



**SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA  
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MEXICO  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RÍO  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

**TESIS**

**“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS SEDIMENTOS SUPERFICIALES Y SU RELACIÓN  
CON LAS FUENTES PUNTUALES DE CONTAMINACIÓN EN LA RESERVA ECOLÓGICA  
ARROYO MORENO”**

**QUE COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

**PRESENTA**

**ERIKA MICHELL CAZARÍN LUNA**

**DIRECTOR DE TESIS**

**DRA. ITZEL GALAVIZ VILLA**

**ASESORES**

**DR. ARTURO GARCÍA SALDAÑA**

**DRA. VIRGINIA ALCÁNTARA MÉNDEZ**

**BOCA DEL RÍO, VER., SEPTIEMBRE 2022.**



Boca del Río, Ver **4/OCTUBRE/2022**

ASUNTO: AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

**C. ERIKA MICHELL CAZARÍN LUNA  
PASANTE DEL PROGRAMA MAESTRÍA EN  
CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL  
PRESENTE**

De acuerdo con el fallo emitido por los integrantes del Comité Revisor de la TESIS PARA OBTENCIÓN DE GRADO, desarrollada por usted cuyo título es:

**“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS SEDIMENTOS SUPERFICIALES Y SU RELACIÓN CON LAS FUENTES PUNTUALES DE CONTAMINACIÓN EN LA RESERVA ECOLÓGICA ARROYO MORENO”**

Esta División de Estudios de Posgrado e Investigación le concede AUTORIZACIÓN para que proceda a su impresión.

ATENTAMENTE

*Excelencia en Educación Tecnológica®  
Por nuestros mares responderemos*

DR. JUAN DAVID GARAY MARIN  
JEFE DE LA DIVISION DE ESTUDIOS DE  
POSGRADO E INVESTIGACIÓN



c.c.p. Coordinación del Programa MCIAMB  
c.c.p. Expediente





### ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

**Número Registro: A-01204-110221**

En la ciudad de Boca del Río, Ver., siendo las 11:00 horas del día 13 del mes de octubre de 2022 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Consejo del Posgrado de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental del ITBOCA, para examinar la Tesis de Grado titulada:

**“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS SEDIMENTOS SUPERFICIALES Y SU RELACIÓN CON LAS FUENTES PUNTUALES DE CONTAMINACIÓN EN LA RESERVA ECOLÓGICA ARROYO MORENO”**

Que presenta el (la) alumno(a):

**ERIKA MICHELL CAZARÍN LUNA**  
Aspirante al Grado de:  
**Maestro en Ciencias en Ingeniería Ambiental**

Después de escuchar las opiniones sobre el documento escrito e intercambiar puntos de vista, los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACIÓN**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes para su defensa ante el jurado correspondiente.

#### LA COMISIÓN REVISORA:

  
\_\_\_\_\_  
DRA. ITZEL GALAVIZ VILLA  
Director

  
\_\_\_\_\_  
DR. ARTURO GARCÍA SALDAÑA  
Asesor

  
\_\_\_\_\_  
DRA. VIRGINIA ALCANTARA MENDEZ  
Co-Director

  
\_\_\_\_\_  
DRA. ROCIO DE GUADALUPE BERNAL  
RAMIREZ  
Asesor



**H. CONSEJO DE POSGRADO**  
**PROGRAMA DE POSGRADO MAESTRIA EN CIENCIAS EN INGENIERIA AMBIENTAL**  
**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO/ INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RÍO**  
**PRESENTE**

En la Ciudad de Veracruz, Veracruz a los 10 días del mes octubre de 2022. El que suscribe Erika Michell Cazarín Luna por mi propio derecho y en calidad de autor de la tesis titulada: “EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS SEDIMENTOS SUPERFICIALES Y SU RELACIÓN CON LAS FUENTES PUNTUALES DE CONTAMINACIÓN EN LA RESERVA ECOLÓGICA ARROYO MORENO (en lo sucesivo la “TESIS”) manifiesto que cedo a título gratuito la totalidad de los derechos patrimoniales de autor que sobre ella me corresponden, a favor del Tecnológico Nacional de México (en lo sucesivo el “TecNM”). Lo anterior en términos de los antecedentes y consideraciones siguientes:

- I. Que la presente cesión de derechos de la “TESIS” se transfiere en virtud de lo estipulado en los establecido en los Lineamientos para la Operación de los Estudios de Posgrado en el Tecnológico Nacional de México, sin reservarme acción legal de ningún tipo.
- II. Manifiesto bajo protesta de decir verdad, que la “TESIS” es original, inédita y propia, no existiendo impedimento de ninguna naturaleza para la cesión de derechos que se está haciendo, respondiendo además por cualquier acción de reivindicación, plagio u otra clase de reclamación que al respecto pudiera sobrevenir.
- III. Que la titularidad de derechos de autor de la “TESIS” en términos del artículo 27 de la Ley Federal del Derecho de Autor (reproducción, en todas sus modalidades, transformación o adaptación, comunicación pública, distribución y en general cualquier tipo de explotación que de la “TESIS” se pueda realizar por cualquier medio conocido o por conocer, son propiedad única y exclusiva del “TecNM”, adquiriendo el derecho de reproducción en todas sus modalidades, el derecho de transformación o adaptación, comunicación pública, distribución y en general cualquier tipo de uso que de la “TESIS” se pueda realizar por cualquier medio conocido o por conocer. La cesión de derechos se realiza con carácter permanente e irrevocable.
- IV. El TecNM podrá exhibir la “TESIS” a través de cualquier medio, en cualquier parte del mundo, incluso ser modificada, comprendida, traducida y de cualquier forma explotada en su totalidad o parcialidad.
- V. Que no he otorgado, ni otorgaré por ningún motivo, consentimiento alguno para la utilización de la “TESIS” por cualquier medio y su materialización en productos o servicios de cualquier naturaleza, a favor de ninguna persona física o moral, distinta a el “TecNM”.





Instituto Tecnológico de Boca del Río

VI. Estoy enterado del contenido y alcance legal de la presente cesión de derechos, firmando al final del presente documento para su certificación.

Señalo como correo electrónico para recibir futuras notificaciones: m20990420@tecnm.mx.

Agradeciendo de antemano sus atenciones, le envío un cordial saludo

**ATENTAMENTE**

Erika Michell Cazarín Luna

NOMBRE Y FIRMA DEL ESTUDIANTE MAESTRIA

c.c.p. Archivo



Km. 12 Carretera Veracruz-Córdoba, Boca del Río, Ver. C.P. 94290.  
Tel. (229) 690 5010 dir01\_bdelrio@tecnm.mx | tecnm.mx | bdelrio.tecnm.mx



**2022 Flores**  
Año de Magón  
PRECURSOR DE LA REVOLUCIÓN MEXICANA

## RESUMEN

La reserva ecológica Arroyo Moreno ubicada en el estado de Veracruz, pertenece a la cuenca del río Jamapa; su desembocadura se encuentra en los límites de los municipios de Boca del Río y Alvarado. Es un ecosistema que provee beneficios ambientales y económicos, sin embargo; el arroyo ha sido impactado por las actividades humanas, perdiendo gran parte de su extensión total en los últimos años.

El presente trabajo tiene por objetivo asociar el origen de las fuentes puntuales de contaminación (FPC) con las concentraciones de materia orgánica (MO), nitrógeno total (NT) y fósforo total (PT) en los sedimentos superficiales de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno. Se realizaron tres muestreos, en temporada de lluvias, nortes y estiaje. El porcentaje de MO más elevado se presentó durante la temporada de lluvias, fluctuando entre 4.99 y 20.48 %. Durante la temporada de nortes se observaron variaciones entre 2.84 y 16.99 %; y en temporada de estiaje de 3.3 y 12.99 %. Para el fósforo se registraron concentraciones entre 0.30 y 0.84 mg/g durante la temporada de estiaje, un rango entre 0.38 y 0.89 mg/g en la temporada de nortes y 0.45 y 0.90 mg/g en la temporada de lluvias y para el nitrógeno total se observaron concentraciones entre 0.70 y 2.40 mg/g durante la temporada de lluvias, en la temporada de nortes se registraron concentraciones entre 0.20 y 2.8 mg/g, finalmente, en la temporada de estiaje se registraron valores entre 0.001 y 3.40 mg/g. Para establecer la relación entre materia orgánica de los sedimentos superficiales de la reserva natural "Arroyo Moreno", y la concentración reportada en la literatura de acuerdo con el tipo de agua residual, se empleó un análisis de comparación de medias (Kruskal Wallis) y, una prueba de las medianas para muestras independiente ( $\alpha = 0.05$ ). La mayoría de los sitios de muestreo corresponden a ambas clasificaciones de aguas residuales (urbanas e industriales) a excepción del sitio de muestreo P2, el cual en temporada de nortes el contenido de materia orgánica corresponde a la clasificación de aguas residuales urbanas.

## ABSTRACT

The Arroyo Moreno ecological reserve located in the state of Veracruz, belongs to the Jamapa river basin; its mouth is in the limits of the municipalities of Boca del Río and Alvarado. It is an ecosystem that provides environmental and economic benefits, however; the creek has been impacted by human activities, losing much of its total length in recent years.

The objective of this work is to associate the origin of the point sources of contamination (FPC) with the concentrations of organic matter (OM), total nitrogen (NT) and total phosphorus (PT) in the surface sediments of the Arroyo Moreno Ecological Reserve. Three samplings were carried out, in the rainy season, north and dry season. The highest OM percentage occurred during the rainy season, fluctuating between 4.99 and 20.48%. During the nortes season, variations between 2.84 and 16.99% were observed; and in the dry season of 3.3 and 12.99%. For phosphorus, concentrations between 0.30 and 0.84 mg/g were recorded during the dry season, a range between 0.38 and 0.89 mg/g in the north season and 0.45 and 0.90 mg/g in the rainy season, and for total nitrogen concentrations between 0.07 and 2.40 mg/g were observed during the rainy season, in the northern season concentrations between 0.2 and 2.8 mg/g were recorded, finally, in the dry season values between 0.001 and 3.40 mg/g were recorded. To establish the relationship between organic matter in the surface sediments of the "Arroyo Moreno" nature reserve, and the concentration reported in the literature according to the type of wastewater, a mean comparison analysis (Kruskall Wallis) was used and, a median test for independent samples ( $\alpha = 0.05$ ). Most of the sampling sites correspond to both classifications of wastewater (urban and industrial) with the exception of sampling site P2, which in the northern season, the content of organic matter corresponds to the classification of urban wastewater.

## **DEDICATORIAS**

A mis padres por el apoyo y mi esposo por estar en cada momento siendo apoyo y motivación a lo largo de estos años de estudio.



## **AGRADECIMIENTOS**

Al TecNM por el financiamiento otorgado al proyecto “Evaluación de la calidad de los sedimentos superficiales y su relación con las fuentes puntuales de contaminación en el área Natural Protegida Arroyo Moreno” No. 14867.22-P, en su convocatoria 2022 Proyectos de Investigación Científica

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>2. MARCO TEORÍCO Y CONCEPTUAL</b> .....	<b>3</b>
2.1. Características de los sedimentos .....	3
2.1.1. Teoría del transporte de sedimentos.....	3
2.1.2. Erosión y transporte de sedimentos.....	4
2.1.3. Depósito de sedimentos .....	5
2.2. Propiedades de los sedimentos.....	5
2.3. Composición de sedimentos marinos .....	5
2.4. Textura del suelo.....	6
2.5. Suelo y sedimentos .....	6
2.6. Contaminación de sedimentos .....	7
2.7. Contaminación del agua.....	7
2.7.1. Contaminantes .....	8
2.7.2. Efectos en la salud humana.....	9
2.7.3. Fuentes de contaminación.....	9
2.8. Aguas residuales.....	12
2.9. Nutrientes en ecosistemas acuáticos .....	14
2.9.1. Fósforo .....	15
2.9.2. Nitrógeno.....	17
2.9.3. Carbono.....	21
2.9.4. Materia orgánica.....	22
2.11. Reserva Natural Arroyo Moreno .....	25
2.11.1. Clima .....	26
2.11.2. Hidrología .....	26
2.11.3. Suelo .....	26
2.11.4. Temporalidad.....	27
2.11.5. Flora .....	27
2.12. Importancia económica, social y ambiental .....	27
2.13. Contaminación .....	29
<b>3. MARCO DE REFERENCIA</b> .....	<b>30</b>
3.1. Lugar de estudio.....	30
3.1.1. Boca del Río.....	30

3.1.2.	Medellín.....	31
3.2.	Antecedentes .....	31
3.3.	Situación problemática .....	31
3.4.	Planteamiento del problema .....	32
3.5.	Pregunta de investigación .....	33
3.6.	Justificación.....	33
<b>4.</b>	<b>HIPÓTESIS .....</b>	<b>34</b>
<b>5.</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>34</b>
5.1.	General .....	34
5.2.	Particulares .....	34
<b>6.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>35</b>
6.1.1.	Selección de sitios de monitoreo .....	35
6.1.2.	Periodicidad del monitoreo .....	36
6.2.	Recolección de muestras y análisis de laboratorio .....	36
6.2.1.	Recolección de las muestras .....	36
6.2.2.	Análisis de laboratorio .....	36
6.2.3.	Granulometría de sedimentos.....	37
6.2.4.	Determinación de nitrógeno (N).....	37
6.2.5.	Determinación de fósforo (P) .....	38
6.2.6.	Determinación de materia orgánica (MO) .....	38
6.3.	Análisis estadístico.....	39
<b>7.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIONES .....</b>	<b>40</b>
7.1.	Granulometría de sedimentos .....	40
7.2.	Materia orgánica.....	41
7.3.	Fósforo total .....	44
7.4.	Nitrógeno total .....	47
<b>8.</b>	<b>CONCLUSIÓN.....</b>	<b>51</b>
<b>9.</b>	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>52</b>
<b>10.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>61</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Clasificación USDA del tamaño de partículas del suelo (Yolcubal et al., 2004).....	6
Cuadro 2. Concentraciones de materia orgánica reportadas en la literatura empleadas para clasificar la fuente puntual de contaminación.....	10
Cuadro 3. Principales contaminantes y su fuente (Escobar, 2002). ....	11
Cuadro 4. Composición de las aguas residuales domésticas (Fonfría et al., 1989).....	14
Cuadro 5. Servicios ambientales de los ecosistemas acuáticos costeros de acuerdo con su valor estimado (Escobar, 2002).....	28
Cuadro 6. Ubicación de los sitios de monitoreo de sedimentos superficiales en la reserva Natural Arroyo Moreno .....	36
Cuadro 7. Valores de referencia de la concentración de nutrientes en aguas residuales urbanas e industriales.....	39
Cuadro 8. Estadística descriptiva de la granulometría de los sedimentos superficiales.....	40
Cuadro 9. Estadística descriptiva de las concentraciones de materia orgánica en sedimentos superficiales por temporada, en los sitios de muestreo contemplados.....	43
Cuadro 10. Estadística descriptiva de las concentraciones de fósforo total por temporada, en sedimentos superficiales del área de estudio .....	45
Cuadro 11. Calidad de sedimentos para nutrientes (Persaud et al., 1993).....	46
Cuadro 12. Estadística descriptiva de las concentraciones de nitrógeno total (NT) en sedimentos superficiales del área de estudio por temporada climática.....	48
Cuadro 13. Clasificación de los efectos del NT presentes en sedimentos (Persaud et al., 1993).....	50

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Descarga de aguas residual domesticas en Arroyo Moreno.....	12
Figura 2. Vertimiento de aguas residuales industriales en Arroyo Moreno....	13
Figura 3. Formas de nitrógeno.....	20
Figura 4. Ciclo del nitrógeno (Ottos, 2015).....	21
Figura 5. Componentes del suelo (Soto, 2003).....	23
Figura 6. Cuenca del Río Jamapa (Pereyra et al., 2010).....	25
Figura 7. Reserva Natural Arroyo Moreno (CONABIO-SEMAR y Acosta, 2008).....	25
Figura 8. Ubicación del área de estudio Área Natural Protegida Arroyo Moreno.....	30
Figura 9. Ubicación de los sitios de monitoreo en la Reserva Natural Arroyo Moreno .....	35
Figura 10. Porcentaje de MO por temporada y sitio de muestro en la zona de estudio. Las líneas horizontales denotan los valores teóricos de AR-U y AR-I.....	42
Figura 11. Comparación entre sitios de muestreo. Cada nodo muestra el rango promedio de muestras del sitio.....	43
Figura 12. Porcentaje de PT por temporada y sitio de muestro en la zona de estudio. Las líneas horizontales denotan los valores teóricos de AR-U y AR-I.....	46
Figura 13. Comparación entre sitios de muestreo. Cada nodo muestra el rango promedio de muestras del sitio.....	47
Figura 14. Porcentaje de NT por temporada y sitio de muestro en la zona de estudio. Las líneas horizontales denotan los valores teóricos de AR-U y AR-I.....	49
Figura 15. Comparación entre sitios de muestreo. Cada nodo muestra el rango promedio de muestras del sitio.....	49

## 1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, la contaminación de ecosistemas acuáticos es uno de los principales problemas ambientales en los últimos años (Olguín et al., 2010). Esto ha sido generado a causa de la presión antrópica sobre los ecosistemas costeros y del vertimiento de desechos urbanos e industriales (Canedo et al., 2014; Liu et al., 2006).

