de los parámetros es mediante los siguientes valores “DQO>40mg/l, N_NH3>0.50mg/l, P_Tot>0.1 mg/l y Turbiedad>40mg/l”, cualquier valor superior a los mencionados con anterioridad se considera como incumplimiento a la norma y el sitio se califica como contaminado.

Tabla 13.- Datos de diferentes parámetros de calidad “la Mintzita 1”.

Nombre Del Sitio	Tipo De Cuerpo De Agua	Fecha	DQO_TOT (mg/l)	N_NH3 (mg/l)	P_TOT (mg/l)	Turbiedad (mg/l)
La Mintzita 1	Léntico (Humedal)	21/11/2012	149	<0.02	0.09	3.61
La Mintzita 1	Léntico (Humedal)	17/04/2013	75	<0.02	0.15	3.18
La Mintzita 1	Léntico (Humedal)	19/09/2013	17	0.25	0.04	8.78
La Mintzita 1	Léntico (Humedal)	26/05/2014	16	6.37	2.12	4.39
La Mintzita 1	Léntico (Humedal)	21/10/2014	18	0.55	1.06	7
La Mintzita 1	Léntico (Humedal)	08/06/2015	<10	0.3	2.63	3.2
La Mintzita 1	Léntico (Humedal)	26/10/2015	136	0.27	0.26	6.63
La Mintzita 1	Léntico (Humedal)	23/03/2016	<10	0.58	0.78	5.66
La Mintzita 1	Léntico (Humedal)	13/10/2016	62	0.167	0.17	3.88
La Mintzita 1	Léntico (Humedal)	24/04/2017	35	3.292	0.9	2.7
La Mintzita 1	Léntico (Humedal)	16/10/2017	44	1.248	0.78	5.73
La Mintzita 1	Léntico (Humedal)	13/02/2018	36	1.064	1.194	5.23
La Mintzita 1	Léntico (Humedal)	11/06/2018	67	0.531	0.899	4.5
La Mintzita 1	Léntico (Humedal)	13/12/2018	47	0.168	0.115	4.11
La Mintzita 1	Léntico (Humedal)	13/03/2019	64	1.7	0.711	3.29
La Mintzita 1	Léntico (Humedal)	07/09/2020	71	0.512	0.546	3.22
La Mintzita 1	Léntico (Humedal)	29/09/2021	10	2.183	1.031	6.62

El siguiente compilatorio de graficas representadas por la ilustración “27”, corresponden a los principales datos de los parámetros de calidad de agua, para hacer más visibles los gráficos seleccionamos los 4 valores más significativos y los 3 valores menos significativos con su correspondiente fecha de muestreo, por otro lado, la línea roja puntiaguda representada en cada grafica representa el límite establecido por la escala de clasificación correspondiente a cada parámetro de contaminación.

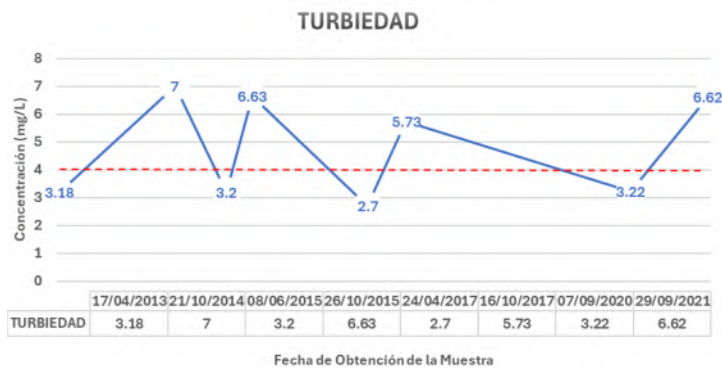
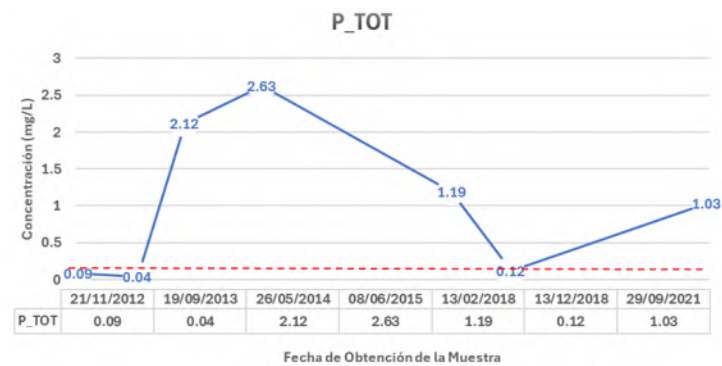
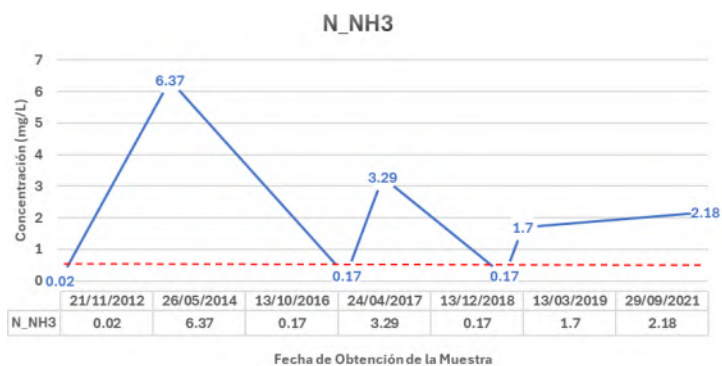
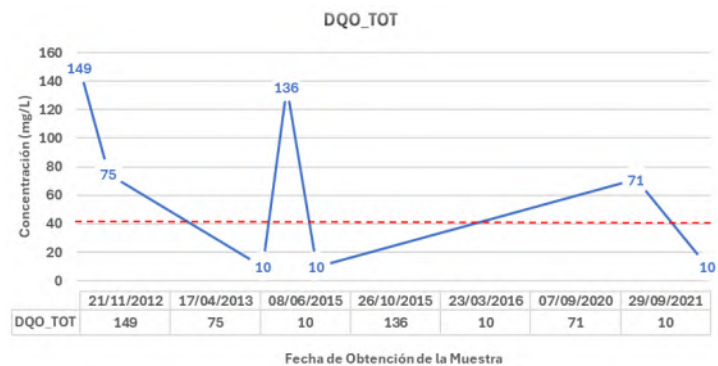


Ilustración 27.- Gráficos DQO, N_NH3, P_TOT y Turbiedad "LM1"

Posteriormente se llevó a cabo un análisis detallado para examinar como varían los parámetros de contaminación a lo largo de los meses del año. En primer lugar, mediante la tabla “14” y la gráfica representada en la ilustración “28”, se identificaron los meses en los que algunos de los parámetros excedieron los límites permisibles a través del periodo de muestreo estableciendo una relación entre esos valores y los meses correspondiente.

Tabla 14.- Parámetros de calidad variando los meses del año.

La Mintzita 1													
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
DQO	0	0	1	1	0	1	0	0	1	3	1	1	9
Turbiedad	0	1	1	0	1	1	0	0	2	3	0	1	10
N_NH3	0	1	2	1	1	1	0	0	2	2	0	0	10
P_TOT	0	1	2	2	1	2	0	0	2	4	0	1	15
Total	0	3	6	4	3	5	0	0	7	12	1	3	44

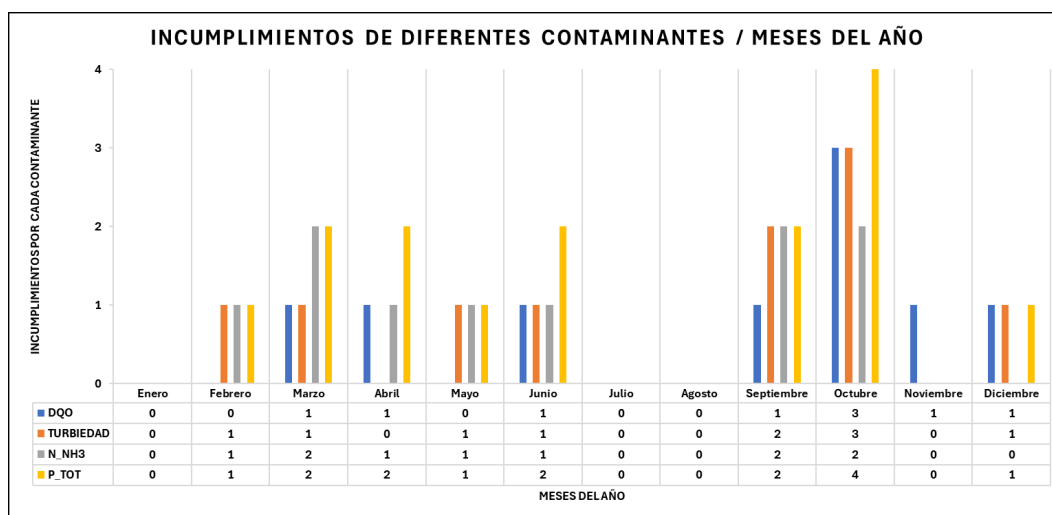


Ilustración 28.- Gráfico incumplimientos diferentes contaminantes / meses del año

Como se puede observar de tabla y la ilustración anterior podemos determinar que los parámetros de P_Total, y N_NH3 tienen los valores de incumplimiento más seguido, mientras que el mes de octubre y septiembre, son los meses en donde más podemos encontrar contaminado esta zona de la Mintzita.

El segundo análisis representado por el grafico en la ilustración “29”, se consideraron todos los parámetros en su conjunto para analizar de manera global su comportamiento y determinar los meses en los que hay mayor contaminación.

