



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS e INGENIERÍA

MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL Y TECNOLOGÍAS SUSTENTABLES



Fitorremediación de la bacteria *E. coli* mediante la planta acuática *Lemna minor*
como solución para la contaminación en la barranca Amanalco.

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN INGENIERÍA AMBIENTAL Y
TECNOLOGÍA SUSTENTABLE**

PRESENTA

ING. SHEILA ROQUE GONZÁLEZ

ASESOR: DRA. JESÚS DEL CARMEN PERALTA ABARCA.

COASESOR: MTRA. ELIZABETH MILLÁN BENITEZ.



CUERNAVACA, MORELOS,

ABRIL, 2024.

COMITÉ REVISOR

Dra. Jesús del Carmen Peralta Abarca

Mtra. Elizabeth Millán Benítez

Dra. Valeri Domínguez Villegas

Dra. Mariana Romero Aguilar

Dr. Hugo Albeiro Saldarriaga Noreña

DEDICATORIA:

A mi abuelo Pedro, que siempre admiró mi potencia y es mi ejemplo de FORTALEZA.

AGRADECIMIENTOS:

A México, mi segunda tierra, que me permitió crecer como profesional.

A mis padres, mi hermana y mi pareja, que me dieron la fuerza suficiente para superar los obstáculos durante el proyecto de investigación.

A mis tutoras la Dra. Carmen y la Mtra. Millán por haber depositado confianza en mí y alentarme en seguir adelante.

Al Dr. Saldarriaga, las Dras. Dalia, Marilú y María de Jesús y la Ing. Lisset, por todo el conocimiento, la orientación y entrega durante el desarrollo de la tesis.

A la Ing. Loaiza Del Pezo por sus consejos, apoyo incondicional y disposición cada vez que me surgían inquietudes.

Al comité de revisión, mis amigos, y todo aquel que aportó una semilla en este camino a la victoria.

A todos, con cariño.

Gracias.

RESUMEN:

El agua es esencial para la vida, últimamente su calidad se ha visto comprometida por la presencia de numerosas sustancias y microorganismos procedentes de aguas residuales domésticas, hospitalarias, industriales y agrícolas, suponiendo un alto riesgo para la salud ambiental. Los principales indicadores de contaminación del agua son los coliformes totales y *Escherichia coli*, seña de presencia de materia fecal. El uso de estas aguas contaminadas causa enfermedades gastrointestinales: amebiasis, cólera, salmonelosis, tifoidea, entre otras.

El objetivo principal de este trabajo de tesis consistió en proponer un método de fitorremediación para reducir la presencia de la bacteria *E. coli* en la barranca Amanalco. Para lograrlo, se utilizó la planta acuática *Lemna minor*, que demostró ser eficaz en la disminución de este contaminante.

Esta investigación tuvo como primera fase, la medición de parámetros microbiológicos y fisicoquímicos para evaluar la calidad del agua en la barranca Amanalco. Los resultados revelaron, una contaminación alta de *E. coli*, superando los valores máximos permisibles por la norma (NOM-001-SEMARNT-2021).

Como segunda fase, se implementó un bioensayo de fitorremediación con el uso de la planta *Lemna minor*. Se obtuvo como resultado una eliminación del 99.30% de la bacteria *E. coli*, lo cual evidencia la efectividad del proceso de fitorremediación.

Palabras claves: *Escherichia coli*, *Lemna minor*, fitorremediación, contaminación.

ABSTRACT:

Water is essential for life, lately its quality has been compromised by the presence of numerous substances and microorganisms from domestic, hospital, industrial and agricultural wastewater, posing a high risk to environmental health, The main indicators of water contamination are total coliforms and *Escherichia coli*, a sign of the presence of fecal matter. The use of these polluted waters causes gastrointestinal diseases: amebiasis, cholera, salmonellosis, typhoid, among others.

The main objective of this thesis work was to propose a phytoremediation method to reduce the presence of *E. coli* bacteria in the Amanalco Canyon. To achieve this, the aquatic plant *Lemna minor* was used, which proved to be effective in reducing this pollutant.

The first phase of this research was the measurement of microbiological and physicochemical parameters to evaluate the quality of the water in the Amanalco Canyon. The results revealed a high contamination of *E. coli*, exceeding the maximum values permissible by the standard (NOM-001-SEMARNT-2021).

As a second phase, a phytoremediation bioassay was implemented with the use of the *Lemna minor* plant. The result was a 99.30% elimination of *E. coli* bacteria, which evidences the effectiveness of the phytoremediation process.

Keywords: *Escherichia coli*, *Lemna minor*, phytoremediation, pollution.

Índice	
INTRODUCCIÓN	9
CAPÍTULO I	11
1.1 Planteamiento del problema	11
1.2 Justificación	12
1.3 Hipótesis	12
1.4 Objetivo General	12
1.5 Objetivos específicos	13
CAPÍTULO II	14
2.1 Antecedentes	14
2.2 Marco Teórico	30
2.2.1 Barrancas	30
2.2.2 Corredor ecológico	31
2.2.3 Medio Ambiente	32
2.2.4 Contaminación Ambiental	33
2.2.5 Contaminación del agua	36
2.2.6 Demanda Química de Oxígeno (DQO)	41
2.2.7 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	41
2.2.8 pH	41
2.2.9 Conductividad	41
2.2.10 Carbono Orgánico Total	42
2.2.11 Oxígeno disuelto	43
2.2.12 Sólidos en aguas residuales	43
2.2.13 Normas Oficiales Mexicanas NOM	43
2.2.14 Evaluación de Impacto Ambiental	45
CAPÍTULO III	48
3.1 Estado del Arte	48
3.1 Investigaciones Internacionales	48
3.2 Investigaciones nacionales	49
CAPÍTULO IV	51
4.1 Evaluación de Impacto Ambiental	51
4.2 Evaluación de la calidad del agua	56
4.3 Fitorremediación	61
4.3.1 Reproducción de la planta acuática	61

4.3.2 Bioensayos.....	62
CAPÍTULO V: Resultados.....	64
5.1 Resultados de la Matriz de Leopold.....	64
5.2. Resultados fisicoquímico y microbiológico.....	67
5.3 Evaluación del comportamiento entre los parámetros estudiados	70
5.3.1 Interpretación del COT y OD	70
5.3.2 Interpretación de DQO y DBO ₅	70
5.3.3 Correlación entre los parámetros estudiados.	72
5.4 Resultados de bioensayos	75
CONCLUSIONES.....	79
RECOMENDACIONES.....	80
REFERENCIAS	81
ANEXOS	85

INTRODUCCIÓN:

Los ríos y barrancas de Cuernavaca desde hace mucho se han visto perjudicadas por la expansión urbana, que ha provocado no sólo destrucción sino también contaminación por acumulación de basura y descarga de aguas residuales.

Estos residuos vierten a los afluentes, convirtiendo a las barrancas de Cuernavaca en una zona de alto riesgo para las especies que allí habitan y las personas que la visitan, debido a los altos niveles de contaminación que suponen un riesgo para la salud. (Arreazola, 2016).

El biólogo Eduardo Aranda Acosta, presidente del Consejo de Administración de las Áreas Naturales Protegidas Barrancas Urbanas de Cuernavaca comentó: *“Cuando existen aguas estancadas, aguas fétidas, aguas con color oscuro en diferentes tonos y que de alguna manera están dentro de un entorno... esto se convierte en un cultivo de patógenos, de gérmenes, de bacterias que incluso hoy por hoy existe una simbiosis entre bacterias y hongos y levaduras que propician eso”*. (Aranda, 2016).

Por otra parte Araujo comenta *“La presencia de bacterias como la E. coli en el agua contaminada conlleva graves riesgos para la salud humana. Algunas de las enfermedades causadas por el consumo o contacto con agua contaminada incluyen fiebre tifoidea, cólera, amebiasis, salmonelosis, entre otras.”* (Apella y Araujo, 2005).

Una posible solución a la recolección de agua es la fitorremediación, un proceso que aprovecha la cabida de ciertas vegetaciones para eliminar contaminantes, como microorganismos, metales pesados y otros compuestos orgánicos, del aire, el agua, el suelo y los sedimentos. Las primordiales preeminencias de esta técnica residen en su amplio espectro de efectos y su bajo coste, lo que la convierte en una alternativa viable. (Del Pezo, 2019) (Delgadillo-López, González-Ramírez, Prieto-García, Villagómez-Ibarra y Acevedo-Sandoval, 2011).

Por lo anterior, surge la necesidad de abordar el deterioro y la contaminación del agua de las barrancas. Por tanto, este proyecto tiene como objetivo respaldar, desde el campo de investigación ambiental, la reducción de la bacteria *E. coli* en

la barranca Amanalco mediante el uso de *Lemna minor* en el proceso de fitorremediación.

CAPÍTULO I

1.1 Planteamiento del problema

La ciudad de la eterna primavera: Cuernavaca, está compuesto de 508 km lineales de concavidades naturales o barrancas (INEGI, 2010).

Entre las diez ciudades con más deficiencia en los bienes primordiales se encuentra Cuernavaca donde el agua y el saneamiento son los más críticos (Centro de Investigación Morelos Rinde Cuentas, 2016); 30% de la urbe local está disgustada con la asistencia de agua potable y 41% con el de drenaje y alcantarillado. (Centro de Investigación Morelos Rinde Cuentas, 2016; Montes & Monroy, 2022)

Según datos del INEGI (2020), *“356 viviendas particulares no cuentan con drenaje y 113,963, si cuentan con drenaje o en su defecto, con un lugar donde desalojar los desechos líquidos, ya sea a través de una conexión con la red pública, una fosa séptica, un pozo de absorción o directamente hacia una barranca, y algunas que no están especificadas”* (INEGI, 2020).

En la revista Morelos rinde cuentas comentan que: *“La estructura no es capaz de manejar la cantidad de residuos que hay en la ciudad; 7 litros de cada 10 fueron arrojados al barranco sin tratamiento; 7 plantas de tratamiento de aguas residuales no están operativas a pesar de sus costosas ubicaciones, cuyo costo se estima en 100 millones de pesos (Montes y Monroy, 2020; Gobierno del Estado de Morelos y CEAMA, 2006-2012). La Secretaría de Sustentabilidad Municipal no cuenta con las herramientas para gestionar el vertido de residuos líquidos de los recolectores municipales o de zonas residenciales a las quebrada.”* (Morelos rinde cuentas, 2018)

Según la base de datos de la Comisión Nacional del Agua del año 2020, el agua superficial de la barranca Amanalco se encuentra contaminada fuertemente por la bacteria *E.coli*, producto de las descargas de aguas residuales de los asentamientos aledaños.

Esta información recopilada nos da la medida de la importancia que tiene la conservación de las barrancas y en especial el mantenimiento de la eficacia del recurso hídrico, tan imprescindible para la existencia en la tierra.

Si se lograra con el objetivo presentado en esta investigación, disminuir la cantidad de bacterias *E. coli*, las condiciones del agua mejorarían y permitiría la apertura de la barranca como corredor turístico.

1.2 Justificación

Cuernavaca, hogar de la mayor cantidad de barrancas del noroeste de Morelos, es de particular importancia por su ecosistema y los servicios paisajísticos que brinda, además de ser parte del complicado sistema hidrológico de abastecimiento y mantenimiento del país. Alberga ecosistemas con biodiversidad.

Un estudio de Alicia Batroli Guerrero, del Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias de la UNAM, señala que la barranca se encuentra en una situación debastadora debido a la gran cantidad de basura que allí se arroja y la amenaza de fuertes lluvias. Además, miles de vertidos de aguas residuales de hogares, hoteles y restaurantes contaminan nuestras vías fluviales.

Según documentos, estos son generalmente utilizados como drenaje por las comunidades ubicadas cerca del talud y sus bordes. En casos extremos, también podrán utilizarse como basureros al aire libre. En muchos de ellos se han identificado sistemas de alcantarillado que representan un riesgo para la salud y grandes cantidades de bacterias coliformes están presentes durante la estación seca. (Arreazola, 2016).

Analizada la problemática socioambiental en la que se encuentran hoy en día las barrancas en Cuernavaca, y específicamente la de Amanalco, lo que se pretende con este proyecto es proponer la fitorremediación a través del uso de la planta acuática *Lemna minor*, para disminuir la cantidad de bacterias *E. coli* que existen en este sitio.

1.3 Hipótesis.

El aplicar la fitorremediación con la planta acuática *Lemna minor* va a permitir disminuir la cantidad de *E. coli* en el agua de la Barranca Amanalco.

1.4 Objetivo General

Aplicar la fitorremediación mediante el uso de la planta acuática *Lemna minor* para disminuir la cantidad de bacterias *E.coli* que está presente en la barranca Amanalco.

1.5 Objetivos específicos

1. Evaluar el Impacto Ambiental que tienen las actividades humanas en la barranca Amanalco a través del método de la Matriz de Leopold.
2. Analizar los parámetros fisicoquímicos del agua superficial de la barranca Amanalco mediante métodos experimentales.
3. Propuesta de fitorremediación con la planta acuática Lemna minor para reducir la cantidad de bacterias *E.coli*.

CAPÍTULO II:

2.1 Antecedentes:

El acervo natural del estado de Morelos.

Según información recopilada por la autora Alicia Batllori, en su artículo de la Gaceta Ecológica, El estado de Morelos tiene niveles extraordinarios de diversidad biológica, gracias a una compleja combinación de influencias climáticas, topográficas y geográficas. Ha heredado capitales naturales como suelo, buena calidad del agua y del aire, cuencas, ríos, bosques y selvas caducifolias, lagunas y valles, dándole a la región un clima muy específico. (Batllori,2001)

Morelos está ubicado en el centro del país a la altura del Eje Neovolcánico, donde existe la distinción entre las antiguas biorregiones neotropical y ártica. Morelos se encuentra en medio del eje antes mencionado. La evidencia más clara de esto es el bosque entre el lago Zempoala y el lago El Teposteco, conocido como corredor biológico Tichinautzin. (Batllori, 2001)

Está dividido en tres regiones principales. La parte norte tiene bosques templados fríos desde los 3.000 metros a los 3.500 metros sobre el nivel del mar, la zona intermedia está a 1.500 metros sobre el nivel del mar, y la cuenca de la zona de transición, que tiene un gran cañón que cambia de bosque templado a selva, es importante porque de su notable hidrología. y en el sur se encuentran bosques bajos caducifolios y un clima tropical húmedo.Desde una altitud de 3,500 metros hasta menos de 900 metros sobre el nivel del mar, recorriendo una distancia no mayor a 100 kilómetros (desde la entrada a Morelos de la carretera que viene del Distrito Federal hasta la salida por Istria y el Puente Amakuzac). (Batllori, 2001)

Origen de las barrancas de Morelos.

Por otra parte, en el artículo “Educación ambiental para el saneamiento y manejo de las barrancas” escrito también por la autora Alicia Batllori Guerrero, nos explica el origen de las barrancas de Morelos, así como la influencia que ha tenido el crecimiento poblacional en estas zonas.

El Valle de Morelos tiene su origen en el Pleistoceno y se caracterizó por una extensa actividad volcánica en su parte norte. En esa época, hace más de 40.000 años, cuando se formó la Cordillera del Ajusco con más de 200 cráteres, ocurrió un gran desastre que sacudió esta parte de nuestro país. Esta zona se conoce como Montañas Tichinawtsin, y hoy es un enlace hidrológico debido a siglos de flujo de agua de norte a sur y al importante descenso que caracteriza a la región. Ríos de la Cuenca del Balsas. Respecto de esta estructura ambiental, el estado de Morelos ha experimentado un proceso de crecimiento demográfico, económico y social desde hace varias décadas, pero a pesar de los esfuerzos de la Comisión Estatal de Agua y Medio Ambiente, la gestión ambiental sigue siendo inadecuada. (CEAMA). (Batllori, 2009)

A modo de ejemplo, algunos municipios de la compañía se enfrentan a graves problemas ambientales debido a dinámicas industriales y de servicios y a procesos irreversibles de urbanización, cuya solución requiere extraordinarios esfuerzos conjuntos. Las poblaciones rurales, por otra parte, viven en condiciones de subsistencia con altos niveles de pobreza y están dispersas en decenas de pequeños asentamientos con difícil integración socioeconómica, especialmente cuando los modos de vida tradicionales son difíciles de integrar.

Cuando colapsan, tienen un impacto depredador sobre el medio ambiente por razones de supervivencia.

Factores culturales. La zona intermedia del estado es la más densamente poblada de todo el territorio. El corredor Cuernavaca-Cuautla alberga a casi 1 millón de residentes, de una población total del estado de aproximadamente 1,6 millones. (Sierra, 2000).

La ciudad de Cuernavaca, donde se ubican la mayoría de los valles, se ubica en la zona norte del estado de Morelos y ocupa el 3.65% del área estatal. En algunos tramos, el valle atraviesa en profundidad el municipio, conectándolo y llegando paulatinamente. La parte sur del estado desemboca en el río Apatlaco, un afluente del río Amakuzak. El cañón determina la belleza y, sobre todo, el clima de la ciudad de Cuernavaca. Durante el día circulan en el cañón vientos anabáticos (ascendentes) y kabáticos (descendentes), convirtiéndose los primeros en los segundos durante la noche. (Batllori, 2009)

Esto nos conduce a plantearnos estrategias que mejoren las relaciones socioambientales y lograr una acción colectiva sobre la base de sensibilizar al ciudadano, haciéndolo capaz de mostrarse de acuerdo a la racionalización de los recursos naturales.

Extensión del municipio de Cuernavaca.

En el artículo citado anteriormente, el autor afirma que la ciudad de Cuernavaca, donde se ubican la mayoría de los valles, tiene una superficie de 207 kilómetros cuadrados y una altitud de 1,540 metros sobre el nivel del mar, teniendo como referencia el Estrecho de Rayón. La parte más alta de la ciudad está a 2.200 metros sobre el nivel del mar con referencia al distrito de Bosque, y la parte más baja está a 1.225 metros sobre el nivel del mar con referencia al puente sobre el río Pollo. (Batllori, 2001)

Principales barrancas del municipio Cuernavaca.

Según el estudio “Rescate y Rehabilitación de Barrancas en Cuernavaca”, realizado por un equipo de investigadores, coordinado por el Dr. Raúl García, investigador del Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias (CRIM), las quebradas se ubican de este a oeste.: comienza en Arroyo Puente Blanco, partiendo del Cerro de la Herradura y cruzando el Paseo Cuaunáhuac. Es Mascareño o Rivetex, de Milpillas. El de Sabinos proviene de Chapultepec, Águila y Apatongo. El más largo es Amanalco, formado al norte del pueblo de Santa María, y otros dos provenientes de Chamilpa, uno de los cuales se llama Barranquilla, pasando por Ocoteppec; Los tres se encontraron en el campamento, continuando su viaje hacia el sur, donde se les conoció como El Túnel, El Diablo, Oacalco, Amanalco, San Pablo, Acapantzingo, hasta llegar a Las Guacamayas. (García, 2004)

Leyva, Acacia, Los Cardos, San Pedro, Santa María, Valle de Axomulco. El de Ocoteppec y el de Muerto, Ahuatepec. Otro gran cañón que se origina en Chamilpa es el conocido como Cañón del Tepeite. Del Salto de Tetera nace otro largo río con diferentes nombres, por el cual discurre el río Chalchihuapan, en el primer tramo se le conoce como Barranca de Tetera, y luego Salto de San Antón.