El estado de Veracruz se caracteriza por disponer de abundantes recursos hídricos en comparación con otros estados del país. La mayor parte de los ríos que cruzan con las poblaciones principales del estado reciben descargas de aguas residuales domésticas e industriales (Torres et al., 2013). A pesar de que los ecosistemas acuáticos tienen la capacidad de reciclar los contaminantes de manera natural; la influencia antrópica altera los ciclos biogeoquímicos aumentando las concentraciones de nutrientes y contaminantes, generando problemas de eutrofización, destrucción de ecosistemas y daños a la salud humana (Torres et al., 2013). Los sedimentos almacenan información de la evolución del ecosistema en el que se encuentran y de las modificaciones que se generan a consecuencia de las actividades humanas (Díaz et al., 2014; Liu et al., 2006). Indicadores ambientales como algunos contaminantes o el cambio de uso de suelo, quedan registrados en los sedimentos (Díaz et al., 2014). Si el sedimento acumulado no sufre de erosión, mezclado físico o bioturbación, la columna sedimentaria puede comportarse como un registro de cambios generados en el ecosistema acuático a través del tiempo (Díaz et al., 2014). Debido a esto, los sedimentos pueden ser un medio de contaminación en las masas de agua, alterando el equilibrio ecológico y los ciclos biogeoquímicos que ocurren en los ecosistemas acuáticos (Canedo et al., 2014).

Los desechos urbanos como las aguas residuales; pueden ser de tipo físico, químico o biológico. De los principales constituyentes en el tratamiento de aguas residuales son los elementos inorgánicos disueltos, metales pesados, nutrientes y patógenos (Teixeira, Sánchez, Gebara, Dall'Aglio, y Matsumoto, 2013).

Los nutrientes principales para el crecimiento y reproducción de plantas y animales se encuentra el carbono, nitrógeno, fósforo, calcio, hierro, entre otros (Teixeira et al., 2013).

El enriquecimiento de nutrientes como nitrógeno y fósforo en las aguas superficiales generalmente resulta en la aparición de floraciones de algas nocivas, deterioro de la calidad del agua, entre otros problemas ambientales y de salud humana (Yang et al., 2017).

El Área Natural Protegida Arroyo Moreno pertenece a la cuenca del río Jamapa, incluyendo al río Cotaxtla; cuenta con un área de 3,658 km<sup>2</sup> (Alvarez, 2013). Es una corriente de agua estuarina ubicada en el área conurbada Veracruz, Boca del Río y Medellín (García et al., 2019). A lo largo del Área Natural Protegida Arroyo Moreno se incorporan sedimentos provenientes de procesos naturales como la erosión; sin embargo, es colector de desechos provenientes de descargas de aguas residuales domésticas e industriales (Garibay, 2006).

Por lo anterior, la presente investigación tiene como objetivo evaluar las concentraciones de nitrógeno total, fósforo total y materia orgánica en los sedimentos superficiales de la Zona Protegida de Arroyo Moreno, y su relación con las fuentes puntuales de contaminación.

## **2. MARCO TEORÍCO Y CONCEPTUAL**

### **2.1. Características de los sedimentos**

El sedimento es el material, en forma de partícula o en forma disuelta, formado por procesos de meteorización de las rocas (Basile, 2018). Estas partículas varían en tamaño desde grandes rocas hasta fragmentos de tamaño coloidal y varían en forma redondeada a angulares, también varían en gravedad específica y en su composición mineral. Los sedimentos pueden ser transportadas mediante fenómenos de gravedad, viento o agua. Cuando el agente transportador es el agua se denomina transporte de sedimentos fluviales o marinos (Van Rijn, 1993).

Los sedimentos son arrastrados hasta que encuentran distintos ambientes donde se depositan en cuencas, llevándose a cabo el proceso de sedimentación (Basile, 2018). No son materiales inertes, son catalizadores importantes y juegan un papel fundamental en el almacenamiento de contaminantes. En el medio acuático son indispensables para la degradación de la materia orgánica y el reciclamiento de los nutrientes.

#### **2.1.1. Teoría del transporte de sedimentos**

La teoría del transporte de sedimentos menciona que las variables que controlan el movimiento de sedimentos en un cauce natural, son la capacidad del cauce y la disponibilidad del sedimento (Bravo et al., 2004).

La mecánica del transporte es tan compleja, que hasta el momento no se ha podido definir una sola ecuación que describa la dinámica del transporte de las partículas (parte sólida) en un flujo de agua. Se han descrito distintos modelos ecuaciones empíricas, semi empíricas o basadas en distintas teorías. Dichas ecuaciones son aproximaciones no son completamente exactas (Cervantes et al., 2016).

El transporte de sedimentos se puede clasificar de dos maneras: de acuerdo con su origen o según el modo de transporte. De acuerdo con el modo de transporte el sedimento puede ser transportado en suspensión, sostenido por la turbulencia del



flujo, o bien, por el fondo (Vide, 2009). El transporte en suspensión está conformado por sedimentos finos como limos y arcillas.

De acuerdo con Van Rijn (1993) el transporte se define como una carga de fondo, es decir, como el movimiento de partículas por rodamiento, deslizamiento y saltos. El arrastre de fondo es importante debido a que contribuye con la morfología del cauce. En el cual, el flujo de agua es turbulento (en una corriente natural), y en el fondo, se observa un movimiento laminar (en la subcapa límite) (Van Rijn, 1993).

#### 2.1.2. Erosión y transporte de sedimentos

La fuente principal de los sedimentos son las rocas y el suelo, la manera de transporte y erosión son el agua y el viento; sin embargo, debido a las actividades antrópicas se han clasificado en: de origen natural y artificial (García y Maza, 1998).

##### 2.1.2.1. Fuentes naturales

- Erosión natural. El viento arrastra partículas de la superficie terrestre, estas partículas llegan a depositarse en llanuras o caen en las corrientes. Por otro lado, las gotas de lluvia o granizos al caer sobre las rocas o la superficie del suelo arrancan partículas. La porción de agua que no alcanza a infiltrarse en el suelo genera una corriente de flujo en la tierra, esta corriente desprende partículas del suelo (García y Maza, 1998).
- Erosión de los cauces. Debido a las irregularidades topográficas de los suelos y los escurrimientos superficiales se generan arroyos, al aumentar su caudal se transforman en torrentes, provocando gran actividad erosiva y transportadora (García y Maza, 1998).

##### 2.1.2.2. Fuentes artificiales

- Generalmente la fuente de esta clasificación de sedimentos está dada por las actividades del hombre, por ejemplo, las obras de ingeniería en la construcción de caminos, vías férreas, plantas industriales, presas, vertimiento de aguas residuales, etc. Estas actividades generan sedimentos que son arrastrados o depositados directamente sobre los cauces (García y Maza, 1998).

### 2.1.3. Depósito de sedimentos

Una vez que los sedimentos son depositados en humedales, llanuras, aluviales o también en el fondo de ríos, lagos o embalses, poseen un valor ecológico, social y económico importante (Salomons y Brils, 2004).

Si el sistema marino cuenta con poco o demasiado sedimento tiene impacto en las funciones. Por ejemplo, cuando un cuerpo de agua cuenta con demasiado sedimento puede generar consecuencias como turbiedad del cuerpo de agua, los ríos se puede llenar e inundarse y los arrecifes se asfixian (Salomons y Brils, 2004).

Por otro lado, si no cuenta con suficiente sedimento puede provocar que las playas se erosionen o los humedales se pierdan (Salomons y Brils, 2004).

### 2.2. Propiedades de los sedimentos

Las propiedades de los sedimentos están clasificadas como individuales, que incluyen: tamaño de partícula, forma, densidad y velocidad de caída; por otro lado, están las propiedades grupales tales como la granulometría, porosidad, densidad global y ángulo de reposo (Basile, 2018).

### 2.3. Composición de sedimentos marinos

Las concentraciones de sustancias químicas en los sedimentos tienden a estar relacionado con el tamaño de partícula, se presenta en mayores proporciones en partículas pequeñas ( $<63 \mu\text{m}$ ). Esto indica que al aumentar el tamaño de partículas las concentraciones decrecen (Capeáns, 2008)

La composición de los sedimentos es muy diversa. Las fracciones que destacan son el hidróxido de hierro amorfo, óxidos de hierro (Fe) y manganeso (Mn), materia orgánica y minerales, que provienen de la descomposición de las rocas.

La salinidad puede variar con respecto a los aportes de aguas fluviales, efecto de las lluvias, las corrientes y la mezcla del agua (Capeáns, 2008).

## 2.4. Textura del suelo

La textura del suelo es una de las propiedades principales del suelo. De manera cualitativa la textura describe la sensación del material del suelo ya sea grueso, arenoso o fino, cuantitativamente indica la distribución de medida de los tamaños de las partículas (Yolcubal et al., 2004).

Existen distintas clasificaciones de tamaño de partículas del suelo, el más utilizado es el desarrollado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), de acuerdo con esta clasificación el tamaño de las partículas está separado en cuatro grupos: grava, arena, limo y arcilla.

Cuadro 1. Clasificación USDA del tamaño de partículas del suelo (Yolcubal et al., 2004)

Tipo	Diámetro (mm)
Grava	>2
Arena	0.05-2
Arena muy gruesa	1-2
Arena gruesa	0.5-1
Arena media	0.25-0.5
Arena fina	0.10-0.25
Arena muy fina	0.05-0.10
Limo	0.002-0.05
Arcilla	< 0.002

La textura del suelo indica el porcentaje en peso, de los distintos rangos de tamaño de partículas minerales inferiores a 2 mm (arcilla, limo y arena) que contiene la tierra fina (Andrades et al., 2015).

La textura influye en la capacidad de almacenamiento de agua del suelo, así como el movimiento del agua en el mismo y la disponibilidad de nutrientes minerales para las plantas (Chetumal, 2018).

## 2.5. Suelo y sedimentos

El suelo es considerado como un producto natural que se forma como consecuencia de la meteorización de las rocas debido a la acción del clima u organismos vivos, por su lado los sedimentos son fracciones de partículas minerales y orgánicas que

generalmente se encuentran en cuerpos de agua como ríos, lagos o arroyos (Thompson y Troeh, 1980).

#### 2.6. Contaminación de sedimentos

Los contaminantes ingresan al sistema fluvial a través de varias vías. Principalmente está influenciada por las actividades de la naturaleza como la lluvia, las actividades geológicas de la cuenca o acuífero y la población humana (Kemmer y McCallion, 1979).

Los contaminantes del agua pueden llegar a través de las tuberías de industrias, fugas de tuberías o tanques de almacenamiento. La principal fuente de contaminación de los cuerpos de agua son las plantas de tratamiento, actividades mineras, extracción de petróleo y fugas de barcos (Endara, 2020).

#### 2.7. Contaminación del agua

La contaminación del agua es un problema a nivel mundial, no solo en países industrializados si no también en los menos industrializados. Las fuentes de contaminación de las zonas costeras y el mar ocupan un lugar importante en la temática ambiental y el cambio climático. La alteración y destrucción de hábitats naturales, efectos en la salud humana, eutrofización, disminución de poblaciones de peces y otros seres vivos, y el cambio en el flujo de sedimentos; son consecuencias vinculadas a las fuentes puntuales y difusas de contaminación generadas por actividades de origen terrestre; y por el efecto de la captación de agua de las cuencas hidrográficas, que generan efectos que se enfocan en los ecosistemas costeros (Escobar, 2002).

La contaminación del agua se puede definir como un cambio físico, químico y biológico en las propiedades del agua, causando un efecto dañino en cualquier ser vivo. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS) el agua se encuentra contaminada cuando su composición se haya modificado de modo que no tenga las condiciones óptimas para su uso, que se hubiera destinado en su estado natural (Guadarrama et al., 2016).

### 2.7.1. Contaminantes

Se consideran contaminantes del agua los agentes patógenos como bacterias, virus y parásitos que provienen a partir de desechos orgánicos. Por otro lado, las sustancias químicas inorgánicas como los ácidos y los metales pesados, que al ser tóxicos generan cambios en las propiedades del agua y afectan a los seres vivos que habitan en ella (Guadarrama et al., 2016).

También se encuentran las sustancias químicas orgánicas, como los derivados del petróleo, plásticos, plaguicidas y detergentes. Estos compuestos pueden ser introducidos a las masas de agua por medio de descargas de aguas residuales, domésticas o industriales (Guadarrama et al., 2016).

El exceso de nutrientes tales como; nitrógeno o fósforo, incita el crecimiento excesivo de plantas acuáticas. Al cumplir su ciclo se descomponen, y se genera escases de oxígeno disuelto en el agua, como consecuencia las especies marinas se ven afectadas directamente, provocando inclusive, su muerte (Guadarrama et al., 2016). Cabe mencionar que la mayor fuente de contaminación de los sistemas acuáticos proviene de los sedimentos. Los incrementos excesivos de temperatura tienden a disminuir las cantidades de oxígeno en el agua, provocando la muerte de especies (Guadarrama et al., 2016).

Dentro de los principales contaminantes del agua nos encontramos con:

- Plomo: Elemento metálico, que genera problemas graves a la salud y al medio ambiente.
- Mercurio: Elemento metálico que generalmente causa problemas a la salud humana y a animales, generando enfermedades por envenenamiento.
- Nitratos y fosfatos: Estos se encuentran presentes debido a la alta demanda de fertilizantes, estos contaminantes son arrastrados por la escorrentía hasta los ríos y lagunas, lo que genera problemas de eutrofización (Guadarrama et al., 2016).

### 2.7.2. Efectos en la salud humana

Los seres humanos se encuentran en la parte superior de la cadena alimenticia, debido a esto se ve afectado por las concentraciones de contaminantes en el agua causando enfermedades como cáncer, problemas reproductivos e inclusive la muerte (Grijalva et al., 2020).

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2006) cada año la contaminación del agua y otros problemas ambientales causan la muerte de 1.7 millones de niños menores de cinco años. La metahemoglobinemia o síndrome del bebe azul es una enfermedad similar a la anemia y es causada por la ingesta de agua con una alta concentración de nitratos (Grijalva et al., 2020).

Las aguas residuales, vertidas en aguas superficiales, están compuestas de microorganismos patógenos que generan enfermedades. La diarrea y la gastroenteritis están entre las tres principales enfermedades causantes de muertes en el mundo y en la región latinoamericana (Reynolds, 2001).

### 2.7.3. Fuentes de contaminación

#### 2.7.3.1. Fuentes puntuales

El termino fuente puntual, alude a cualquier emisión donde se conoce el origen y el responsable, incluyendo tuberías, zanjas, canal, ducto, pozo, fisura, contenedores, actividades de alimentación de animales y material rodante (EPA, 2015).

Las principales fuentes puntuales bajo esta definición incluyen a los efluentes de aguas residuales municipales e industriales (Salomons y Brils, 2004). Además, de los sitios de extracción, explotación y construcción, tales como; excavaciones explotación agrícola, aprovechamiento forestal, minería, entre otros.

Los principales contaminantes que se encuentran presentes en las fuentes industriales son: nutrientes, metales pesados, compuestos orgánicos, radionúclidos propiedades fisicoquímicas, como pH, salinidad, demanda de oxígeno, dureza, entre otros (Escobar, 2002). Y los componentes son; microorganismos patógenos, nutrientes y carbono orgánico, estos se encuentran combinados con grasas, aceites y productos químicos originarios de las industrias, que entran a través de las

corrientes de desechos domésticos, que pasan en los sistemas de alcantarillado y escorrentía pluvial (Escobar, 2002).

Por otro lado, los desechos industriales contienen altas concentraciones de materia orgánica (Cuadro 2) cuyo origen son las plantas procesadoras de alimentos, de bebidas, industria de cuero y de madera (Escobar, 2002).

Cuadro 2. Concentraciones de materia orgánica reportadas en la literatura empleadas para clasificar la fuente puntual de contaminación.

Tipo de Agua Residual	Materia Orgánica (%)	Referencia
Industrial	10.22	Pisani et al. (2013)
	10.68	Carrillo et al (2016)
	9.09	Zhu et al. (2018)
Urbana	8.8	Colina (2000)
	7.39	Bian y Zhu (2009)

#### 2.7.3.2. Fuentes difusas

Se definen como fuente difusa de contaminación, cuando el sitio de descarga no puede ser fácilmente identificado, y por esta causa, son difíciles de controlar y evaluar ya que se conoce la fuente precisa de emisión (Zuñiga et al., 2021). Las fuentes difusas son altamente dinámicas y su magnitud está relacionada con factores meteorológicos como las precipitaciones (Salomons y Brils, 2004). Las principales fuentes difusas de contaminación son la escorrentía superficial, agua subterránea, erosión y cargas difusas de áreas urbanas pavimentadas (deposición atmosférica, tráfico, corrosión) (Salomons y Brils, 2004). Las fuentes más significativas son la agricultura, debido al uso excesivo de pesticidas e insecticidas, así también como el aporte de residuos de insumos agrícolas, restos de animales y vegetales en descomposición (Escobar 2002). Por otro lado, la forestación como plantación es una fuente difusa significativa, y al igual de la agrícola genera aporte de nutrientes, pesticidas y sedimentos. Dentro de las principales consecuencias se observa el incremento en la movilización de nutrientes, sedimentos y material particulado (Escobar, 2002). A continuación, en el Cuadro 3, se presenta los principales contaminantes que alteran la calidad del agua.