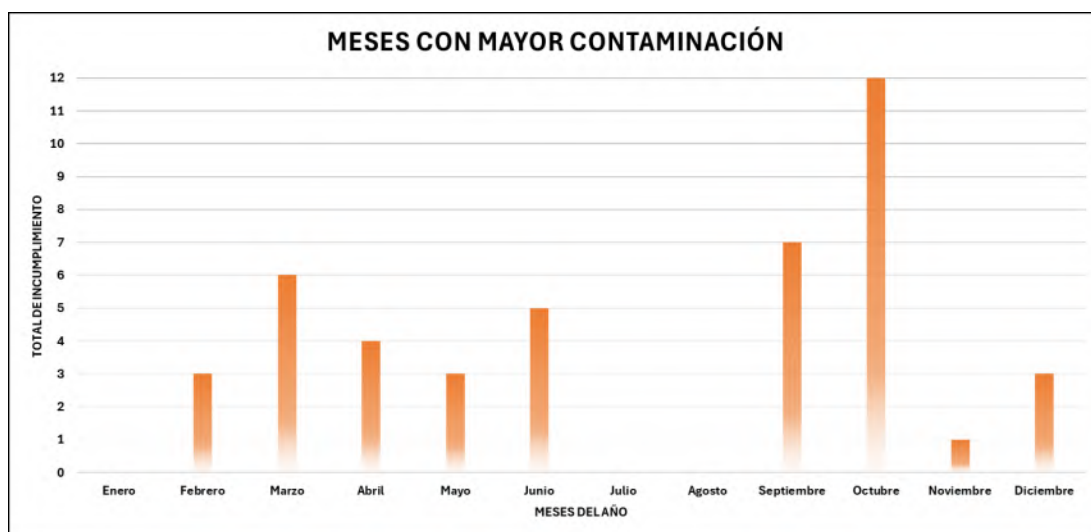


Ilustración 29.- Grafico incumplimiento total / meses del año.

Como se puede observar de la ilustración anterior podemos determinar que los meses con mayor contaminación son octubre, septiembre y marzo con 12,7,6 incumplimientos respectivamente a lo largo del periodo de muestreo.

El tercer y último análisis representados mediante la tabla “15” y el grafico en la ilustración “30” estuvo enfocado en estudiar la variabilidad de los contaminantes según las diferentes estaciones del año (primavera, verano, otoño e invierno), con el propósito de determinar que estaciones del año están más propensas a contaminarse.

Dado que los datos del estudio se realizaron en el hemisferio norte, específicamente en México, se definieron los periodos de las estaciones del año de la siguiente manera:

- ✚ **Primavera:** 21 de marzo al 20 de junio.
- ✚ **Verano:** 21 de junio al 20 de septiembre.
- ✚ **Otoño:** 21 de septiembre al 20 de diciembre.
- ✚ **Invierno:** 21 de diciembre al 20 de marzo.

Tabla 15.- Parámetros de calidad según las estaciones del año.

	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
DQO	2	1	5	1
TURBIEDAD	3	1	5	1
N_NH3	4	1	3	2
P_TOT	6	1	6	2
TOTAL	15	4	19	6

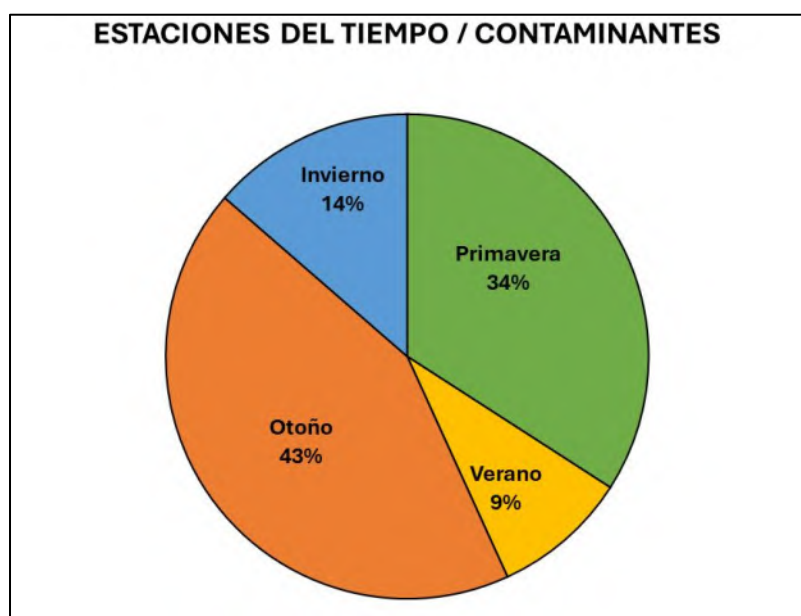


Ilustración 30.- Gráfico variaciones de parámetros en las diferentes estaciones del año

Tras la realización del estudio podemos observar que las estaciones del año en donde hay más presencia de contaminantes son: otoño con un 43% y primavera con un 34%.

Nombre Del Sitio	Estado	Municipio	Tipo De Cuerpo De Agua	Latitud	Longitud
La Mintzita 2	Michoacán De Ocampo	Morelia	Lótico (Humedal)	19.64828	-101.271

Tabla 16.- Semáforo de calidad de agua "la Mintzita 2".

CLAVE SITIO	TIPO DE CUERPO DE AGUA	FECHA	SEMAFORO
DLMIC1717	LÓTICO (HUMEDAL)	21/11/2012	Rojo
DLMIC1717	LÓTICO (HUMEDAL)	17/04/2013	Rojo
DLMIC1717	LÓTICO (HUMEDAL)	19/09/2013	Amarillo
DLMIC1717	LÓTICO (HUMEDAL)	30/01/2014	Verde
DLMIC1717	LÓTICO (HUMEDAL)	05/03/2014	Amarillo
DLMIC1717	LÓTICO (HUMEDAL)	30/04/2014	Verde
DLMIC1717	LÓTICO (HUMEDAL)	19/06/2014	Verde
DLMIC1717	LÓTICO (HUMEDAL)	24/07/2014	Rojo
DLMIC1717	LÓTICO (HUMEDAL)	26/08/2014	Amarillo
DLMIC1717	LÓTICO (HUMEDAL)	11/02/2015	Verde
DLMIC1717	LÓTICO (HUMEDAL)	19/03/2015	Verde
DLMIC1717	LÓTICO (HUMEDAL)	13/05/2015	Verde
DLMIC1717	LÓTICO (HUMEDAL)	30/06/2015	Verde
DLMIC1717	LÓTICO (HUMEDAL)	05/08/2015	Rojo
DLMIC1717	LÓTICO (HUMEDAL)	08/09/2015	Rojo
DLMIC1717	LÓTICO (HUMEDAL)	09/03/2016	Amarillo
DLMIC1717	LÓTICO (HUMEDAL)	04/05/2016	Amarillo
DLMIC1717	LÓTICO (HUMEDAL)	22/06/2016	Amarillo
DLMIC1717	LÓTICO (HUMEDAL)	27/07/2016	Verde
DLMIC1717	LÓTICO (HUMEDAL)	31/08/2016	Amarillo
DLMIC1717	LÓTICO (HUMEDAL)	05/10/2016	Rojo
DLMIC1717	LÓTICO (HUMEDAL)	15/03/2017	Verde
DLMIC1717	LÓTICO (HUMEDAL)	10/05/2017	Amarillo
DLMIC1717	LÓTICO (HUMEDAL)	13/06/2017	Amarillo
DLMIC1717	LÓTICO (HUMEDAL)	19/07/2017	Amarillo
DLMIC1717	LÓTICO (HUMEDAL)	23/08/2017	Amarillo
DLMIC1717	LÓTICO (HUMEDAL)	24/10/2017	Verde
DLMIC1717	LÓTICO (HUMEDAL)	10/01/2018	Amarillo
DLMIC1717	LÓTICO (HUMEDAL)	14/02/2018	Rojo
DLMIC1717	LÓTICO (HUMEDAL)	21/03/2018	Rojo
DLMIC1717	LÓTICO (HUMEDAL)	16/05/2018	Amarillo
DLMIC1717	LÓTICO (HUMEDAL)	10/10/2018	Rojo
DLMIC1717	LÓTICO (HUMEDAL)	14/11/2018	Rojo
DLMIC1717	LÓTICO (HUMEDAL)	06/02/2019	Rojo
DLMIC1717	LÓTICO (HUMEDAL)	14/08/2019	Amarillo
DLMIC1717	LÓTICO (HUMEDAL)	19/08/2020	Rojo
DLMIC1717	LÓTICO (HUMEDAL)	29/09/2021	Amarillo

De manera análoga a lo mencionado al análisis de la tabla “13” procederemos al análisis de la 2da zona de estudio a través de la tabla “17” en donde los parámetros de calidad de agua son los siguientes (DQO, N_NH3, P Total, Turbiedad, Coliformes Totales, Cromo y Plomo), los valores de los parámetros igualmente corresponden a la escala de clasificación de calidad del agua, en donde el incumplimiento de los parámetros es mediante los siguientes valores “DQO>40mg/l, N_NH3>0.50mg/l, P_Tot>0.1mg/l, Turbiedad>40mg/l, Coliformes totales>1000 NMP/100 ML, Cromo>0.05 mg/l y Plomo>0.01 mg/l”, cualquier valor superior a los mencionados con anterioridad se considera como incumplimiento a la norma y el sitio de califica como contaminado.

Tabla 17.- Datos de diferentes parámetros de calidad “la Mintzita 2”.

Nombre Del Sitio	Tipo De Cuerpo De Agua	Fecha	DQO_Tot (mg/l)	N_NH3 (mg/l)	P_Tot (mg/l)	Turbiedad (mg/l)	CR_Tot (mg/l)	PB_Tot (mg/l)	COLI_Tot (NMP/100)
La Mintzita 2	Lótico (Humedal)	21/11/2012	56	<0.02	0.08	3.11	<0.005	<0.005	SD
La Mintzita 2	Lótico (Humedal)	17/04/2013	62	<0.02	0.15	3.22	<0.005	<0.005	93
La Mintzita 2	Lótico (Humedal)	19/09/2013	14	0.25	0.12	10.1	<0.005	<0.005	11000
La Mintzita 2	Lótico (Humedal)	30/01/2014	18	1.49	0.72	4.41	<0.005	<0.005	240
La Mintzita 2	Lótico (Humedal)	05/03/2014	17	7.11	0.07	4.9	<0.005	<0.005	2400
La Mintzita 2	Lótico (Humedal)	30/04/2014	22	9.74	0.15	4.19	0.0312	<0.005	460
La Mintzita 2	Lótico (Humedal)	19/06/2014	18	4.97	5.64	4.34	<0.005	<0.005	93
La Mintzita 2	Lótico (Humedal)	24/07/2014	43	3.08	1.25	3.8	0.0122	0.0095	1100
La Mintzita 2	Lótico (Humedal)	26/08/2014	11	0.7	2.73	4.36	<0.005	<0.005	1100
La Mintzita 2	Lótico (Humedal)	11/02/2015	24	<0.02	0.16	3.4	0.0122	<0.005	93
La Mintzita 2	Lótico (Humedal)	19/03/2015	14	0.94	1.49	4.44	0.0051	<0.005	93
La Mintzita 2	Lótico (Humedal)	13/05/2015	<10	0.55	0.57	4.23	<0.005	<0.005	460
La Mintzita 2	Lótico (Humedal)	30/06/2015	<10	2.04	1.26	3.65	<0.005	<0.005	23
La Mintzita 2	Lótico (Humedal)	05/08/2015	77	1.49	0.7	4.38	<0.005	<0.005	2400
La Mintzita 2	Lótico (Humedal)	08/09/2015	85	0.55	2.13	5	<0.005	<0.005	2400
La Mintzita 2	Lótico (Humedal)	09/03/2016	16	0.64	0.23	6.55	<0.005	0.0174	24000