El nombre de Tecolote se une al de Salto, seguido de los nombres de Polo y Chifurón de los Cardos. El de Tepeihualco está conectado con el de La Leona. Valle Seca, Valle Fuente y Valle Libertad. El valle de Pitos a un lado del distrito de Lagunilla y la bonita zona del valle al oeste. Sus nombres son del Literero, Cerrado, Cerrito, Tilapeña Colorada, Sabinos, Santa Úrsula. Dos Barrancas que han desaparecido: , barranca en el distrito de Miraval, Cascadas, el tramo que pasa por el Hotel Casino de la Selva y sube al valle en el distrito de Empreado se llama Barranca Sin Nombre. (García, 2004)

La ciudad de Cuernavaca cuenta con 180 kilómetros de cañones, incluyendo aproximadamente 60 cañones que atraviesan la ciudad. Estos se derivan en parte de extensiones de las colinas del Ajusco. Los cerros al oeste de la ciudad se extienden desde los cerros Tetera y los cerros Atsingo, los cuales forman una serie de meandros que terminan en el Valle de Salto. Las principales zonas altas que componen el suelo con pronunciada pendiente hacia el sur son: Los cerros Zempoara, Campanario y Aire están formados por los cerros Chalma y Oquila, y al este los cerros Topetan y Oquila. Cerros de Herradura. Tiene una gran variedad de árboles endémicos aquí, entre ellos 4,444 fresnos, enebros, jacarandás, ciruelos, sauces, amate y guayabas. En las zonas más húmedas, especialmente en las partes más altas de la garganta, aún se pueden encontrar bosques de galería. Es lamentable que la expansión urbana y el despojo de los residentes estén causando graves daños a estas zonas. (Batllori, 2004)

Cada día se retiran aproximadamente 9 toneladas de basura por kilómetro en el valle. El problema se agrava aún más durante la temporada de lluvias ya que el valle es un canal que transporta todo tipo de desechos sólidos, por lo que el canal se obstruye y se desborda a pesar de la limpieza del día anterior. Este es un factor que supone un peligro inmediato en determinados lugares donde está bloqueada la circulación del agua, los llamados puntos críticos. Los principales peligros identificados en los cañones de la ciudad de Cuernavaca se muestran en la Tabla 1. (Batllori, 2004)

Tabla 1. Puntos críticos en las barrancas de Cuernavaca

<u>Barrancas</u>	<u>Puntos Críticos</u>
1 Atzingo	Inicio subida a Chalma
2 Analco	A un lado fraccionamiento la Cañada
3 Tetela	Santo Chico
4 Granjas	Calle 5 de mayo, Orquídea y el Calvario
5 Rivetex	Puente canal de la autopista
6 Fresnos	Col. Ampliación Lomas de Cortés
7 Tepeyehualco	Privada del Mango (Sacatierra)
8 Salto de San Antón	Compuerta el Salto Chico
9 Amanalco	Barranca Ecoturística
10 Arroyo Puente Blanco	Puente Cd, Chapultepec y terrenos. Próximos a Firestone (Milpillas)
11 Flores Magón (Rivetex)	Calle Zacatecas
12 San Pedro	Francisco Villa
13 Tlapepexco	Camino Viejo a Chamilpa
14 Sin Nombre	Estrada Cajigal, Belisario Domínguez. Col El empleado
15 Barranca Seca	Avenida San Diego

Fuente: Batllori, G. A. (2004). LAS BARRANCAS DE MORELOS. ENFOQUE EDUCATIVO

Situación Demográfica de Cuernavaca.

“La disputa por el territorio y su ordenamiento en Cuernavaca” artículo de Raúl García señala que de 1970 a 2005, los habitantes de la ciudad de Cuernavaca aumentaron de 160,804 a 349,102, un aumento poblacional de poco más de 289,000, y la tasa de aumento es disminuyendo y dice que hay una tendencia. Cayó de 6,75 a 0,30 durante el mismo período. Esta proporción, registrada en la década 1960-1970, fue la más alta en la historia demográfica municipal. Después de 1970, la demografía del municipio comenzó a disminuir a medida que la tasa de crecimiento demográfico disminuyó brusca y significativamente.

Se trata de un fenómeno de inercia irreversible. Con una superficie de poco más de 207 km², la densidad de población de este municipio pasó de 774 personas por km² en 1970 a 1.680 personas por km² en 2005. A pesar de la caída en las tasas de crecimiento, Cuernavaca sigue siendo el municipio más poblado de la región, con un número de habitantes que aumentó de 338.000 en 2000 a 365.000 en 2010 (INEGI, 2011). Sin embargo, se espera que la población del estado como porcentaje de la población total disminuya en un 22,8% y que la tasa de

crecimiento anual promedio sea del 0,2%, por debajo del promedio nacional. Sin embargo, si nos fijamos en el Área Metropolitana de Cuernavaca, este municipio concentra el 49% de la población total de la región.(Programa de Ordenamiento Ecológico y Territorial "POET", 2009). (García, 2013)

Según la Unidad de Planeación / COESPO "Consejo Estatal de Población" Morelos en base a las Proyecciones de Población Municipal 2015-2030 del CONAPO "Consejo Nacional de Población", se obtuvo un cálculo poblacional de 1 061 242 en la Zona Metropolitana de Cuernavaca, hasta septiembre del 2020, cifra que sigue indicando que es el municipio más poblado del Estado de Morelos. Vale destacar que en este cálculo poblacional no se lograron encontrar datos recientes de municipios indígenas.([Unidad_de_Planeación_COESPO], 2020)

Situación Medioambiental de Cuernavaca.

Los valles y bosques de Cuernavaca son los sitios de patrimonio natural y cultural más importantes de la ciudad, brindando hermosos paisajes y una biodiversidad excepcional, convirtiéndola en la "Ciudad de la Eterna Primavera" con uno de los mejores climas del mundo. Hasta hace poco, la temperatura anual era de 21,5 °C, que se mantuvo bastante constante durante todo el año. Situada justo al sur del nuevo eje volcánico de México, sobre un vasto promontorio atravesado por profundos valles, la ciudad, a una altitud media de 1.500 metros sobre el nivel del mar, se calma por la mañana gracias a las corrientes de aire cálido que suben desde los valles por el aire frío que desciende del río Apatlaco y de las elevaciones más altas por la tarde. Su maravilloso clima, junto con cielos despejados, flores, frutas, manantiales, ríos, cascadas y paisajes únicos, han atraído a las clases más destacadas desde la época prehispánica: emperadores, grandes duques, príncipes extranjeros, artistas cinematográficos, empresarios, políticos y académicos. Jubilados que hayan elegido Cuernavaca como residencia permanente o de verano. Por su ubicación e historia, Cuernavaca es una ciudad referente de paz y relajación en las metrópolis del Distrito Federal. (García, 2013)

A pesar de Cuernavaca contar con estas bondades naturales existen hoy día conflictos urbanos-ambientales, y estos son causados en gran parte por el actuar del hombre de forma irracional sobre el medioambiente.

Entre estos conflictos podemos mencionar:

1. Deterioro del "barranco" por asentamientos ilegales, desagües domésticos sin tratamiento, basura y falta de acceso para limpieza.
2. Degradación y pérdida de servicios ambientales (agua, aire, clima) de los bosques de secano de la zona norte por desarrollo habitacional y tala indiscriminada.
3. Eliminación inadecuada de residuos durante la poda de jardines domésticos y públicos y privados.
4. A diferencia de una cierta "imagen verde" de rica vegetación en terrenos privados, el tejido urbano carece de espacios verdes para uso público.
5. El trazado de la ciudad, en contraste con su terreno muy accidentado, plantea serios problemas para el tráfico y la conectividad peatonal.
6. La construcción y los materiales de los nuevos edificios son inadecuados y no se utilizan energías alternativas.
7. Regulaciones y códigos de construcción inapropiados que promuevan y/o requieran espacios habitables sustentables.
8. Mantener un exceso de plantas exóticas en la ciudad requiere el consumo de grandes cantidades de agua potable.
9. La red de infraestructura está desactualizada, lo que resulta en un desempeño deficiente y en la aplicación incorrecta de modelos y sistemas importados al terreno.
10. Incremento de la contaminación atmosférica (industria, tráfico de vehículos, incineración de residuos) y del ruido (tráfico de vehículos, publicidad callejera).
11. Deterioro del paisaje urbano por cables aéreos y carteles publicitarios.
(García, 2013)

Ingresan aproximadamente 2,500 litros de agua potable, a la ciudad de Cuernavaca, cada segundo, y al menos 2,000 litros de aguas residuales salen de la ciudad, de los cuales sólo 400 litros son tratados cada segundo. Es tan grave la problemática que el gobierno local ha propuesto construir un colector de borde en un lado del valle. Esta es una solución parcial ya que las aguas residuales no se vierten directamente, pero el alto costo de las plantas de

tratamiento de aguas residuales significa que las aguas residuales luego se devuelven al cañón. Estas aguas contienen gran cantidad de huevos de helmintos y bacterias coliformes fecales debido a la excreción de desechos. (Náñez, 2003)

Hay muchas causas de este problema social y ambiental. Entre ellos se encuentran el incumplimiento de las normas y leyes de las instituciones estatales, la falta de control sobre el cumplimiento de estas normas, la falta de conciencia y empatía por la naturaleza, el uso indiscriminado de recursos energéticos no renovables, la corrupción, la creación de energía y la falta de fondos suficientes., etc. El desarrollo de infraestructura que prioriza los medios de vida del sistema del valle, el fracaso de los sindicatos en los programas de rehabilitación y planificación del sector público y los programas de conservación del medio ambiente, los intereses económicos de los individuos están en un nivel superior a los de los grupos gubernamentales, el sector social, social Falta de integración, soluciones a los problemas ambientales.

(Jaramillo, 2018).

Microhábitats y Fauna en Cuernavaca.

Flores Armillas y Jaramillo Monroy (2006) realizaron un análisis preliminar de los microhábitats y la fauna potencial asociada en las barrancas de Cuernavaca. Los principales hallazgos se describen en la Tabla 2.

Tabla 2. Microhábitats y fauna

Cauce de Río	<i>Riparia</i>	<i>Mapache, Cacomixtle, Ardilla, Tlacuache, Carpa de Cuernavaca, Garzas, Patos, Martín Pescador.</i>
Ladera de barranca	<i>Selva Baja Caducifolia</i>	<i>Mapache, Cacomixtle, Ardilla, Tlacuache, Zorrillo rayado, Guacamaya verde, Perico cabeza amarilla, Huilotas, Tortolitas, Tordo, Gorrión, Zanate, Iguana negra, Perico atolero, Gavilán cola roja, Tlacuache.</i>
Ladera de barranca	<i>Encinar</i>	<i>Mapache, Tlacuache, Cacomixtle, Ardilla, Zorra gris, Zorrillo rayado.</i>
Ladera de barranca	<i>Pastizal</i>	<i>Cacomixtle, Ardilla, Zorra gris, Tlacuache, Zorrillo rayado, Ratones, Garza chapulinera,</i>

		<i>Huilotas, Tortolitas, Tordo, Gorrión, Zanate.</i>
Cuevas	<i>Sin vegetación</i>	<i>Murciélagos, Vencejo, Golondrinas, Cacomixtle, Zorras, Tlacuache.</i>
Loma (parteaguas entre barrancas)	<i>Selva Baja Caducifolia</i>	<i>Cacomixtle, Ardilla, Zorra gris, Tlacuache, Conejo, Zorrillo rayado, Paloma arroyera, Huilotas, Tortolitas, Tordo, Gorrión, Zanate.</i>
Loma	<i>Pastizal inducido</i>	<i>Gavilancillo, Paloma arroyera, Huilotas, Tortolitas, Tordo, Gorrión, Zanate, Coyote, Zorra Gris, Ardilla, Tlacuache, Conejo, Zorrillo rayado</i>

Fuente: García, B. R. (2013). *La disputa por el territorio y su ordenamiento en Cuernavaca (segunda parte). Cultura y representaciones sociales.*

Otro problema ambiental que plantea Cuernavaca es la descarga de aguas residuales al cañón, afirmó el biólogo Noe Náñez. A la ciudad de Cuernavaca ingresan aproximadamente 2,500 litros de agua potable cada segundo, y al menos 2,000 litros de aguas residuales salen de la ciudad, de los cuales sólo 400 litros son tratados cada segundo. El problema es tan grave que el gobierno local ha propuesto construir un colector de borde en un lado del valle. Esta es una solución parcial ya que las aguas residuales no se vierten directamente, pero el alto costo de las plantas de tratamiento de aguas residuales significa que las aguas residuales luego se devuelven al cañón. Estas aguas contienen gran cantidad de huevos de helmintos y bacterias coliformes fecales debido a la excreción de desechos.(Jaramillo, 2018)

En su artículo “Patrimonio Natural de las Barrancas de Cuernavaca” (Jaramillo, 2010) describe la biodiversidad del valle en el contexto de municipios, estados y países. Los principales hallazgos de este documento son: Por su superficie, el estado de Morelos presenta la mayor diversidad vegetal, con 600 especies por 1,000 km² y 120 especies de vertebrados por 1,000 km², además de las áreas que contienen la biodiversidad de Barrancas. Es de gran importancia para los ecosistemas y especies incluidos en la lista estatal.

En la Tabla 3 se presenta la comparación geográfica en materia de biodiversidad para las barrancas de Cuernavaca. Fuente (Jaramillo, 2010).

Tabla 3. Biodiversidad en las barrancas de Cuernavaca

Grupo taxonómico	México	Morelos	Municipio Cuernavaca	Barrancas de Cuernavaca
Plantas	23,702	3,845/12%	914	139
Hongos	6,000	480/8%		s/d
Invertebrados	23,646	3,022/12%	293	s/d
Vertebrados	5,167	600/11%	260	105/5.7%
Peces	2,628	26/0.98%	1	1
Anfibios	290	24/8%	17	3/4.4%
Reptiles	704	79/11%	15	7/7%
Aves	1,054	370/35%	208	68/16%
Mamíferos	491	101/20%	69	26/12%
Especies endémicas	958 fauna 5,161flora	138 fauna	61 fauna	20 fauna
Especies amenazadas	1,420 fauna 994 flora		21 fauna	8 fauna 2 flora
Zonas ecológicas	5	3	3/60%	2/40%
Ecosistemas	10	7/70%	6/60%	2/40%

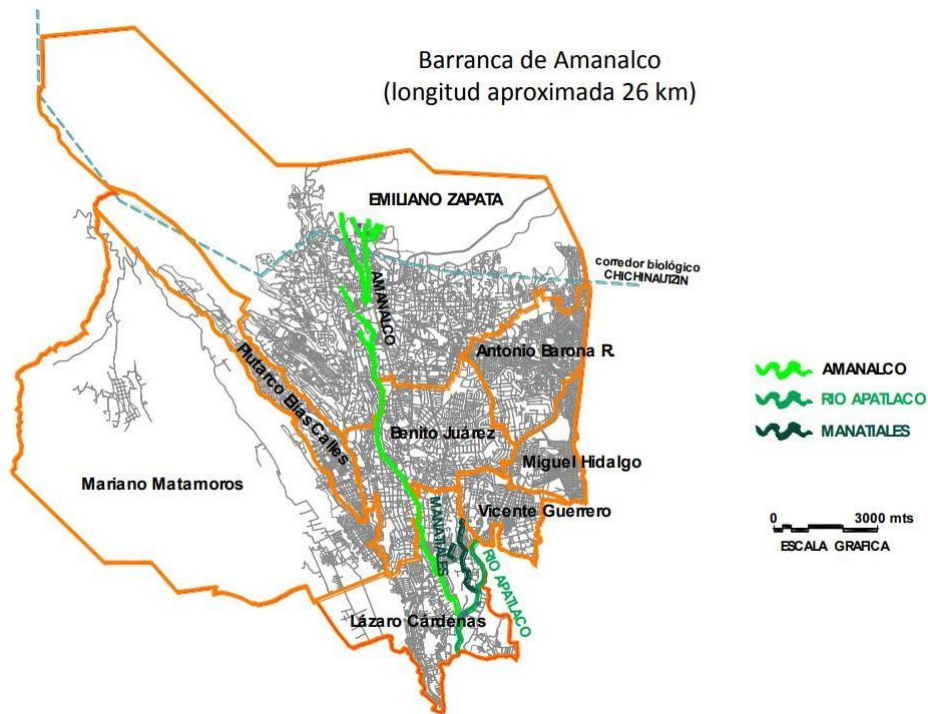
Fuente: Jaramillo, M. F. G., Zurita J; Flores, Armilla V. (2018). Plan para el manejo integral del sistema del sistema de barrancas del norponiente de morelos.

Región de la Barranca Amanalco:

Ubicación:

La Barranca de Amanalco está en el municipio de Cuernavaca y atraviesa toda la metrópoli desde el norte hasta el sur. En el (Mapa 1) se pueden observar las coordenadas geográficas , las cuales son: 18°59'17.1" Norte; 99° 14'40.9" Oeste ubicadas en la colonia Nueva Jerusalén en el norte de la ciudad y en su punto final en las coordenadas 18°53'15.0" Norte; 99°12'57.3" Oeste atrás del condominio residencial Tabachines muy cerca de la planta de tratamiento de Acapantzingo.(Millán & Aguilar, 2011)

Mapa 1: Barranca de Amanalco



Fuente. IMTA

Amanalco es una barranca honda y angosta que comienza cerca del Corredor Biológico Tichinautzin en el norte de Cuernavaca y se extiende hasta el Estadio Centenario. Allí se encuentran dos o tres cañones y comienzan a profundizarse hasta el cuartel del 24º Ejército. Domingo Diez y Zapata. Luego desciende del cuartel militar hasta la Iglesia de la Colonia Jiquilpan, continúa hasta el Puente del Túnel, para luego unirse al Puente Porfirio Díaz, donde existe un corredor turístico y las oficinas del Servicio Forestal. Las Barrancas del Ayuntamiento de Cuernavaca continúa su recorrido hasta el Puente de Amanalco y continúa hasta el distrito de Acapandzingo, donde cruza el Puente Autopista México-Acapulco y colinda con el Fraccionamiento de Tabatines, donde finalmente se encuentra con el canal justo antes del canal que viene de Chapultepec Acapandzingo.

El valle continúa su curso, pero cambia su nombre por el de Río Apatlaco y desciende hasta Temixco, donde se une al valle que viene al oeste de la ciudad de Cuernavaca. (Millán & Aguilar, 2011)

Características generales:

En cuanto a la fisiografía del norte del Estado de Morelos, se puede mencionar que la característica más importante es el gran volumen de rocas volcánicas de diferentes composiciones, atesoradas desde hace 38 millones de años a la actualidad. En el extremo norte del estado, una espesa sucesión de lava, brechas y cenizas volcánicas llena los restos de formaciones geológicas preexistentes. El espesor máximo se estima en 1.800 m en el lugar marcado por el volcán Tsitsinautzin, y disminuye gradualmente hacia el sur hasta desaparecer. La confluencia de los ríos Chinaca y Amakuzak. Un accidente geográfico local muy importante es la parte oriental de un gran cono de residuos que comienza en el extremo sur de la Sierra de Zempoala y se extiende más allá de los límites de la ciudad de Cuernavaca hasta el pueblo de Acatripa, estado de Morelos, unos 20 km más al sur. (OET, 2007).

Los suelos pertenecen a cuatro grupos de suelos según la clasificación de la FAO: vertisoles (1 área), feozemas (25%), litosoles (3%) y acrisoles (59%).y Andosol (12%). Los suelos principales de la quebrada de Amanalco son Pheozem en el norte y Rubisol en la mayor parte de la quebrada. Los suelos feozem se caracterizan por un color profundo del horizonte superficial debido al alto contenido de materia orgánica. Los materiales de partida son diversas sustancias no solidificadas. En este caso es de origen volcánico. Se trata de suelos fértiles cuyas principales limitaciones son las inundaciones y la erosión. El suelo Rubisol es un tipo de suelo que se presenta en zonas con pendientes suaves y llanuras, especialmente en climas con estaciones secas y húmedas pronunciadas. El término se deriva del latín lua, que significa "lavar" y se refiere al lavado de la arcilla B en la capa superior y su concentración en la capa inferior, lo que resulta en una acumulación frecuente de arcilla y una apariencia rojiza notable. Medios provocados por la acumulación de óxidos de hierro.
(Millán & Aguilar, 2011)

El relieve corresponde a una altitud de 2090 metros sobre el nivel del mar en la parte superior. El desnivel entre el punto más alto del cañón y el límite entre las misiones Emiliano Zapata y Benito Juárez en el centro de Cuernavaca es de 450 metros; el nivel final del cañón en la zona sur de la ciudad es de 1,330 metros.

Debido a su gran altitud sobre el nivel del mar, el desnivel entre el punto más alto y el final del cañón es de 700 metros. Los componentes físicos y biológicos del Valle de Amanalco son heterogéneos, lo que determina la división tradicional de su territorio en dos regiones. La elevación topográfica más alta se encuentra en el norte, desde 1.740 metros sobre el nivel del mar hasta 2.090 metros sobre el nivel del mar.