Cuadro 3. Principales contaminantes y su fuente (Escobar, 2002).

Contaminantes	Descripción	Fuente
Contaminantes orgánicos	Tienden a disminuir el oxígeno disuelto en el agua, provocando eutrofización	Fuentes puntuales; domésticas o asentamientos humanos.
Nutrientes	Derivados principalmente de nitrógeno y fósforo, aumentando la eutrofización en el agua. Estos son originados por los desechos humanos y de animales, detergentes y escorrentías agrícolas.	Fuentes puntuales domésticas y fuente difusa por escorrentías agrícolas.
Metales pesados	Son generados por centros industriales mineros o también a través de lixiviados.	Fuentes industriales mineras, asentamientos humanos, actividades militares.
Contaminación microbiológica	Desechos domésticos sin tratamiento, industria de criadero de animales (E. coli, protistos, amebas, etc.)	Fuentes municipales
Compuestos tóxicos orgánicos	Químicos de origen industrial, dioxinas, plásticos, pesticidas, hidrocarburos de petróleo, hidrocarburos policíclicos provocados por la combustión del petróleo. Compuestos orgánicos persistentes (POP) como cianotoxinas, compuestos órgano estánicos de pinturas antinsecurstantes.	Fuentes industriales, asentamientos humanos y actividades agrícolas.
Químicos traza y productos farmacéuticos	Desechos hospitalarios, estas sustancias no se pueden remover con tratamientos convencionales y son reconocidos como disruptores endocrinos y carcinogénicos	Industria farmacéutica y química.
Partículas suspendidas	Partículas de origen orgánico o inorgánico originadas principalmente por actividades agrícolas y cambio de uso de suelo, como deforestaciones.	Industria, asentamientos humanos, escorrentía agrícola y cambio de uso de suelo.
Desechos nucleares	Radio núcleos utilizados en fines pacíficos.	Plantas nucleares, pruebas nucleares, desechos hospitalarios, desechos industriales.
Salinización	Presencia de sales en el suelo y drenajes inadecuados.	Agua de yacimientos secundarios de petróleo.
Acidificación	pH bajo del suelo a consecuencia por actividades industriales y emisiones urbanas	Fuentes industriales y municipales



## 2.8. Aguas residuales

Las aguas residuales son la principal causa de fuente de contaminación del agua ya que contienen microorganismos patógenos que se transmiten por el ambiente y llegan hasta la población a través de la contaminación del agua potable, agua utilizada para el riego de cultivos, y usos recreativos de la vida cotidiana (Bofill, 2005). Sin embargo, los procesos biológicos y físicos aplicados para el tratamiento de aguas residuales han disminuido significativamente la incidencia de enfermedades en la población (Bofill, 2005).



Figura 1. Descarga de aguas residuales domesticas en Arroyo Moreno.

La mayoría de las actividades humanas que utilizan agua generan como subproducto aguas residuales.

De acuerdo con Sastre (2005), de manera general, los orígenes más significativos de contaminación hídrica por aguas residuales son las siguientes:

## 1. Poblaciones:

- Aguas sanitarias
- Servicios como hospitales, centros comerciales, restaurantes.
- Industria en zonas urbanas
- Ganadería

## 2. Industrias:

- Aguas de proceso
- Transporte y almacenamiento de materiales
- Limpiezas industriales

Las aguas residuales están compuestas de un efluente líquido y un constituyente sólido comúnmente conocidos como lodos. Las aguas residuales domesticas provienen de los núcleos de la población, casas, centros comerciales, zonas recreativas, dependencias como escuelas, hospitales o cárceles (Reynolds, 2001).

En México el 54% de las aguas residuales son desalojadas en los cuerpos de agua sin previo tratamiento disminuyendo la calidad de las aguas superficiales y subterráneas dejando como consecuencia afectaciones a los ecosistemas y los seres humanos (Robledo et al., 2017).



Figura 2. Vertimiento de aguas residuales industriales en Arroyo Moreno.

Las aguas residuales domésticas están constituidas por más del 98% de agua con altos niveles de contaminantes como sólidos suspendidos, 40 a 60% de compuestos orgánicos, 25 a 50% de carbohidratos, 10% de aceites y grasas, nutrientes como nitrógeno y fósforo, metales, sólidos disueltos, organismos patógenos y, algunas veces, compuestos tóxicos provenientes de la industrias (Teixeira et al., 2013). En el Cuadro 4 se observa la composición las aguas residuales domésticas.

Cuadro 4. Composición de las aguas residuales domésticas (Fonfría et al., 1989).

Parámetros	Concentración (mg/l)		
	Alta	Medio	Bajo
Sólidos totales	1,200	720	350
Disueltos totales	850	500	250
Fijos	525	300	145
Volátiles	325	200	105
Suspendidos totales	350	220	100
Fijos	75	55	20
Volátiles	275	165	80
Sólidos sedimentables (ml/l)	20	10	5
DBO5 A 20°C	400	220	110
Carbono orgánico total (COT)	290	160	80
Demanda química de oxígeno (DQO)	1,000	500	250
Nitrógeno total	85	40	20
Orgánico	35	15	8
Amoníaco libre	50	25	12
Fosforo total	15	8	4
Orgánico	5	3	1
Inorgánico	10	5	3
Cloruros	100	50	30
Alcalinidad (CaCO <sub>3</sub> )	200	100	50
Grasas y aceites	150	100	50

## 2.9. Nutrientes en ecosistemas acuáticos

La forma en que los nutrientes se mueven a través del medio ambiente es un aspecto esencial del funcionamiento del ecosistema. Estos nutrientes generalmente controlan la producción primaria y comprender su ciclo es fundamental para conocer la magnitud de influencia que tienen en la contaminación por nutrientes (Dodds, 2002).

Los arroyos y ríos transportan grandes cantidades de compuestos en forma particulada o disueltas (von Schiller et al., 2017). Entre ellos encontramos elementos

como como carbono (C), nitrógeno (N), fósforo (F), calcio, hierro, entre otros; indispensables en el agua para el crecimiento y reproducción de plantas y animales. Estos elementos son denominados nutrientes o bioestimulantes (Teixeira et al., 2013).

Los nutrientes como el N y F en los sedimentos, son de vital importancia para evaluar la calidad general de sistemas acuáticos y pueden limitar la productividad en los ecosistemas de arroyos (Skordas et al., 2015; Von Schiller et al., 2017). Las concentraciones de N y F disueltos en los ecosistemas de arroyos está determinado por la geología y vegetación de la cuenca (Tank et al., 2017).

El estudio del nitrógeno y fósforo es importante para la comparación de la productividad y descomposición de materia orgánica y determinar las fuentes de los nutrientes, comportamiento y relación entre ellos (Hernández, 2010). La carga elevada de nutrientes liberada en los sedimentos proporciona las condiciones necesarias para el fitoplancton acelerando el proceso de eutrofización y generando consecuencias nocivas para el medio acuático (Skordas et al., 2015; Zhu et al., 2018).

La eutrofización de sistemas acuáticos se puede definir como el estado de un cuerpo de agua en el que la producción y acumulación de algas y plantas acuáticas ha aumentado excesivamente debido a un mayor aporte de nutrientes (Seppälä et al., 2004).

Las actividades que propician la eutrofización de cuerpos de agua se dividen en el contexto de emisiones de nitrógeno y fósforo, en fuentes puntuales y difusas, se incluye los efluentes industriales no tratados y las aguas residuales domésticas, así como también las escorrentías de agua superficiales y la lixiviación de fertilizantes agrícolas (Seppälä et al., 2004; Skordas et al., 2015).

### 2.9.1. Fósforo

El fósforo se encuentra de manera natural en las rocas y otros depósitos minerales. Durante la meteorización, las rocas liberan gradualmente el fósforo en forma de

iones fosfato, los cuales son solubles en agua (Walker et al., 2019). También suele presentarse combinado con la materia orgánica, en proteínas, aminoácidos; o en forma inorgánica, como ortofosfato y polifosfato. Se clasifica como un macronutriente esencial que ayuda al crecimiento de algas y es un nutriente limitante en muchos suelos (Cade, 2017; Teixeira, 2013).

El P se encuentra en las aguas residuales domésticas a causa del uso de detergentes o en las excretas humanas. La orina y heces están compuestas entre 3 y 5.4% y entre 2.5 y 5% respectivamente por fósforo, en forma del  $P_2O_5$  (Teixeira et al., 2013).

#### 2.9.1.1. *Formas de fósforo*

En aguas naturales y residuales, el fósforo se presenta generalmente en forma de fosfato ( $PO_4^{3-}$ ). Los fosfatos se clasifican en ortofosfatos, fosfatos condensados (piro, meta y otros polifosfatos) y fosfatos enlazados orgánicamente (Severiche et al., 2013).

Estas formas se presentan en las plantas o animales vivos o en descomposición en forma de iones libres, enlazados químicamente o enlazados a sedimentos. El fósforo en el agua se clasifica de dos formas disuelto o particulado, dentro de la forma disuelta el fósforo inorgánico (fósforo inorgánico disuelto) se presenta como ortofosfato ( $PO_4$ ) por otro lado, el fósforo inorgánico disuelto se le conoce como fósforo reactivo soluble (SRP) (Dodds, 2002; Walker et al., 2019). El fósforo total (TP) se determina en una muestra no filtrada por calor y digestión ácida, que convierte la muestra en fósforo reactivo soluble para su medición (Walker et al., 2019).

En ríos no contaminados el fósforo total se encuentra en una concentración promedio de 0.025 mg/L a nivel mundial, sin embargo, las actividades agrícolas aumenta los niveles de concentración entre 0.05-0.1 mg/L y las descargas municipales aumentan las concentraciones a 1.0 mg/L, o inclusive a valores más altos (Walker et al., 2019).

El fósforo orgánico se encuentra en una variedad de compuestos orgánicos y se clasifica por fósforo orgánico disuelto (DOP) y fósforo particulado (PP) (Dodds,

2002). El fosfato orgánico es un compuesto involucrado en procesos metabólicos y forma parte de biomoléculas de gran relevancia como proteínas, ADN, ARN y ATP (Aneli et al., 2014).

En ambientes acuáticos el fosfato es indispensable para el desarrollo de las cadenas tróficas (Aneli et al., 2014). Los compuestos de fosfato son ampliamente utilizados en fertilizantes y detergentes y son los principales contaminantes de los cuerpos de agua (Aneli et al., 2014). Es común encontrar fosfato en limos procedentes de la escorrentía agrícola y aguas residuales municipales donde se encuentra en altas concentraciones en un rango de 15 a 30 mg/l como  $\text{PO}_4$  (Kemmer y McCallion, 1979).

El fosfato durante los periodos de estiaje su principal fuente de ingreso a los cuerpos de agua es por el flujo subterráneo, y en menor medida por las descargas continuas del curso superficial. Durante el periodo de mayor escorrentía, ingresa a los sedimentos como producto de los fenómenos erosivos, como compuesto de fertilizantes y plaguicidas (Espósito et al., 2016).

El fosfato es el principal causante del crecimiento excesivo de algas, lo cual conduce a la eutrofización de lagos y arroyos. Debido a esto se han generado legislaciones que restringen las concentraciones de fosfato en detergentes, y exigen el tratamiento de aguas municipales para su eliminación (Kemmer y McCallion, 1979).

### 2.9.2. Nitrógeno

El nitrógeno circula a través de la atmosfera en un ciclo complejo compuesto por transformaciones bióticas y abióticas (Tank et al., 2017). Alrededor del 98% del nitrógeno total de la tierra se encuentra distribuido en la litosfera como parte de suelos, rocas, sedimentos y material fósil (Ottos, 2015).

En  $\text{N}_2$  es la forma más abundante en la que se presenta el nitrógeno, la cual compone casi el 78% de la atmósfera. Debido a que solo algunos organismos fijadores de N pueden utilizar directamente este depósito gaseoso, generalmente el N es un nutriente limitante en los ecosistemas (Tank et al., 2017). El análisis de la concentración de nitrógeno total toma un papel importante en el medio acuático

porque afecta directamente el aspecto trófico del cuerpo de agua (Ottos, 2015). El nitrógeno es un nutriente elemental en el crecimiento de las plantas, debido a que constituye los compuestos más significativos vitales como aminoácidos, proteínas, enzimas, nucleoproteínas, ácidos nucleídos, clorofila en plantas, y otras sustancias (Ottos, 2015)

Las actividades humanas son la principal fuente de suministro global de nitrógeno. El nitrógeno antropogénico se estima que emite 210 millones de toneladas métricas anuales, por otro lado, los procesos naturales generan alrededor de 140 millones de toneladas métricas. Este suministro de nitrógeno provoca el desequilibrio del ciclo natural de los nutrientes en los sistemas acuáticos (Walker et al., 2019).

El nitrógeno es utilizado por el fitoplancton en la síntesis de biomasa también es oxidado por bacterias e incorporado a la biomasa (Lozano et al., 2018). El destino final de estos compuestos varía con la demanda biótica, las características de sorción abiótica, el tipo de sustrato y las características de retención física de los arroyos (Tank et al., 2017).

#### *2.9.2.1. Formas de nitrógeno*

El agua generalmente contiene  $N_2$  como gas disuelto, esta molécula es difícil de usar directamente por los organismos debido a que contiene un enlace covalente triple donde se requiere grandes cantidades de energía para romperlo (Dodds, 2002). Por lo tanto, las formas orgánicas e inorgánicas del  $N_2$  se denominan nitrógeno combinado. Las dos formas más importantes de N inorgánico disuelto en las aguas naturales son el amonio ( $NH_4^+$ ) procedente de las aguas residuales y en forma de nitrato ( $NO_3^-$ ) proveniente de las escorrentías agrícolas (Dodds, 2002; Tank et al., 2017).

El amonio es la forma iónica que está presente en aguas neutras a ácidas. En condiciones básicas el ion se transforma en gas amoníaco ( $NH_3$ ), el cual puede moverse entre la atmósfera y el agua (Dodds, 2002).

El nitrito ( $NO_2^-$ ) es una forma adicional del nitrógeno inorgánico disuelto, se encuentra en concentraciones significativas en el agua natural, generalmente

cuando existe aguas residuales, lo cual puede ser problemático debido a su naturaleza tóxica (Fernández, 2006).

El óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) es un gas que también se encuentra disuelto en bajas concentraciones en muchas aguas y en la atmósfera (Dodds, 2002).

El nitrógeno inorgánico está presente en el agua de forma oxidada es decir la suma de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NO}_2^-$ , por otro lado; el nitrógeno orgánico se encuentra presente en materiales naturales como proteínas, ácidos nucleicos y urea y grandes cantidades de materiales orgánicos sintéticos.

El nitrógeno orgánico y el amoníaco se pueden determinar juntos como “Nitrógeno Kjeldahl” (TKN), sin embargo; el nitrógeno total de Kjeldahl no se refiere al nitrógeno total (Walker et al., 2019).

El nitrógeno total es la determinación de nitrógeno de Kjeldahl más la suma del nitrógeno orgánico, tal como se muestra a continuación (Walker et al., 2019):

$$\text{TKN} + \text{NO}_3 + \text{NO}_2^- = \text{Nitrógeno total}$$

#### 2.9.2.2. *Formas de nitrógeno en el suelo*

El nitrógeno se encuentra presente en distintas formas en los suelos, y es absorbido por las plantas en forma de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) o amonio ( $\text{NH}_4^+$ ). Con respecto a las cantidades de nitrógeno en el suelo, se consideran las fijaciones (eléctricas, biológicas e industriales), abonos orgánicos y residuos de cosechas. Por otro lado, las pérdidas están relacionadas con la extracción de cultivos, lixiviación, volatilización, desnitrificación y fijación del amonio (Ottos, 2015).

Aproximadamente el 30 y 40% del nitrógeno en el suelo está presente en forma de aminoácidos tales como lisina, serina, arginina, alanina, isoleucina, glicina entre otros. El nitrógeno inorgánico del suelo está presente entre el 5 y 15%. (Ottos, 2015).



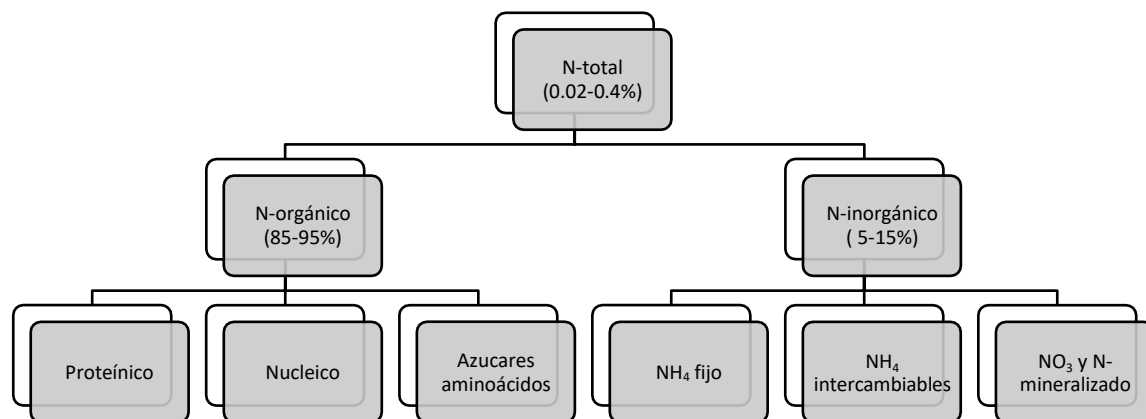
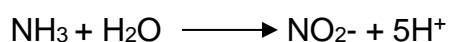


Figura 3. Formas del nitrógeno.