La Mintzita 2	Lótico (Humedal)	04/05/2016	<10	0.58	1.19	176	<0.005	<0.005	1500
La Mintzita 2	Lótico (Humedal)	22/06/2016	<10	1.843	0.13	4.14	<0.005	<0.005	1100
La Mintzita 2	Lótico (Humedal)	27/07/2016	<10	0.563	0.25	3.4	<0.005	<0.005	460
La Mintzita 2	Lótico (Humedal)	31/08/2016	<10	1.796	0.44	4.17	0.0097	<0.005	24196
La Mintzita 2	Lótico (Humedal)	05/10/2016	61	1.677	0.44	5.16	0.007	<0.005	4600
La Mintzita 2	Lótico (Humedal)	15/03/2017	29	4.955	0.98	3.5	<0.005	<0.005	430
La Mintzita 2	Lótico (Humedal)	10/05/2017	40	1.963	0.37	2.83	<0.005	<0.005	2400
La Mintzita 2	Lótico (Humedal)	13/06/2017	22	3.601	0.64	3.13	0.113	<0.005	11000
La Mintzita 2	Lótico (Humedal)	19/07/2017	36	1.07	0.96	2.79	0.0074	<0.005	24000
La Mintzita 2	Lótico (Humedal)	23/08/2017	38	1.016	1.29	4.7	<0.005	<0.005	4600
La Mintzita 2	Lótico (Humedal)	24/10/2017	39	1.146	1.36	6.52	0.0148	<0.005	150
La Mintzita 2	Lótico (Humedal)	10/01/2018	36	0.834	0.85	5.57	0.0074	<0.005	2400
La Mintzita 2	Lótico (Humedal)	14/02/2018	54	1.603	1.171	5.88	0.0158	<0.005	4600
La Mintzita 2	Lótico (Humedal)	21/03/2018	57	1.089	1.068	5.33	0.006	<0.005	1500
La Mintzita 2	Lótico (Humedal)	16/05/2018	30	0.716	0.879	5.38	0.0068	<0.005	2400
La Mintzita 2	Lótico (Humedal)	10/10/2018	57	1.756	0.966	5.65	<0.005	<0.005	11000
La Mintzita 2	Lótico (Humedal)	14/11/2018	45	2.006	0.997	5.42	<0.005	<0.005	90
La Mintzita 2	Lótico (Humedal)	06/02/2019	50	0.735	0.511	3.87	0.0104	<0.005	1500
La Mintzita 2	Lótico (Humedal)	14/08/2019	<10	0.03	0.10	4.3	<0.005	<0.005	24196
La Mintzita 2	Lótico (Humedal)	19/08/2020	90	0.917	0.846	3.04	0.0051	<0.005	SD
La Mintzita 2	Lótico (Humedal)	29/09/2021	21	1.845	1.039	5.45	<0.005	<0.005	SD

El siguiente compilatorio de graficas representadas por la ilustración “31”, corresponden a los principales datos de los parámetros de calidad de agua, para hacer más visibles los gráficos seleccionamos los 4 valores más significativos y los 3 valores menos significativos con su correspondiente fecha de muestreo, por otro lado, la línea roja puntiaguda representada en cada grafica representa el límite establecido por la escala de correspondiente a cada parámetro de contaminación.

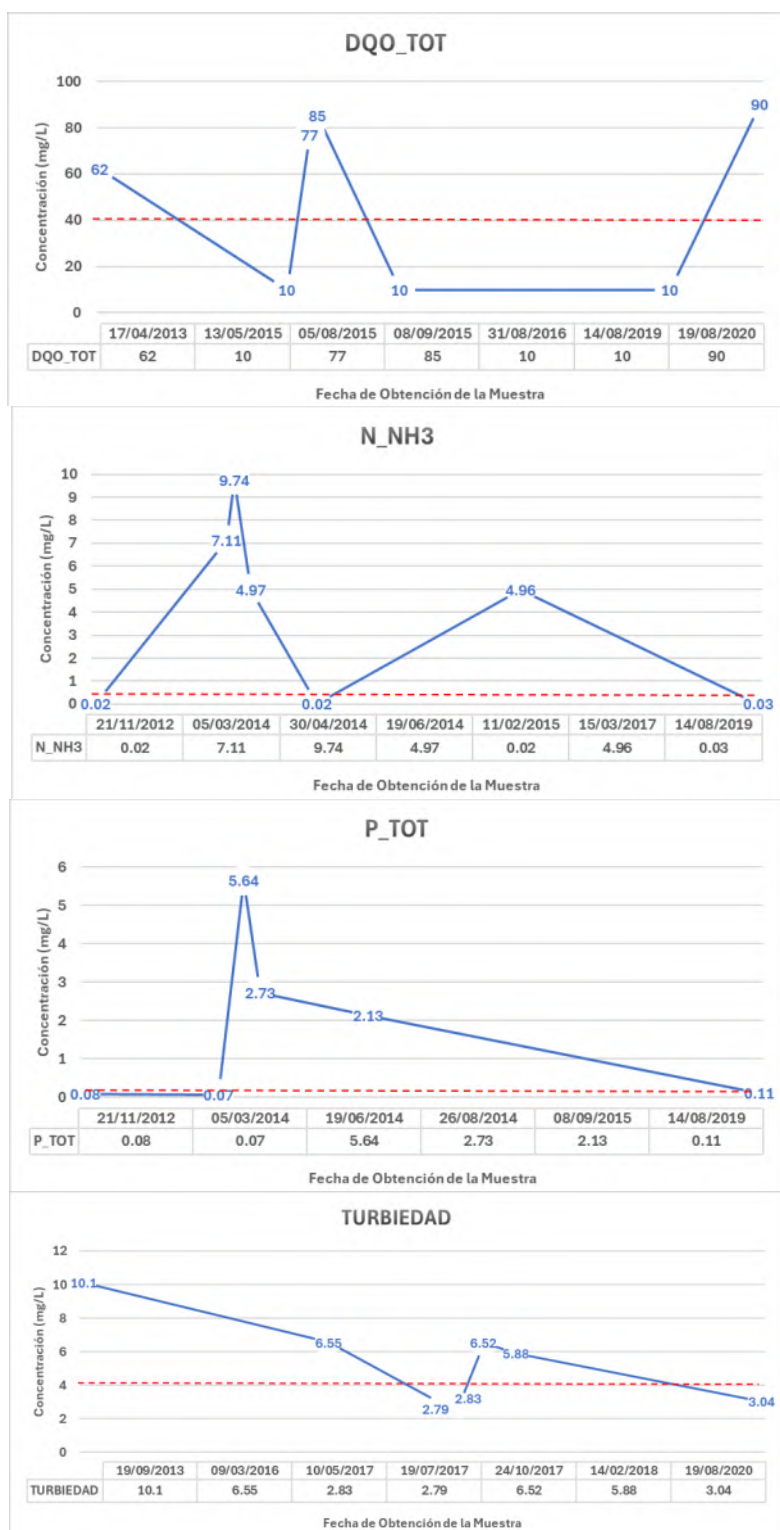


Ilustración 31.- Grafico DQO, N_NH3, P_TOT y Turbiedad "LM2"

Posteriormente de igual manera al estudio de la zona 1, se llevó a cabo el análisis para determinar cómo varían los parámetros de contaminación a lo largo de los meses del año. Mediante la tabla “18” y la gráfica representada en la ilustración “32”, se identificaron los meses en los que algunos de los parámetros excedieron los límites permisibles a través del periodo de muestreo.

Tabla 18.- Parámetros de calidad variando los meses del año “la Mintzita 2”.

La Mintzita 2													
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
DQO	0	2	1	1	0	0	1	2	1	2	2	0	12
Turbiedad	2	1	4	1	4	2	0	5	2	4	1	0	26
N_NH3	2	2	5	1	4	4	3	4	1	4	1	0	31
P_TOT	2	3	4	2	4	3	4	6	2	4	1	0	35
Total	6	8	14	5	12	9	8	17	6	14	5	0	104

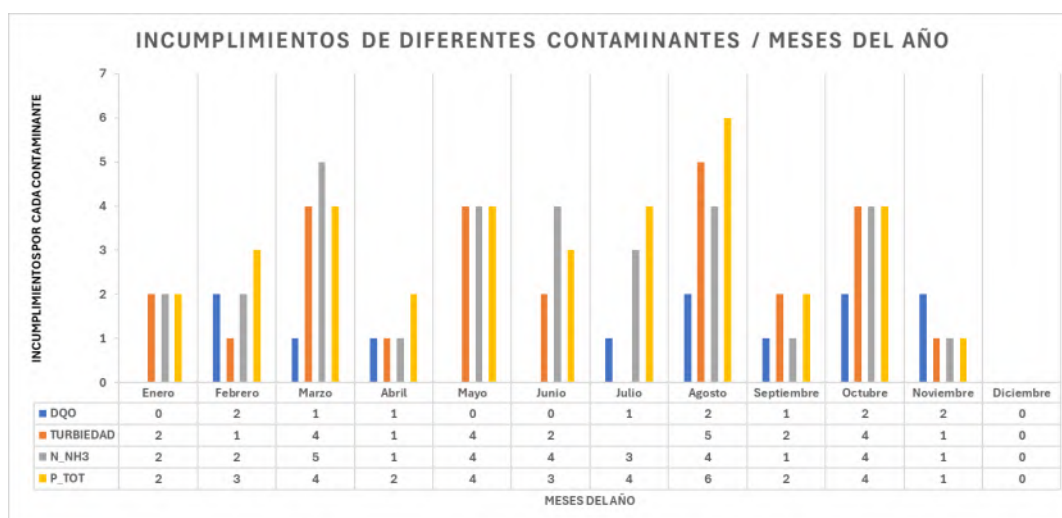


Ilustración 32.- Grafico incumplimientos diferentes contaminantes / meses del año

Como se puede observar de tabla y la ilustración anterior podemos determinar que los parámetros de P_Total, y N_NH3 tienen los valores de incumplimiento más seguido, mientras que los meses de marzo, agosto y octubre, son los meses en donde más podemos encontrar contaminado en la 2da zona de la Mintzita.