Las condiciones de temperatura y precipitación que caracterizan su clima son semifrío, templado y subhúmedo C(w2). La segunda región tiene una altitud de 1.740 a 1.390 metros y pertenece al clima semitemplado A(C), que favorece un clima semitemplado con olas de calor.

Según los registros de temperatura, existen variaciones espaciales y temporales evidentes entre los valores máximos y mínimos. Las temperaturas más bajas se producen en enero, alcanzando una temperatura mínima de 8,7 °C. Las temperaturas más altas son de mayo a junio, cuando las temperaturas superan los 30 °C. La temperatura promedio en Cuernavaca es de 20.9 °C, la temperatura máxima es de 33.1 °C y la temperatura mínima es de 7.7 °C.

La distribución mensual de las temperaturas medidas en la ciudad de Cuernavaca se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Temperaturas registradas en Cuernavaca (1990-2000)

Mes	Ene	Feb	Marz	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Anual
<u>T. máx</u>	18.6	20.0	22.1	23.4	23.5	21.8	21.0	21.1	20.4	20.4	20.0	18.7	20.9
<u>T.med</u>	27.7	29.3	30.6	32.3	32.4	31	28.4	28.4	26.9	28.1	28.2	28.0	33.1
<u>T. mín</u>	8.7	9.5	12.3	13.6	14.5	14.4	14.0	14.1	14.0	12.0	10.8	9.6	7.7

Fuente: Comisión Nacional del Agua, Organismo de Cuenca Balsas (Temperaturas en °C)

Impacto de la contaminación por vertidos de aguas residuales.

El vertido de aguas residuales de forma descontrolada resultan que las aguas superficiales se contaminen enormemente, el 73% de las cuales actualmente están clasificadas como con algún grado de contaminación según el Índice de Contaminación del Agua (GSCA, 2001).

Existen muchos tipos de contaminación en Amanalco, pero la principal causa es la disposición de desechos sólidos y aguas residuales, las cuales son eliminadas sin ningún tratamiento. Esto se debe principalmente a la falta de sistemas de drenaje en las viviendas, especialmente en aquellas ubicadas en las proximidades o dentro de barrancos.

En la tabla 5 se pueden observar los valores registrados por CONAGUA en el año 2020 referentes a algunos parámetros fisicoquímicos de calidad del agua. En color rojo se encuentran los parámetros que están fuera del rango de los límites máximos permisibles, indicando la presencia alta de coliformes fecales y de *E. coli*.

Tabla5. Calidad del agua superficial de la barranca Amanalco en el año 2020

DBO_mg/L	5.16
CALIDAD_DBO	Buena calidad
DQO_mg/L	16.04
CALIDAD_DQO	Buena calidad
SST_mg/L	<10
CALIDAD_SST	Excelente
COLI_FEC_NMP_100mL	24196
CALIDAD_COLI_FEC	Fuertemente contaminada
E_COLI_NMP_100mL	24196
CALIDAD_E_COLI	Fuertemente contaminada
SEMAFORO	Amarillo
CONTAMINANTES	CF,E_COLI,
CUMPLE_CON_DBO	SI
CUMPLE_CON_DQO	SI
CUMPLE_CON_SST	SI
CUMPLE_CON_CF	NO
CUMPLE_CON_E_COLI	NO

Fuente: CONAGUA, 2020

Impacto por arrastre de sedimentos.

La deforestación en el valle superior está acelerando la erosión y la pérdida del suelo forestal. En algunas zonas altas del valle se observa la presencia de grandes valles cuando llueve. En el caudal de crecida se puede observar arrastre de suelo por efectos de la erosión pluvial, así como troncos, ramas y todo tipo de desechos de diferentes tamaños. Los más comunes son los neumáticos de coche. (Millán & Aguilar, 2011)

Impacto por desechos sólidos.

Aquí, la acumulación de residuos sólidos provenientes de llantas, muebles, basura en general e incluso desechos hospitalarios en algunos casos plantea un grave problema ambiental. La gran cantidad de basura acumulada ha creado un olor muy fuerte y una gran cantidad de animales dañinos, lo que no sólo causa grandes problemas a los residentes del valle, sino que también representa un peligro para la salud. (Millán & Aguilar, 2011)

Contaminación de aguas superficiales.

En Amanalco se encuentran grandes cantidades de desechos sólidos y muchas áreas del valle se utilizan como vertederos a cielo abierto. Se cree que el origen de estos residuos se debe a emisiones directas o arrastre de otras emisiones sobre el valle. Al no existir servicio de recolección de residuos sólidos de los hogares en las zonas aledañas del valle, el valle se ha convertido en un gran basurero. (Millán & Aguilar, 2011)

Afectación en la salud por causa de la contaminación en la barranca.

Los estudios realizados sobre la presencia de hongos en todas las muestras revelaron que los microorganismos llegan a las zonas al borde del valle por vía aérea. Muestras analizadas en el Área de Ordenamiento Ecológico y Territorial de San Antón muestran que existen hongos vivos que pueden causar problemas de salud si son inhalados por personas que viven en zonas cercanas a cascadas y arroyos de fuerte caudal. (CRIM, 2007).

Entre las quejas más destadas de los vecinos que viven cerca de barrancas es la presencia de malos olores. La mayoría de la población (que vive en las laderas del valle) se ve afectada por la generación y propagación de olores del valle. Hay dos hospitales cerca de la Quebrada de Amanalco, ambos de industria no especificada. Se espera que los desechos sólidos hospitalarios estén sujetos a controles estrictos, pero se han encontrado varios contaminantes en el cañón, incluidos desechos industriales y hospitalarios, que pueden plantear problemas de salud pública. (Millán & Aguilar, 2011)

2.2 Marco Teórico:

2.2.1 Barrancas.

En cuanto a la protección de los valles, la ley ambiental del Distrito Federal cuenta con amplias normas respecto de la categoría de los valles como áreas de valor ambiental, las cuales se definen de la siguiente manera:

“Depresión geográfica que por sus condiciones topográficas y geológicas se presentan como hendiduras y sirven de refugio de vida silvestre, de cauce de los escurrimientos naturales de ríos, riachuelos y precipitaciones pluviales, que constituyen zonas importantes del ciclo hidrológico y biogeoquímico”. ([Ley Ambiental del Distrito Federal], 2000)

Una barranca es, “...la depresión natural del terreno, perteneciente a un sistema hidrológico que, por sus condiciones hidrológicas, topográficas y geológicas se conforman de dos laderas que inician del punto más bajo elevándose de manera divergente hacia su parteaguas y hasta sus hombros, y que constituyen un ecosistema de refugio a la vida silvestre”.(Pacheco, 2020)

Son ecosistemas que forman parte de sistemas hidráulicos, cuya dinámica está asociada a microcuencas. Es decir, cada cañón puede ser un afluente o afluente de un cañón más grande, o puede estar conectado a una unidad de drenaje diferente para formar una microcuenca. Al hacerlo, sus propiedades biofísicas y paisajísticas proporcionan a las ciudades una variedad de servicios ecosistémicos. Además, se convierten en áreas importantes de los ciclos hidrológicos y biogeoquímicos, contribuyendo a la recarga de acuíferos y a la gestión de la escorrentía superficial de aguas pluviales.(Pacheco, 2020)

Otra función es crear espacios donde aún existan asociaciones de flora nativa y por ende de vida silvestre, y estos lugares sean los últimos refugios de ecosistemas que alguna vez fueron extensos y que ahora son un espacio construido.(Pacheco, 2020)

2.2.1.1 Importancia de las barrancas.

Las barrancas sirven como corredores biológicos para la dispersión de especies y actúan como barreras naturales además actúan como reservorios de especies de animales y plantas silvestres. Son muy importantes desde el punto de vista hidrológico, ya que captan agua de lluvia y recargan acuíferos. Considerando la presencia de una escorrentía como uno de los atributos, en algunos casos se puede determinar la presencia de un cañón en función de la longitud de la escorrentía. Actualmente se estima que existen aproximadamente 2.290 kilómetros de escorrentía superficial en línea recta, y el 85% de estos escurrimientos se encuentran dentro de reservas naturales, siendo el 15% restante doméstico. (Programa de Conservación y Manejo Sustentable de las Barrancas del Distrito Federal, 2012)

Las barrancas son principalmente depósitos de agua subterránea a través de los cuales se infiltra el agua de lluvia. La copa de los árboles del cañón captura la lluvia y la deja asentarse a grados debajo de la superficie, mejorando la filtración y reduciendo los cursos de agua superficiales y la erosión del suelo. Además de las cuencas hidrográficas, los valles también están asociados con la regulación del clima, ya que no sólo atraen las precipitaciones sino que también las aumentan. La presencia de árboles y arbustos les permite retener la humedad existente durante mucho tiempo, lo que conduce a la regulación de las condiciones de temperatura en la zona en la que se ubican. Además de estos beneficios, también existe el filtrado del viento al retener partículas en las copas de los árboles, unir dióxido de carbono y cambiar la velocidad del viento. (Secretaría del Medio Ambiente Gobierno del Distrito Federal, 2012)

2.2.2 Corredor ecológico.

Los corredores ecológicos conectan áreas biológicamente importantes para reducir los efectos negativos de la fragmentación del hábitat (Conrd et al., 2011).

Desarrollar la conectividad a través de estos, es esencial para la biodiversidad y para el intercambio de energía genética en áreas geográficas más amplias. (Roy et al., 2010). (Quiroga & Soria, 2014).

“El término corredor ecológico se utiliza generalmente para describir una vía que facilita la dispersión de organismos a través de hábitats (u otros factores o procesos de interés) que conectan dos o más lugares, en los que encuentran condiciones adecuadas para su desarrollo.

Para lograrlo, es necesario, entre otros aspectos, promover la conservación y el uso sostenible de la biodiversidad en determinadas áreas, no necesariamente protegidas, que puedan servir como corredor ecológico y permitan la comunicación entre los espacios de intercambio genético de la flora y la vida silvestre.”(Quiroga & Soria, 2014)

2.2.3 Medio Ambiente.

“El Medio Ambiente debe entenderse como un sistema global complejo, con múltiples y variadas funciones, cambiante, dinámico y evolutivo en el tiempo, y formado por los sistemas físico, biológico, social, económico, político y cultural en que vive el hombre y demás organismos. Estas reflexiones fueron publicadas por Ernst R. Hajek en un boletín de noticias de los estudiantes de la Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago.” (Hajek, 1990).

El medio ambiente se entiende como una red compleja de relaciones entre factores físicos, fisiológicos, sociales y culturales, en la que se desarrollan relaciones relacionadas con las actividades humanas y sociales. El factor físico se refiere a todo lo que está presente en el planeta, el factor fisiológico abarca todos los seres vivos, el factor social se refiere a la estructura organizativa de la especie y el último factor cultural abarca todo lo que es causado por el hombre.(Muñoz; Contreras & Molero, 2018)

El medio ambiente es el entorno de vida, la totalidad de factores físicos, naturales, estéticos, culturales, sociales y económicos que interactúan con un individuo y la comunidad en la que vive. El concepto de entorno tiene un impacto directo e íntimo en las personas, ya que no sólo se entiende como lo que rodea a las personas en el dominio espacial, sino que también incluye factores temporales, es decir, el uso de este espacio por parte del género humano en cuestión, al patrimonio cultural e histórico. El medio ambiente es una fuente de recursos que proporciona las materias primas y la energía necesarias para el desarrollo humano en la Tierra. Actualmente, sólo algunos de estos recursos son renovables, por lo que se requiere una gestión cuidadosa para evitar que el uso

no regulado de estos recursos conduzca a situaciones irreversibles. (Fernández, Ripoll & Garro, 1997)

2.2.3.2 Impacto Ambiental.

La autora Blanca Esther en su artículo: "Impacto, impacto social y evaluación del impacto" reúne una serie de conceptos acerca de impacto ambiental, uno de los que destaca es el definido por (Lago, 1997), donde plantea: "se dice que hay impacto ambiental cuando una acción o actividad produce una alteración, favorable o desfavorable en el medio o algunos de los componentes del medio". El impacto ambiental de un proyecto es la diferencia entre el cambio en la situación ambiental futura que resulta de la implementación del proyecto y la situación ambiental futura que se habría desarrollado si el proyecto no se hubiera implementado.(Bonilla, 2007)

Es un cambio significativo en el entorno, ya sea de naturaleza positiva o negativa. Si son directos, resultan en pérdida parcial o total de recursos o empeoramiento de variables ambientales (contaminación del agua, deforestación, etc). Si es indirecto, induce y/o genera otros riesgos (antropógenos) al medio ambiente. erosión, inundaciones, etc.)(Espinoza, 2001)

Luis Enrique Sánchez, en su curso internacional sobre aspectos geológicos de la protección ambiental, reúne una serie de conceptos de diferentes autores sobre los impactos ambientales. Más sobre esto más adelante (Sánchez, 2011): "Cualquier cambio en uno o más ambientes; "sus componentes provocados por la acción humana" (Moreira, 1992). "Cambios en la calidad del medio ambiente resultantes de cambios en los procesos naturales o sociales provocados por las actividades humanas" (Sánchez, 1999). "Cambios en los parámetros ambientales durante un período de tiempo específico y en un área específica debido a una actividad específica, en comparación con la situación que se produciría si esa actividad no se hubiera iniciado". (Wathern,1988).

2.2.4 Contaminación Ambiental.

"Se denomina contaminación ambiental a la presencia en el ambiente de cualquier agente (físico, químico o biológico) o bien de una combinación de

varios agentes en lugares, formas y concentraciones tales que sean o puedan ser nocivos para la salud, la seguridad o para el bienestar de la población, o bien, que puedan ser perjudiciales para la vida vegetal o animal, o impidan el uso normal de las propiedades y lugares de recreación y goce de los mismos. La contaminación ambiental es también la incorporación a los cuerpos receptores de sustancias sólidas, líquidas o gaseosas, o mezclas de ellas, siempre que alteren desfavorablemente las condiciones naturales del mismo, o que puedan afectar la salud, la higiene o el bienestar del público. (Adame, 1997)

En la enciclopedia "Economipedia" lo definen como una alteración o degradación del ambiente y sus componentes. Tiene un efecto negativo sobre la salud y la biodiversidad. Puede causar graves enfermedades a los humanos, extinción de especies y un desequilibrio general en el planeta. La contaminación es la presencia de elementos o sustancias que son nocivas para la salud humana o para la vida en general. Puede afectar al agua, la tierra, el aire u otros componentes del medio en el que viven seres humanos u otros organismos. (Roldán, 2017)

Se puede definir que la contaminación ambiental es la presencia de sustancias nocivas (ya sean químicas, físicas o biológicas) en la naturaleza, que pueden provocar una transformación negativa y degradante tanto en los componentes bióticos como abióticos. La gran mayoría de las veces este efecto es provocado por la propia actividad descontrolada del hombre hacia el desarrollo humano, sin tener en cuenta principios básicos como la sustentabilidad y la sostenibilidad, conceptos vistos anteriormente.

Analizado este concepto se citarán algunos contaminantes ambientales que existen. (Adame, 1997)

2.2.4.1 Tipos de contaminación ambiental.

La autora Aurora Adame Romero (Adame, 1997) clasifica de la siguiente manera los tipos de contaminación ambiental que existen:

Contaminación del agua: es la incorporación al agua de materias extrañas, como microorganismos, productos químicos, residuos industriales, y de otros tipos o

aguas residuales. Estas materias deterioran la calidad del agua y la hacen inútil para los usos pretendidos.

Contaminación del suelo: es la incorporación al suelo de materias extrañas, como basura, desechos tóxicos, productos químicos, y desechos industriales. La contaminación del suelo produce un desequilibrio físico, químico y biológico que afecta negativamente las plantas, animales y humanos.

Contaminación del aire: es la adición dañina a la atmósfera de gases tóxicos, CO, u otros que afectan el normal desarrollo de plantas, animales y que afectan negativamente la salud de los humanos.

2.2.4.1.1 Contaminación ambiental según el contaminante.

La contaminación ambiental según el tipo de contaminante la autora (Adame, 1997) los clasifica de la siguiente forma:

Contaminación química: refiere a cualquiera de las comentadas en los apartados anteriores, en las que un determinado compuesto químico se introduce en el medio.

Contaminación radiactiva: es aquella derivada de la dispersión de materiales radiactivos, como el uranio enriquecido, usados en instalaciones médicas o de investigación, reactores nucleares de centrales energéticas, munición blindada con metal aleado con uranio, submarinos, satélites artificiales, etc., y que se produce por un accidente (como el accidente de Chernóbil), por el uso o por la disposición final deliberada de los residuos radiactivos.

Contaminación térmica: refiere a la emisión de fluidos a elevada temperatura; se puede producir en cursos de agua. El incremento de la temperatura del medio disminuye la solubilidad del oxígeno en el agua. Contaminación acústica: es la contaminación debida al ruido provocado por las actividades industriales, sociales y del transporte, que puede provocar malestar, irritabilidad, insomnio, sordera parcial, etc.

Contaminación electromagnética: es la producida por las radiaciones del espectro electromagnético que afectan a los equipos electrónicos y a los seres vivos.

Contaminación lumínica: refiere al brillo o resplandor de luz en el cielo nocturno producido por la reflexión y la difusión de la luz artificial en los gases y en las partículas del aire por el uso de luminarias o excesos de iluminación, así como la intrusión de luz o de determinadas longitudes de onda del espectro en lugares no deseados.

Contaminación visual: se produce generalmente por instalaciones industriales, edificios e infraestructuras que deterioran la estética del medio.

2.2.5 Contaminación del agua.

Los autores Espigares y García (Espigares & García, 1985) *definen la polución del agua como una modificación, generalmente provocada por el hombre, de la calidad del agua, haciéndola impropia y peligrosa para el consumo humano, la industria, la agricultura, la pesca, las actividades recreativas, así como para los animales domésticos y la vida natural.*

“Según esta definición, la polución sería una consecuencia ineludible del desarrollo y la civilización. Esto es explicable, ya que conforme aumenta el desarrollo de las poblaciones, se incrementa a su vez la diversidad de los agentes contaminantes procedentes de actividades agrícolas, industriales y urbanas, que el hombre no se preocupa de destruir o reciclar, o no lo hace en la magnitud suficiente. De esta forma, se acaba saturando el poder auto depurador del medio natural.” (Espigares & García, 1985)

“Algunas de estas sustancias tienen un comportamiento desconocido en los organismos vivos. En otros casos, es evidente que la contaminación ambiental por diversas sustancias, que quizás no estén en alta concentración en el medio, pero a las que el hombre está expuesto durante largos períodos de tiempo, es importante en varias enfermedades crónicas, incluido el cáncer.”(Espigares & García, 1985)

2.2.5.1 Aguas residuales.

Del mismo modo (Espigares & García, 1985) definen las aguas residuales como aquellas que, por uso del hombre, representan un peligro y deben ser desechadas, porque contienen gran cantidad de sustancias y/o microorganismos.

Dentro de este concepto se incluyen aguas con diversos orígenes:

- *Aguas residuales domésticas o aguas negras*: proceden de las heces y orina humanas, del aseo personal y de la cocina y de la limpieza de la casa. Suelen contener gran cantidad de materia orgánica y microorganismos, así como restos de jabones, detergentes, lejía y grasas.

- *Aguas blancas*: pueden ser de procedencia atmosférica (lluvia, nieve o hielo) o del riego y limpieza de calles, parques y lugares públicos. En aquellos lugares en que las precipitaciones atmosféricas son muy abundantes, éstas pueden evacuarse por separado para que no saturen los sistemas de depuración.

- *Aguas residuales industriales*: proceden de los procesamientos realizados en fábricas y establecimientos industriales y contienen aceites, detergentes, antibióticos, ácidos y grasas y otros productos y subproductos de origen mineral, químico, vegetal o animal. Su composición es muy variable, dependiendo de las diferentes actividades industriales.

- *Aguas residuales agrícolas*: procedentes de las labores agrícolas en las zonas rurales. Estas aguas suelen participar, en cuanto a su origen, de las aguas urbanas que se utilizan, en numerosos lugares, para riego agrícola con o sin un tratamiento previo.