### 2.9.2.3. Ciclo del nitrógeno

El ciclo del nitrógeno está relacionado con la vida en el medio acuático. Los compuestos orgánicos nitrogenados incluyen organismos en descomposición, como proteínas o sustancias más simples como aminoácidos, urea, entre otros (Lozano et al., 2018).

Mediante hidrólisis y mecanismos enzimáticos se producen compuestos amoníacos que por medio de la oxidación generan nitritos.



Los compuestos orgánicos nitrogenados se incorporan a los cuerpos de agua mediante los efluentes, por medio de escorrentía superficial o la descomposición de materia orgánica (Lozano et al., 2018).

Por otro lado, el proceso de nitrificación está relacionado con la temperatura del agua y del contenido de oxígeno disuelto (Rodríguez et al., 2016). Los nitratos son solubles, por lo que son removidos con facilidad de los sedimentos, incrementando la cantidad de bacterias en la columna de agua, estas consumen oxígeno, generando en algunas ocasiones ambientes hipóxicos o anóxicos (bajos o nulos niveles de oxígeno, respectivamente) (Salas et al., 2020).

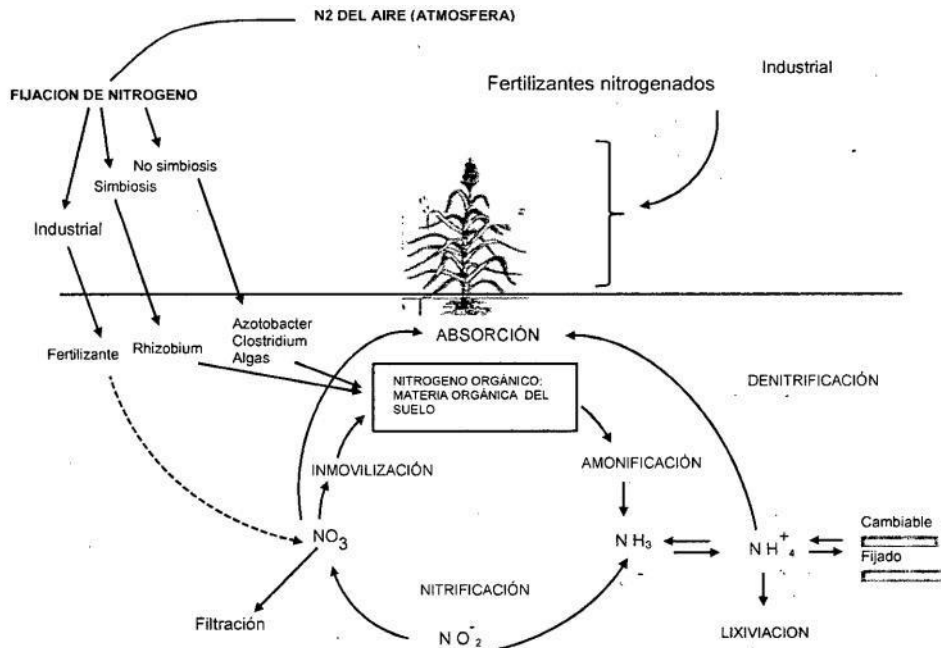


Figura 4. Ciclo del nitrógeno (Ottos, 2015).

### 2.9.3. Carbono

El carbono es fundamental en los ecosistemas acuáticos, comprender su ciclo es indispensable para conocer las redes alimentarias y como se estructuran las comunidades acuáticas (Dodds, 2002a).

Por ejemplo, la producción de metano en los humedales en el cual podemos ver el impacto directo de este compuesto en los ecosistemas acuáticos de agua dulce, la biogeoquímica global, y el efecto invernadero (Dodds, 2002a)

El carbón inorgánico se encuentra en la atmósfera principalmente en forma de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) en concentraciones aproximadamente de 350 ppm (García et al., 2006). Sin embargo, esta concentración ha aumentado a partir de la revolución industrial generando el fenómeno conocido como efecto invernadero, dejando como consecuencia el aumento de la temperatura global y cambio climático, que sin duda afecta directamente a los ecosistemas acuáticos (Duarte, 2006).

Cuando el CO<sub>2</sub> es disuelto en agua, existe en diferentes formas dependiendo del pH, estas formas son: dióxido de carbono, ácido carbónico, bicarbonato y carbonato. La suma de estas concentraciones de estas formas de carbono se le conoce como carbono inorgánico y se indica como CO<sub>2</sub> (Duarte, 2006).

#### 2.9.4. Materia orgánica

La materia orgánica del suelo o sedimento (MO) es una mezcla heterogénea de residuos de plantas y animales en diferentes estados de descomposición, sustancias sintetizadas microbiológicamente y/o químicamente que a partir de los productos de degradación, de los cuerpos de microorganismos vivos y muertos, pequeños animales y sus restos en descomposición (Sánchez et al., 2005).

Esta degradación constituye en un proceso biológico en el cual el carbono es reciclado a la atmósfera como dióxido de carbono, y el nitrógeno se transforma en una forma asimilable por las plantas como amonio y nitrato (Sánchez et al., 2005).

Está considerada que la materia orgánica del suelo (MOS) un compuesto heterogéneo con base de carbono, compuesto por acumulación de materiales de origen animal y vegetal parcial o totalmente descompuestos, sustancias sintetizadas microbiológicamente y/o químicamente, del conjunto de microorganismos vivos y muertos (Soto, 2003).

Debido a ello, la materia orgánica ejerce un papel importante acerca de la fertilidad del suelo y el crecimiento de las plantas, no solo por el aporte de nutrientes si no por sus propiedades físicas (Julca et al., 2006). Ya que mejora la estructura del suelo, aumenta la capacidad de retención de agua, y aumenta el intercambio catiónico y propiedades biológicas; esto debido a que son fuente de nutrientes y energía para los microorganismos (Sánchez et al., 2005).

La materia orgánica del suelo representa el análisis de la dinámica del carbono (C) y es posible determinar los efectos a consecuencia del uso de este (Dabadie, 2018).

A continuación en la figura 5 se presenta los componentes orgánicos del suelo, donde se divide en organismos vivos y materia orgánica.



Figura 5. Componentes del suelo (Soto, 2003).

La mayoría de los sedimentos contienen materia orgánica, la cantidad varía de acuerdo con la textura del sedimento, la tasa de sedimentación y la relación entre las velocidades de aporte y descomposición de materia orgánica (Pineda, 2009). La materia orgánica está formada por productos de descomposición de residuos de la flora o fauna presente en el ecosistema (Chetumal, 2018).

En los sedimentos finos se concentra el 80% de la materia orgánica, es considerada la energía necesaria para los procesos biogeoquímicos y una fuente de nutrientes (Hernández, 2000). La obtención, contribución y desintegración de materia orgánica en el agua y los sedimentos determinan y controlan la composición química de la columna de agua, la distribución de la flora y fauna y las propiedades geoquímicas del fondo (De Marcano, 2005).

Las cantidades de materia orgánica afectan de manera significativa a las propiedades física, químicas y biológicas del suelo, la cantidad óptima de materia orgánica en el suelo se ve influenciada por la textura del mismo (Chetumal, 2018).

Un alto contenido de materia orgánica en los cuerpos de agua contribuye al alto crecimiento de algas y plantas acuáticas (Grijalva et al., 2020). Cuando las algas y plantas mueren favorecen los procesos de alta descomposición como fenómenos de eutrofización y agotamiento de oxígeno (Grijalva et al., 2020). Por otro lado, la

materia orgánica contiene el 95% de nitrógeno edáfico, impacta en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Ottos, 2015).

La eutrofización es una de las causas más comunes de contaminación del agua por nutrientes, a su vez, causa la muerte de organismo marinos dependientes de oxígeno.

#### 2.10. Cuenca del Río Jamapa

Esta cuenca se encuentra ubicada entre los 18° 45' y 19° 14' latitud norte, y entre 95° 56' y 97° 17' longitud oeste. Cuenta con un área de 3 912 km<sup>2</sup>, la cual se encuentra distribuida en todo el estado de Veracruz. Dos corrientes importantes forman el río Jamapa conocidas como Cotaxtla y Jamapa. El río Jamapa pasa por Medellín de Bravo Ver., a 5 km aguas abajo descarga en el río Cotaxtla, el cual lleva su mismo nombre. Desde esta influencia el río fluye hacia el norte en terrenos planos cultivos; formando meandros y se redirecciona hacia el oriente fluyendo por la margen izquierda y derecha el río Moreno y La Laguna de Mandinga, finalmente el río tiene su desembocadura en el Golfo de México en el municipio de Boca del Río, Veracruz (Álvarez, 2013)

Con respecto a los aprovechamientos hidráulicos en la parte alta de la cuenca, aproximadamente en el río Atoyac, se encuentra la pera derivadora Santa Anita, la cual provee el sistema de riego El Potrero. En la actualidad se encuentra el acueducto denominado Veracruz-El Tejar, que proporciona agua desde el Tejar hasta la ciudad de Veracruz para uso doméstico (Pereyra et al., 2010).



En la zona costera, la cuenca se fusiona con el río Cotaxtla y su desembocadura se encuentra en los límites de Boca del Río y Alvarado (Álvarez, 2013).

El ANP está ubicada en los municipios Boca del Río y Medellín, en el estado de Veracruz. Tiene un área de influencia de 200 m en donde la mayoría del perímetro está siendo invadido por el desarrollo urbano (Méndez, 2013). En Boca del Río, Veracruz; se encuentra cerca del 70% del Área Natural y el resto pertenece al municipio de Medellín, Ver., (Álvarez, 2013).

En noviembre de 1999 fue decretado Área Natural Protegida (ANP), bajo la modalidad estatal de Zona Sujeta a Conservación Ecológica. En su decreto contaba con una extensión de 400 ha; sin embargo, en 2013 su extensión se redujo a 204 ha aproximadamente, lo que representa una pérdida del 51% de su extensión original, posteriormente en el 2008 se modificó este decreto dándole categoría de Reserva Ecológica (Alvarez, 2013).

#### 2.11.1. Clima

El clima de la región es cálido subhúmedo, con temperatura media anual mayor de 22°C y temperatura más fría mayor a 18°C (López et al., 2009).

#### 2.11.2. Hidrología

El ANP se encuentra en la región hidrológica Papaloapan, la cual abarca parte de la porción centro-sur de Veracruz. La región cuenta con un gasto medio de 68.01 m<sup>3</sup>/s, (11.37% del gasto total nacional), está formada por las cuencas del Papaloapan y Jamapa (SEDEMA, 2006). El ANP es una zona inundable que cuenta con manglares en el 2010 contaba con una extensión de 308 ha de mangle (CONABIO, 2009).

#### 2.11.3. Suelo

El suelo del área es de tipo arenoso y fangoso en la zona de manglar. Es principalmente de tipo aluvión formado por los constantes depósitos de sedimentos terrestres acarreados por el río Jamapa (Pardo, 2006).

#### 2.11.4. Temporalidad

La temporada de nortes la cual se presenta entre los meses de septiembre y abril se caracteriza por escasas precipitaciones, con temperaturas bajas (18°C)(García et al., 2019) y frecuentes invasiones de masa de aire frío proveniente del norte del continente. La temporada de lluvias comprende del mes de mayo al mes de agosto y se presenta con temperaturas elevadas (33°C), altas precipitaciones (promedio de 1,710 mm) en los meses de junio a septiembre-octubre, y vientos débiles provenientes del este (López et al., 2009), durante la temporada de estiaje que comprende del mes de febrero a mayo la precipitación se encuentra entre 0 y 60 mm (García et al., 2019)

Las precipitaciones del mes más seco son de 0 y 60 mm y el porcentaje de lluvia invernal es del 5% al 10.2% del total anual (López et al., 2009).

#### 2.11.5. Flora

En Arroyo Moreno la flora esta principalmente representada por mangle rojo (*Rhizophora mangle*), negro (*Avicennia germinans*), y en menor proporción mangle blanco (*Laguncularia racemosa*) (Pardo, 2006). Existen otras especies que se relacionan con el mangle como el helecho mangle *Acrostichum aureum* (*Pteridáceae*), el coyol redondo *Acrocomia mexicana* (*Arecaceae*), palma redonda o apachite *Sabal mexicana*, palma real, *Scheelea liebmannii* (*Palmae*) uvero, *Coccoloba barbadensis*, (*Poligonaceae*), orquídeas, *Myrmecophylla tibicinis*, *Oncidium carthagenense* y *Brassavola nodosa* (Pardo, 2006).

#### 2.12. Importancia económica, social y ambiental

La importancia de este sitio radica en los ámbitos ambientales y económicos. En la parte económica cuenta con zonas de reproducción y desove de especies importantes, entre las que destacan: mojarra, Lebrancha y Lisa, Róbalo Blanco y Chucumite (Alvarez, 2013).

En cuanto a los servicios ambientales, la zona de mangle cuenta con lugares de hábitat, reproducción, alimentación y descanso de especies de animales, algunos



son de interés comerciales como aves, reptiles, peces y mariscos, muchas de estas especies son protegidas por leyes mexicanas bajo distintas categorías. Con respecto a la vegetación se pueden extraer recursos como madera, frutos y plantas con importancia alimenticia, artesanal o medicinal (Alvarez, 2013).

Por otro lado, el mangle purifica el agua que alimenta el cauce del río y estabiliza ciclos biogeoquímicos importantes en la naturaleza, como el nitrógeno, fosforo y carbono (Castillo et al., 2016).

En el cuadro 5 se presentan algunos de los servicios ambientales que proporciona Arroyo Moreno.

Cuadro 5. Servicios ambientales de los ecosistemas acuáticos costeros de acuerdo con su valor estimado (Escobar, 2002).

Orden	Servicio ecosistémico	Función ecosistémica	Ejemplo
1	Ciclo de nutrientes	Almacenamiento y proceso de nutrientes	Fijación de N, ciclo de nutrientes
2	Tratamiento de residuos	Remoción y rompimiento del exceso de nutrientes y contaminantes	Control de contaminación, detoxificación
3	Regulación de las alteraciones	Amortiguación del impacto producido por alteraciones climáticas	Protección de tormentas, huracanes, recuperación de sequias.
4	Recreación	Ninguno	Pesca deportiva, baño, etc.
5	Alimentación	Porción del PP extraíble como alimento	Acuacultura costera
6	Refugio	Hábitat, biodiversidad	Especies migratorias, crecimiento y reproducción
7	Cultura	Ninguno	Estético, artístico, espiritual, investigación
8	Control biológico	Dinámica trófica, biodiversidad	Predadores claves, control de plagas
9	Material de desecho	Porción de PP extraíble como material de desecho	Petróleo y madera combustible
10	Control de gases	Composición química de la atmósfera	CO <sub>2</sub> , CO <sub>3</sub> , SO <sub>x</sub>

### 2.13. Contaminación

Arroyo Moreno se encuentra en medio de la zona Urbana de Boca del Río y Medellín, en su mayoría está delimitado por complejos habitacionales, debido a esto el ecosistema está sometido a presiones antrópicas (Pardo, 2006).

El deterioro de la calidad ambiental se puede reflejar claramente en la calidad del agua, durante periodos largos la superficie del río se encuentra cubierta de lirios en varias secciones del cuerpo de agua. Esto afecta las propiedades del agua ocasionando que las concentraciones de oxígeno disuelto se disparen (Pardo, 2006).

La zona es fuertemente amenazada por la descarga de aguas residuales sin tratar que son vertidas de la zona conurbada Veracruz, Boca del Río; y por las elevadas temperaturas del agua que vierte la central termoeléctrica Dos Bocas de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), la cual supera los 39°C (Pardo, 2006).

Los ecosistemas de manglar tienen la capacidad de soportar descargas domésticas, avícolas e incluso industriales; sus sedimentos y plantas son capaces de retener los contaminantes (Tam et al., 1995). Sin embargo, algunos contaminantes, como los desechos sólidos o desechos industriales, pueden causar daños a las raíces del manglar afectando la capacidad respiratoria y osmorreguladora de la planta y provocar su muerte, o ejercer efectos agudos y crónicos en los organismos (Shriadah, 1999).

### 3. MARCO DE REFERENCIA

#### 3.1. Lugar de estudio

El área de estudio es la Reserva Natural Protegida Arroyo Moreno, ubicada en los municipios de Boca del Río y Medellín (Figura. 2) en el estado de Veracruz, con coordenadas  $19^{\circ} 05'$  y  $19^{\circ} 08'$  N y  $96^{\circ} 06'$  y  $96^{\circ} 09'$  O.