El siguiente análisis representado por el grafico en la ilustración “33”, se consideraron todos los parámetros en su conjunto para analizar de manera global su comportamiento y determinar los meses en los que hay mayor contaminación.



Ilustración 33.- Grafico incumplimiento total / meses del año

Podemos observar que en la 2da zona de la Mintzita los meses en donde hay un mayor incumplimiento de la norma son en los meses de marzo, mayo, agosto y octubre con valores de 14, 12, 17 y 14 incumplimientos respectivamente. Podemos hacer una comparación con la ilustración “”, en donde podemos determinar que la 2da zona de estudio es más propensa a contaminarse debido al aumento de incumplimientos a la norma y a su vez un incremento de meses donde se incumplen dichos contaminantes.

El último análisis correspondiente a la 2da zona de análisis es representado mediante la tabla “19” y el grafico en la ilustración “34” de manera análoga estuvo enfocado en estudiar la variabilidad de los contaminantes según las diferentes estaciones del año (primavera, verano, otoño e invierno), con el propósito de determinar que estaciones del año están más propensas a contaminarse.

Tabla 19.- Parámetros de calidad según las estaciones del año.

	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
DQO	2	4	4	2
TURBIEDAD	6	9	5	7
N_NH3	8	10	5	8
P_TOT	9	13	5	8
TOTAL	25	36	19	25

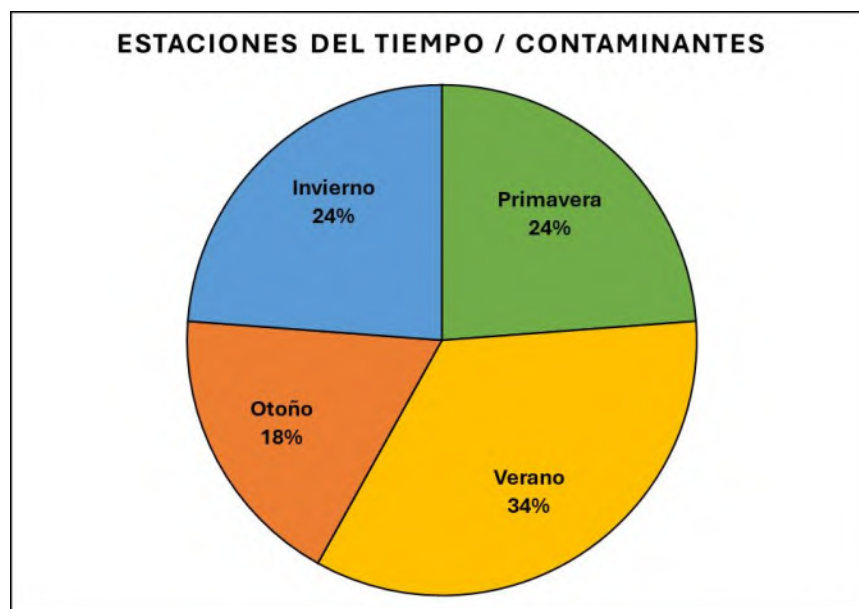


Ilustración 34.- Gráfico variaciones de los parámetros en las diferentes estaciones del año

Mediante la gráfica anterior podemos observar que, en la 2da zona de análisis, la estación del año donde hay más presencia de contaminación es verano con un 34%, esto lo podemos comparar con la 1er zona de estudio donde verano es la estación menos propensa a contaminación con un 9%, mientras sus estaciones del año más propensas son otoño y primavera. Por un lado, esto nos indica que, aunque las dos zonas de estudio estén interactuando entre sí, estas pueden tener valores distintos y la variación entre los tipos de cuerpo de agua siendo lenticó la 1ra zona de estudio y lótico la 2da zona de estudio puede ser un factor de alteración para el análisis y los datos obtenidos.

Nombre Del Sitio	Estado	Municipio	Tipo De Cuerpo De Agua	Latitud	Longitud
La Mintzita 3	Michoacán De Ocampo	Morelia	Léntico (Humedal)	19.65201	- 101.26847

Semáforo de Calidad de Agua

Tabla 20.- Semáforo de calidad de agua "la Mintzita 3".

CLAVE SITIO	TIPO DE CUERPO DE AGUA	FECHA	SEMAFORO
DLMIC1718	LÉNTICO (HUMEDAL)	18/12/2012	SD
DLMIC1718	LÉNTICO (HUMEDAL)	17/05/2013	Rojo
DLMIC1718	LÉNTICO (HUMEDAL)	26/09/2013	Verde
DLMIC1718	LÉNTICO (HUMEDAL)	26/05/2014	Verde
DLMIC1718	LÉNTICO (HUMEDAL)	21/10/2014	Rojo
DLMIC1718	LÉNTICO (HUMEDAL)	08/06/2015	Verde
DLMIC1718	LÉNTICO (HUMEDAL)	26/10/2015	Rojo
DLMIC1718	LÉNTICO (HUMEDAL)	23/03/2016	Rojo
DLMIC1718	LÉNTICO (HUMEDAL)	13/10/2016	Rojo
DLMIC1718	LÉNTICO (HUMEDAL)	24/04/2017	Verde
DLMIC1718	LÉNTICO (HUMEDAL)	16/10/2017	Verde
DLMIC1718	LÉNTICO (HUMEDAL)	09/01/2018	Verde
DLMIC1718	LÉNTICO (HUMEDAL)	11/06/2018	Rojo
DLMIC1718	LÉNTICO (HUMEDAL)	13/12/2018	Rojo
DLMIC1718	LÉNTICO (HUMEDAL)	13/03/2019	Rojo
DLMIC1718	LÉNTICO (HUMEDAL)	07/09/2020	Rojo
DLMIC1718	LÉNTICO (HUMEDAL)	29/09/2021	Verde

Tras los análisis de las dos zonas anteriores (La Mintzita 1 y 2) procedemos de manera análoga al análisis de la última zona de estudio, mediante la tabla “21”.

Tabla 21.- Datos de diferentes parámetros de calidad “la Mintzita 3”.

Nombre Del Sitio	Tipo De Cuerpo De Agua	Fecha	DQO_Tot (mg/l)	N_NH3 (mg/l)	P_Tot (mg/l)	Turbiedad (mg/l)
La Mintzita 3	Léntico (Humedal)	18/12/2012	SD	<0.02	0.1	SD
La Mintzita 3	Léntico (Humedal)	17/05/2013	62	<0.02	<0.007	<2.5
La Mintzita 3	Léntico (Humedal)	26/09/2013	21	0.25	0.16	12
La Mintzita 3	Léntico (Humedal)	26/05/2014	17	16.69	1.99	4.36
La Mintzita 3	Léntico (Humedal)	21/10/2014	45	0.73	1.3	7
La Mintzita 3	Léntico (Humedal)	08/06/2015	<10	0.79	1.33	3.52
La Mintzita 3	Léntico (Humedal)	26/10/2015	89	1.25	0.24	6.44
La Mintzita 3	Léntico (Humedal)	23/03/2016	119	0.7	0.83	5.66
La Mintzita 3	Léntico (Humedal)	13/10/2016	54	0.208	0.2	4.1
La Mintzita 3	Léntico (Humedal)	24/04/2017	19	1.92	0.92	2.5
La Mintzita 3	Léntico (Humedal)	16/10/2017	36	1.109	0.79	6.49
La Mintzita 3	Léntico (Humedal)	09/01/2018	39	2.47	0.66	5.48
La Mintzita 3	Léntico (Humedal)	11/06/2018	97	0.638	0.964	4.33
La Mintzita 3	Léntico (Humedal)	13/12/2018	48	0.128	0.13	4.09
La Mintzita 3	Léntico (Humedal)	13/03/2019	91	1.028	0.589	3.58
La Mintzita 3	Léntico (Humedal)	07/09/2020	61	0.523	0.717	2.81
La Mintzita 3	Léntico (Humedal)	29/09/2021	13	2.54	1.06	5.3

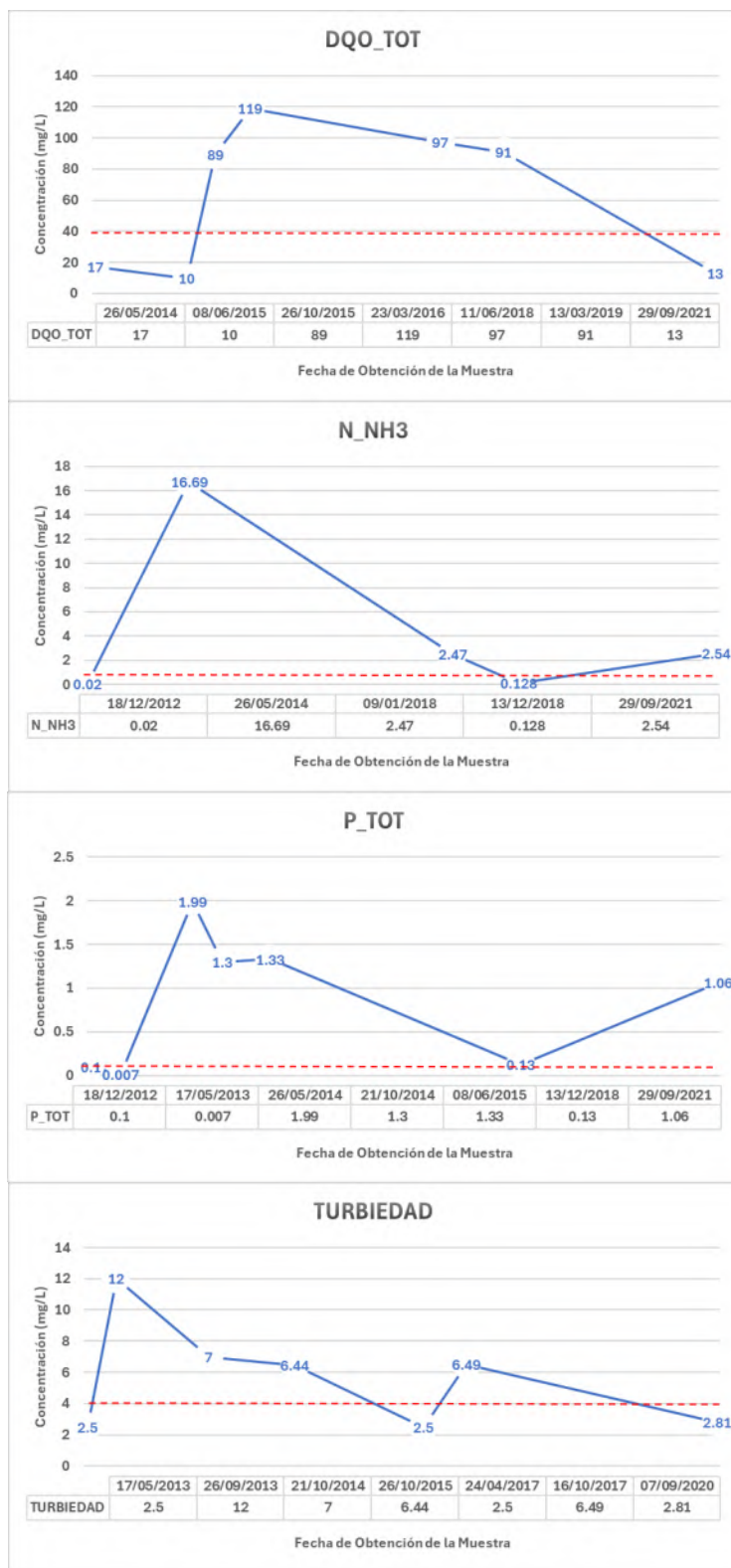


Ilustración 35.- Gráfico DQO, N_NH3, P_TOT y Turbiedad "LM3"