2.2.5.2 El agua como vehículo de infección.

El agua que está contaminada por aguas residuales o por excretas del hombre o animales, puede intervenir, directa o indirectamente, en la propagación de enfermedades, favoreciendo el desarrollo de artrópodos o moluscos, que son eslabones en sus cadenas epidemiológicas, o difundiendo agentes infecciosos procedentes de excretas de enfermos y portadores, que a través de ella pueden llegar al agua de bebida, o a las hortalizas, que son regadas con estas aguas, sin tratamiento previo.

El vertido al mar de estas aguas contribuye al envenenamiento de peces y mariscos en los estuarios y plataformas costeras y de los criaderos de ostras y áreas dedicadas a la pesca.(Espigares & García, 1985)

2.2.5.3 Acción tóxica de aguas residuales.

Espigares y García definen la acción tóxica de las aguas residuales en su artículo publicado en 1985 de la forma siguiente: *“Es el efecto y la repercusión que tienen algunos residuos sobre la flora y fauna natural de las masas hídricas receptoras y sobre los consumidores que utilicen esas aguas, o que se vean afectados por la acumulación de estas sustancias tóxicas en la cadena alimentaria. A este respecto, es importante tener en cuenta que en numerosas ocasiones las aguas residuales se utilizan, sin un tratamiento previo, para el riego de cosechas de verduras y hortalizas, con el enorme riesgo que esto supone, ya que el hombre puede consumirlas crudas, pasando a él directamente la contaminación por tóxicos o microorganismos.”* (Espigares & García, 1985)

“En otras ocasiones, no son directamente los residuos los que provocan la desaparición de los organismos del agua, sino que para la descomposición de las sustancias contaminantes son necesarias grandes cantidades de oxígeno, llegando a agotarse y creando condiciones anóxicas que impiden la vida acuática.” (Espigares & García, 1985)

“Por estas razones, se están realizando diversos estudios sobre la toxicidad de algunos compuestos sobre organismos y microorganismos acuáticos, y sobre los niveles de resistencia y adaptación de éstos a algunas sustancias y elementos presentes en el agua.” (Espigares & García, 1985)

“Estos organismos se pueden utilizar como bioindicadores de la calidad de las aguas, ya que su presencia o ausencia nos indica el nivel de contaminación, siempre teniendo en cuenta el medio de referencia, ya que la presencia de un mismo organismo en distintos medios puede indicar distintos grados de polución, según el medio del que se trate, y la simple comparación puede llevar a una subestimación del grado de contaminación.” (Espigares & García, 1985)

2.2.5.4 Contaminación del agua por coliformes totales y *Escherichia coli*

En la actualidad la contaminación del agua se debe a vertidos de desechos domésticos e industriales los cuales no siempre cuentan con el tratamiento adecuado, por consecuente es uno de los principales problemas de contaminación en estos ecosistemas.

La gran parte de estos vertidos exceden en su carga contaminante, esto se debe a raíz de varios factores como el aumento de demografía de una zona, el mal

tratamiento que se le da los efluentes y la falta de conciencia que existe en la población. (Apella & Araujo, 2005) afirman que las aguas contaminadas es la principal causa de las enfermedades por lo cual recomiendan realizar controles a la calidad del agua frecuentemente. Consideramos aguas residuales a los efluentes provenientes de la actividad humana que contienen altos niveles de contaminación en su composición. La contaminación por aguas negras se debe a la presencia de dos principales agentes patógenos como las coliformes totales y *Escherichia coli*, los mismos que representan una problemática actual, convirtiendo el recurso en no apto para el consumo humano. (Del Pezo, 2019)

2.2.5.4.1 Métodos para detectar y estimar números de Coliformes.

Las siguientes técnicas fueron obtenidas del libro: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater en su edición 21 en el año 2005 y se transcriben tal como están en el manual de procedimientos de la siguiente manera (cualquier modificación del método puede dar resultados erróneos):

Se emplean tubos de fermentación, en los cuales se coloca 10 ml de caldo lactosado, provistos de una campana Durham invertida, los cuales deben ser esterilizados en una autoclave. Posteriormente, en un ambiente estéril, se inoculan en series de 5 y con diluciones de 10, 1 y 0.1 mililitros de muestra. Los tubos se incuban a 36°C durante un período de 24 a 48 horas. La turbidez y la formación de gas dentro de las campanas, constituye una prueba presuntiva positiva para la presencia de bacterias del grupo coliformes. (Ortiz, Can, & Miranda, 2015).

Técnica de filtro de membranas.

En las pruebas para coliformes fecales con la técnica de filtración de membrana, una muestra de agua se pasa por un filtro de membrana con poros de 0,45 micrones, de medición un diámetro lo suficientemente pequeño como para retener las bacterias. El filtro es entonces colocado en un caldo específico para el crecimiento de coliformes fecales e incubado a 44,5 grados centígrados durante 24 horas. Después del período de incubación, se cuentan las colonias bacterianas, y se calculan los resultados finales para la densidad de coliforme. (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Edition. 2005)

Método del sustrato cromogénico.

La determinación de organismos coliformes por medio del sustrato cromogénico, se fundamenta en el uso de sustratos cromogénicos hidrolizables para la detección de enzimas de bacterias coliformes. Cuando se utiliza esta técnica, el grupo se define como todas las bacterias que poseen la enzima β -D-galactosidasa y capaces de romper el sustrato cromogénico, dando como resultado una liberación del cromógeno. A diferencia del método de fermentación de lactosa que permite el crecimiento de muchos organismos aeróbicos y elimina o suprime algunos no-coliformes con inhibidores químicos, esta técnica provee nutrientes que son más selectivos y específicos para el crecimiento de coliformes. La prueba puede usarse tanto en tubos múltiples como en formato presencia-ausencia (muestras individuales de 100 ml). La obtención de resultados válidos requiere la aplicación estricta de los procedimientos de control de calidad. (Diario Oficial de la Federación, 1999)

- Procedimiento de tubos múltiples: Seleccionar el número apropiado de tubos por muestra con medio pre-dosificado para la prueba de tubos múltiples y rotule. Seguir las instrucciones del fabricante para preparar la serie de diluciones. Asépticamente, adicionar 10 ml de muestra a cada tubo, tape herméticamente y agite vigorosamente para disolver. La mezcla resultante es incolora. Algunas partículas pueden resultar insolubles durante la prueba, esto no afectará su desarrollo. El procedimiento también puede ser desarrollado con la adición de cantidades apropiadas del sustrato reactivo a la muestra, mezclando vigorosamente y dosificando en cinco o diez tubos estériles. Incubar a $35\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ por 24 horas.
- Procedimiento de presencia/ausencia: Adicionar asépticamente sustrato enzimático pre-pesado a 100 ml de muestra en un vaso, estéril, transparente, no fluorescente de borosilicato o en una botella o recipiente equivalente. Opcionalmente adicionar 100 ml de muestra al sustrato enzimático en un recipiente provisto por el fabricante. Tapar asépticamente y mezclar vigorosamente para disolver. Incubar a $35\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ por 24 horas.

2.2.6 Demanda Química de Oxígeno (DQO).

Según la NMX-AA-030/1-SCFI-2012 la DQO: *“es la concentración de la masa de oxígeno equivalente a la cantidad de dicromato consumida por la materia disuelta y suspendida cuando una muestra de agua se trata con este oxidante bajo condiciones definidas.”*

2.2.7 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5).

Según la NMX-AA-028-SCFI-2001 la (DBO5): *“es una estimación de la cantidad de oxígeno que requiere una población microbiana heterogénea para oxidar la materia orgánica de una muestra de agua en un período de 5 días. El método se basa en medir el oxígeno consumido por una población microbiana en condiciones en las que se ha inhibido los procesos fotosintéticos de producción de oxígeno en condiciones que favorecen el desarrollo de los microorganismos.*

Esta norma mexicana establece el método de análisis para la determinación de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.”

2.2.8 pH.

“El pH es una propiedad química que mide el grado de acidez o alcalinidad de las soluciones acuosas. Por definición se considera que el pH es el logaritmo negativo de la actividad de los protones (H^+) en una solución acuosa. $pH = -\log(H^+)$.

El pH usa una escala de medición cuyo rango de fluctuación es de 0 a 14. Se basa en el principio de que la constante de equilibrio de la disociación del agua es 10^{-14} .” (Osorio, 2012)



$$K = 10^{-14} = (H^+) (OH^-) \div (H_2O)$$

2.2.9 Conductividad.

La NMX-AA-093-SCFI-2000 plantea que la conductividad electrolítica *“es una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia de iones, de su concentración total, de su movilidad, valencia y concentraciones relativas, así como de la temperatura.*

La determinación de conductividad es de gran importancia pues da una idea del grado de mineralización del agua natural, potable, residual, residual tratada, de proceso o bien del agua para ser usada en el laboratorio en análisis de rutina o para trabajos de investigación. El valor de conductividad es un parámetro regulado por límites máximos permisibles en descargas de aguas residuales al alcantarillado o a cuerpos receptores, también es un parámetro de calidad del agua para usos y actividades agrícolas, para contacto primario y para el consumo humano.”

2.2.10 Carbono Orgánico Total.

El carbono orgánico total (COT) es la cantidad de carbono que contienen los compuestos orgánicos no volátiles. Es el material derivado de la descomposición de las plantas, el crecimiento bacteriano y las actividades metabólicas de los organismos vivos, o de compuestos químicos. En el agua y las aguas residuales está compuesto por una variedad de compuestos orgánicos en varios estados de oxidación. Algunos de estos compuestos de carbono pueden oxidarse aún más mediante procesos biológicos o químicos, y los métodos de demanda bioquímica de oxígeno (DBO), carbono orgánico asimilable (COA) y demanda química de oxígeno (DQO) pueden utilizarse para caracterizar estas fracciones. El carbono orgánico total es una expresión más conveniente y directa del contenido orgánico total que DBO, COA o DQO, pero no proporciona el mismo tipo de información.

El COT es independiente del estado de oxidación de la materia orgánica y no mide otros elementos ligados orgánicamente, como el nitrógeno y el hidrógeno, y los inorgánicos que pueden contribuir a la demanda de oxígeno medida por la DBO y la DQO. La medición de COT no reemplaza las pruebas de DBO, COA y DQO.

La medición de COT es de vital importancia para el funcionamiento de las plantas de tratamiento de agua potable y tratamiento de residuos. Los COT del agua potable oscilan entre menos de 100 µg / L y más de 25.000 µg / L. En aguas residuales pueden contener niveles muy altos de compuestos orgánicos (COT > 100 mg / L). (Belén, 2021)

2.2.11 Oxígeno disuelto.

Toda la vida acuática depende de la disponibilidad de oxígeno disuelto (OD) en el agua. Mientras que los organismos terrestres viven en una atmósfera compuesta aproximadamente de un 20% de oxígeno, los organismos acuáticos sobreviven con una cantidad de oxígeno considerablemente menor. La solubilidad del oxígeno en agua dulce varía entre 14.6 mg/L a 0 °C hasta aproximadamente 7 mg/L a 35 °C bajo una presión de 760 mm Hg. La concentración de oxígeno disuelto en agua está determinada por la ley de Henry, que describe la relación de equilibrio entre la presión parcial de oxígeno atmosférico y la concentración de oxígeno en agua. Otros factores que influyen la concentración de oxígeno disuelto en agua son: la presión atmosférica (y por lo tanto la altitud sobre el nivel del mar), el contenido de sales en el agua, y la temperatura del agua. (Gámez, 2015)

2.2.12 Sólidos en aguas residuales.

Según las normas mexicanas los sólidos en aguas residuales se caracterizan por:

Sólidos Disueltos Totales (SDT): Es el material soluble constituido por materia inorgánica y orgánica que permanece como residuo después de evaporar y secar una muestra previamente filtrada a través de un filtro de fibra de vidrio con poro de 1,5 µm a una temperatura de 105 °C ± 2 °C. (NMX-AA-034-SCFI-2015)

Sólidos Suspendidos Totales (SST): Es el material constituido por los sólidos sedimentables, los sólidos suspendidos y coloidales que son retenidos por un filtro de fibra de vidrio con poro de 1,5 µm secado y llevado a masa constante a una temperatura de 105 °C ± 2 °C. (NMX-AA-034-SCFI-2015)

Sólidos Totales (ST): Es el residuo que permanece en una cápsula después de evaporar y secar una muestra a una temperatura de 105 °C ± 2 °C. (NMX-AA-034-SCFI-2015)

2.2.13 Normas Oficiales Mexicanas NOM.

Las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) se definen como regulaciones técnicas cuya observancia es obligatoria. Sirven para regular servicios, productos o procesos que pueden llegar a constituir un peligro para las personas, los animales o el medio ambiente en general.

Dentro de las NOM encontramos la información, requisitos, procedimientos, especificaciones y metodología necesarios que permiten establecer a las distintas dependencias gubernamentales ciertos parámetros evaluables a fin de evitar un riesgo para la población. El reflejo directo de estas Normas Oficiales es que muchos productos comercializados en México, desde el agua embotellada hasta las llantas de un automóvil, llevan en su etiquetado las siglas NOM acompañadas de un código numérico.

Es el Gobierno el encargado de identificar los riesgos, así como de evaluarlos y emitir las NOM, aunque lo más habitual es que durante este proceso intervengan expertos externos en la materia cuyas consideraciones se tienen muy en cuenta.

En última instancia las NOM son elaboradas por comités técnicos integrados por representantes de todos los sectores que tengan algún interés en el tema como por ejemplo investigadores, académicos, cámaras industriales, etc.

2.2.13.1. Normas Oficiales Mexicanas en Materia de Protección Ambiental.

Normas que establecen los límites máximos permisibles en aguas residuales:

- NOM-001-SEMARNAT-1996: Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes, en las descargas de aguas residuales, en aguas y Bienes Nacionales.

- NOM-002-SEMARNAT-1996: Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes, en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

- NOM-003-SEMARNAT-1997: Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.

Normas para la conservación de los recursos naturales:

-NOM-059-ECOL-2001:

Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres. Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio. Lista de especies en riesgo.

-NOM-060-ECOL-1994: Que establece las especificaciones para mitigar los efectos adversos ocasionados en los suelos y cuerpos de agua por el aprovechamiento forestal.

-NOM-061-ECOL-1994: Que establece las especificaciones para mitigar los efectos adversos ocasionados en la flora y fauna silvestres por el aprovechamiento forestal.

Normas para el control de residuos peligrosos- municipales, biológicos:

-NOM-052-ECOL-1993: Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos.

-NOM-053-ECOL-1993: Que establece el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.

-NOM-054-ECOL-1993: Que establece el procedimiento para determinar la incompatibilidad entre dos o más residuos considerados como peligrosos por la Norma Oficial Mexicana NOM-052-ECOL-1993.

2.2.14 Evaluación de Impacto Ambiental.

La arquitecta María Gabriela en el artículo “Guía metodológica para la elaboración de una Evaluación de Impacto Ambiental” plantea que *la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) es el resultado de la investigación, análisis y evaluación de sistemas de actividades planteadas para el desarrollo sostenible y sano; ejecutado mediante procedimientos científicos que permitan identificar, interpretar y comunicar las consecuencias o efectos producto de las acciones humanas que influyen sobre el medio ambiente, salud pública y ecología.* (Dellavedova, 2011).

2.2.14.1 Objetivo general de la EIA.

Proteger los recursos naturales, la salud humana y la ecología. En otras palabras, al proteger la calidad ambiental se protege la calidad de la vida humana. Esto permite detener el proceso degenerativo del deterioro ambiental y perfeccionar el proyecto en cuestión, a través de la defensa y justificación de una solución acertada. Además de canalizar la participación ciudadana, aumentar la experiencia práctica (tras su puesta en marcha) y generar una mayor concientización de la problemática ecológica. (Dellavedova, 2011).

2.2.14.2 Objetivos específicos de la EIA.

Identificar, prevenir y valorar los impactos ambientales de una acción proyectada. Identificar las medidas con relación a los impactos detectados,

luego mitigar aquellos negativos y resaltar los positivos. Proponer alternativas al proyecto que permitan revertir y/o corregir los posibles procesos de deterioro ambiental. Enunciar los resultados a los responsables de la toma de decisiones, a los usuarios y al público en general. (Dellavedova, 2011).

2.2.14.3 Importancia de la EIA.

Incorpora el criterio ambiental en la resolución de un problema. Se resaltan los impactos positivos y se mitigan los negativos. Facilita y respalda la toma de decisiones fundamentales, ya que es el resultado objetivo de decisiones equilibradas y como consecuencia de ello las alternativas que se evalúan. Fomenta la participación de la sociedad. La documentación resultante de la EIA debe ser fácilmente interpretada por la comunidad en todo su conjunto (población, autoridades de aplicación, etc.). La EIA representa un bien económico, político y por sobre todo un bien ético. (Dellavedova, 2011).

2.2.14.3.1 Metodología para elaborar una EIA.

El método elegido para la elaboración de una EIA debe permitir identificar, predecir y evaluar los impactos ambientales sobre un proyecto es descrito por Dellavedova de la siguiente manera:

Se pueden distinguir entre aquellos que identifican esos impactos:

- *Matrices de interacción: Listas de chequeo o verificación y Diagramas de Flujo, sirven para elaborar un primer diagnóstico ambiental permitiendo la identificación de impactos, organizando la información obtenida, comparando las diferentes alternativas e identificando las relaciones causales directas que pueden ser aditivas o sinérgicas.*
- *Matriz simple de causa-efecto: por medio del cruce de acciones, se puede conocer el alcance y efectos del proyecto. Ayuda a determinar el orden del impacto y las relaciones más complejas. Sirve de base para los modelos de simulación.*

Y aquellos métodos que permiten evaluar los impactos:

1. *Matriz de evaluación ponderativa: a través de una matriz de causa-efecto se logra ponderar el impacto de las acciones sobre el medio ambiente y así medir su calidad. Estas mediciones se establecen como parámetros*

por medio de los cuales se puede manejar e interpretar el impacto o efecto. Deben ser índices cuantificables o valorativos. El ejemplo más conocido es la Matriz de Leopold. (Dellavedova, 2011).

2.2.14.4 Tipos de Modelos.

Para poder medir esos efectos se utilizan modelos cuantitativo y cualitativo: ambos se complementan. Predicen y valoran los impactos y simulan posibles escenarios. Los primeros dejan de lado los impactos difíciles de cuantificar, mientras que los segundos valoran los impactos permitiendo una simulación más simple en el tiempo.

Método Cualitativo: Matriz de causa-efecto (Matriz de Leopold) El método cualitativo preliminar sirve para valorar las distintas alternativas de un mismo proyecto. El modelo más utilizado es la llamada Matriz de Leopold, que consiste en un cuadro de doble entrada en el que se dispone como filas los factores ambientales que pueden ser afectados y como columnas las acciones propuestas que tienen lugar y que pueden causar posibles impactos.

Método Cuantitativo: Método de Batelle-Columbus: Permite la evaluación sistemática de los impactos ambientales de un proyecto, mediante el uso de indicadores homogéneos, que puedan ser fácilmente medibles. Al ser valores correspondientes a unidades conmensurables y por lo tanto comparables, el impacto se determina por medio de la suma de esos valores obtenidos. (Dellavedova, 2011).

CAPÍTULO III:

3.1 Estado del Arte.

El estado del arte que aquí se realiza se agrupa en investigaciones tanto internacionales como nacionales. Se pretende con las mismas conocer acerca del tratamiento de las aguas residuales, específicamente en la remoción de *E. coli*.

3.1 Investigaciones Internacionales.

Raquel Del Pezo, Loaiza Nancy “PROPUESTA DE FITORREMEDIACION DE COLIFORMES TOTALES Y ESCHERICHIA COLI MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE ISLAS FLOTANTES EN AGUAS NEGRAS”.

El objetivo de la autora con este proyecto fue diseñar un sistema de islas flotantes con *Lemna minor* y *Salvinia auriculata* para saneamiento de aguas negras contaminadas por coliformes totales y *Escherichia coli*.