Figura 8. Ubicación del área de estudio Área Natural Protegida Arroyo Moreno.

##### 3.1.1. Boca del Río

El municipio de Boca del Río está ubicado entre los paralelos  $19^{\circ}03'$  y  $19^{\circ}11'$  de latitud norte; y los meridianos  $96^{\circ}06'$  y  $96^{\circ}10'$  de longitud este; altitud 0 y 10 m. Colinda al norte con el municipio de Veracruz y el Golfo de México; al este con el Golfo de México y el municipio de Alvarado; al sur con los municipios de Alvarado y Medellín; al oeste con los municipios de Medellín y Veracruz (SEFIPLAN, 2016). Cuenta con un total de 144,555 habitantes (INEGI, 2020), 20 localidades y ocupa el 0.1% del territorio estatal (INEGI, 2015).

### 3.1.2. Medellín

El municipio de Medellín se encuentra ubicado entre los paralelos 18°50´ y 19° 09´ de latitud norte; los meridianos 96°02´ y 96°16´ de longitud oeste; altitud entre 5 y 60 m (SIEGVER, 2020). Colinda al norte con los municipios de Veracruz, Boca del Río y Alvarado; al este con los municipios de Alvarado y Tlaxicoyan; al sur con los municipios de Tlaxicoyan y Cotaxtla; al oeste con los municipios de Cotaxtla, Jamapa, Manlio Fabio Altamirano y Veracruz (SIEGVER, 2020). Medellín tiene 95, 202 habitantes; cuenta con 197 localidades y su porcentaje del territorio estatal es de 0.6% (INEGI, 2015).

### 3.2. Antecedentes

De acuerdo con Lozano et al. (2018) las altas concentraciones de nutrientes como nitrógeno y fosforo, están relacionadas con la incorporación de materia orgánica y por consiguiente con las altas concentraciones de carbono orgánico disuelto.

Vargas et al. (2017), confirman que la calidad de los sedimentos superficiales decrece al verse impactados por efluentes agrícolas.

## **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### 3.3. Situación problemática

Arroyo Moreno, es un importante ecosistema que provee beneficios ambientales y económicos, sin embargo; en los últimos años se ha deteriorado como consecuencia de las actividades humanas, perdiendo gran parte de su extensión total (Castillo et al., 2016). La problemática radica en los efectos de la colindancia del Arroyo Moreno y la Reserva Natural con la zona conurbada Boca del Río, Veracruz; estos reciben descargas de aguas residuales domésticas e industriales debido a la falta o deficiencia en el tratamiento de estas.

El crecimiento de la mancha urbana afecta directamente a la zona, es posible encontrar desechos sólidos esparcidos en gran parte del recorrido del cuerpo de agua a consecuencia de las casas habitación que lo rodea (Aké et al., 2016)

Por otro lado, la pérdida del ecosistema debido a la contaminación y extracción excesiva y agotamiento de los recursos ha contribuido a la disminución de la biodiversidad, desequilibrio del ecosistema, alteración de las cadenas tróficas, y procesos biológicos y extinción de especies de peces (García et al., 2019).

La falta de tratamiento de las aguas residuales de origen industrial y domésticas de las industrias y fraccionamientos aledaños al Arroyo Moreno y a la Reserva Natural han generado un impacto en la calidad del agua y en el ecosistema en general (Aké et al., 2016). Lo cual, contribuye a la pérdida de biodiversidad y beneficios ambientales que ofrece el ecosistema a la población (Aké et al., 2016)

#### 3.4. Planteamiento del problema

El nitrógeno y fósforo son compuestos requeridos por los organismos como nutrientes, los cuales actúan como limitantes de la producción primaria de un ecosistema, sin embargo; las actividades antrópicas han roto el equilibrio generando problemas de eutrofización.

El vertimiento de aguas residuales domésticas e industriales, así como el vertimiento de contaminantes como sustancias nitrogenadas y fosforadas afectan el ecosistema poniendo en peligro la flora y fauna del ecosistema (Camargo et al., 2007). Las principales consecuencias de contaminación de cuerpos de aguas con nitrógeno inorgánico son la acidificación de los ríos y lagos con baja alcalinidad, la eutrofización de aguas dulces y marinas. La toxicidad de los compuestos nitrogenados afecta a los organismos acuáticos (Camargo et al., 2007).

Por otro lado, la presencia de materia orgánica influye en las condiciones físicas y químicas de los sedimentos, modificando el tipo de fauna y la naturaleza de los depósitos (Colina, 2000).

El carbono orgánico del suelo es el elemento principal que conforma la MO, debido a ello es común que ambos términos se confundan (Navarro et al., 2016).

Por otro lado, la materia orgánica que se encuentra disuelta, particularmente en zonas cercanas a los sitios de vertimiento de aguas residuales, genera colonias fecales en los organismos del ecosistema, siendo no aptos para el consumo

humano de manera directa, es necesario la depuración de moluscos, específicamente las ostras y mejillones (Colina, 2000)

### 3.5. Pregunta de investigación

¿Cuál es la calidad de los sedimentos superficiales de la reserva ecológica Arroyo Moreno y su relación con las fuentes puntuales de contaminación?

### 3.6. Justificación

Arroyo Moreno es una de las áreas ecológicas más importantes dentro de la zona conurbada Veracruz-Boca del Río-Medellín; ya que es una corriente de agua con influencia estuarina que abarca estos tres municipios costeros (García et al., 2019).

Es una zona ecológica muy importante, que colinda con la urbanización, de modo que dentro de sus principales características ecológicas; cuenta con un fragmento importante de bosque de manglar (García et al., 2019), que filtra el agua que alimenta al río Jamapa, retiene los sedimentos acarreados por la lluvia, regula los niveles de agua de los humedales, estabiliza los ciclos biogeoquímicos como el nitrógeno, fosforo y carbono; y equilibra la temperatura del aire a través de procesos de evapotranspiración (Castillo et al., 2016).

Arroyo Moreno no solo provee de beneficios ecológicos, si no también sociales y económicos; ya que es hábitat para la reproducción, alimentación y descanso de especies de interés comercial como peces y mariscos, y de la vegetación de la zona se obtienen frutos, madera y ciertas plantas de importancia alimenticia (Alvarez, 2013). Debido que la Reserva Natural Arroyo Moreno se encuentra justo en medio de la mancha urbana existe una presión antrópica sobre ella que es casi imposible de detener (Castillo et al., 2016). Desde hace unas décadas como consecuencia de la urbanización algunas zonas son utilizadas como tiraderos de basura, y para la descarga de aguas domésticas e industriales (García et al., 2019). De no considerar soluciones a esta problemática, el área de manglar se verá reducida, perdiéndose los múltiples beneficios que genera en la comunidad y en el medio ambiente, convirtiéndose en un vertedero más de residuos con desembocadura en el mar (Castillo et al., 2016).

#### **4. HIPÓTESIS**

La calidad de los sedimentos superficiales en la Reserva Natural Arroyo Moreno está fuertemente asociada a las fuentes puntuales de contaminación, debido a las altas concentraciones de nitrógeno total, fósforo total y materia orgánica; las cuales exceden los límites permisibles establecidos en la normativa internacional.

#### **5. OBJETIVOS**

##### 5.1. General

Evaluar la calidad de los sedimentos superficiales y su asociación con las fuentes puntuales de contaminación en el Área Natural Protegida Arroyo Moreno.

##### 5.2. Particulares

1. Identificar las fuentes puntuales de contaminación de influencia en la calidad de los sedimentos de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno.
2. Determinar las concentraciones de materia orgánica, nitrógeno y fósforo total en los sedimentos superficiales de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno y si exceden los límites permisibles establecidos en la normatividad internacional.
3. Determinar la asociación entre las concentraciones de nitrógeno, fosforo total y materia orgánica, y las fuentes puntuales de contaminación.

## 6. MATERIALES Y MÉTODOS

### 6.1. Área de estudio

El área de estudio se encuentra en las inmediaciones de la reserva natural “Arroyo Moreno” la cual se ubicada en la cuenca baja del Río Jamapa, entre los municipios de Boca del Río y Medellín (Figura 9), en el estado de Veracruz (Alvarez, 2013). El río Jamapa nace en la madre Sierra Oriental originado por los deshielos de las laderas del volcán Citlaltépec a 5 610 m.s.n.m.

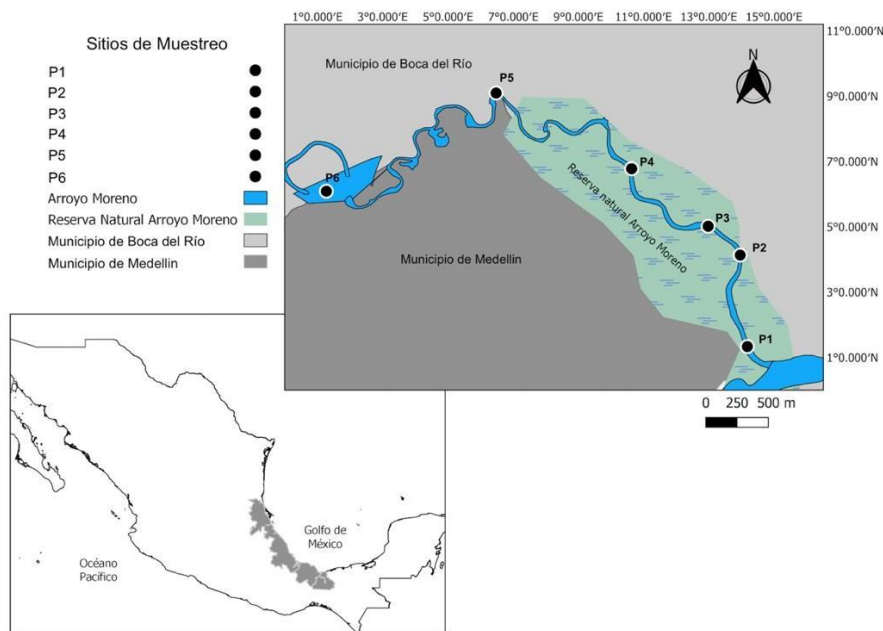


Figura 9. Ubicación de los sitios de monitoreo en la Reserva Natural Arroyo Moreno. Google Earth (2020).

#### 6.1.1. Selección de sitios de monitoreo

Los criterios empleados en la selección de los sitios de monitoreo fueron la influencia de fuentes puntuales de contaminación, vías de acceso y asentamientos humanos (Peña et al., 2021).



Cuadro 6. Ubicación de los sitios de monitoreo de sedimentos superficiales en la reserva Natural Arroyo Moreno.

Sitio	Coordenadas	Clasificación de FPC	Localización
P1	19.1006000, -96.112080	Aguas Residuales Urbanas (AR-U)	Calle Río Jamapa
P2	19.1071833, -96.112583		Fracc. Tampiquera
P3	19.1092611, -96.114899		Salida DREN B
P4	19.1133667, -96.120416		Zona manglar
P5	19.1188167, -96.130183		Cárcamo de la Zamorana
P6	19.11175, -96.14238333	Aguas Residuales Industriales (AR-I)	Termoeléctrica Dos Bocas

### 6.1.2. Periodicidad del monitoreo

La toma de muestras se realizó en por temporada climática; estiaje, lluvias y nortes. De acuerdo con lo establecido por CONABIO (2009), la temporada de estiaje (E) que comprende del mes de febrero a mayo, se caracteriza por las altas temperaturas y a la relativa escasez de precipitaciones. La temporada de lluvias (L) que comprende del mes de junio a septiembre, se caracteriza por temperaturas elevadas, siendo los meses de junio y agosto los de mayor precipitación.

La temporada de nortes (N) comprende del mes septiembre a enero; con registro de temperaturas de aire bajas, escasas precipitaciones, e invasiones de masas de aire frío que provienen del norte del continente.

## 6.2. Recolección de muestras y análisis de laboratorio

### 6.2.1. Recolección de las muestras

Con ayuda de una pala metálica, se recolectaron 500 g de sedimento en cada sitio de muestreo, a 10 cm de profundidad, aproximadamente; Posteriormente, las muestras fueron depositadas en bolsas de polietileno debidamente etiquetadas y congeladas hasta su análisis en laboratorio.

### 6.2.2. Análisis de laboratorio

El análisis de laboratorio se llevó a cabo aplicando técnicas descritas en normativas nacionales e internacionales. El análisis de nitrógeno total se llevó a cabo por el método de Dumas (AOAC 990.03), fósforo total mediante la técnica de molibdato-

vanadato propuesta por Bray y Kurtz (1945) y descrita en la norma NOM-021-RECNAT-2000. La determinación de materia orgánica se calculó mediante la técnica de pérdidas por ignición (Dean, 1974) y la granulometría del sedimento se llevó a cabo por el método de Bouyoucos (1936).

#### 6.2.3. Granulometría de sedimentos

El análisis granulométrico se realizó por el método de Bouyoucos (1936), el cual está basado en la relación entre la velocidad de deposición y el diámetro de la partícula de la muestra. Es un método fácil de aplicar y se logra obtener resultados rápidos y confiables (Martínez et al., 2015).

Se pesaron 100 g de cada muestra previamente secas a 60°C por 24 horas, se añadió 20 ml de hexametáfosfato de sodio ( $\text{NaPO}_3$ )<sub>6</sub> y 10 ml de peróxido de hidrogeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) y se dejó reposar por 24 h.

Posteriormente la muestra se transportó a una probeta, donde se realizó el pipeteo de acuerdo con tiempos de extracción respectivos, de acuerdo con la ley de Stokes. El resto del sedimento fue secado a 60°C por 24 h, finalmente se pasó por los tamices de 2 mm, 900  $\mu\text{m}$ , 500  $\mu\text{m}$  y 63  $\mu\text{m}$ .

Se pesaron las muestras tamizadas y las muestras que fueron pipeteadas, finalmente se capturaron los datos en el programa Gradistat v 9.1 para obtener el tipo de sedimento y grupo textural de cada muestra.

#### 6.2.4. Determinación de nitrógeno (N)

El método de Dumas (AOAC 990.03) está basado en el principio de la destrucción de materia orgánica mediante una combustión mediante un suministro de oxígeno controlado, a altas temperaturas. Este método se compone de cuatro etapas; la primera consta de una combustión, donde la muestra es sometida a temperaturas de 900°C en presencia de oxígeno, posteriormente se produce una reducción por tungsteno a nitrógeno molecular; después pasa por una etapa de purificación donde absorbentes adecuados como lana de plata y tungsteno remueven los constituyentes interferenciales como los haluros de hidrógeno y los óxidos de azufre. El vapor de agua que se obtiene es condensado y retenido por un agente

desecante (pentóxido de fósforo), después continua al proceso de reducción, donde procede un secado fino.

Finalmente, la detección del nitrógeno se realizó con un detector de conductividad térmica, este mide el nitrógeno total remanente en un flujo de gas transportador (Lanza et al., 2016).

#### 6.2.5. Determinación de fósforo (P)

Primeramente, se realizó la extracción de fósforo (P) por método de Bray y Kurtz (1945) descrita en la norma NOM-021-RECNAT-2000.

La cual, se realiza por medio de una solución de fluoruro de amonio en un medio ácido, posteriormente se agita por cinco minutos con el propósito de solubilizar el fósforo, finalmente se filtra obteniendo una solución rica en fósforo. La solución se trata por el método ácido vanadomolibdofosfórico descrito en la norma NMX-AA-029-SCFI-2001, el molibdato de amonio reacciona en condiciones ácidas con el vanadato.

#### 6.2.6. Determinación de materia orgánica (MO)

La determinación de materia orgánica se realizó por el método de pérdidas por ignición de acuerdo con Dean (1974). Se pesaron 2 g de muestra en crisoles de porcelana, se colocan en una mufla a 550°C durante una hora donde se registra su peso antes de ingresar a la mufla y después de la incineración para proceder a calcular la diferencia de peso con la siguiente formula:

$$C_1 - C_2 = (x) \text{ g} \quad (1)$$

Donde:

C1: Peso antes de ingresar a la mufla (gr)

C2: Peso después de la mufla (g)

Y posteriormente se obtuvo el porcentaje de materia orgánica de acuerdo con el siguiente cálculo:

$$M. O = \frac{(C_1 - C_2)g (100)}{2 g} = (x) \% \quad (2)$$

Donde:

M.O: Materia orgánica en porcentaje (%)

C1-C2: Diferencia de pesos (g)

### 6.3. Análisis estadístico

Se realizó un análisis mediante estadística descriptiva de los datos de: tipo de sedimento, concentraciones de materia orgánica, nitrógeno y fósforo total. Para relacionar las concentraciones de MO, NT Y PT en los sedimentos superficiales de la reserva natural Arroyo Moreno, con el porcentaje de MO, NT Y PT de las fuentes puntuales de contaminación reportadas en la literatura (Cuadro 7), se realizó un análisis de comparación de medias aplicando la prueba de Kruskal Wallis y prueba de las medianas para muestras independientes, ambas con un  $\alpha = 0.05$ , con el software IBM® SPSS® V. 25. Además, se realizó la prueba de las medianas con los mismos ajustes de alfa. Posteriormente, se ajustó el valor de alfa a 0.01, para ambas pruebas, con el objeto de identificar las categorías por pares con los datos muestreados. Finalmente, se identificaron los sitios de muestreo que no coinciden con la clasificación de aguas residuales urbanas o industriales.