Mediante la tabla “22” y la gráfica representada en la ilustración “36”, se identificaron los meses en los que algunos de los parámetros excedieron los límites permisibles a través del periodo de muestreo.

Tabla 22.- Parámetros de calidad variando los meses del año “a Mintzita 3”.

La Mintzita 3													
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
DQO	0	0	2	0	1	1	0	0	1	3	0	1	9
Turbiedad	1	0	1	0	1	1	0	0	2	4	0	1	11
N_NH3	1	0	2	1	1	2	0	0	2	3	0	0	12
P_TOT	1	0	2	1	1	2	0	0	3	4	0	2	16
Total	3	0	7	2	4	6	0	0	8	14	0	4	48

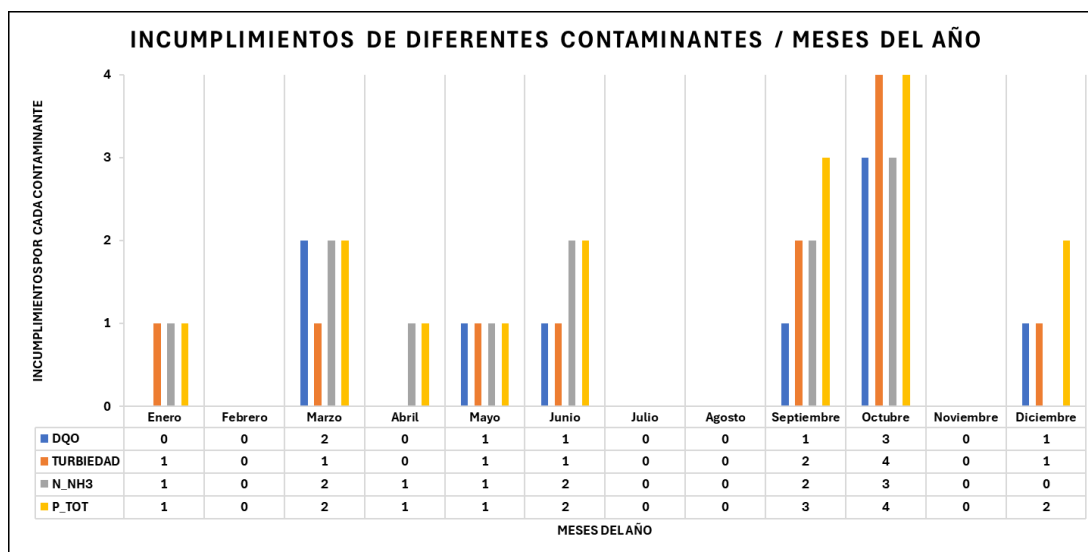


Ilustración 36.- Grafico incumplimientos diferentes contaminantes / meses del año

Como se puede observar la tabla y la ilustración anterior podemos determinar que los parámetros de P_Total, N_NH₃ y Turbiedad tienen los valores de incumplimiento más seguidos, mientras que los meses de septiembre y octubre, son los meses en donde más podemos encontrar contaminado en la 3ra zona de la Mintzita. Esto lo podemos ver con una similitud en cuestión a la 1ra zona donde, aunque varían los valores de los parámetros encontramos los mismos meses del año.



Ilustración 37.- Grafico incumplimiento total / meses del año

Mediante la gráfica representada en la ilustración “37” anterior podemos observar que en la 3ra zona de la Mintzita los meses en donde hay un mayor incumplimiento de la norma son en los meses de marzo, septiembre y octubre con valores de 7, 8 y 14 incumplimientos respectivamente. Podemos hacer una comparación donde determinamos que la 3ra zona de estudio tiene una similitud a contaminarse como la 1ra zona de estudio, dónde destacan los mismos meses donde hay mayor contaminación.

El último análisis correspondiente a la 3ra zona de análisis es representado mediante la tabla “23” y el grafico en la ilustración “38” de manera análoga estuvo enfocado en estudiar la variabilidad de los contaminantes según las diferentes estaciones del año (primavera, verano, otoño e invierno), con el propósito de determinar que estaciones del año están más propensas a contaminarse.

Tabla 23.- Parámetros de calidad según las estaciones del año.

	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
DQO	3	1	4	1
TURBIEDAD	3	0	7	1
N_NH3	5	1	4	2
P_TOT	5	1	8	2
TOTAL	16	3	23	6

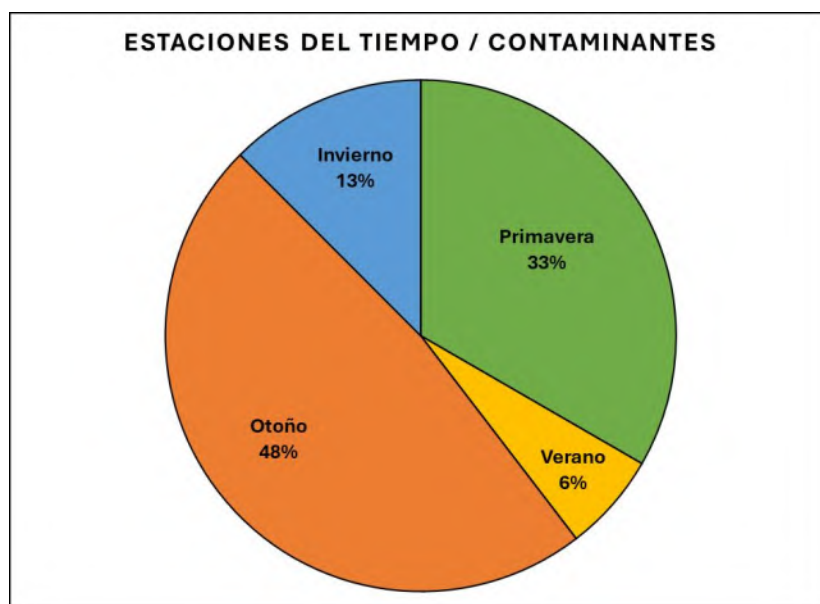


Ilustración 38.- Gráfico variaciones de los parámetros en las diferentes estaciones del año

Mediante la gráfica anterior podemos observar que, en la 3ra zona de análisis, la estación del año donde hay más presencia de contaminación es en otoño con un 48% y primavera con un 33% esto lo podemos comparar con la 1er zona de estudio donde coinciden las mismas estaciones del año, aunque con una ligera variación en los valores de porcentajes. Por un lado, esto nos indica que, aunque las dos zonas de estudio estén interactuando entre sí, estas pueden tener valores distintos y la variación entre los tipos de cuerpo de agua siendo lenticos la 1ra y 3ra zona de estudio y lotico la 2da zona de estudio puede ser un factor de alteración para el análisis y los datos obtenidos.

5.3. Análisis DRX

Mediante las 2 ilustraciones siguientes, se podrá observar la variación de los difractogramas correspondientes, “Carbón Activado” y “Carbón Activado Contaminado”, siendo este su análisis correspondiente:

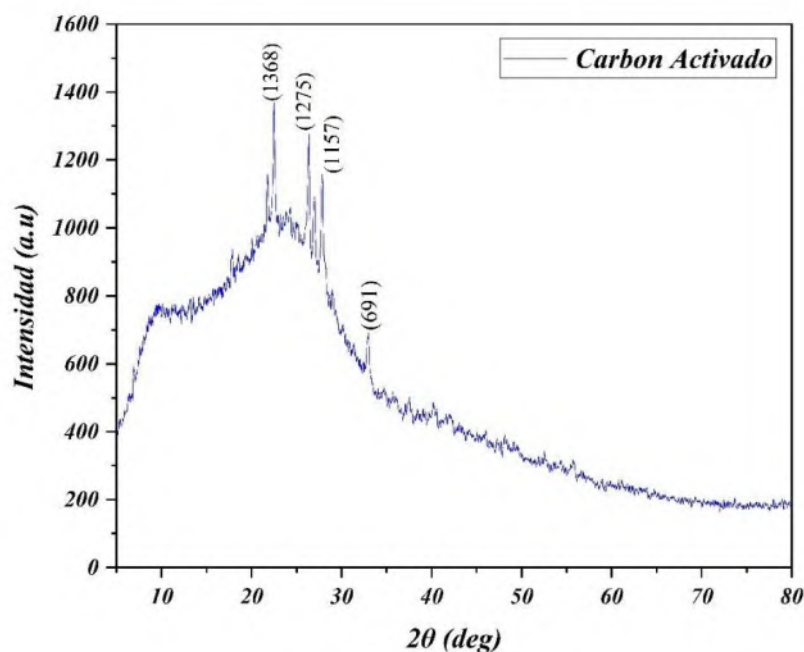


Ilustración 39.- Difractograma Carbón Activado

Conforme el difractograma podemos observar la correspondiente banda vibracional y algunos picos significativos identificados en el eje 2θ aproximadamente en los puntos de 22° , 26° y 28° con una intensidad de 1368 a.u. 1276 a.u y 1157 a.u. Por otro lado, podemos encontrar picos no tan significativos en los puntos de 16° a.u. con una intensidad de 907 a.u.y otra en 33° con una intensidad de 691 a.u.