Los resultados experimentales arrojaron que en el tratamiento con *Salvinia auriculata* durante los 8 días del bioensayo resultó más efectivo, ya que se evidenció una remoción del 99,99% cumpliendo con los límites permisibles para descarga en un cuerpo de agua dulce. Por otro lado, *Salvinia auriculata* obtuvo un porcentaje de remoción del 99,89% para coliformes totales. A diferencia con la remoción de esta no cumple con los límites máximos permisibles, pero sigue siendo el que mayor porcentaje de efectividad alcanzó entre los otros tratamientos. Adicional a esto los porcentajes de remoción de y coliformes totales para los tratamientos con *Lemna minor* fueron de 99,95% y 99,74% respectivamente. Por otra parte, los porcentajes de disminución de microorganismos patógenos para el tratamiento combinado con *L. minor* y *S. auriculata* para fue de 99,98% y para coliformes totales fue de 99,84%.

Dentro de las recomendaciones la autora propone colocar los macrófitos *Lemna minor* y *Salvinia auriculata* en sistemas controlados para evitar los daños que genera su acelerada reproducción en plantaciones o cuerpos de agua.

Duran Mera, Bryan Esteven “FITORREMEDIACIÓN CON ESPECIE MACRÓFITA EICHHORNIA CRASSIPES EN AGUA RESIDUAL DEL CANTÓN JIPIJAPA”.

El objetivo que tuvo el autor con este trabajo fue evaluar la eficiencia de la especie macrófita *Eichhornia crassipes* en la remoción de los elementos fisicoquímicos y microbiológicos, presente en las aguas residuales, las cuales contienen concentraciones de materia orgánica con un alto porcentaje de coliformes fecales, para la metodología se utilizó el bioensayo experimental y de análisis donde se logró evaluar la eficiencia de la especie, para este proceso se diseñaron tanques de vidrio donde se introdujeron las muestras recolectadas en condiciones ambientales normales, incorporando la especie macrófita "*Eichhornia crassipes*" como elemento reductor de materia orgánica residual, los resultados obtenidos muestran que hubo mayor disminución en la conductividad, turbidez, color y olor. El ensayo demostró un gran potencial para la remoción de coliformes fecales y totales en un 50% y de la bacteria *Escherichia coli* en un 100%. Se observó el comportamiento de la especie vegetal, que muestra resistencia a los compuestos presentes en el agua residual logrando su efectividad para la Fitorremediación, demostrando mejores resultados de depuración comparada con la planta de tratamiento.

3.2 Investigaciones nacionales.

Marín Muñiz, J.L "HUMEDALES CONSTRUIDOS EN MÉXICO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, PRODUCCION DE PLANTAS ORNAMENTALES Y REUSO DEL AGUA".

En este artículo el objetivo del autor fue describir los Humedales Construidos (HC), sus principales usos, y revisar los casos de estudio que existen en México. Plantea que, aunque en el país existen HC que demuestran eficiencia de remoción de contaminantes, y por lo tanto la reutilización del agua, y se producen plantas de ornato, se requiere mayor utilización de la ecotecnología para resolver los problemas de contaminación de agua, esto aunado con el diseño de manuales, talleres y capacitaciones para la construcción y operación eficiente de sistemas de HC. En este artículo se recopila además información de la vegetación utilizada para estos HC, la población donde son implementadas y los porcentajes de eficiencia de remoción que se tienen registrado para algunos parámetros como Demanda Química de Oxígeno, Coliformes, Nitrógeno entre otros.

Con estas investigaciones se puede inferir, que sí existen tratamientos efectivos para la remoción de contaminantes en agua. Específicamente en este trabajo de investigación se utilizará para la fitorremediación de bacteria la planta acuática *Lemna minor*. Esta planta tuvo un porcentaje alto de remoción, según la autora Raquel del Pezo en su trabajo de tesis en Guayaquil. Según las características ambientales de esa ciudad como la de Cuernavaca son semejantes por lo que existe un alto índice de que la planta se aclimate a las condiciones ambientales y cumpla las funciones y objetivos que se quieren conseguir.

CAPÍTULO IV:

4.1 Evaluación de Impacto Ambiental.

Métodos:

El método utilizado para llevar a cabo la Evaluación del Impacto Ambiental es la Matriz de Leopold, la fuente de donde se obtuvo dicha metodología fue del autor Luis Carlos Saavedra, en su artículo titulado “Matriz de Leopold para la evaluación de impactos ambientales”, de donde se estará haciendo referencia durante el capítulo 4.1.

La matriz de Leopold es reconocida y utilizada a nivel mundial para evaluar los posibles efectos ambientales de un proyecto específico. Se trata de una matriz interactiva y sencilla que representa las acciones o actividades del proyecto en un eje y los factores o componentes ambientales que podrían verse afectados en el otro eje de la matriz. Cuando se prevé que una acción en particular provocará un cambio en un factor ambiental, se registra en la intersección correspondiente de la matriz, describiendo también su magnitud e importancia.

Un primer paso para crear esta matriz implica identificar las interacciones existentes. En la matriz, las columnas representan las actividades principales que podrían causar impacto ambiental, mientras que las filas contienen los factores ambientales asociados con estas actividades.

A continuación, se lleva a cabo una evaluación individual de los valores: magnitud e importancia (consultar tabla 6).

- **Magnitud:** Indica el grado de alteración provocada en el factor ambiental considerado, utilizando una escala del 1 al 10. Un valor de 10 representa la alteración máxima, mientras que un valor de 1 indica una alteración mínima. Esta información se registra en la parte superior del triángulo formado por la celda con la línea diagonal.
- **Importancia (ponderación):** Refleja el peso relativo que el factor ambiental considerado tiene dentro del proyecto o la probabilidad de que

se presenten alteraciones. Esta ponderación se anota en la parte inferior del triángulo formado por la celda con la línea diagonal.

Tabla 6. Calificación de la magnitud e importancia del Impacto Ambiental negativo para su uso con la Matriz de Leopold.

Magnitud			Importancia		
Intensidad	Afectación	Calificación	Duración	Influencia	Calificación
Baja	Baja	-1	Temporal	Puntual	1
Baja	Media	-2	Medio	Puntual	2
Baja	Alta	-3	Permanente	Puntual	3
Media	Baja	-4	Temporal	Local	4
Media	Media	-5	Medio	Local	5
Media	Alta	-6	Permanente	Local	6
Alta	Baja	-7	Temporal	Regional	7
Alta	Media	-8	Medio	Regional	8
Alta	Alta	-9	Permanente	Regional	9
Muy Alta	Alta	-10	Permanente	Nacional	10

Fuente: Saavedra, Luis Carlos (2015). "Matriz de Leopold para la evaluación de impactos ambientales".

Para poder proceder a la evaluación individual de la magnitud e importancia en la matriz, es necesario primero definir las actividades humanas que alteran el sistema (columnas de la matriz) y los impactos ambientales resultantes (filas de la matriz). Para ello, se utilizará la información proporcionada por el IMTA en el diagnóstico ambiental realizado en 2011: el "Plan estratégico de recuperación de la Barranca Amanalco". Esta fuente de información es la más reciente y completa disponible sobre el objeto de estudio. Las actividades humanas que se considerarán como problemáticas socioambientales, descritas en el diagnóstico, son las siguientes: el asentamiento poblacional, incumplimiento de reglamentos y normas ambientales, impacto de la industria, urbanización, deforestación y turismo sustentable.

Por otra parte, el impacto que tendrían estas actividades humanas sobre el medio ambiente a considerar es: descargas de aguas residuales, desechos sólidos, calidad del agua, transformación del hábitat, especies en amenaza y peligro de extinción, deterioro del bosque, modificación del clima, erosión del suelo.

Una vez designadas las actividades humanas que alteran el sistema y el impacto que traen consigo se pasa a ponderar los valores de magnitud e importancia según el criterio del autor. De esta forma se obtuvo la tabla 7.

Tabla 7. Clasificación de magnitud e importancia.

Impacto \ Actividades	Asentamiento poblacional	Incumplimiento de reglamentos, leyes y normas ambientales	Impacto de la industria	Urbanización	Deforestación	Turismo
Descargas de aguas residuales	-10 / 9	-10 / 9	-10 / 9	-10 / 9	-1 / 9	-1 / 9
Desechos sólidos	-10 / 6	-10 / 6	-9 / 6	-8 / 6	-1 / 6	-5 / 6
Calidad del agua	-10 / 9	-10 / 9	-10 / 9	-10 / 9	-1 / 9	-1 / 9
Transformación del hábitat	-8 / 6	-10 / 6	-8 / 6	-10 / 6	-10 / 6	-1 / 6
Especies en amenaza y en peligro de extinción	-8 / 6	-10 / 6	-8 / 6	-10 / 6	-10 / 6	-1 / 6
Deterioro del bosque	-9 / 6	-10 / 6	-8 / 6	-10 / 6	-10 / 6	-1 / 6
Modificación del clima	-5 / 9	-10 / 9	-9 / 9	-5 / 9	-10 / 6	-1 / 6
Erosión del suelo	-8 / 6	-10 / 6	-5 / 6	-8 / 6	-10 / 6	-1 / 6

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente se pasa a determinar el valor de cada celda, se debe multiplicar las dos calificaciones, rango posible (-100 hasta 100). Así se obtuvo la tabla 8.

Tabla 8. Matriz Leopold.

Fuente: Elaboración propia.

Luego de obtener el valor de cada celda, se procede a determinar el número de acciones del proyecto que afectan al medio ambiente, dividiéndolas en acciones positivas y negativas. Asimismo, determina cuántos factores ambientales se ven afectados por el proyecto y los divide en factores positivos y negativos. Cuando todas las celdas relevantes son elegibles, se realiza una suma algebraica de cada columna y fila para registrar el resultado en el cuadro de resumen de impacto, que a su vez indica en qué medida la acción propuesta es beneficiosa o perjudicial y en qué medida el usuario que los beneficios o beneficios deben soportarlo. Ver tabla 9.

Tabla 9. Matriz Leopold. Afectaciones negativas y positivas.

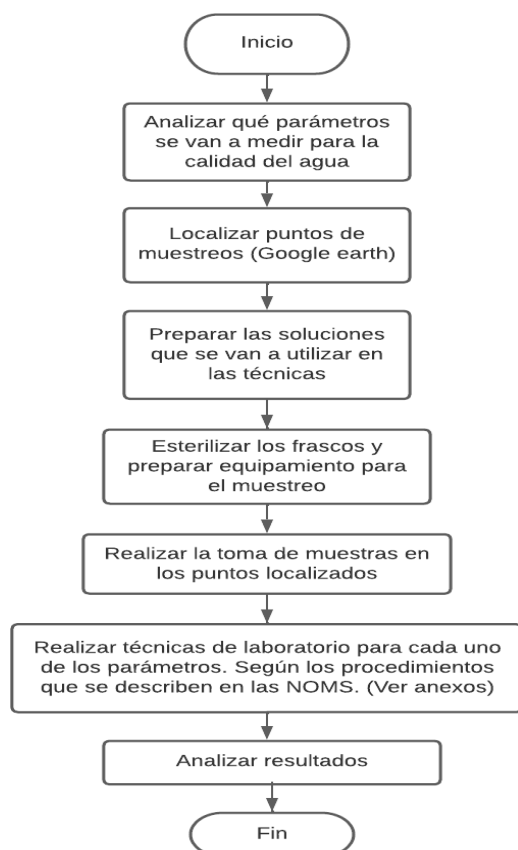
Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la tabla 9, no existen afectaciones positivas, la acción de estas 6 actividades arrojan afectaciones negativas. Esto quiere decir que las 6 actividades humanas alteran el sistema ambiental, y ninguna obviamente traen beneficios. Por otra parte, con estos resultados y calculando las medias tanto por columnas como por filas, se pudiera decir específicamente cuáles son las actividades humanas que provocarían más problemas al sistema medio ambiental. Ver resultados en el Capítulo V. Acápite 5.1.

4.2 Evaluación de la calidad del agua.

En esta sección se explica el procedimiento y metodología que se realizó para el análisis de los parámetros fisicoquímicos. Ver a continuación el diagrama de flujo 1.

Diagrama de flujo 1. Procedimiento para el análisis fisicoquímico.



Fuente: Elaboración propia

Se realizaron las siguientes acciones para determinar los parámetros que se medirían en el análisis de la calidad del agua: Inicialmente, se seleccionaron los siguientes parámetros: pH, Conductividad, Oxígeno Disuelto (OD), Carbono Orgánico Total (COT), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Sólidos Totales (ST), Sólidos Disueltos Totales (SDT), Sólidos Suspendidos Totales (SST) y bacteria. Estos parámetros han sido previamente analizados en otros trabajos de tesis con objetivos similares a los de esta investigación.

Se procedió a la selección de los puntos de muestreo teniendo en cuenta los aspectos de accesibilidad, representatividad y seguridad. Además, se tomaron las medidas necesarias para obtener la DBO, las cuales se encuentran detalladas en el Anexo 4. Para garantizar la integridad de las muestras, se esterilizaron los frascos y se preparó una nevera con hielo para mantenerlas a la temperatura adecuada.

Se realizaron muestras siguiendo las indicaciones establecidas en la Norma Mexicana (NMX-AA-003-1980). Dichas muestras se llevaron al laboratorio donde se aplicaron las técnicas correspondientes para cada uno de los parámetros, tal como se describen en los Anexos 1, 2, 3, y 4. En el caso de los parámetros pH, Conductividad y Oxígenos Disuelto, se realizaron mediciones directamente en campo utilizando los equipos mencionados en el Anexo 5. Por último, se recopilaron los resultados obtenidos y se procedió a su análisis.

Para la medición microbiológica y determinación de las cantidades, se utilizó el método y norma de referencia denominado “Número más probable” (NMP), conforme a las normativas NOM-112-SSA1-1994 y NMX-AA-042-SCFI-2015. Todo este proceso experimental se llevó a cabo en el laboratorio de análisis industriales LAI-1819, ubicado en la Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería.

Muestreo:

La toma de muestras de agua en la barranca se realizó de acuerdo con el procedimiento establecido en la Norma Mexicana (NMX-AA-003-1980). Esta norma establece los lineamientos generales y recomendaciones para muestrear las descargas de aguas residuales, con el fin de determinar sus características físicas y químicas. Para las muestras microbiológicas, se utilizaron recipientes de 100 ml y para las muestras fisicoquímicas se utilizaron frascos de vidrio ámbar de 25 ml, 50 ml y 1L. Estas muestras se colocaron en hielera para mantenerlas a 4°C. Todo el proceso de muestreo se realizó según la Norma Mexicana.

Puntos de muestreo:

Uno de los aspectos clave a considerar en un muestreo de calidad de aguas superficiales es la selección del punto de muestreo. La elección del punto de

muestreo puede influir en el proceso de muestreo, y, por lo tanto, en los resultados analíticos obtenidos.

Entre las características importantes para tener en cuenta en el muestreo se encuentran las siguientes:

Accesibilidad: El punto de muestreo debe ubicarse en un lugar accesible que permita una entrada y salida fácil para quienes realizarán la toma de muestra.

Representatividad: El punto de muestreo debe ser lo más representativo posible de las características generales del cuerpo de agua que se desea analizar. Es importante que refleje las condiciones y propiedades del agua de manera precisa.

Seguridad: Tanto el punto de muestreo como sus alrededores y las condiciones meteorológicas deben garantizar la seguridad de quienes llevan a cabo la toma de muestras. Se deben tomar precauciones adecuadas y utilizar equipos de seguridad necesarios.

En este estudio experimental se seleccionaron cinco puntos de muestreo, con las siguientes coordenadas, detalladas en la tabla 10:

Tabla 10. Coordenada de los puntos de muestreo.

Número de muestreo	Coordenada
1	Latitud: 18°57'59" N
	Longitud: 99°15'32 W
	Altitud: 1776 m
2	Latitud: 18°57'59" N
	Longitud: 99°15'33 W
	Altitud: 1790 m
3	Latitud: 18°57'59" N
	Longitud: 99°15'33 W
	Altitud: 1793 m
4	Latitud: 18°57'59" N
	Longitud: 99°15'31 W
	Altitud: 1773m
5	Latitud: 18°57'57" N
	Longitud: 99°15'30 W
	Altitud: 1763 m

Fuente: Elaboración propia.

Para la selección de los puntos de muestreo se consideraron los siguientes aspectos:

1. La dirección del flujo del agua.
2. Punto de mayor altitud (punto de muestreo 3) en dónde se detectó mayor asentamiento poblacional.
3. Punto más bajo y flujo fuerte de corriente (punto de muestreo 5).
4. En la línea de flujo del agua (puntos de muestreo 1,2 y 4).

El lugar seleccionado para la toma de muestra fue aquel que ofrecía el mejor acceso para la entrada y salida. Además, se encontraba cerca de las salidas de las tuberías de aguas residuales de las viviendas que se encuentran junto a la barranca. En las imágenes del 1 al 7 se pueden observar algunos puntos de muestreo.

Imágenes 1, 2 y 3. Puntos de muestreo de la Barranca Amanalco.



Fuente: (Roque, 2023)

Imágenes 4, 5, 6 y 7. Puntos de muestreo de la Barranca Amanalco.



Fuente: (Roque, 2023)

4.3 Fitorremediación

En esta sección se explica el procedimiento para el método experimental de fitorremediación con la planta acuática Lemna minor para la disminución de la bacteria *E. coli*.

Para la propuesta de fitorremediación este proyecto se basó en parte de la metodología aplicada en el trabajo de tesis de la autora Raquel del Pezo, aquí citada. (Del Pezo, 2019)

4.3.1 Reproducción de la planta acuática:

La especie Lemna minor fue recolectada y posteriormente puesta en reproducción en un contenedor de polietileno con una capacidad para 5 L. Se colocó agua con fertilizante CAMPBELL (imagen 8), compuesto por Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio, Hierro, Zinc, Manganeso, Cobre, Boro, Molibdeno, Azufre y Cobalto, del cual se utilizó 3 ml según las instrucciones del fabricante.

Imagen 8. Fertilizante.



Fuente: (Roque, 2023)

En la imagen 9 se puede observar la cantidad de Lemna minor con la que se comenzó el proceso de inoculación. En la imagen 10 la cantidad de biomasa, pasado 30 días, lo cual indica la alta y rápida propagación.

Imagen 9. Biomasa en el día 1.



Fuente: (Roque, 2023)

Imagen 10. Biomasa en el día 30



Fuente: (Roque, 2023)

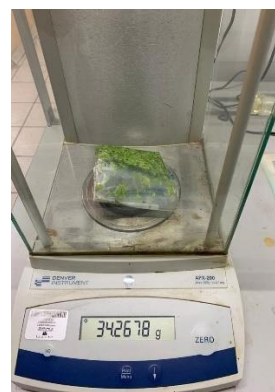
4.3.2 Bioensayos:

Bioensayo 1:

Para el primer bioensayo se realizó una prueba piloto tomando una muestra de agua de 5 litros provenientes de una olla de recolecta de agua pluvial.

Como paso inicial del bioensayo se sometió la planta Lemna minor a un tratamiento de preparación en el cual se lavó con agua del grifo, seguido de agua desionizada. Luego se procedió a pesar la biomasa por triplicado como se muestra en las imágenes 11, 12 y 13, donde se obtuvo como biomasa inicial 34.3 gramos. Una vez pesada la biomasa, se incorporó esta cantidad de plantas acuáticas al contenedor de 5 L dónde anteriormente se había introducido la muestra de agua contaminada.

Imágenes 11, 12 y 13: Peso de la biomasa



Fuente(Roque, 2023)

El principio que se utilizó para medir la cantidad de biomasa que se empleó en el bioensayo fue que alcanzara a cubrir la mayor superficie del contenedor.

El tiempo de retención del agua muestreada con el tratamiento de fitorremediación con *Lemna minor* fue por un lapso de 8 días en los que se midieron varios parámetros fisicoquímicos como: pH (usando un peachímetro digital), sólidos totales disueltos, temperatura y conductividad (usando el equipo digital TSD & EC(hold)), oxígeno disuelto usando Smart sensor AR8406. Estos parámetros se midieron el día 1 y 8 como menciona (Del Pezo, 2019) en su metodología.

Para la medición del parámetro microbiológico se tomó una muestra de agua de 50 ml en el día 1 del bioensayo, para medir la concentración inicial de *E.coli* mediante el método y norma de referencia: Número más probable (NMP); NOM-112-SSA1-1994 y NMX-AA-042-SCFI-2015, el cual se comparó con las concentraciones finales en el día 8, para evidenciar si es o no factible la propuesta de fitorremediación.