Cuadro 7. Valores de referencia de la concentración de nutrientes en aguas residuales urbanas e industriales.

Tipo de agua residual	Nutriente (%)	Valor	Referencia
Industrial	Materia Orgánica (MO)	10.22	Pisani, et a. (2013)
		10.68	Carrillo et al. (2016)
		9.09	Zhu et al. (2018)
Urbana	Materia Orgánica (MO)	8.8	Colina (2000)
		7.39	Bian y Zhu (2009)
Industrial	Fósforo Total (PT)	0.58	Yang et al. (2017)
		0.73	Jimenez et al. (2016)
		0.49	Lau (2000)
Urbana	Fósforo Total (PT)	0.50	Amor et al. (2020)
		0.56	Kiedrzyńska et al. (2014)
Industrial	Nitrógeno Total (NT)	0.671	Rivas et al. (2000)
		0.85	Muttamara (1996)
		1.07	Yang et al. (2017)

## 7. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 7.1. Granulometría de sedimentos

La granulometría de los sedimentos superficiales en los sitios de muestreo indica (Cuadro 8); que en temporada de lluvias el porcentaje de arenas varió entre 31.20 y 53.50%, la fracción de limos entre 62.16 y 79.10%, y de arcillas entre 6.01 y 11.40%. Se observa que el porcentaje de limos predomina durante esta temporada, ya que ocurre un mayor acarreo de sedimentos finos (limos) por las descargas fluviales y pluviales, esto provoca la suspensión de los sedimentos (Benítez, 2011).

Cuadro 8. Estadística descriptiva de la granulometría de los sedimentos superficiales.

Estadístico	Lluvias			Nortes			Estiaje		
	Arenas	Limos	Arcillas	Arenas	Limos	Arcillas	Arenas	Limos	Arcillas
Media	31.200	62.166	6.016	30.850	54.650	6.400	32.183	55.100	12.683
Mediana	28.700	61.150	7.000	26.800	48.450	6.250	31.650	56.200	6.850
Desviación	11.923	11.533	3.863	12.0352	12.354	4.877	10.664	21.805	13.555
Varianza	142.176	133.023	14.930	144.847	152.643	23.792	113.722	475.460	183.762
Rango	19.300	44.500	1.400	20.400	44.200	0.900	17.600	18.700	1.500
Mínimo	31.200	62.166	6.016	30.850	54.650	6.4000	32.183	55.100	12.683
Máximo	53.500	79.100	11.400	52.000	72.200	14.700	44.400	80.900	37.500

Por otro lado, estiaje se disminuye la velocidad de las corrientes y su frecuencia, lo que contribuye a la acumulación de partículas finas, y la característica principal de los sedimentos tiende a ser limosa (González et al., 2006).

En temporada de nortes los porcentajes de las fracciones de arenas y limos se reducen ligeramente y se registraron; entre 30.85 y 52%, y entre 54.65 y 72.20%, respectivamente; a diferencia de la fracción de arcillas que se incrementó en un rango de 6.40 a 14.70%. A diferencia de las temporadas anteriores; en estiaje el porcentaje de arenas y arcillas aumenta; entre 32.18 y 44.40%, y entre 12.68 y 37.50%, respectivamente. Se observó un porcentaje de limos en un rango entre 55.10 y 80.90%, menor al registrado en temporada de lluvias.

Es importante mencionar que la materia orgánica en las fracciones de limos y arcillas controlan las concentraciones de algunos contaminantes como los metales

pesados, debido a que aumentan la superficie de adsorción incrementando la retención de contaminantes, generalmente por un intercambio iónico de cargas negativas de las partículas finas (Espinosa y Villamil, 2011).

Durante la temporada de lluvias se presentan valores elevados de limos en los sitios de muestro, esto como consecuencia del acarreo de sedimentos ocasionado por descargas pluviales fluviales que genera la resuspension de estos. Durante la temporada de nortes, también nos encontramos con valores elevados esto puede ser ocasionado por la energía hidrodinámica como mareas o corrientes que son influenciadas por los vientos y/o oleaje estos fenómenos influyen en la distribución del sedimento y su transporte (Benítez, 2011).

La resuspensión del sedimento generado por arrastre, permite que el sedimento de fondos blandos como limos y arcillas se trasladen a distintas áreas por las corrientes marinas, mientras que las partículas más gruesas tienden a asentarse en las áreas donde se efectúa el arrastre (Avilés y Martínez, 2012).

Los contenidos de partículas finas como limos y arcillas controlan la concentración de contaminantes, ya que aumentan la superficie de absorción permitiendo su retención (Espinosa et al., 2011)

## 7.2. Materia orgánica

El porcentaje de MO más elevado se presentó durante la temporada de lluvias, fluctuando entre 4.99 y 20.48 %. Durante la temporada de nortes se observaron variaciones entre 2.84 y 16.99 %; y en temporada de estiaje de 3.3 y 12.99 % (Figura 10). Se observó un incremento en las concentraciones de materia orgánica en el sitio P6, el cual es influenciado por el vertimiento de aguas residuales de tipo industrial (AR-I) originadas por la planta termoeléctrica Dos Bocas; la cual descarga sobre el río Jamapa aguas residuales a altas temperaturas que fluctúan entre 35 y 40°C, según lo reportado por Garibay (2006) y García et al. (2019). Esto indica que la descarga de aguas residuales industriales procedente de la termoeléctrica ejerce una presión antrópica que altera el equilibrio del ecosistema y en la reserva natural "Arroyo Moreno".

Se encontraron variaciones significativas de MO entre la temporada de estiaje y nortes, en promedio de 7.47 a 10.49 % respectivamente (Cuadro 8); debido a que durante el estiaje no se presentan aportes de sedimentos como en la temporada de lluvias; cuando éstos son fácilmente arrastrados hasta la columna de agua (Aguilar, 2009; García et al., 2016).

Se observaron altas concentraciones de MO en el sitio cercano a la zona de manglar (P4), lo que se relaciona con la alta cantidad de hojarasca observada en el sitio de muestreo (Parra y Espinosa, 2008), aunado a la influencia del vertimiento de aguas residuales en zonas aledañas.

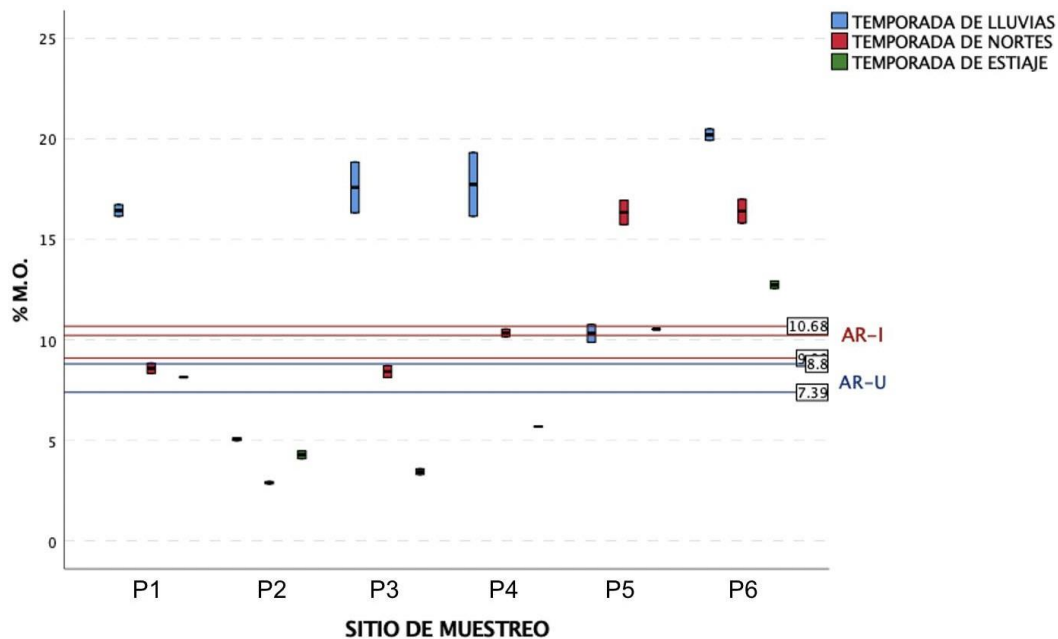


Figura 10. Porcentaje de MO por temporada y sitio de muestreo en la zona de estudio. Las líneas horizontales denotan los valores teóricos de AR-U y AR-I.

Para establecer la relación entre materia orgánica de los sedimentos superficiales de la reserva natural “Arroyo Moreno” (Cuadro 9), y la concentración reportada en la literatura de acuerdo con el tipo de agua residual (Cuadro 7), se realizó lo siguiente; se empleó un análisis de comparación de medias (Kruskall Wallis) y, una prueba de las medianas para muestras independiente ( $\alpha = 0.05$ ); obteniéndose valores de  $p$  de 0.066 y 0.052, respectivamente; lo que indica que los porcentajes

de materia orgánica en los sitios de muestreo corresponden tanto a aguas residuales urbanas como a industriales.

Cuadro 9. Estadística descriptiva de las concentraciones de materia orgánica en sedimentos superficiales por temporada, en los sitios de muestreo contemplados.

Estadístico	Materia orgánica (%)		
	Lluvias	Nortes	Estiaje
Media	14.5542	10.4967	7.4733
Mediana	16.235	9.50	6.920
Desviación Estándar	5.5130	4.9655	3.4955
Varianza	30.393	24.656	12.218
Rango	15.49	14.15	9.62
Mínimo	4.99	2.84	3.3
Máximo	20.48	16.99	12.92

Por lo anterior, se realizó un ajuste al intervalo de confianza al 99 %, para identificar diferencias entre sitios, temporadas y tipo de agua residual ( $p, < 0.0$ ). Como resultado ( $\alpha=0.01$ ), se obtuvo que el sitio P2, el porcentaje de materia orgánica obtenido en temporada de nortes no corresponde a la clasificación de aguas residuales industriales, sino a la clasificación de aguas residuales urbanas (Figura 11).

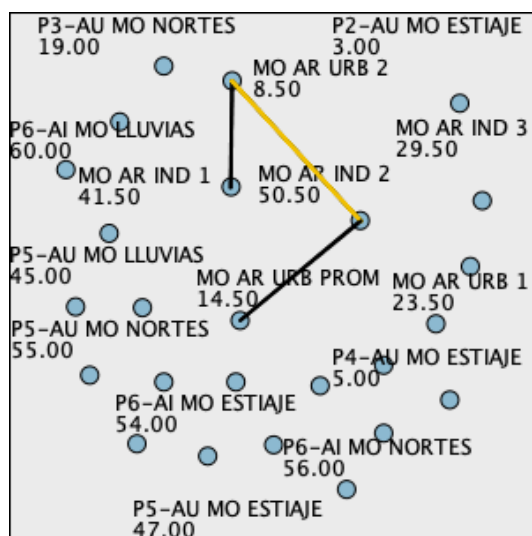


Figura 11. Comparación entre sitios de muestreo. Cada nodo muestra el rango promedio de muestras del sitio.



De acuerdo con Gómez et al. (2006), las concentraciones de materia orgánica varían significativamente entre temporadas, tal como se observó en esta investigación; ya que en temporada de lluvias se registraron las concentraciones más altas de MO. Esto se debe, a que existe una relación entre la concentración de MO y la intensidad de los procesos que ocurren en la columna de agua, tales como; descargas fluviales, erosión o productividad biológica (Silva et al., 2001).

La materia orgánica en el sedimento (MO) está compuesta de una mezcla heterogénea de residuos de plantas y animales en diferentes estados de descomposición (Sánchez et al., 2005), se observó que a lo largo de “Arroyo Moreno” hay una amplia extensión de mangle (*Rhizophora mangle*), lo que influye en los altos niveles de concentración de MO en la zona (Parra y Espinosa, 2008). Esto, ha sido asociado a la presencia de limos y arcillas (De Jesús Navarrete et al., 2000) y a una concentración de hasta 80 % de MO (Hernández, 2000). Lo que ha sido confirmado con los resultados de este estudio, en Arroyo Moreno predomina los sedimentos limosos.

Según lo reportado por Colina (2000), el vertimiento de aguas residuales domésticas e industriales aportan sólidos en suspensión, principalmente MO y detergentes; como se mencionó anteriormente, los sitios de muestro fueron seleccionados con base en la influencia del vertimiento de aguas residuales, lo que explica las altas concentraciones de MO en los sedimentos superficiales. Esto también concuerda con lo reportado por Reyes y Barreto (2011), el origen y la dinámica de la MO tiene una fuerte dependencia de la actividad biológica del sedimento, como de los cambios en el medio ambiente y los efectos de las actividades humanas.

### 7.3. Fósforo total

La evaluación del estado de contaminación de un cuerpo de agua y la predicción de su impacto al ecosistema se debe basar en indicadores como metales pesados y nutrientes como la materia orgánica, fósforo y nitrógeno

De acuerdo con los resultados obtenidos, se registraron concentraciones entre 0.30 y 0.84 mg/g durante la temporada de estiaje, un rango entre 0.38 y 0.89 mg/g en la temporada de nortes y 0.45 y 0.90 mg/g en la temporada de lluvias (Cuadro 10).

Cuadro 10. Estadística descriptiva de las concentraciones de fósforo total por temporada, en sedimentos superficiales del área de estudio.

Estadístico	PT (mg/g)		
	Lluvias	Nortes	Estiaje
Media	0.7035	0.6315	0.5615
Mediana	0.7000	0.5980	0.6370
Desviación	0.12318	0.15092	0.17671
Varianza	0.015	0.023	0.031
Rango	0.45	0.51	0.64
Mínimo	0.45	0.38	0.20
Máximo	0.90	0.89	0.84

Se presentó mayor concentración (0.90 mg/g) de PT en el sitio P3 AR-U durante la temporada de lluvias, estas altas concentraciones están influenciadas por la cercanía de asentamientos urbanos y descargas de aguas residuales.

El ciclo del fósforo inicia de los aportes fluviales en áreas costeras, su concentración va a depender de factores biológicos, físicos y químicos; aunque una parte de fósforo liberado participa en ciclos biogeoquímicos en el agua suprayacente y otra parte vuelve asentarse en los sedimentos. Las aguas residuales urbanas están compuestas por más del 98% de nutrientes como nitrógeno y fósforo. El fósforo se encuentra principalmente en los detergentes, o como parte de la orina y excreta humana. Cabe mencionar que los sedimentos carbonatados en zonas tropicales tienen la habilidad de absorber y almacenar fósforo (Teixeira et al., 2013).

Los nutrientes en sedimentos activos se alteran fácilmente debido a la hidrodinámica del cuerpo de agua y se liberan en sitios con poca profundidad, sin embargo; el transporte de nitrógeno es diferente a la del fósforo, lo que da como resultado diferencias en la distribución espacial de su contenido en el sedimento en el medio activo. De la misma manera, cuando los ríos transportan altos niveles de fósforo, alguna de las partículas se deposita cerca de las desembocaduras de los ríos a medida que se debilita la hidrodinámica (Wu et al., 2019).

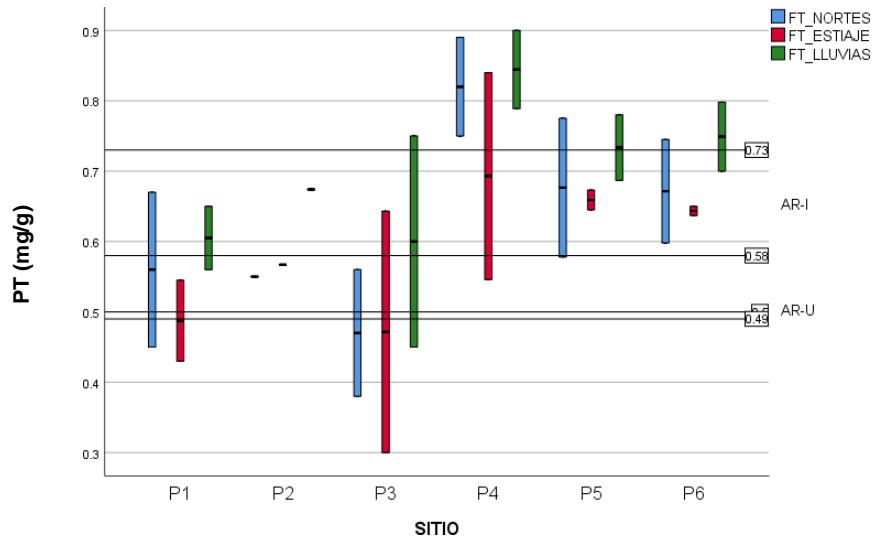


Figura 12. Porcentaje de PT por temporada y sitio de muestro en la zona de estudio. Las líneas horizontales denotan los valores teóricos de AR-U y AR-I.

Con base en los Lineamientos para la Protección y Gestión de la Calidad de los Sedimentos Acuáticos (1993), las concentraciones reportadas (0.84 a 0.90 mg/g) no exceden los límites permisibles para considerar al fósforo un contaminante (Cuadro 11).