Podemos observar, el pico de 16° correspondiente al plano (001) que representa una fase estructural amorfa, mientras que el pico de 22° y 26° corresponden al plano (002) del grafito, indicando la presencia de capas apiladas del carbono grafitico.

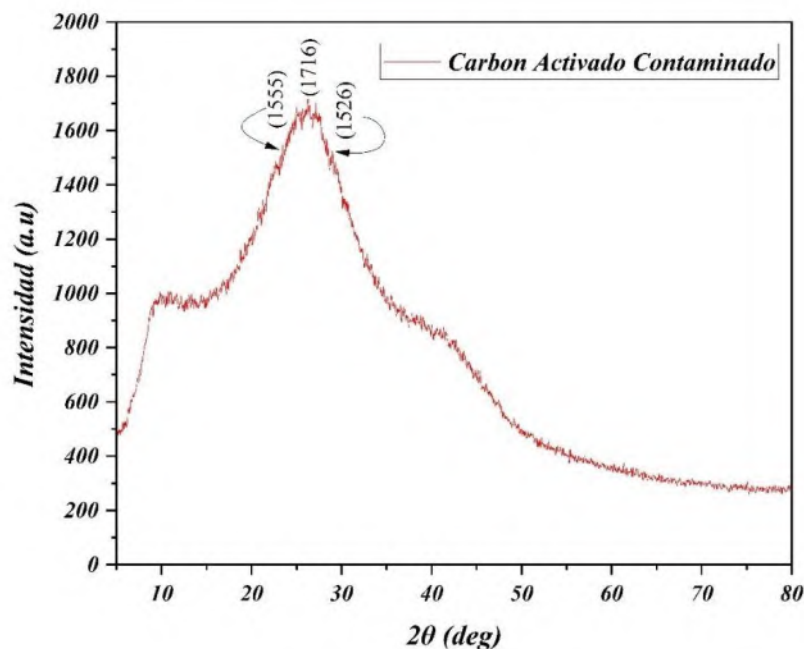


Ilustración 40.- Difractograma Carbón Activado Contaminado

Revisando de manera análoga este difractograma se puede observar que la banda vibracional correspondiente es diferente con respecto a la anterior, el más notorio análisis es la banda ancha correspondiente del eje 2θ entre los 15° a los 35° aproximadamente, donde podemos destacar el pico más significativo en los 26° con una intensidad de 1716 a.u.

El análisis de la banda ancha y el pico significativo en los 26° correspondiente al plano (002) es representativa a estructuras amorfas o grafíticas, así como también podemos observar que los valores de la intensidad son mayores en comparación con el difractograma anterior, lo cual nos puede dar una representación de impurezas adsorbidas presentes en el carbón activado.

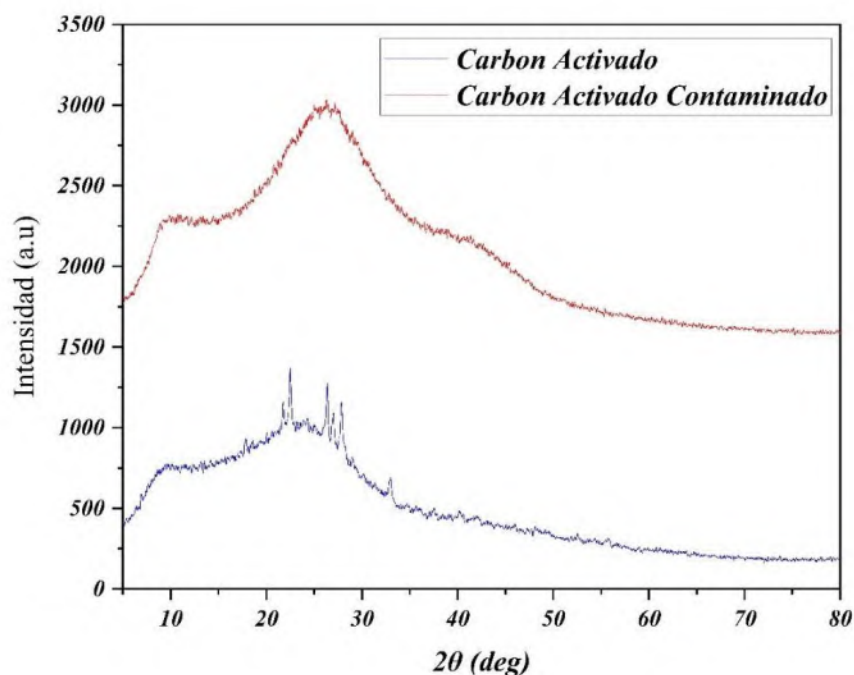


Ilustración 41.- Comparación Difractograma Carbón activado y Carbón activado Contaminado

5.5. Evaluación de Remoción de N_{NH3}

El análisis se realizó mediante un espectrofotómetro UV-VIS, en donde se obtuvieron las concentraciones de cloruro de amonio como precursor del N_{NH3} para estas pruebas.

Los resultados se pueden apreciar en la ilustración “42”, donde se puede observar de manera general como el porcentaje de remoción aumento conforme avanzo el tiempo. De manera más específica podemos hacer 2 análisis correspondiente, el 1^{er} análisis comprende del tiempo 0 hasta los 90 minutos en donde vemos como el porcentaje de remoción inicia a los 15 minutos aproximadamente y va formando una pendiente pronunciada hasta los 90 minutos donde el aumento de porcentaje de remoción se ve hasta un 45%. El 2^{do} análisis comprende desde los 90 minutos hasta los 120 minutos, podemos observar como la pendiente está teniendo una estabilización en donde alcanza un porcentaje de remoción total del 52%.

De este análisis podemos decidir que el proceso llega a ser eficiente, sin embargo, no llega al 100% de remoción o aproximado, lo cual puede deberse a una limitación en la difusión interna de los poros del carbón activado.

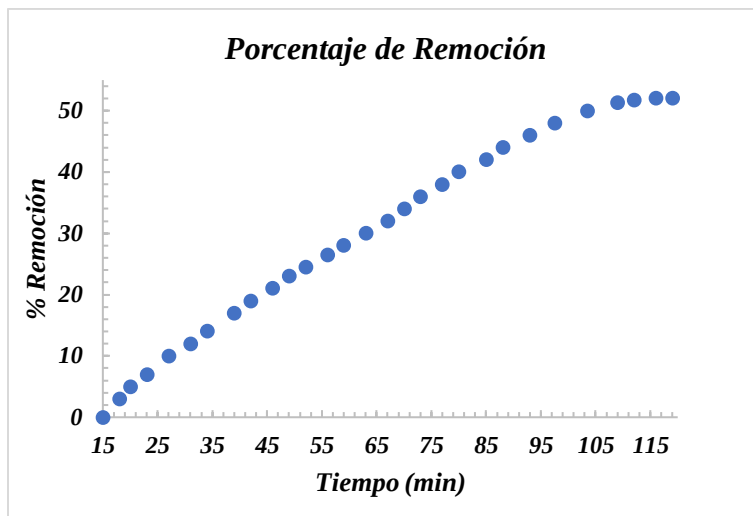


Ilustración 42.- Grafico % Remoción vs Tiempo.

La siguiente ilustración corresponde a la curva de calibración utilizando soluciones a diferentes concentraciones (15, 25, 35, 50, 75, 100, 120) ppm, en el cual podemos observar un comportamiento lineal con una $R^2 = 0.989$.

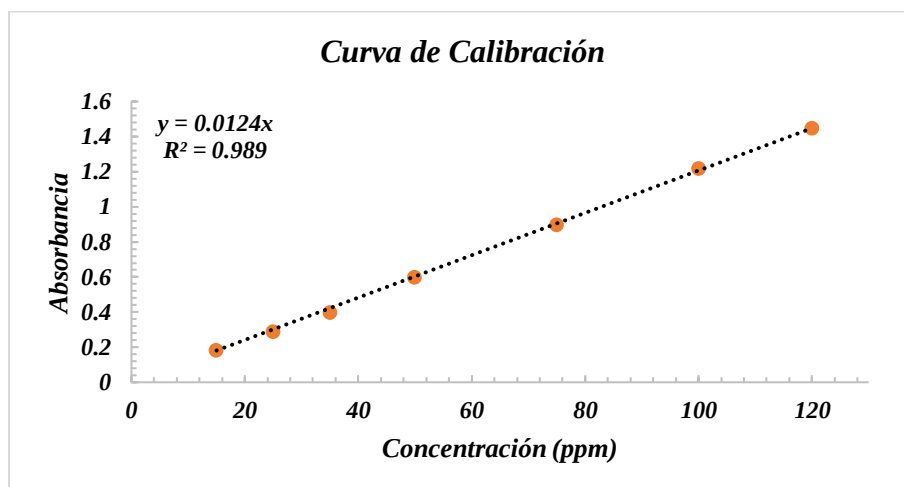


Ilustración 43.- Grafico Calibración.

La evaluación de los diferentes isothermas de adsorción (Langmuir y Freundlich), se aprecian en la siguiente grafica. Podemos observar cómo ambos modelos tanto Langmuir como Freundlich muestran un buen ajuste, en el cual Freundlich muestra un mejor ajuste, esto nos da un indicio que el proceso de adsorción tiene características tanto homogéneas como heterogéneas. Por un lado, se puede observar que el isoterma de Langmuir está orientado preferentemente a concentraciones intermedias y altas, mientras que Freundlich a bajas concentraciones tiene una tendencia a una mejor correlación, esto nos indica una heterogeneidad de sitios activos a estas condiciones.

Tabla 24.- Correlación de los Isothermas de Adsorción.

Langmuir	
R^2	0.8525
Freundlich	
R^2	0.9933

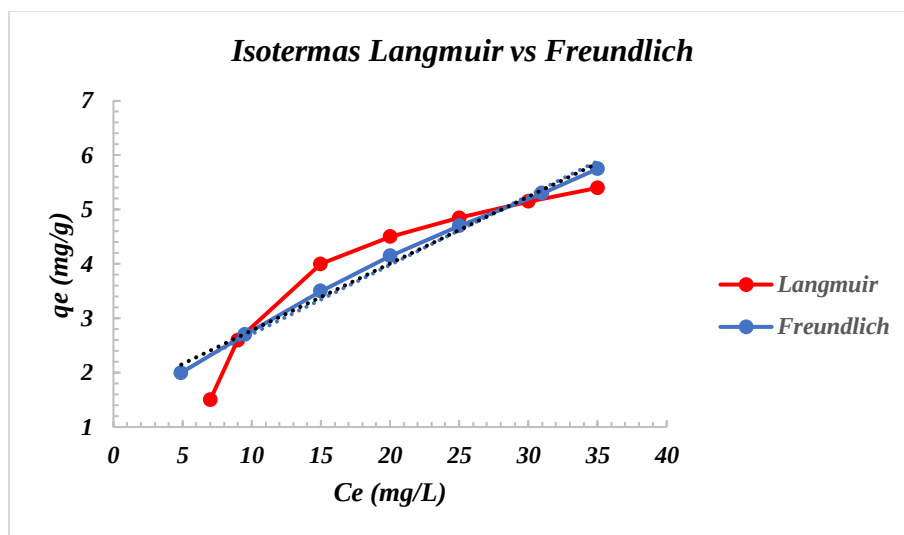


Ilustración 44.- Grafico Isothermas de Langmuir y Freundlich.