Al término del bioensayo se calculó la tasa de crecimiento, por lo cual se evaluó los cambios en la biomasa al contacto con el agua contaminada de *E.coli*, de manera que se basó en la fórmula usada por (Verma & Suthar 2015) que consistió en lo siguiente:

- Tasa de crecimiento de las plantas (%) = $\frac{[(\text{Biomasa Final} - \text{Biomasa Inicial}) / \text{Biomasa Final}] \times 100$

De igual forma se realizó el cálculo del porcentaje de remoción de *E. Coli*, determinando la efectividad del tratamiento, la fórmula del cálculo fue la siguiente:

- Porcentaje de remoción (%) = $\frac{[(\text{Concentración Inicial} - \text{Concentración Final}) / \text{Concentración Inicial}] \times 100$

CAPÍTULO V: Resultados.

5.1 Resultados de la Matriz de Leopold.

En el análisis de las medias tanto por columnas (actividades humanas que alteran el sistema) como por filas (impactos ambientales) de toda la matriz de Leopold, se concluye lo siguiente (ver tabla 11 y 12):

Tabla 11. Análisis por columnas (actividades humanas que alteran el sistema)

Media Columna 1	60.375
Media Columna 2	71.25
Media Columna 3	61.125
Media Columna 4	62.625
Media Columna 5	40.5
Media Columna 6	9.75
Media de las medias	50.9375

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla 11, se obtuvo un valor de 50.9375 como promedio a partir del promedio individual por cada columna.

Para ilustrar el cálculo del promedio individual por columna, se tomará como ejemplo la Columna 1 para su explicación:

Para la media de la columna 1= 60.375, se hizo lo siguiente:

$$\Sigma [(f1,c1) + (f2,c1) + (f3,c1) + (f4,c1) + (f5,c1) + (f6,c1) + (f7,c1) + (f8,c1)] /8$$

$$\Sigma [(90) + (60) + (90) + (48) + (48) + (54) + (45) + (48)] /8$$

Donde:

F1: Descargas de aguas residuales

F2: Desechos sólidos

F 3: Calidad del agua

F4: Transformación del hábitat

F 5: Especies en amenaza y en peligro de extinción

F 6: Deterioro de bosque y suelo

F 7: Modificación del clima

F 8: Erosión del suelo

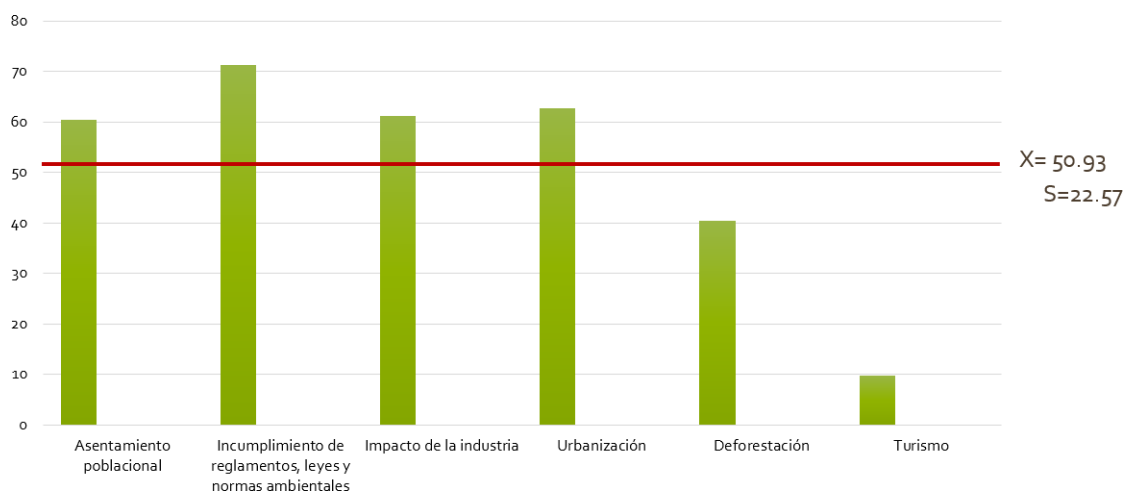
C 1: Asentamiento poblacional

Y así sucesivamente, se continúa este proceso para el resto de las columnas.

Además, en el gráfico 1 se puede apreciar que hay valores que superan la media de 50.9375, lo que indica que las actividades como el asentamiento poblacional,

el incumplimiento de reglamentos y normas ambientales, el impacto de la industria y la urbanización son las que ejercen un mayor impacto en el medio ambiente. No obstante, esto no descarta la posibilidad de corregir o mitigar los daños causados por la deforestación y el turismo.

Gráfico 1. Gráfico de barras de medias por actividades humanas que alteran el sistema.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12. Análisis por fila (impactos ambientales)

Media Fila 1	63
Media Fila 2	43
Media Fila 3	63
Media Fila 4	47
Media Fila 5	47
Media Fila 6	48
Media Fila 7	54.5
Media Fila 8	42
Media de las medias	50.9375

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 12, se siguió el mismo procedimiento que en la tabla 11. Sin embargo, en este caso, el promedio final se obtiene a partir de las medias individuales por filas.

Para ilustrar la obtención del promedio individual por fila, tomaremos como ejemplo la Fila 1:

Para la media de la fila 1 = 63, se hizo lo siguiente:

$$\Sigma [(f1,c1) + (f1,c2) + (f1,c3) + (f1,c4) + (f1,c5) + (f1,c6)]/6\Sigma$$

$$[(90) + (90) + (90) + (90) + (9) + (9)] / 6$$

Donde:

C1: Asentamiento poblacional

C2: Incumplimiento de reglamentos, leyes y normas ambientales

C 3: Impacto de la industria

C4: Urbanización

C 5: Deforestación

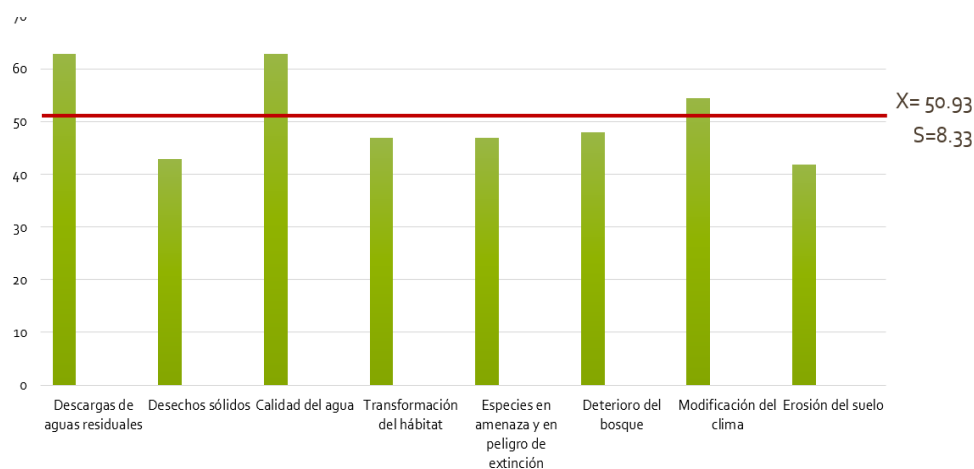
C 6: Turismo

F 1: Descargas de aguas residuales

Y así sucesivamente para el resto de las filas.

En el gráfico 2 se puede observar que existen valores que se encuentran por encima de la media 50.9375, como lo son las descargas de aguas residuales, la calidad del agua, y la modificación del clima, estos son los impactos donde más se debe enfocar las medidas de mitigación y prevención. Además, como se destacó anteriormente, no hay que descuidar los otros componentes ambientales.

Gráfico 2. Gráfico de barra de medias por impactos ambientales.



Fuente: Elaboración propia.

Se puede concluir que la Matriz de Leopold implementada es una herramienta eficaz, que ha permitido demostrar cuantitativamente que el asentamiento poblacional, el incumplimiento de reglamentos y normas ambientales, el impacto de la industria y la urbanización son las actividades humanas que mayor riesgo traen a la barranca. Esas actividades humanas son las que están provocando en mayor medida, afectaciones en: la calidad del agua, las descargas de aguas residuales y modificando el clima.

De acuerdo con el gráfico 2, se observa que los parámetros de descargas de aguas residuales y calidad del agua presentaron los valores más altos. Estos resultados indican que es en estos aspectos donde se debe poner mayor énfasis en las medidas de mitigación. Por lo tanto, el siguiente apartado se centrará en analizar los parámetros fisicoquímicos del agua.

5.2. Resultados fisicoquímico y microbiológico.

Resultados obtenidos en el análisis fisicoquímico y microbiológico del agua en la barranca Amanalco. Ver tablas 13 y 14.

Tabla 13. Resultados del análisis fisicoquímico del agua superficial

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14. Análisis comparativo con los rangos establecidos por CONAGUA y NOMs.

Fuente: Elaboración propia

- Según la escala de clasificación de calidad del agua de la Comisión Nacional del Agua para la DQO los resultados obtenidos indican que:

Puntos de muestreo 1 y 5: existe buena calidad. El agua superficial cuenta con bajo contenido de materia orgánica biodegradable y no biodegradable. ($10 < DQO \leq 20$)

Puntos de muestreo 2, 3 y 4: contaminada. Agua superficial con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal. ($40 < DQO \leq 200$)

Ahora bien, respecto a la NOM-001-SEMARNAT-2021, establece como límite máximo permisible (LMP) para ríos, arroyos, canales y drenes, el valor de 210mg/L como el máximo. Y según los valores obtenidos en la experimentación ninguno excede este valor, sin embargo, no deja de estar contaminada.

- Según la escala de clasificación de calidad del agua de la Comisión Nacional del Agua con base en los Sólidos Suspendedos Totales los resultados obtenidos indican que:

Punto de muestreo 1: es excelente. ($SST \leq 25$)

Puntos de muestreo 3 y 5: es de buena calidad. ($20 < SST \leq 40$)

Punto de muestreo 2: es contaminada. ($20 < SST \leq 40$)

Punto de muestreo 4: es fuertemente contaminada. ($SST > 400$)

Respecto a la NOM-001-SEMARNAT-2021, establece como límite máximo permisible para ríos, arroyos, canales y drenes, el valor de 72mg/L, lo cual arroja a que las muestras 2 y 4 sobrepasan ese valor.

- Según la escala de clasificación de calidad del agua de la Comisión Nacional del Agua con base en Oxígeno Disuelto los resultados obtenidos indican que:

Puntos de muestreo 1, 2, 4 y 5: contaminada o con deficiencia de oxígeno disuelto. ($10 < OD \leq 30$)

Punto de muestreo 3: fuertemente contaminada o anóxica. ($OD \leq 10$)

- Según la escala de clasificación de calidad del agua de la Comisión Nacional del Agua con base en DBO5 los resultados obtenidos indican que:

Puntos de muestreo 1, 2 y 5: es excelente ($DBO < 3$)

Puntos de muestreo 3 y 4: es aceptable ($6 < DBO5 \leq 30$)

- Según la escala de clasificación de calidad del agua de la Comisión Nacional del Agua y la NOM-001-SEMARNAT-2021 con base en los resultados obtenidos indican que:

Excepto el punto de muestreo 1 que tiene buena calidad, el resto de los puntos están fuertemente contaminados.

- La NOM-001-SEMARNAT-2021 establece como límite máximo permisible para ríos, arroyos, canales y drenes en cuanto a los parámetros temperatura: 35°C, pH: (6-9) y Carbono Orgánico Total: 45mg/L.

En los puntos de muestreo analizados se cumple que los valores obtenidos se encuentren por debajo de los LMP tanto para el parámetro temperatura como para pH, sin embargo, respecto al parámetro COT, para la muestra 1 y 2 no se cumple, puesto que sobrepasa el LMP.

Respecto al parámetro microbiológico analizado, bacteria , las normas oficiales mexicanas recogen los siguientes requisitos.

- Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021: Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua. Esta norma plantea que la cantidad NMP/100 mL debe ser <1.1 ó No detectable.
- Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021: Límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales. Esta norma plantea que, para ríos, arroyos, canales, drenes, la cantidad de NMP/100 mL debe ser menor a 250.

Como se puede observar según los resultados de las tablas 13 y 14 para el parámetro de bacteria según las NOM 001, excepto el punto de muestreo 1, el resto se encuentran fuertemente contaminados.

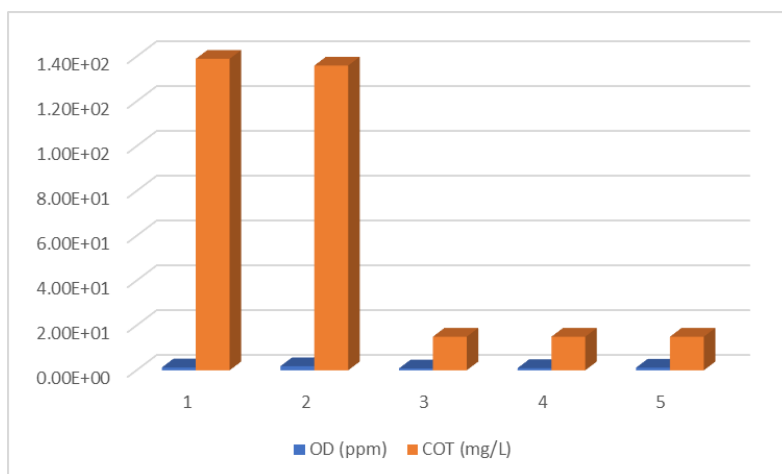
Es importante destacar que no se conoce el uso que los pobladores asentados en las colindancias de la barranca le dan a esta agua. Sin embargo, hay que señalar que en el caso tal que la utilicen para consumo humano, están bajo riesgo de contraer la bacteria en su organismo y consigo, severos problemas de salud, debido a que en los 5 puntos de muestreo según la NOM 127, están por encima de 1 NMP/ 100 ml.

5.3 Evaluación del comportamiento entre los parámetros estudiados:

5.3.1 Interpretación del COT y OD.

Como se puede observar en la gráfica 3 elevadas concentraciones de Carbono Orgánico Total genera una disminución importante del Oxígeno Disuelto, teniendo como consecuencia la pérdida de la biodiversidad en el agua.

Gráfica 3. Gráfico de barra de OD y COT



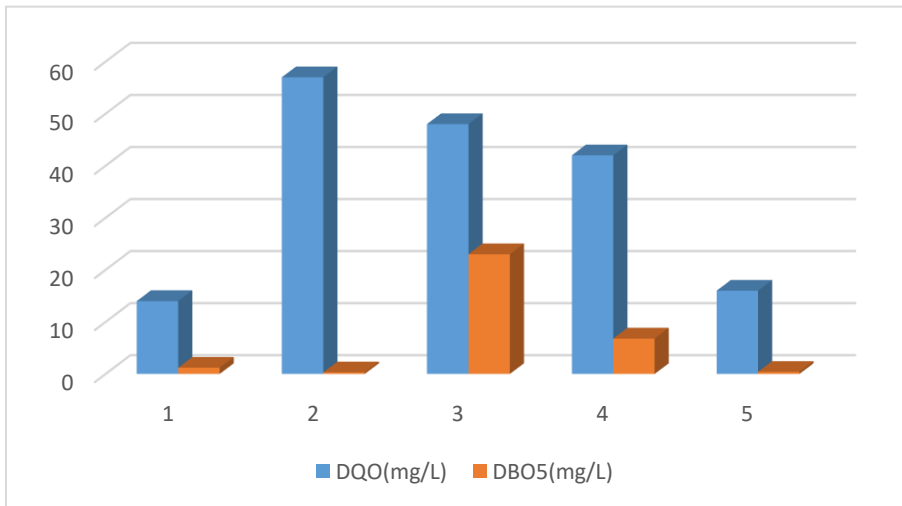
Fuente: Elaboración propia.

El oxígeno afecta no solo indicadores bioquímicos, sino también estéticos como el olor, claridad del agua, y sabor.

5.3.2 Interpretación de DQO y DBO₅.

Al analizar el comportamiento entre la DBO₅ y DQO, se observa un alto nivel de contaminación, específicamente en los puntos de muestreo 2, 3 y 4 se encontraron valores por encima de los máximos permisibles de la DQO (Ver tabla 13, Gráfico 4), lo que sugiere altos índices de contaminación, probablemente por la presencia de materia orgánica y presencia de microorganismos, proveniente de las aguas residuales.

Gráfica 4. Gráfico de barra de DQO y DBO



Fuente de elaboración propia.

Por otra parte, para demostrar el nivel de biodegradabilidad de las aguas estudiadas, se llevó a cabo la relación de los cocientes DBO_5/DQO (ver tabla 15) propuesta por (Gazzaz et al., 2012; Santhi et al., 2015). Los resultados indicaron que el punto de muestreo 3 resultó ser muy biodegradable, sin embargo, el resto de los puntos de muestreo resultaron poco biodegradables.

La relación entre DQO y DBO5 indica la facilidad del tratamiento biológico de las aguas residuales. Por ejemplo, en aguas residuales biodegradables, la DQO es casi el doble que la DBO5, como fue el caso en el punto de muestreo 3. Por otro lado, si presenta residuos industriales, con compuestos complejos y difíciles de depurar, la DQO puede ser 10 veces superior a la DBO, lo que indica que el líquido es muy poco biodegradable, como probablemente es el caso de los puntos de muestreo 1, 2, 4 y 5. (BIOINGEPRO, 2022)

Tabla 15. Cociente DBO_5/DQO

Muestra	DBO_5/DQO	Biodegradación	DBO_5/DQO	Biodegradación
1	0.086	Poco biod	$0.2 < DBO_5/DQO$	poco biodegradable
2	0.005	Po	$0.2 < DBO_5/DQO \leq 0.4$	biodegradable
3	0.48		$0.4 > DBO_5/DQO$	muy biodegradable
4				

Fuente: Elaboración propia.

5.3.3 Correlación entre los parámetros estudiados.

Para la correlación entre todos los parámetros medidos se utilizó como herramienta de análisis de datos, Statgraphics. Mediante un análisis multivariado se obtuvieron las siguientes correlaciones (ver tabla 16):

Tabla 16. Matriz de correlación entre los parámetros evaluados.

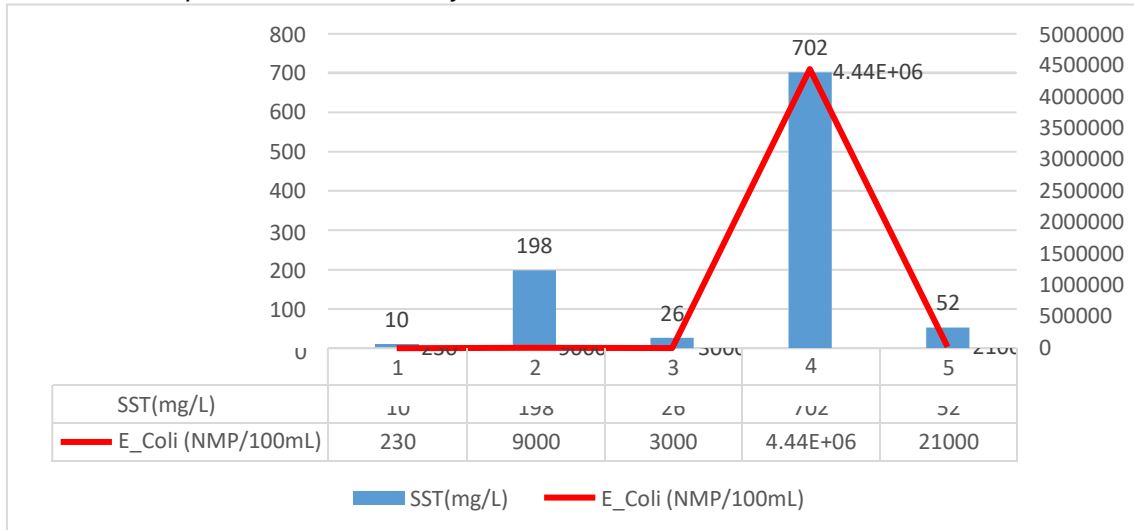
Fuente: Elaboración propia.