Cuadro 11. Calidad de sedimentos para nutrientes (Persaud et al., 1993)

	Sin nivel de efecto	Nivel de efecto bajo	Nivel de efecto severo
PT (mg/g)	-	0.6	2.0

Al comparar los resultados de PT con los valores descritos en las Directrices para la Protección y Gestión de Calidad en los Sedimentos Acuáticos en Ontario (1993), estos no excedieron el nivel de efecto severo (>2.0 mg/g). Sin embargo, se clasifican en el rango de efecto bajo (>0.6 mg/g). Esto indica que las concentraciones de PT en el lugar de estudio se encuentran en esta categoría.

Se pudo observar en el sitio P5 AR-U y P6 AR-I la presencia de floraciones de algas, relacionadas con la descarga de las aguas residuales urbanas e industriales provenientes del cárcamo o canal de la Zamorana y de la termoeléctrica Dos Bocas, esta última descarga sus efluentes a altas temperaturas. Esto se debe, a que el

fósforo se presenta en combinación con la materia orgánica o en forma inorgánica, y contribuye al crecimiento de algas y en algunas ocasiones causa eutrofización (Teixeira et al., 2013).

Para establecer la relación entre el PT de los sedimentos superficiales de la reserva natural “Arroyo Moreno”, y la concentración reportada en la literatura (Cuadro 7) de acuerdo con el tipo de agua residual, se realizó lo siguiente; se empleó un análisis de comparación de medias (Kruskall Wallis) y, una prueba de las medianas para muestras independiente ( $\alpha = 0.05$ ); obteniéndose valores de  $p$  de 0.000, de acuerdo con esto; al menos una de las medias es diferente (Figura 13). Es decir, la concentración de fósforo total en el sitio 2 (AR-U) es significativamente diferente al valor de referencia.

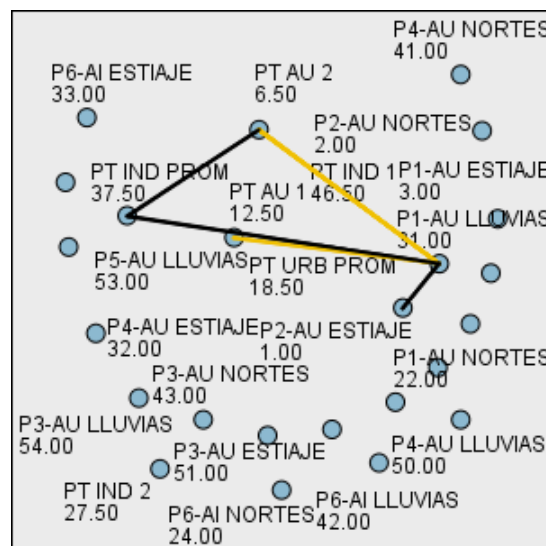


Figura 13. Comparación entre sitios de muestreo. Cada nodo muestra el rango promedio de muestras del sitio.

#### 7.4. Nitrógeno total

De acuerdo con los resultados obtenidos del análisis de NT en los sedimentos superficiales (Cuadro 12), se observaron concentraciones entre 0.70 y 2.40 mg/g durante la temporada de lluvias, el nivel más alto se presentó en el sitio P1 (AR-D); es la confluencia con el río Jamapa. De acuerdo con Yan et al. (2017) los factores fisicoquímicos y las perturbaciones hidrodinámicas liberan los nutrientes

acumulados en sedimentos hacia el agua suprayacente aumentando así sus concentraciones.

En la temporada de nortes se registraron concentraciones entre 0.20 y 2.8 mg/g. Fue en el sitio P6 (AR-I) donde se registraron las concentraciones más altas (2.4 mg/g). De acuerdo con Montalvo (2006), un alto tiempo de residencia de las aguas, y las altas temperaturas que caracterizan al sitio P6 (AR-I) cercano a la Termoeléctrica Dos Bocas, son factores que inciden en la tasa de biosíntesis y acumulación de materia orgánica.

Finalmente, en la temporada de estiaje se registraron valores entre 0.001 y 3.40 mg/g (Figura 16). La mayor concentración (3.40 mg/g de NT) fue observada en el sitio P4, en la zona de manglar, lo cual indica que existe una presión antrópica moderada que eleva las concentraciones de NT en Arroyo Moreno. Los asentamientos urbanos colindantes en la zona incrementan los contenidos de nitrógeno debió al aporte de aguas residuales. Estos incrementos pueden equilibrarse cuando la circulación y corrientes de agua permiten diluir estas concentraciones, también se ve influenciado por las condiciones geomorfológicas y pluviales (Aristide et al., 2007).

Cuadro 12. Estadística descriptiva de las concentraciones de nitrógeno total (NT) en sedimentos superficiales del área de estudio por temporada climática.

<b>NT (mg/gr)</b>			
	LLUVIAS	NORTES	ESTIAJE
Media	1.4833	1.3583	1.0250
Mediana	1.3000	1.3000	.8000
Desv. Desviación	.52368	.81068	1.02967
Varianza	.274	.657	1.060
Rango	1.70	2.60	3.40
Mínimo	.70	.20	.00
Máximo	2.40	2.80	3.40

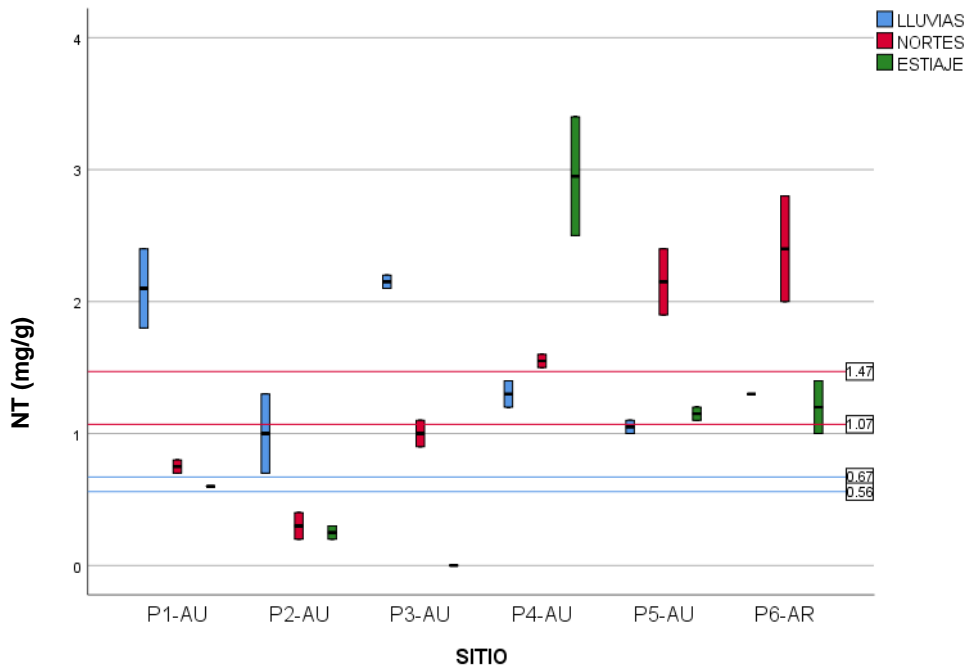


Figura 14. Porcentaje de NT por temporada y sitio de muestro en la zona de estudio. Las líneas horizontales denotan los valores teóricos de AR-U y AR-I

La relación entre el nitrógeno total de los sedimentos superficiales de la reserva natural “Arroyo Moreno”, y la concentración reportada en la literatura de acuerdo con el tipo de agua residual, se obtuvo que los valores de NT de referencia tienen diferencias significativas con los valores de referencia de aguas residuales urbanas (Figura 15).

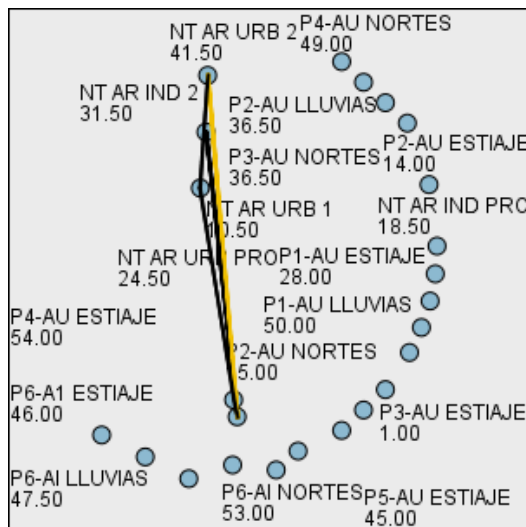


Figura 15. Comparación entre sitios de muestreo. Cada nodo muestra el rango promedio de muestras del sitio.

De acuerdo con los Lineamientos para la Protección y Gestión de la Calidad de los Sedimentos Acuáticos en Ontario (1993), se presenta un cuadro con los valores de referencia de NT para cuerpos de agua.

Cuadro 13. Clasificación de los efectos del NT presentes en sedimentos (Persaud et al., 1993).

	Sin nivel de efecto	Nivel de efecto bajo	Nivel de efecto severo
NT (mg/g)	-	0.55	4.8

De acuerdo con el Cuadro 13, concentraciones de 0.55 mg/g de NT causan un efecto leve en cuerpos de agua y niveles por arriba de 4.8 mg/g son considerados de efecto severo. Esto genera un enriquecimiento excesivo de nutrientes o eutrofización, y aparecen floraciones de algas nocivas, deterioro de la calidad del agua y enfermedades gastrointestinales en humanos (Yan Yang et al., 2017).

Como se observa, los valores obtenidos en la presente investigación no sobrepasan el valor de efecto severo de 4.0 mg/g, y se encuentran por debajo del valor de efecto bajo. Sin embargo, cuando la MO aumenta el nitrógeno es degradado con mayor facilidad que el carbono; generando una alta actividad biológica, lo que promueve la descomposición orgánica y mayor liberación de nitrógeno (Hernández, 2000). Cuando se incrementa la actividad biológica y la temperatura, se genera un aumento en los procesos metabólicos del nitrógeno orgánico, donde el amonio se difunde en el agua y el oxígeno disuelto aumenta su absorción en el sedimento. Este sobreconsumo de oxígeno puede generar un agotamiento del carbono orgánico (Hernández, 2000), creando ambientes anóxicos y eutrofización. En Arroyo Moreno los aportes antrópicos de NT provienen de aguas residuales domésticas e industriales. De acuerdo con Montalvo (2006), las zonas costeras son más dinámicas, y generalmente las principales fuentes de nitrógeno y fósforo son de origen terrestre. Cabe destacar que los manglares son una fuente primordial de suministro de nitrógeno orgánico para el ecosistema (Hernández, 2000).

## 8. CONCLUSIÓN

Se observó mayor porcentaje de MO en el sitio P6 (AR-I) durante la temporada de lluvias, cercano al vertimiento puntual de aguas residuales industriales (AR-I), localizado frente a la Termoeléctrica Dos Bocas.

Se obtuvo evidencia de la influencia que ejercen las FPC sobre la concentración de MO en los sedimentos superficiales de la reserva natural "Arroyo Moreno". La temporada en la que se registraron mayores porcentajes de materia orgánica fue la temporada de lluvias, debido a los procesos sedimentológicos que ocurren durante este periodo estacional. Se observó predominancia de limos en las muestras de sedimento analizadas y altas concentraciones de materia orgánica en esta fracción de este.

La mayoría de los sitios de muestreo corresponden a ambas clasificaciones de aguas residuales (urbanas e industriales) a excepción del sitio de muestreo P2, el cual en temporada de nortes el contenido de materia orgánica corresponde a la clasificación de aguas residuales urbanas. Las concentraciones de MO, NT y FT en los sedimentos superficiales de Arroyo Moreno provienen de fuentes autóctonas, origen terrestre, procesos sedimentológicos influenciados por la estación climática y la generada por las actividades antrópicas que se desarrollan a los alrededores.

De acuerdo con los Lineamientos para la Protección y Gestión de la Calidad de los Sedimentos Acuáticos en Ontario (1993), las concentraciones de MO, NT y PT no superaron los límites permisibles establecidos en la norma, aun así, Arroyo presentaindicios de contaminación.



## 9. REFERENCIAS

- Alvarez, J. M. (2013). *Análisis del estado actual de conservación del área natural protegida Arroyo Moreno, (Boca del Río, Veracruz), bajo un enfoque de intervención ecológica*. <https://148.226.24.32/handle/123456789/46384>
- Andrades, M., Moliner, A., & Masaguer, A. (2015). Prácticas de edafología: métodos didácticos para análisis de suelos. *Material Didáctico. Agricultura y Alimentación*, 15(7), 82.
- Amor, RB, Jerbi, H., Abidi, M. y Gueddari, M. (2020). Evaluación de la contaminación por metales traza, el carbono orgánico total y la acumulación de nutrientes en los sedimentos superficiales de la bahía de Monastir (este de Túnez, mar Mediterráneo). *Estudios Regionales en Ciencias Marinas*, 34, 101089.
- Aneli, R. J. R., Alejandra, D. L. S. B., Lilia, F. F. A., & Gabriel, G. O. (2014). Toxicidad letal y subletal del fosfato de sodio dibásico y efectos en branquias y conducta de las crías del pez goodeido *Skiffia multipunctata*. *Hidrobiologica*, 24(3), 207–214. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-88972014000300004&script=sci\\_arttext&tlng=pt](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-88972014000300004&script=sci_arttext&tlng=pt)
- Antonio, J., Jiménez, M., Sociales, D. E. C., Un, D. E. L. O. S. E. D. E. A., & Necesidad, U. N. A. (2011). La detención de los estilos de aprendizaje: ¿un objetivo o una necesidad? *Dialnet.Unirioja.Es*, 1–11. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4104247>
- AVILES, S. P., & MARTINEZ, J. L. (2012). Granulometría y materia orgánica de áreas pesqueras rastreables y no rastreables en la costa central de Sonora, México. Efectos de la pesca de arrastre en el Golfo de California.
- Basile, P. (2018). *Transporte de sedimentos y morfodinámica de ríos aluviales*. <http://rephip.unr.edu.ar/handle/2133/10738>
- Bentez, L. G. C. (2011). Textura de sedimentos y carbono orgánico en el sistema costero lagunar Alvarado, Veracruz. *Contactos*, 81, 11-16.
- Bofill-Mas, S., Clemente-Casares, P., Albiñana-Giménez, N., Maluquer de Motes Porta, C., Hundesa Gonfa, A., & Girones Llop, R. (2005). Efectos sobre la salud de la contaminación de agua y alimentos por virus emergentes humanos. *Revista española de salud pública*, 79, 253-269.
- Bravo-Espinosa, M., Osterkamp, W., Latinoamericana, V. L.-T., & 2004, U. (2004). Transporte de sedimentos en corrientes naturales: Revisión técnica de ecuaciones empíricas de predicción del arrastre de sedimentos de fondo. *Terra Latinoamericana*, 22(3), 377–386. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57322315.pdf>

- Cade-Menun, B. J. (2017). Characterizing phosphorus forms in cropland soils with solution  $^{31}\text{P}$ -NMR: past studies and future research needs. In *Chemical and Biological Technologies in Agriculture* (Vol. 4, Issue 1, p. 19). <https://doi.org/10.1186/s40538-017-0098-4>
- Camargo, J., Ecosistemas, A. A.-, & 2007, U. (2007). Contaminación por nitrógeno inorgánico en los ecosistemas acuáticos: problemas medioambientales, criterios de calidad del agua, e implicaciones del cambio climático. *Ecosistemas*, 16(2), 1–13. <https://doi.org/10.7818/457>
- Carrillo Loera, Miguel Ángel, Pérez- Bravo, Sheila Genoveva Maria EstherBautista-Vargas, García-Navarro, J. (2016). Determinación de la materia orgánica en sedimentos de lagunas costeras para la factibilidad del uso de una celda de combustible microbiana para generación de energía sostenible. Artículo Revista de Energía Química y Física Junio, 3(7), 15–26. [www.ecorfan.org/bolivia](http://www.ecorfan.org/bolivia)
- Canedo-López, Y., Ruiz-Marín, A., & Chi-Ayil, J. (2014). DIAGNÓSTICO DE LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN SEDIMENTO SUPERFICIAL DE LA LAGUNA DE TÉRMINOS, CAMPECHE: UNA APROXIMACIÓN ESTADÍSTICA. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, Desarrollo y Práctica*, 7(2), 95–104. <http://revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/46786>
- Capeáns, P. P. (2008). Biodisponibilidad de cromo en sedimentos marinos de la ría de Arousa. Univ Santiago de Compostela.
- Castillo Aké, J. A., Rodríguez Gómez, C. F., & Buendía, A. L. (2016). *Arroyo Moreno: Un manglar en la ciudad*. <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/48553/115-CYL-090816.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cervantes-Córdoba, A., Ferreira da Silva, A. M., Guzmán-Arias, I., & Villagra-Mendoza, K. (2016). Cuantificación del Transporte de Sedimentos en el río La Estrella, Limón, Costa Rica. *Revista Tecnología En Marcha*, 29(6), 86. <https://doi.org/10.18845/tm.v29i6.2905>
- Chetumal, E. (2018). *MANUAL DE PRÁCTICAS DE EDAFOLOGÍA*. [www.itzonamaya.edu.mx](http://www.itzonamaya.edu.mx)
- Colina, J. V. (2000). Tipos de contaminación, sus fuentes y efectos en el estuario de Santoña. Monte Buciero, (5), 211-224.
- Dabadie, M., Pérez, C., Arturi, M., Goya, J., & Sandoval, M. (2018). Calibración del método de pérdida de peso por ignición para la estimación del carbono orgánico en Inceptisoles del NE de Entre Ríos. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 117(1), 157-162.