5.6. Análisis de Costos

Mediante las siguientes dos ilustraciones se puede observar los resultados del análisis de costos, en la ilustración “45” primeramente se puede observar el proceso de producción semanal de carbón activado, esto con la finalidad de poder ver la distribución diaria y analizar todo lo necesario para la realización del producto.

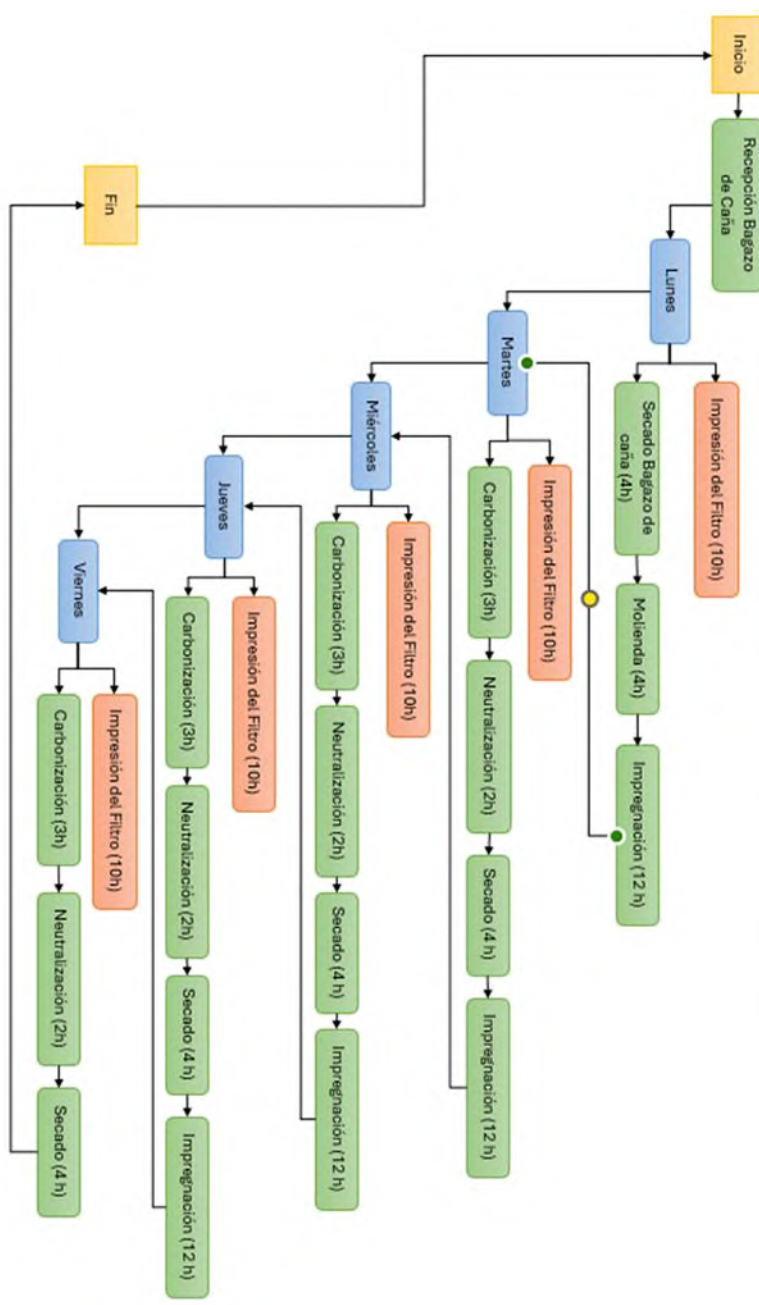


Ilustración 45.- Diagrama de Producción Semanal.

Ilustración 46.- Análisis de Costos.

[illegible]

Se observa que los mayores costos variables provienen de la fabricación del carbón activado específicamente el ácido fosfórico, así como también el tanque de gas para la carbonización, esto nos puede sugerir en buscar otras alternativas u opciones para reducir costos. Por otro lado, los mayores costos fijos provienen de la impresora 3d, la máquina para moler y la laptop, sin embargo, al ser costos fijos podemos observar costos alrededor de \$4.00 a \$10.00 para cada uno procedente por los 5 años de vida útil aproximada del filtro.

Siguiendo todo este análisis se determinó que el costo completo del filtro seria de \$1,214.91 pesos, esto sin tomar en cuenta un tentativo precio de venta que aumentaría el costo, sin embargo, a comparación de otros filtros en el mercado podemos encontrar precios que rondan entre los \$1,200 a \$3,000 pesos, por otro lado, el kit del filtro con un tiempo de vida de 5 años el costo seria de \$1,951.17 pesos, de manera análoga a la comparación anterior se aprecia que el precio de mercado estaría entre los \$1,200 a \$3,000 pesos esto sin tomar en cuenta repuestos de filtro, lo que haría que este kit una opción más accesible de cara al mercado.

Capítulo VI. – Conclusiones

En vista de todo el estudio y análisis planteado en este trabajo de investigación, podemos interpretar la siguiente conclusión:

El análisis correspondiente al semáforo de calidad de agua en el manantial “la Mintzita” nos muestra que del 2012 al 2021, la calidad del agua paso por altas y bajas, destacando los parámetros de “DQO, Turbiedad, Nitrógeno Amoniacal y Fosforo Total”, que fueron las más constantes de los 3 sitios analizados. Por otro lado, mediante el análisis realizado para determinar los meses y las estaciones del año, en el sitio 1 y 3 destacamos “octubre, septiembre y marzo” como los meses más contaminados y “Otoño, Primavera” como las estaciones del año más propensas a estar contaminados, mientras que el sitio 2 los meses más contaminados son “agosto, marzo, octubre, mayo” y la estación del año más propensa a estar contaminada es “verano”. El material adsorbente “Carbón Activado” empleado con residuos de bagazo de caña “*Saccharum officinarum*”, se llevó a cabo de manera satisfactoria gracias a sus características y maleabilidad. Mediante el difractómetro de rayos x (DRX), podemos ver la confirmación del carbón activado, así como también la diferencia entre el carbón natural y el carbón contaminado se pudo observar la deferencia de intensidad confirmándonos la presencia de impurezas adsorbidas presentes en el carbón activado. Conforme a la evaluación de remoción se puede apreciar que el carbón activado tuvo su mayor porcentaje de remoción a partir de los 100 minutos con un 52%, mientras que los isotermas de adsorción, el isoterma de Freundlich tuvo una mejor correlación dando a entender que predomina características heterogéneas. Esto nos puede dar una idea de que el carbón activado procedente del bagazo de caña es efectivo a la remoción del nitrógeno amoniacal y a su vez una opción viable para análisis de diferentes contaminantes en el agua. Para el análisis económico, el proceso de fabricación del carbón activado y el filtro mediante el modelo 3d empleándose con sus respectivos materiales presentan un costo aceptable en comparación a los filtros comerciales, el análisis nos da una opción a productos de grado comercial lo cual hace fácil de sintetizar destacando el bagazo de caña ya que su relación cantidad-costo y sus características adsorbentes lo hacen muy recomendable como precursor a para una fabricación fácil y económica.

Referencias

1. Pedraza Pérez, A.C. (2018). Vulnerabilidad del Agua Subterránea al Poniente de la Ciudad de Morelia, Michoacán. Obtenido de: https://www.ies.unam.mx/laboratorios/restauracion-ambiental/wp-content/uploads/2022/10/vulnerabilidad_aguasubte.pdf
2. Vázquez Aguirre, A.A. (2008). Limnología de Cuatro Sistemas Acuáticos de la Subcuenca de Morelia, Michoacán. Obtenido de: <https://www.ies.unam.mx/laboratorios/restauracion-ambiental/wp-content/uploads/2022/10/limnologia.pdf>
3. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México). Cuenca hidrológica Lago de Cuitzeo: humedales: informe técnico / Instituto Nacional de Estadística y Geografía. -- México: INEGI, c2020. Obtenido de: https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825197094.pdf
4. Marín Togo, M. C., Blanco García, A. (2009). Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar (FIR) – Versión 2009-2012. Obtenido de: <https://rsis.ramsar.org/RISapp/files/RISrep/MX1919RIS.pdf>
5. Bahena Fraga, Á. (2010). Programa de Manejo de la Zona Sujeta a Preservación Ecológica “Manantial La Mintzita” y su Zona de Amortiguamiento, del Municipio de Morelia, Michoacán. Obtenido de: https://www.ies.unam.mx/laboratorios/restauracion-ambiental/wp-content/uploads/2022/10/programa_manejo.pdf
6. Sánchez San Román, F. J. El Ciclo Hidrológico. Obtenido de: https://hidrologia.usal.es/temas/Ciclo_hidrol.pdf
7. García, R. R., Muñoz, C. M., Vizcaino, D. H., De Lucas Veguillas, J., & De Pedro, M. L. A. (2003). Calidad del agua de fuentes de manantial en la zona básica de salud de Sigüenza. *Revista Española de Salud Pública*, 77(3), 423-432. <https://doi.org/10.1590/s1135-57272003000300012>
8. Herraiz, A. S. (2009). La importancia de las aguas subterráneas. *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 103(1), 97-114. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3729107>
9. El agua en México. (2006) Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). ISBN 968-817-730-X. Obtenido de: <https://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/EL-AGUA-EN-MEXICO.pdf>
10. Araque Arellano, M., ed. El agua en la naturaleza. In: *Diseño hidráulico de plantas de tratamiento de agua potable* [online]. Quito: Editorial Abya-Yala, 2022, pp. 15-24. ISBN: 978-9978-10-638-9. <https://doi.org/10.7476/9789978108208.0002>
11. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Desinfección Para Sistemas de Agua Potable y Saneamiento. ISBN: 978-607-626-023-4. Recuperado de: <https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro23.pdf>
12. Fernández Cirelli, A., (2012). El agua: un recurso esencial. *Química Viva*, 11(3), 147-170. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86325090002>