Considerando, P Value menor 0.05, estadísticamente se pudo comprobar que existe relación entre los siguientes parámetros: SDT y Cond, SST y ST, *E.coli* y ST, *E.coli* y SST.

La correlación observada entre la Cond y SDT está asociada a la presencia de iones inorgánicos, por otra parte *E. coli* correlacionó con SST y ST, lo que sugiere que probablemente el *E. coli* presente en las aguas estudiadas se incorpora a materia inorgánica existente.

Por otro lado, se realizó el Gráfico 5, para describir el comportamiento de los parámetros *E. coli* y SST

Gráfico 5. Comportamiento de *E. coli* y SST. Excel



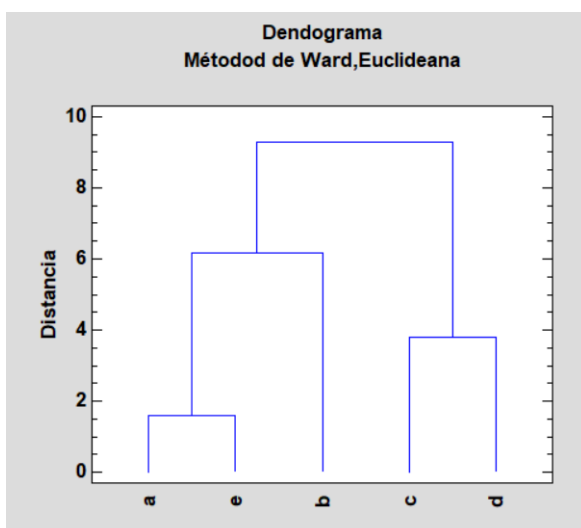
Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico 5 podemos observar que efectivamente en los 5 puntos de muestreo, la presencia de *E. coli* está asociado a los SST.

5.3.4 Dendograma.

Finalmente se llevó a cabo un análisis de clúster o dendograma, con la finalidad de observar similitudes o diferencias entre los puntos de muestreo. (Ver Gráfico 10). Donde se obtuvo que la muestra 1 con la 5 y la muestra 3 con la 4 tienen composiciones similares.

Gráfico 10. Dendograma.



Fuente: Elaboración propia.

Resultados de la evaluación del Impacto Ambiental y la Calidad del agua.

Con los resultados obtenidos tanto de la Matriz de Leopold, como del análisis fisicoquímico del agua superficial de la barranca se puede reafirmar que desde que se realizó el diagnóstico por el IMTA en el 2011, siguen existiendo problemas de contaminación en el agua y que no han sido solucionados.

En la tabla 16, los resultados de los parámetros que aparecen en la columna del año 2020 son los que registró CONAGUA los cuales pertenecen al punto de muestreo con coordenadas: longitud (-99.22360) y latitud (18.86339) correspondientes al río Apatlaco antes del arroyo Chapultepec. Los parámetros que aparecen en la columna del 2022 son los pertenecientes al punto de muestreo 4 (el más desfavorable por las altas cantidades de DQO, SST, y *E.coli*).

Se puede ver como los parámetros DQO y SST pasaron de tener una buena calidad a estar fuertemente contaminados. Respecto al parámetro *E. coli*, la cifra ha aumentado considerablemente, el valor del 2022 es aproximadamente 180 veces la cifra del año 2020.

Tabla 16. Comparativa de parámetros fisicoquímicos del año 2020 respecto al 2022.

Parámetros	2020		2022	
DBO5(mg/L)	5.16	Buena	6.8	Aceptable
DQO(mg/L)	16.04	Buena	42	Mala
SST(mg/L)	10	Excelente	702	Fuertemente contaminado
E_Coli (NMP/100mL)	24 196	Fuertemente contaminada	4440000	Fuertemente contaminada

Fuente: Elaboración propia.

La cantidad de bacteria *E. Coli* actual es significativamente alta, y esto es un llamado de alerta para los pobladores, debido a que esto trae consigo graves enfermedades para la salud humana. Por ende, como propuesta de solución se implementará como técnica para la fitorremediación de esta bacteria, la planta acuática *Lemna minor*, la cual se ha estado investigando en el capítulo III del estado del arte de esta investigación.

5.4 Resultados de bioensayos.

Resultados del bioensayo 1:

La imagen 16 muestra el día 1 y la imagen 17 el día 8 del experimento.

Imagen 16. Día 1 del bioensayo



Fuente: (Roque, 2023)

Imagen 17. Día 8 del bioensayo



Fuente: (Roque, 2023)

Resultados de los parámetros fisicoquímicos (Ver tabla 17):

Tabla 17. Resultados de parámetros fisicoquímicos del bioensayo 1

Parámetros fisicoquímicos	Día 1	Día 8
pH	8.43	9.42
Conductividad	200µs/cm	170µs/cm
Sólidos Disueltos Totales	8 ppm	20 ppm
Oxígeno Disuelto	8.5 mg/L	9.3 mg/L
Temperatura	24.4°C	25.6°C

Fuente: Elaboración propia.

El pH, los Sólidos Disueltos Totales, el Oxígeno Disuelto y la temperatura a través de los días fueron aumentando. En el caso de la conductividad hubo una disminución de 30 µs/cm.

Resultados de porcentaje de remoción:

Tabla 18. Resultados de parámetros bacteriológico del bioensayo 1

Parámetro bacteriológico	Día 1	Día 8
E_Coli	200 NMP/mL	180 NMP/mL

Fuente: Elaboración propia.

Porcentaje de remoción (%) = $[(200 \text{ NMP/mL} - 180 \text{ NMP/mL}) / 200 \text{ NMP/mL}] \times 100$

Porcentaje de remoción (%) = 10%

Este resultado indica que solo se logró remover 20NMP/mL de bacteria. Según los antecedentes que ya se tienen en esta investigación la planta resulta efectiva, por lo cual se propone repetir la experimentación con un segundo bioensayo. En

esta ocasión se utilizará como fuente de muestra, aguas residuales y se pretende aumentar la cantidad de biomasa y verterla en la mitad de agua de muestra, o sea en 2.5L , como lo realizó la autora (Vásconez, 2017) en su investigación.

De esta manera las raíces de las lentejas podrán trabajar mejor debido a que la capacidad (altura) del agua del tinaco coincidirá con el largo de las raíces y se podrá tener una mejor absorción de la bacteria por parte de la planta.

Resultados de tasa de crecimiento de biomasa: (Ver tabla 19)

Tabla 19. Resultados de tasa de crecimiento de la biomasa del bioensayo 1

Fuente: Elaboración propia.

La tasa de crecimiento de la biomasa de la especie *L. minor* durante los 8 días que duró el bioensayo, se puede evidenciar en la (tabla 18), que no hubo un crecimiento de la biomasa, por el contrario, la biomasa se redujo en 0.55% en comparación con el valor inicial.

Resultados del bioensayo 2:

La muestra para el bioensayo 2 fue tomada en el punto de muestreo que se observa en las imágenes 18 y 19.

Imágenes 18 y 19. Punto de muestreo.



Fuente: (Roque, 2023)

Las imágenes 20 y 21 muestran el día 1 y las imágenes 22 y 23 el día 8 del experimento.

Imágenes 20, 21



Fuente: (Roque, 2023)

Imágenes 22 y 23



Fuente: (Roque, 2023)

Resultados de los parámetros fisicoquímicos (Ver tabla 20):

Tabla 20. Resultados de parámetros fisicoquímicos del bioensayo 2

Parámetros fisicoquímicos	Día 1	Día
pH	8.51	
Conductividad	77	
Sólidos Disueltos Tot		
Oxígeno		

Fuente: Elaboración propia.

El pH, los Sólidos Disueltos Totales, el Oxígeno Disuelto y la temperatura a través de los días fueron aumentando. En el caso de la conductividad hubo una disminución de 651.4 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

Resultados de porcentaje de remoción:

Tabla 21. Resultados de parámetros bacteriológico del bioensayo 2

Parámetro bacteriológico	Día 1	Día 8
E_Coli	15 811 388 NMP/mL	110 000 NMP/mL

Fuente: Elaboración propia.

$$\text{Porcentaje de remoción (\%)} = \left[\frac{(15\,811\,388 \text{ NMP/mL} - 110\,000 \text{ NMP/mL})}{15\,811\,388 \text{ NMP/mL}} \right] \times 100$$

$$\text{Porcentaje de remoción (\%)} = 99.30\%$$

En el tratamiento con la planta acuática *Lemna minor* durante los 8 días del bioensayo 2 resultó ser efectivo, ya que se evidenció una remoción del 99,30% de la bacteria E. coli sin embargo el valor obtenido no cumple con los límites máximos permisibles para descarga en un cuerpo de agua dulce.

Resultados de tasa de crecimiento de biomasa:

Tabla 22. Resultados de tasa de crecimiento de la biomasa del bioensayo 2

Fuente: Elaboración propia

No hubo crecimiento de la biomasa en el bioensayo 2, al contrario, disminuyó como mismo sucedió en el bioensayo 1.

CONCLUSIONES:

La implementación de la Matriz de Leopold ha permitido demostrar de manera cuantitativa que las actividades humanas con mayor riesgo para la barranca Amanalco son el asentamiento poblacional, la infracción de reglamentos y políticas ambientales, el impacto de la industria y la urbanización. Estas actividades afectan la calidad del agua.

El análisis de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos han revelado altos niveles de contaminación por la bacteria *E. coli* en el agua de la barranca Amanalco. Los puntos de muestreo 2, 3, 4 y 5 superan los valores máximos permisibles (600 NMP/ml) que establece la norma (NOM-001-SEMARNT-2021).

Se ha constatado que la calidad del agua en la barranca Amanalco no ha mejorado desde el diagnóstico realizado por el IMTA, sino que ha empeorado con el paso de los años. Específicamente, en cuanto al parámetro bacteriológico, la presencia de bacteria *E. coli* en el año 2022 fue 180 veces mayor que en el año 2020.

En el primer bioensayo utilizando la planta acuática *Lemna minor* para la fitorremediación de la bacteria *E. coli*, se observó una concentración inicial de 200 NMP/mL y al término del primer bioensayo una concentración de 180 NMP/mL, con una remoción poco significativa del 10%.

En el segundo bioensayo, se registró una concentración inicial de 15,811,388 NMP/mL y una concentración final de 110,000 NMP/mL, lo que representa una remoción significativa del 99.30%. Estos resultados ratifican la hipótesis planeada en la investigación, demostrando que el uso de la planta acuática *Lemna minor* es efectiva para disminuir la presencia de *E. coli*.

RECOMENDACIONES:

- Replicar el proceso de fitorremediación con la planta acuática *Lemna minor* en la barranca Amanalco, mediante islas flotantes.
- Colocar la planta *Lemna minor* en un sistema controlado, debido a la rápida propagación que tiene en cuerpos de agua.
- Realizar el bioensayo con otros tipos de plantas acuáticas para medir la efectividad en el proceso de remoción de bacteria *E.coli*.
- Implementar medidas de corrección en la barranca Amanalco para evitar más deterioro en la flora y fauna.

REFERENCIAS:

[Instituto_Nacional_de_Ecología]. (2007). "Barrancas urbanas: Soluciones a la problemática

ambiental y opciones de financiamiento".

[Ley_Ambiental_del_Distrito_Federal]. (2000). Ley Ambiental del Distrito Federal. Asamblea Legislativa del Distrito Federal, I Legislatura, 13.

[Programa_de_Conservación_y_Manejo_Sustentable_de_las_Barrancas_del_Distrito_Federal]. (2012). Programa de Conservación y Manejo Sustentable de las Barrancas del Distrito Federal

[Secretaría_del_Medio_Ambiente_Gobierno_del_Distrito_Federal]. (2006-2012). Barrancas Urbanas del Surponiente del Distrito Federal, Áreas de Valor Ambiental.

[Unidad_de_Planeación_COESPO]. (2020). Morelos Proyecciones de Población Retrieved from https://www.hacienda.morelos.gob.mx/images/docu_planeacion/planea_estrategica/coespo/proyeccion_septiembre_2020_11_09_2020.pdf.

Adame, R. A. (1997). Contaminación Ambiental. Editorial Trillas.

Aguilar, D. C., Doria, S. C., Guevara, S. A., Lara, P. J. A., & Ramos, M. D. M. (2013). Trazando el rumbo. Proceso de reflexión crítica de la realidad.

Alarcon, D. (2015). Técnicas y herramientas para realizar un diagnóstico comunitario.

Batllori, G. A. (2001). Los problemas ambientales del estado de Morelos: la educación como parte de la solución. Gaceta Ecológica(61), 47-60.

Batllori, G. A. (2004). LAS BARRANCAS DE MORELOS. ENFOQUE EDUCATIVO

PARA UN CAMBIO DE COMPORTAMIENTO DE LOS

MORADORES., 25.

Batllori, G. A. (2009). EDUCACIÓN AMBIENTAL PARA EL SANEAMIENTO Y MANEJO DE LAS BARRANCAS. EL CASO DE LA BARRANCA DEL TECOLOTE EN CUERNAVACA, MORELOS.

Benavides, A. R. (2011). Calidad de vida, calidad ambiental y sustentabilidad como conceptos urbanos complementarios. Fermentum. Revista Venezolana de Sociología y Antropología, 21(61), 176-207.

Bonilla, L. B. E. (2007). Impacto, impacto social y evaluación del impacto.

Calvente, A. (2007). El concepto moderno de sustentabilidad. Universidad Abierta Interamericana, 3, 1-7.

Cifuentes Sandoval, G. E. (2008). El medio ambiente Un concepto jurídico indeterminado en Colombia.

Díaz, M. (2021). Contaminación en barrancas.

Espigares García, M. y. P. L., J. A. (1985). Aguas Residuales.Composición.

Espinoza, G. (2001). Fundamentos de evaluación de impacto ambiental. Banco Interamericano De Desarrollo–Bid. Centro De Estudios Para El Desarrollo–Ced Santiago–Chile.

Fernández-Vítora, V. C., Ripoll, V. C., Ripoll, L. A. C., & Garro, V. R. (1997). Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental: Mundi-prensa.

- García, B. R. (2013). La disputa por el territorio y su ordenamiento en Cuernavaca (segunda parte). *Cultura y representaciones sociales*, 7(14), 67-99.
- González Salazar, I. G. L. H., Maritza; Monks, Scott; Pulido Flores, Griselda. (2015). Presencia de metales pesados en la Reserva de la Biosfera Barranca de Metzititlán, Hidalgo, México.
- Hajek, E. R. (1990). El medio ambiente y la interdisciplina. Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago. Años, 90.
- Jaramillo, M. F. G., Zurita J; Flores, Armilla V. (2018). Plan para el manejo integral del sistema del sistema de barrancas del norponiente de morelos.
- Martearena, M. J. (2016). Puesta en valor e integración a la oferta turística provincial de la Reserva Municipal Natural y cultural de Barrancas (departamento cochinocha, Jujuy, Argentina).
- Millán Barrera, C., & Aguilar Chávez, A. (2011). Plan estratégico de la recuperación de la barranca de Amanalco: diagnóstico ambiental e identificación de problemas, estrategias, objetivos, acciones y proyectos prioritarios.
- Mora, L. V. (2013). Dimensión ambiental, desarrollo sostenible y sostenibilidad ambiental del desarrollo. Paper presented at the Eleventh LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI'2013) "Innovation in Engineering, Technology and Education for Competitiveness and Prosperity" August.
- Morales, E. H. (2017). Sustentabilidad y tecnología verde.
- Muñoz Eugenio Camacho; Contreras Alfonso López; Molero Mariano Meneses. (2018). Ingeniería del medio ambiente: Editorial UNED.
- Pacheco, V. G. G., Sonia Emilia Silva; Bravo, Edith Chaves; Pérez, María Teresa Zayas; Vega, Rosalía Castelán. (2020). Las barrancas de la ciudad de Puebla, México: un recurso desaprovechado en una urbe con déficit de áreas verdes. *Interciencia*, 45(2), 110-116.
- Pareto, V. (1848). Diagrama de Pareto.
- Ponce, G. I. (2016). Plan de uso público para la propuesta de creación de la reserva provincial de uso múltiple, Unión de los Ríos, Loteo Villa Santa Eugenia, Departamento Río IV, Provincia de Córdoba.
- Quiroga, F. G., & Soria, J. A. (2014). Los corredores ecológicos y su importancia ambiental: Propuestas de actuación para fomentar la permeabilidad y conectividad aplicadas al entorno del río Cardeña (Ávila y Segovia)/The ecological corridors and their environmental importance: Action proposals to promote permeability and connectivity applied to the Cardeña river surroundings (Ávila and Segovia). *Observatorio medioambiental*, 17, 253.
- Rodríguez Cuaqueva, J. (2007). Duía Elaboración de Diagnósticos.
- Roldán, P. N. (2017).
- Sánchez, L. E. (2011). Evaluación de impacto ambiental. Conceptos y métodos. Bogotá: Eco Ediciones, 22.
- Valenzuela, L. (2000). Diagrama de Ishikawa. Santiago de Chile, Chile: UNAB.
- Vargas, H. J. G., & Cervantes Jovanna Nathalie Guzmán; García Elba Lizbeth Guerra. (2019). La Barranca del Río Santiago como atractivo turístico y ecoturístico para la marca ciudad, Guadalajara Guadalajara, enfocado a un turismo nacional. *Revista interamericana de ambiente y turismo*, 15(2), 130-147.

Servicios ambientales o ecosistémicos, esenciales para la vida | Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales | Gobierno | gob.mx (www.gob.mx)

Dellavedoca, María Gabriela. (2011) GUIA METODOLÓGICA PARA LA ELABORACION DE UNA EVALUACION DE IMPACTO AMBIENTA

Adame Galván, Marcela Eliana. "PLAN DE REHABILITACIÓN URBANO-ECOLÓGICA DE ÁREAS CONTIGUAS AL ESTERO SALADO. PROPUESTA PARA EL SECTOR NOROESTE DE PUERTO LISA DE GUAYAQUIL." 2015-2016.

Méndez Olivares, María Elena & Reyes Librero, Mariana (2019) ESTRATEGIAS DE GESTIÓN AMBIENTAL PARA LA REHABILITACIÓN DE LA BARRANCATECOMALATLA EN LA LOCALIDAD DE SANTIAGO ACATLÁN

Del Pezo Loaiza, N. R. (2019). Tesis. Recuperado a partir de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/39596>

Chaux, Alcides. (2021). El diseño de estudios observacionales.

Arriola Luis; Orozco Carmen; Franch Ivan. (2022) "Cuantificación de la visibilidad del paisaje en las barrancas de Cuernavaca, Morelos - México. Antecedentes geohistóricos y planeación urbana". Revista Colombiana de Geografía

Guia Para La Elaboración e Interpretación de La MATRIZ de LEOPOLD - [PDF Document] (documents.net)

Ortiz, B., Cano, F., & de Miranda, T. A. (2015). Desarrollo de una metodología sencilla para establecer la presencia de coliformes en agua de consumo humano y su correlación con el método de fermentación de tubos múltiples (NMP). Revista Científica de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, 13(1).

AAPHA-AEEA-WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Edition. 2005, pp. 9-66 9222D

Secretaría de Gobernación. (Primera Sección) DIARIO OFICIAL Lunes 13 de diciembre de 1999

N. W. Osorio. Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín. Manejo Integral del Suelo y Nutrición Vegetal. Volumen 1 No 4. (2012)

Belén Godoy, Romina (2021). Centro Universitario de Estudios Medioambientales.

Gamez Yoshihara, Mauricio (2015). "Oxígeno disuelto en agua".

Arreazola, Laura (2016). Contaminación de barrancas y ríos amenaza para la calidad del agua.

Duran Mera, Bryan Esteven. (2022). Artículo científico. UNIVERSIDAD ESTATAL DEL SUR DE MANABÍ FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y DE

AGRICULTURA. "FITORREMEDIACIÓN CON ESPECIE MACRÓFITA EICHHORNIA CRASSIPES EN AGUA RESIDUAL DEL CANTÓN JIPIJAPA

Marín-Muñoz, J. L. (2018). HUMEDALES CONSTRUIDOS EN MÉXICO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, PRODUCCION DE PLANTAS ORNAMENTALES Y REUSO DEL AGUA. *Agro Productividad*, 10(5).