13. Orellana, J. A. (2005). TRATAMIENTO DE LAS AGUAS. Recuperado de: https://www.fro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing_sanitaria/Ingenieria_Sanitaria_A4_Capitulo_06_Tratamiento_de_Aguas.pdf
14. Chulluncuy Camacho, N. C., (2011). Tratamiento de agua para consumo humano. *Ingeniería Industrial*, (29), 153-170. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=337428495008>
15. Díaz et al. / Centro Azúcar Vol 48, No. 3, Julio-Septiembre 2021 (pp. 41-52). Recuperado de: http://centroazucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/665/763
16. Del Angel, E., Pantoja, M. A., López, R., & Cruz, A. E. (2021). Treatment of domestic wastewater using activated carbon prepared from sugarcane bagasse. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 13(1), 144-183. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2022-01-04>
17. Jaén Jiménez, J. C., & Zamora Umaña, G. J. . (2024). Obtención de carbón activado a partir del bagazo de caña, para su uso en la remoción de los fármacos diclofenaco y amoxicilina en aguas residuales. *Revista Ciencia Y Salud Integrando Conocimientos*, 8(2), 53–66. <https://doi.org/10.34192/cienciaysalud.v8i2.766>
18. Prieto García, Julio Omar, Gehan Geulamussein, Noor, Pérez Leiva, Ariel, Martínez Albelo, Eugenio, & Enríquez García, Mixary. (2020). ADSORCIÓN DE CADMIO DESDE SOLUCIONES ACUOSAS EN CARBÓN ACTIVADO DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR VARIEDAD ROXA. *Centro Azúcar*, 47(1), 90-99. Epub 02 de enero de 2020. Recuperado en 07 de enero de 2025, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612020000100090&lng=es&tlng=es.
19. Burciaga-Montemayor, N. G., Claudio-Rizo, J. A., Cano-Salazar, L. F., Martínez-Luévanos, A., & Vega-Sánchez, P. (2020). Compósitos en estado hidrogel con aplicación en la adsorción de metales pesados presentes en aguas residuales. *Deleted Journal*, 23. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2020.0.211>
20. Baez Santana, S.A., (2019). Evaluación de un material adsorbente compuesto de carbon activado en polvo termofijado en un material polimerico para tratar aguas residuales urbanas. Obtenido de: <https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/20.500.14330/TES01000785451/3/0785451.pdf>
21. García-Rojas, N., Villanueva-Díaz, P., Campos-Medina, E., & Velázquez-Rodríguez, A. (2012). Análisis de la adsorción como método de pulimiento en el tratamiento de aguas residuales. Quivera. *Revista de Estudios Territoriales*, 14(1), 109-129. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40123894007>
22. Ramos, Roberto. (2017). Importancia y Aplicaciones de la Adsorción en Fase Líquida. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/320407302_Importancia_y_Aplicaciones_de_la_Adsorcion_en_Fase_Liquida
23. Oficina de Administración de la Tierra y Gestión de Emergencias (Office of Land and Emergency Management). (2021). Guía comunitaria sobre barreras reactivas permeables. EPA-542-F-21-019S. Obtenido de: <https://clu-in.org/cguides/es/>
24. United States Environmental Protection Agency. (2001). Guía del Ciudadano para las Barreras Reactivas Permeables. EPA 542-F-01-005S. Obtenido de: https://19january2021snapshot.epa.gov/remedytech/guia-del-ciudadano-para-las-barreras-reactivas-permeables_.html

25. Rodríguez-Arias, C., Gómez-Romero, M., Páramo-Pérez, M. E., & Lindig-Cisneros, R. (2018). Ten-year study of vegetation dynamics in wetlands subject to human disturbance in Western Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 89(3). <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2018.3.1771>
26. Romero Rojas, J.A. (2002). *Calidad del Agua*. 2da Edición. (pp.154).
27. Secretaria de Salud (SSA). (2021). NOM-127-SSA1-2021: Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua. Obtenido de: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5650705&fecha=02/05/2022#gsc.tab=0
28. Secretaria de Salud (SSA). (2002). NOM-230-SSA1-2002: Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano, requisitos sanitarios que se deben cumplir en los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua. Obtenido de: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=2081772&fecha=12/07/2005#gsc.tab=0
29. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (SEMARNAT). (2021). NOM-001-SEMARNAT-2021: Que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación. Obtenido de: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11/03/2022#gsc.tab=0
30. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (SEMARNAT). (1997). NOM-003-ECOL-1997, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público. <https://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69207.pdf>
31. Tejada-Tovar, C., Villabona-Ortiz, Á., & Garcés-Jaraba, L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecnológicas*, 18(34), 109. <https://doi.org/10.22430/22565337.209>
32. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (SEMARNAT). (1996). NORMA Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996: Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. <https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/3295/1/nom-002-semarnat-1996.pdf>
33. Capitulo III: EL CARBON ACTIVADO UNA ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS. <https://editorial.unca.edu.ar/Publicacione%20on%20line/DIGITESIS/Ana%20Julia%20Filippin/PDF/CapIII.pdf>
34. Salas, Marcelo & Zenaida, Calizaya & Julio, Huamani & Alejandro, Chambi & Vita, Fabian & Lucho, Boza & María, Roque & Moisés, Chuco & Kimberly, Jove & Sara, Larico & Málaga, Alejo. (2021). REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN AGUAS RESIDUALES EMPLEANDO CARBÓN ACTIVADO. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/357434871_REMOCION_DE_CONTAMINANTES_EN_AGUAS_RESIDUALES_EMPLEANDO_CARBON_ACTIVADO
35. González Navarrete, B. (2017). Desarrollo de carbón activado a partir de desechos agroindustriales con aplicación en adsorción de arsénico. Disponible en <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/147405>

36. Moliner, R. (2016). Del carbón activo al grafeno: Evolución de los materiales de carbono. *Boletín del Grupo Español del Carbón*, 41, 2-5. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6164944.pdf>
37. Jácome-Pilco, C., García-Culqui, R., Guevara-Narváez, L., & Moreta-Guangasi T., (2023). Revalorización del bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) como residuo importante para la agroindustria. 593 Digital Publisher CEIT, 8(3), 134-148 <https://doi.org/10.33386/593dp.2023.3.1661>
38. Montes, L. B., Ruiz, O. C., González, R. I. A., Cano, E. G., & Castillejos, G. C. R. (2018). Aprovechamiento de bagazo de caña de azúcar para obtención de furfural. *Inventio*, 14(34), 39-43. <https://doi.org/10.30973/inventio/2018.14.34/5>
39. Del, M. A. (2018). *Biofelin: Aprovechamiento del bagazo de caña de azúcar con el fin de generar nuevos usos*. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12622/5666>.
40. IINEGI. (2025). Michoacan de Ocampo. Obtenido de: <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=16>
41. Sistema de Información Geográfica y Estadística de Morelia. (s.f). Mapa Interactivo de Morelia. Obtenido de: <https://www.sigmorelia.gob.mx/>
42. García Vega, Diego & Guerrero-Garcia-Rojas, Hilda & Seguí-Amórtégui, Luis. (2016). Huella hídrica: análisis como instrumento estratégico de gestión para el aprovechamiento eficiente de los recursos hídricos. 1-26. Obtenido de: https://www.researchgate.net/publication/326623110_Huella_hidrica_analisis_como_instrumento_estrategico_de_gestion_para_el_aprovechamiento_eficiente_de_los_recursos_hidricos
43. *Procesos de adsorción*. (2015, 11 mayo). Fisicoquímica. <https://fisicoquimica1.wordpress.com/adsorcion/>
44. *¿Qué es el carbón activado y para qué sirve?* - Carbotecnia. (2025, 2 abril). Carbotecnia. <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/carbon-activado/que-es-carbon-activado/>

27% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Fuentes principales

- 25%  Fuentes de Internet
- 12%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión



Texto oculto

1 caracteres sospechosos en N.º de página

El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Formato de Declaración de Originalidad y Uso de Inteligencia Artificial

Coordinación General de Estudios de Posgrado
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



A quien corresponda,

Por este medio, quien abajo firma, bajo protesta de decir verdad, declara lo siguiente:

- Que presenta para revisión de originalidad el manuscrito cuyos detalles se especifican abajo.
- Que todas las fuentes consultadas para la elaboración del manuscrito están debidamente identificadas dentro del cuerpo del texto, e incluidas en la lista de referencias.
- Que, en caso de haber usado un sistema de inteligencia artificial, en cualquier etapa del desarrollo de su trabajo, lo ha especificado en la tabla que se encuentra en este documento.
- Que conoce la normativa de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, en particular los Incisos IX y XII del artículo 85, y los artículos 88 y 101 del Estatuto Universitario de la UMSNH, además del transitorio tercero del Reglamento General para los Estudios de Posgrado de la UMSNH.

Datos del manuscrito que se presenta a revisión

Programa educativo	Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental	
Título del trabajo	Propuesta de un Sistema de Filtración Sustentable Basado en un Modelo Físico para Cavidades Colindantes al Manantial de la Mintzita	
	Nombre	Correo electrónico
Autor/es	Yael Alberto Lizárraga Morales	1414579F@umich.mx
Director	Roberto Guerra González	roberto.guerra@umich.mx
Codirector	Rodrigo Gómez Monge	rodrigo.gomez@umich.mx
Coordinador del programa	Salomón Ranero Vázquez García	Salomon.vasquez@umich.mx

Uso de Inteligencia Artificial

Rubro	Uso (sí/no)	Descripción
Asistencia en la redacción	No	

Formato de Declaración de Originalidad y Uso de Inteligencia Artificial

Coordinación General de Estudios de Posgrado
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



Uso de Inteligencia Artificial		
Rubro	Uso (sí/no)	Descripción
Traducción al español	No	
Traducción a otra lengua	No	
Revisión y corrección de estilo	No	
Análisis de datos	No	
Búsqueda y organización de información	Sí	Se uso como busqueda de Conceptos específicos.
Formateo de las referencias bibliográficas	No	
Generación de contenido multimedia	No	
Otro	No	

Datos del solicitante	
Nombre y firma	[Redacted Signature]
Lugar y fecha	Morelia, Michoacan. 16 de julio de 2025