Verma, R., & Suthar, S. (2015). Lead and cadmium removal from water using duckweed - *Lemna gibba* L.: Impact of pH and initial metal load. *Alexandria Engineering Journal*, 54(4), 1297–1304. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2015.09.014>

Delgadillo-López, A., González-Ramírez, C., Prieto-García, F., Villagómez-Ibarra, J., & Acevedo-Sandoval, O. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14, 597–612. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-04622011000200002

Montes Mats, G. M., & Monroy Ortiz, R. (2022). Entre hedores fecales urbanos, miseria y enfermedades intestinales en Cuernavaca. *ANUARIO DE ESPACIOS URBANOS, HISTORIA, CULTURA Y DISEÑO*, (29), 129–146. <https://doi.org/10.24275/GRUE5729>

INEGI. (2010). Red hidrográfica Escala 1:50 000. Edición 2.0. Subcuenca hidrográfica RH18Fe R. Apatlaco. Cuenca R. Grande de Amacuzac. RH Balsas. <https://www.inegi.org.mx/temas/hidrografia/default.html#Descargas>

INEGI. (2020). Censos y conteos de población y vivienda. Principales resultados por AGEB y manzana urbana. Consultado el 1 de marzo de 2022. <https://www.inegi.org.mx/datosabiertos/>

Davis, M. (2006). *Planeta de ciudades miseria*. José María Amoroto Salido (trad.). España: FOCA.

Montes-Mata, G. M. & Monroy-Ortiz, R. (2020). Ravines of Eternal Spring the Second Drainage System of Cuernavaca. In E. Otazo-Sánchez, A. Navarro-Frómata, V. Singh (eds.), *Water Availability and Management in México*. Water Science and Technology Library

LEON, R. et al. Potencial de plantas acuáticas para la remoción de coliformes totales y *Escherichia coli* en aguas servidas. *Enfoque UTE* [online]. 2018, vol.9, n.4, pp.131-144. ISSN 1390-6542. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v9n4.286>.

Zuo, Y., Zhang, K., Deng, Y., 2006. Occurrence and Photochemical Degradation of 17 α -ethinylestradiol in Acushnet River Estuary, vol. 63, pp. 1583e1590. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.08.063>.

ANEXOS:

Anexo 1. Sólidos disueltos totales (SDT), Sólidos suspendidos totales (SST), Sólidos totales (ST).

Para la medición de los sólidos en agua el trabajo de tesis se apoyó del procedimiento que muestra la Norma Mexicana NMX-AA-034-SCFI-2015.

La norma mexicana NMX-AA-034-SCFI-2015 plantea que el principio de este método se basa en la medición cuantitativa de los sólidos y sólidos disueltos, así como la cantidad de materia orgánica contenidos en aguas naturales, residuales y residuales tratadas, mediante la evaporación y calcinación de la muestra filtrada o no, en su caso, a temperaturas específicas, en donde los residuos son pesados y sirven de base para el cálculo del contenido de estos.

Procedimiento:

Preparación de cápsulas

1. Introducir las cápsulas al horno (ver imagen 24) a una temperatura de $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, 20 min como mínimo. Únicamente en el caso de la medición de sólidos volátiles, las cápsulas posteriormente se introducen a la mufla a una temperatura de $550\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 50\text{ }^{\circ}\text{C}$, durante 20 min como mínimo. Después de este tiempo transferirlas al horno.
2. Trasladar la cápsula al desecador y dejar enfriar por 20 min como mínimo.

NOTA 3: El manejo de la cápsula durante el análisis, debe realizarse en todo momento con las pinzas.

3. Pesar las cápsulas y repetir el ciclo horno-dsecador hasta obtener una diferencia $\leq 0,0005\text{ g}$ en dos pesadas consecutivas. Registrar como m1 considerando para los cálculos el último valor de la masa.

Preparación de dispositivo de filtración y/o soportes de secado.

1. Utilizar filtro de fibra de vidrio que adapte al dispositivo de filtración y/o secado y/o charola de aluminio, con la ayuda de unas pinzas colocarlo con la cara rugosa hacia arriba en el dispositivo de secado y/o filtración.

NOTA 4: Mojar el filtro con agua para asegurar que se adhiera perfectamente, solo en caso de utilizar crisol Gooch.

2. El soporte de secado con el filtro se introduce al horno a $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 20 min como mínimo, después de este tiempo transferirlo a un desecador.
3. Pesar el dispositivo de filtración y/o soportes de secado y repetir el ciclo horno-deseccador hasta obtener una diferencia $\leq 0,0005\text{ g}$ en dos pesadas consecutivas. Registrar como m_2 , considerando para los cálculos el último valor de la masa.

Preparación de la muestra

1. Las muestras deben estar a temperatura ambiente al realizar el análisis. Agitar las muestras para asegurar la homogeneización.
2. Se recomienda seleccionar el volumen de muestra de tal manera que el residuo seco sobre la cápsula se encuentre en un intervalo de masa de 2,5 mg a 200 mg.
3. Transferir la muestra a la cápsula previamente puesta a masa constante y evaporar a sequedad en el horno de secado a $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. En caso de utilizar placa de calentamiento llevar a casi sequedad sin llegar a ebullición de la muestra y posteriormente pasar al horno de secado a $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ para su secado total por una hora.
4. Trasladar la cápsula al desecador y dejar enfriar por 20 min como mínimo. Llevar la cápsula a masa constante repitiendo el ciclo horno-deseccador, hasta obtener una diferencia $\leq 0,0005\text{ g}$ en dos pesadas consecutivas.
5. Registrar como m_3 , la última masa obtenida.

Medición de sólidos suspendidos totales (SST)

1. Se recomienda seleccionar el volumen de muestra de acuerdo con las características de esta.
2. Homogeneizar la muestra mediante agitación vigorosa del envase, transferir de forma inmediata y en un solo paso un volumen adecuado de muestra a una probeta.

3. Filtrar la muestra: a) A través del filtro (ver imagen 25) colocado en el crisol Gooch o b) A través del filtro que es tomado de la charola de aluminio y colocado en el equipo de filtración con ayuda de unas pinzas. Enjuagar la probeta con el volumen suficiente para arrastrar los sólidos y verter en el filtro.

NOTA 6: Algunos tipos de agua contienen materiales que bloquean los poros del filtro o reducen su diámetro. Esto incrementa el tiempo de filtrado y los resultados se relacionan en función del volumen de la muestra. Si se observa tal bloqueo del filtro, deberá repetirse la medición con menor volumen. Los resultados deberán interpretarse considerando lo anterior.

Introducir el soporte de secado con el filtro al horno a $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 1 h como mínimo, en caso de usar un soporte de secado diferente al crisol Gooch retirar con cuidado el filtro del equipo de filtrado usando pinzas. Posteriormente llevar a masa constante y registrar como m_6 la masa obtenida.

Cálculos

Calcular el contenido de sólidos totales de las muestras como sigue:

$$ST = (m_3 - m_1) / V \times 1\,000\,000$$

Donde:

- 4 ST Son los sólidos totales, en mg/L;
- 5 m_3 es la masa de la cápsula con el residuo, después de la evaporación, en g;
- 6 m_1 es la masa de la cápsula vacía a masa constante, en g,
- 7 V es el volumen de muestra, en mL.

Calcular el contenido de sólidos disueltos totales (SDT) de las muestras como sigue:

$$SDT = (ST) - (SST)$$

Donde:

- SDT Son los sólidos disueltos totales, en mg/L;

- ST son los sólidos totales, en mg/L,
- SST son los sólidos suspendidos totales, en mg/L.

O bien $SDT = (m_5 - m_1) / V \times 1\,000\,000$

Donde:

- m_1 Es la masa de la cápsula vacía, en g;
- m_5 es la masa de cápsula con el residuo seco de la muestra filtrada, en g,
- V es el volumen de muestra, en mL.

Imagen 24: Horno



Fuente: (Roque, 2023)

Imagen 25: Filtrado de SST



Fuente: (Roque, 2023)

Anexo 2. Demanda Química de Oxígeno

Para la detección de la DQO existe la norma mexicana NMX-AA-030/2-SCFI-2011, la cual explica detalladamente el procedimiento y las herramientas que se utilizan durante la experimentación.

Sin embargo, en nuestro caso nos apoyamos en el uso de Kits que contienen la cantidad reactivo dosificado, así que sólo se necesita agregar una pequeña cantidad de muestra. Con los viales dosificados, el tiempo de preparación de la prueba se reduce drásticamente y no hay pérdida de tiempo en el procedimiento de preparación de los reactivos ni en la limpieza del material. Los viales y tapas de los reactivos para Demanda Química de Oxígeno (DQO) están diseñados

para evitar derrames accidentales de reactivo. Gracias a la dosificación de los reactivos, la cantidad de sustancias químicas utilizadas se minimiza, al igual que el tiempo de manipulación.

El método empleado fue el colorimétrico el cual puede cuantificar la cantidad de cromo trivalente en una muestra después de la digestión midiendo la absorbancia de la muestra a una longitud de onda de 600 nm en un fotómetro o espectrofotómetro. Alternativamente, la absorbancia de cromo hexavalente a 420 nm se puede usar para determinar la cantidad de exceso de cromo al final de la digestión para determinar los valores de DQO.

Este método es fácil y requiere solo unos pocos pasos simples.

1. Digiera sus muestras y un espacio en blanco de reactivo. (El reactivo en blanco es solo una muestra de agua desionizada que se trata de la misma manera que sus muestras reales. Incluso puede reutilizar el espacio en blanco mientras dure el lote de reactivos.)
2. Deje enfriar las muestras digeridas y en blanco.
3. Ponga a cero el instrumento utilizando el vial en blanco.
4. Leer las muestras

Anexo 3. Carbono Orgánico Total

Para la detección del Carbono Orgánico Total se empleó el principio del método colorimétrico utilizando el kit comercial HACH. Procediendo de la mismamaneira que para DQO. Tanto para el DQO como para el COT se utilizó el digestor que se muestra en la imagen 26 y posteriormente para medir los resultados obtenidos del digestor, se empleó el espectrofotómetro que aparece en la imagen 27.

Imagen 26: Digestor



Fuente: (Roque, 2023)

Imagen 27: Espectrofotómetro



Fuente: (Roque, 2023)

Anexo 4. Demanda Bioquímica de Oxígeno

Para la obtención del DBO₅, el experimento se basó en los siguientes pasos:

Paso 1: preparación de las soluciones:

Solución 1:

- a) 85 mg de Fosfato monobásico de potasio (KH₂PO₄)
- b) 217.5 mg de Fosfato dibásico de potasio (K₂HPO₄)
- c) 334 mg de Fosfato dibásico de sodio (Na₂HPO₄)
- d) 17 mg de Cloruro de amonio (NH₄Cl)

Se mezclan los 4 reactivos y se disuelven en 10ml de agua desionizada.

Solución 2:

- a) 225 mg de Sulfato de magnesio MgSO₄
- b) 275 mg de Cloruro de calcio (CaCl₂)
- c) 2.5 mg de Cloruro férrico (FeCl₃)

Se mezclan los 3 reactivos y se disuelven en 10 ml de agua desionizada.

Solución 3:

- a) 15 mg de Glucosa
- b) 15 mg de Ácido glutámico

Se mezclan los 2 reactivos y se disuelven en 100 ml de agua desionizada. Luego se agrega 1ml de cada solución al matraz de 1 L y se afora con agua desionizada.

Posteriormente se vierte a un galón y se pasa a airear por un período de una a dos horas. Pasado el tiempo se procede a agregar 305 ml de la muestra y 50 ml de la solución aireada a la botella dónde se analizará la DBO en el equipo medidor. A cada botella se le debe poner un imán y en el tapón colocar dos perlas de NaOH y cerrar la botella. Programar el equipo (ver imagen 28) a 5 días con fecha y hora.

Imagen 28: Equipo de medición de DBO



Fuente: (Roque, 2023)

Anexo 5. pH, Conductividad y Oxígeno Disuelto.

Para la medición de **pH, conductividad y oxígeno disuelto** se utilizaron directamente los equipos de medición en campo. Observe imágenes 29, 30 y 31.

Imagen 29. Equipo medición de pH.



Fuente: (Roque, 2023)

Imagen 30. Equipo medición de conductividad.



Fuente: (Roque, 2023)

Imagen 31. Equipo medición de oxígeno disuelto.



Fuente: (Roque, 2023)



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



Facultad de Ciencias
Químicas e Ingeniería

FORMATO T-2
NOMBRAMIENTO DE COMISIÓN REVISORA
Y DICTAMEN DE REVISIÓN
Cuernavaca, Mor., a 1 de febrero de 2024.

DR. HUGO ALBEIRO SALDARRIAGA NOREÑA
MTRA. ELIZABETH MILLÁN BENÍTEZ
DRA. VALERI DOMÍNGUEZ VILLEGAS
DR. JESÚS MARIO COLÍN DE LA CRUZ
DRA. JESÚS DEL CARMEN PERALTA ABARCA
P R E S E N T E

Por este conducto, me permito informarle que ha sido asignado como integrante de la comisión revisora de la tesis que presenta SHEILA ROQUE GONZÁLEZ, titulada: Fitorremediación de la bacteria *E. coli* mediante la planta acuática *Lemna minor* como solución para la contaminación en la barranca Amanalco, realizada bajo la dirección del Dra. Jesús del Carmen Peralta Abarca del Programa Educativo de Maestría en Ingeniería Ambiental y Tecnologías Sustentables. Agradezco su valiosa participación en esta Comisión y quedo a sus órdenes para cualquier aclaración o duda al respecto.

A T E N T A M E N T E
Por una humanidad culta

MTRA. ANGÉLICA GALINDO FLORES
DIRECTORA INTERINA

D I C T A M E N

MTRA. ANGÉLICA GALINDO FLORES
ENCARGADA DE DESPACHO DE LA DIRECCIÓN
P R E S E N T E

En respuesta a su amable solicitud para formar parte de la Comisión Revisora de la tesis mencionada y una vez realizada la revisión correspondiente, me permito informarle que mi VOTO es:

DICTAMEN

NOMBRE	VOTO	FIRMA
DR. HUGO ALBEIRO SALDARRIAGA NOREÑA	APROBADO	
MTRA. ELIZABETH MILLÁN BENÍTEZ	APROBADO	
DRA. VALERI DOMÍNGUEZ VILLEGAS	APROBADO	
DR. JESÚS MARIO COLÍN DE LA CRUZ	APROBADO	
DRA. JESÚS DEL CARMEN PERALTA ABARCA	APROBADO	

Se anexan firmas electrónicas



Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

ANGELICA GALINDO FLORES | Fecha:2024-02-02 14:01:24 | Firmante

iW51KjWQE9cstoRwiJY+gSaSiYL4v1SE7lfruCPLtDqSYueMpjulaERRRzGfNsBb9xUbYbpWlaYuZjC+VY0QQ1//rW7jogDhwnkmaSnPJhWWo6kaZnnbGy/BBqzah+QdmM4oZh/LdzTlwREzfeHMqOxawlGPgax9MMveTMZsGteqq+kIVgzRwzbxZauv48ztSsavGNyAUNDkZ4eNixSGZJA+WH1RNIX9TxsjERUfH7FqitaHqAL+rnz4D4vMhKIR90xup2G1HkiZ8Mj4oqeQf7qlzWHUcspI/C0M/miw13HfHijl20ApjU14wjsZmfhARGbGmlpEgX4HZ4OhsHz4Q==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[GA5ZljPqe](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/i90WqDilxmHmAxx8Ka6fz0x7Q3XOXlvc>



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

HUGO ALBEIRO SALDARRIAGA NOREÑA | Fecha:2024-02-06 11:31:08 | Firmante

sgbFMkPz9QZrp4Lqhqh17GDTPVhgz+LawlAszfUgO2Xsv1ntJGpm9wUwN6wclVEh++dylBo0Wnsv8AZ1Qgv3IA8D53I9Y5pCFcVWPtiSR/J8FrokHpkx851VBK4PmHmCc6+q5XDFAHqjz7jFwBgfSPGxV0c4AP/moQ4nHiNAoTd+LwzSPoSvxC4WfbhDqBg7qmERKDDa8cZcTj6oo97JXcCOB9UWLx3nWYNYAl40jV857uwuO8OuxLlv/lmTCEHF8TAvSsalaOB/pjelbdBZ+hdpca15gFoAYpqt5TT18MCUYWysTqFa2tFKnCX61m4GF6PECTn2P7y/sCanASJQ==

JESUS DEL CARMEN PERALTA ABARCA | Fecha:2024-02-08 13:33:35 | Firmante

rS/Ejji5KURr/aKssXFTTd72lidsu5pQ6TWJfokJoDkSAxertAXj8yi6SXmb069vg/HHP1yoCcaipKAN85LUmTgT5EVkcTqmPnUA+sbIHDU4PRf/NtLITZKv/HRZD/2R33DSfYDyD/TBsqulFsvTYI70r5T/sZfbGPtzRlrdcxRay+YHJw7P8dnvDE64eQuTBdvmO+aq+Kb7XgUnrQOU0zBk5JMj9Ntn4PlhzKQafOdh2QyW64z0Tr4Gw6/RC+57cf1eNm1laCb00YLYawalAliQMCDTE2g31T8TpQKSfBMWkiJB6EgDW3R6GttKU3aiju7kvT7DUckFvMDt9nw==

ELIZABETH MILLAN BENITEZ | Fecha:2024-02-08 13:45:05 | Firmante

mlbU3u5OPVDTumG+lfHvNKgwobe4tyKY9qArqm0kb48/e7uvj04U6z9ptJbWw6LMQb4SJOZfH+QEmXnsGa71UW8MAIFnt6uAhbMAxdjK+Dm6kXx7cAllVGPepm/uQ7S6vQqnk1r1lhtJSf8/odtt2nthvCElon/3eXG27FYXBdTOAQD97PojcaSWYOMkLDYK4ZR3o1+gdRjuOhmRGKXF7qjNj62Gp0OAJWhnNdefSIFEX5V11rqXtOjfdRI9TzA4odL6xGWEz6zK+i6qISsOyOgj945xR1WgXJxno1DiplOfG5z6TUm7OYVenlbSkbpMtr2IHUOdHghzF0i1Gy8w==

JESUS MARIO COLIN DE LA CRUZ | Fecha:2024-02-08 19:23:04 | Firmante

degYifaEUiqiX0+uhNk1FZ2F+9j8ZDgs1/ZTkQWmfrvImCmSrngjZ4fQ/RCCHM3HnSqeO6NsJ/iVlNNqAdJdCnNvHvoF/aRJ1NgyMGJy8Pj0ldZ0v5w/xdwg7aj/gc087ZGCyypNPXj2TiF2CDaDlkWcYrRaN62m8/O8AjYZqr4eC5UjBBWBXhKZaQ4szEbb6E7kcYxkk+X0MVlo0bKndC5YDfvBu20qPJ8N5nunYJl9kkgWRo+nJuxqV8jrrlPcyjo5E63oyyi8dx7C73rPhljyIfEmpc3lo3BaTYQ7ou51kqZ5UXeEhrSWOWrENxkVjyZp9XmowLOU7E8jbhikA==

VALERI DOMINGUEZ VILLEGAS | Fecha:2024-02-09 08:19:29 | Firmante

neL3T5yXUpIjACJF0lPfk+Eck7DKeh3ReXJCUYgw6+TAF2arpYbrW3pDq1vyMMZ0tEGngG92wf/Ul5oSLn+acsgX05c5A3SwagMne+67pkZ+YUDiJJ4kUc5i9SydWLRqdbpgcheliGNC2oVOKF4A8iE+L756WCezGJgUEF1+M9TNEiUCDo+Yzl3AvZKZew5feQueCCffJam04upSa9sAIX1mpRuuyfdHDGd05lNnvi/jla6/e6NX4mFdd5ep6zxQ25CUTokPF6dzY2ImD7jO7hxsTUHfJk39sMHJqUBx4HoLZ/FRInJMofru4y+DmgeExdljrv/RyaChfZEZu/ndw==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



JzAbRcB0p

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/LXGS3zSxshK64UpYgsSj0mZCvVP75c0e>



UAEM
RECTORÍA
2023-2029