- De Jesús Navarrete, A., Rivera, J. J. O., Beltrán, V. V., & López, N. Q. (2000). Distribución de los sedimentos en la Bahía de Chetumal, Quintana Roo, Mexico. *Hidrobiológica*, 10(1), 61-68
- de Marcano, D. D. C. A. (2005). EVALUACIÓN GEOQUÍMICA DE LOS SEDIMENTOS SUPERFICIALES DE LAS BAHÍAS ESTE Y OESTE DEL MORRO DE PUERTO SANTO, ESTADO SUCRE, VENEZUELA (Doctoral dissertation, INSTITUTO OCEANOGRÁFICO).
- Díaz-Asencio, M., Sanchez-Cabeza, J. A., Bolaños-Álvarez, Y., Ruiz-Fernández, A. C., Gómez-Batista, M., Morabito, R., & Alonso-Hernández, C. (2014). Un siglo de sedimentación y contaminación por Hg en la desembocadura del río Sagua la Grande (Cuba). *Ciencias Marinas*, 40(4), 321–337. <https://doi.org/10.7773/cm.v40i4.2472>
- Dodds, W. K. (2002a). Aquatic Chemistry Controlling Nutrient Cycling: Redox and O<sub>2</sub>. In *Freshwater Ecology* (pp. 202–228). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/b978-012219135-0/50012-x>
- Dodds, W. K. (2002b). Nitrogen, Sulfur, Phosphorus, and Other Nutrients. In *Freshwater Ecology* (pp. 245–266). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/b978-012219135-0/50014-3>
- Duarte, C. M., Alonso, S., Benito, G., Dachs, J., Montes, C., Pardo Buendía, M., ... & Valladares, F. (2006). Cambio Global. Impacto de la actividad humana sobre el sistema Tierra. CSIC. Consejo superior de investigaciones científicas.
- Endara, A. D. L. M. G., Heinert, M. E. J., & Solórzano, H. X. P. (2020). Contaminación del agua y aire por agentes químicos. *RECIMUNDO*, 4(4), 79-93.
- Escobar, J. (2002). La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar. CEPAL.
- Espinosa, L. F., Parra, J. P., & Villamil, C. (2011). Determinación del contenido de metales pesados en las fracciones geoquímicas del sedimento superficial asociado a los manglares de la ciénaga grande de Santa Marta, Colombia. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR*, 40(1), 7-23.
- Espósito, M. E., Blanco, M. del C., Sequeira, M. E., Paoloni, J. D., Fernández, S. N., Amiotti, N. M., & Díaz, S. L. (2016). Contaminación natural (As, F) y eutrofización (N,P) en la cuenca del arroyo El Divisorio, Argentina. *Phyton*, 85, 51–62. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/48274>
- Fonfría, R., Sans, R., & Ribas, J. de P. (1989). *Ingeniería ambiental: contaminación y tratamientos*. [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=kumplOJs6T0C&oi=fnd&pg=PA5&dq=1989\).+Ingeniería+ambiental:+contaminación+y+tratamientos+\(Vol.+28\):](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=kumplOJs6T0C&oi=fnd&pg=PA5&dq=1989).+Ingeniería+ambiental:+contaminación+y+tratamientos+(Vol.+28):)

+Marcombo&ots=0E2DQ4UMwo&sig=OP92hoourTBG7SuNgBQXEjQFqlw

- Garibay Pardo, L. (2006). Desarrollo comunitario: base para las propuestas de conservación y manejo del Manglar Arroyo Moreno.
- García Flores, M., & Maza Alvares, J. A. (1998). Origen y propiedades de los sedimentos. In *Manual de Ingeniería de Ríos* (p. 111).
- García, A., Laurín, M., Llosá, M. J., González, V., Sanz, M. J., & Porcuna, J. L. (2006). Contribución de la agricultura ecológica a la mitigación del cambio climático en comparación con la agricultura convencional. *Agroecología*, 1, 75-88.
- García, Y, M., & Chávez. (2019). HISTORICAL APPROACH OF THE FISH SPECIES COMPOSITION IN ARROYO MORENO, VERACRUZ, MEXICO. *BIOCYT Biología Ciencia y Tecnología*, 12(45–48).  
<https://doi.org/10.22201/fesi.20072082.2019.12.72323>
- González-Lozano, M. C., Méndez-Rodríguez, L. C., López-Veneroni, D. G., & Vázquez-Botello, A. (2006). Evaluación de la contaminación en sedimentos del área portuaria y zona costera de Salina Cruz, Oaxaca, México. *Interciencia*, 31(9), 647-656.
- Gómez, J. A., Fuentes, M. V., Leone, O., & Vega, C. A. (2006). Características geoquímicas de los sedimentos superficiales de la Bahía de Panamá. *Tecnociencia*, 8(1), 113-132
- Grijalva Endara, A. de las M., Jiménez Heinert, M. E., & Ponce Solórzano, H. X. (2020). Contaminación del agua y aire por agentes químicos. *RECIMUNDO*, 4(4), 79–93. [https://doi.org/10.26820/recimundo/4.\(4\).octubre.2020.79-93](https://doi.org/10.26820/recimundo/4.(4).octubre.2020.79-93)
- Guadarrama-Tejas, R., KIDO-MIRANDA, J., ROLDAN-ANTUNEZ, G., SALAS-SALGADO, M., MATA-GARCÍA, M., VÁZQUEZ-BRIONES, M. D. C., ... & ORTEGA-HERRERA, F. (2016). Contaminación del agua. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*, 2(5), 1-10.
- Hernández, L., ... J. R.-C. de M., & 2005, U. (2005). Tesis básicas del racionalismo crítico. *Revistahistoriaindigena.Uchile.Cl*, 23, 193–203.  
<https://revistahistoriaindigena.uchile.cl/index.php/CDM/article/view/26080>
- Hernández, (2000). Nitrógeno, fósforo y cociente C/N en los sedimentos superficiales de la laguna de Chacopata, Sucre, Venezuela. *Revistas.Ucr.Ac.Cr*. Retrieved January 11, 2022, from <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/rbt/article/view/29360>
- Jimenez Monroy, L. L., Jahuira Huarcaya, F. A., & Ibañez Quispe, V. (2016). Tratamiento de aguas eutrofizadas de la bahía interior de Puno, Perú, con el uso de dos Macrófitas. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 18(4), 403-

410.

J., N. (n.d.). *Neira, J. (2008). Visual, Auditivo o kinestésico.... - Google Académico.* Retrieved September 7, 2021, from

[https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as\\_sdt=0%2C5&q=Neira%2C+J.+%282008%29.+Visual%2C+Auditivo+o+kinestésico.+Los+alumnos.&btnG=](https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Neira%2C+J.+%282008%29.+Visual%2C+Auditivo+o+kinestésico.+Los+alumnos.&btnG=)

Julca-Otiniano, A., Meneses-Florián, L., Blas-Sevillano, R., & Bello-Amez, S. (2006). La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. *Idesia (Arica)*, 24(1), 49-61.

Kemmer, F. N., & McCallion, J. (1979). *The NALCO water handbook.* <https://www.academia.edu/download/54154609/328124.pdf>

Lanza, J. G., Churión, P. C., & Gómez, N. (2016). Comparación entre el método Kjeldahl tradicional y el método Dumas automatizado (N cube) para la determinación de proteínas en distintas clases de alimentos. *Saber*, 28(2), 245-249.

Lau, SSS y Chu, LM (2000). La importancia de la contaminación por sedimentos en un humedal costero, Hong Kong, China. *Investigación del agua*, 34 (2), 379-386.

Liu, E., Shen, J., Liu, X., Zhu, Y., & Wang, S. (2006). Variation characteristics of heavy metals and nutrients in the core sediments of Taihu Lake and their pollution history. *Science in China, Series D: Earth Sciences*, 49(SUPPL. 1), 82–91. <https://doi.org/10.1007/s11430-006-8108-6>

Lozano, F., Dávalos, A., Delgado, M., & Facetti Masulli, J. F. (2018). Nitrógeno, fósforo y sedimentos en el Arroyo Itay - I. *Revista de La Sociedad Científica Del Paraguay*, 23(1), 67–82. <https://doi.org/10.32480/rscp.2018-23-1.67-82>

Martínez, K. B., Lázaro, J. M., & Caballero, E. M. C. (2015). Dispersantes químicos y cuantificación de fracciones texturales por los métodos Bouyoucos y pipeta. *Acta Agronómica*, 64(4), 308–314. <https://doi.org/10.15446/ACAG.V64N4.45722>

Montalvo, J. F. (2006). Caracterización química de los sedimentos superficiales de las bahías de Cárdenas y Santa Clara, Archipiélago Sabana-Camagüey, Cuba.

NORMA OFICIAL MEXICANA (NOM) NOM-021-RECNAT-2000, QUE ESTABLECE LAS ESPECIFICACIONES DE FERTILIDAD, SALINIDAD Y CLASIFICACION DE SUELOS. ESTUDIOS, MUESTREO Y ANALISIS INDICE.

NORMA MEXICANA NMX-AA-029-SCFI-2001, ANÁLISIS DE AGUAS- DETERMINACIÓN DE FÓSFORO TOTALA EN AGUAS NATURALES,

## RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS-MÉTODO DE PRU

- Olguín, E. J., González-portela, R. E., Sánchez-galván, G., & Zamora-, J. E. (2010). Contaminación de ríos urbanos : El caso de la subcuenca del río Sordo en Xalapa , Veracruz , México Resumen. *Rev Latinoam Biotecnol Amb Algal*, 1(2), 178–190. [https://www.researchgate.net/profile/Eugenia-Olguin/publication/268347238\\_Contaminacion\\_de\\_rios\\_urbanos\\_El\\_caso\\_de\\_la\\_subcuenca\\_del\\_rio\\_Sordo\\_en\\_Xalapa\\_Veracruz\\_Mexico/links/5491adb0c1f23b7c974c1432/Contaminacion-de-rios-urbanos-El-caso-de-la-subcuenca-de](https://www.researchgate.net/profile/Eugenia-Olguin/publication/268347238_Contaminacion_de_rios_urbanos_El_caso_de_la_subcuenca_del_rio_Sordo_en_Xalapa_Veracruz_Mexico/links/5491adb0c1f23b7c974c1432/Contaminacion-de-rios-urbanos-El-caso-de-la-subcuenca-de)
- Ottos Díaz, E. (2015). Relación entre el contenido de materia orgánica y nitrógeno total de los suelos de la provincia de Leoncio Prado.
- Padrón, J., Estudios, H. C.-T. R. de, & 2000, undefined. (2000). ¿ Qué es investigar? Una respuesta desde el enfoque epistemológico del racionalismo crítico. *Dialnet.Unirioja.Es*, 2(2), 314–330. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6436308>
- Pardo, L. G. (2006). *Desarrollo comunitario: base para las propuestas de conservación y manejo del Manglar Arroyo Moreno*. <http://cdigital.uv.mx/handle/123456789/42101>
- Parra y Espinosa, (2008). Distribución de metales pesados (Pb, Cd y Zn) en perfiles de sedimento asociado a rhizophora mangle en el río Sevilla-Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR*, 37(1), 95-110.
- Pereyra Díaz, D., Pérez Sesma, J. A. A., & Salas Ortega, M. D. R. (2010). Hidrología.
- Reyez Gómez, M., & Barreto, L. (2011). Efecto de la materia orgánica del suelo en la retención de contaminantes. *Epsilon*, 1(16), 31-45
- Reynolds, K. A. (2001). Tratamiento de aguas residuales en Latinoamérica. *Latinoamérica*, 48-49.
- Rodríguez, M., & Gómez, I. (2016). Actividad microbiana en sedimentos superficiales del Bosque de manglar (*Rhizophora mangle*) de la bahía de Pertigalete (Anzoátegui, Venezuela), durante los períodos de Surgencia y transición. *Saber*, 28(3), 511-522.
- Rodríguez Moreno, N. C., & Toro Lozano, C. A. (2006). Estandarización del tiempo de incubación y concentración de CaCO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub> (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub> y KNO<sub>3</sub> para la prueba del NMP con bacterias nitrificantes y denitrificantes usando como matriz compost.

- Robledo Zacarías, V. H., Velázquez Machuca, M. A., Montañez Soto, J. L., Pimentel Equihua, J. L., Vallejo Cardona, A. A., López Calvillo, M. D., & Venegas González, J. (2017). Hidroquímica y contaminantes emergentes en aguas residuales urbano industriales de Morelia, Michoacán, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33(2), 221–235. <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.02.04>
- Salas Monreal, D., Díaz-Hernández, A., Áke-Castillo, J. A., Granados - Barba, A., & Riverón-Enzástiga, M. L. (2020). Variación anual de los parámetros hidrográficos en la confluencia del río Jamapa y arroyo Moreno (México). *Intropica*, 59–65. <https://doi.org/10.21676/23897864.3402>
- Salomons y Brils. (2004). Contaminated Sediments in European River Basins. *European Sediment Research Network*, 1, 1–79. [www.SedNet.org](http://www.SedNet.org)
- Sánchez, B., Ruiz, M., & Ríos, M. M. (2005). *MATERIA ORGÁNICA Y ACTIVIDAD BIOLÓGICA DEL SUELO EN RELACIÓN CON LA ALTITUD, EN LA CUENCA DEL RÍO MARACAY, ESTADO ARAGUA.*
- Sastre, J. A. S. (2005). Tecnologías para la sostenibilidad. EOI Escuela de Organización Industrial.
- Severiche, C. A., Luna, J., & González, H. (2013). *Analytical evaluation for the determination of total phosphorus in water by ascorbic acid method COLCIENCIAS TIPO 1. ARTÍCULO ORIGINAL* (Issue 17)
- Seppälä, J., Knuuttila, S., & Silvo, K. (2004). Eutrophication of Aquatic Ecosystems: A New Method for Calculating the Potential Contributions of Nitrogen and Phosphorus. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 9(2), 90–100. <https://doi.org/10.1007/BF02978568>
- Shriadah, M. M. A. (1999). Heavy metals in mangrove sediments of the United Arab Emirates shoreline (Arabian Gulf). *Water, Air, and Soil Pollution*, 116(3–4), 523–534. <https://doi.org/10.1023/A:1005139020681>
- Silva, N., De Vidts, V., & Sepúlveda, J. (2001). Materia orgánica, C y N, su distribución y estequiometría en sedimentos superficiales de la región central de los fiordos y canales australes de Chile (Crucero CIMAR-FIORDO 2). *Revista de Ciencia y Tecnología del Mar*, 24, 23-40.
- Skordas, K., Kelepertzis, E., Kosmidis, D., Panagiotaki, P., & Vafidis, D. (2015). Assessment of nutrients and heavy metals in the surface sediments of the artificially lake water reservoir Karla, Thessaly, Greece. *Environmental Earth Sciences*, 73(8), 4483–4493. <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3736-1>
- Tam, N. F. Y., Li, S. H., Lan, C. Y., Chen, G. Z., Li, M. S., & Wong, Y. S. (1995). Nutrients and heavy metal contamination of plants and sediments in Futian mangrove forest. *Hydrobiologia*, 295(1–3), 149–158.

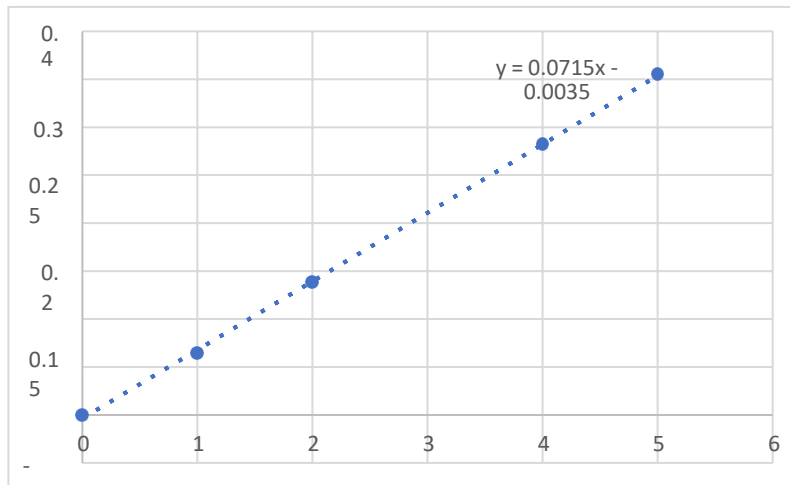
<https://doi.org/10.1007/BF00029122>

- Tank, J. L., Reisinger, A. J., & Rosi, E. J. (2017). Nutrient Limitation and Uptake. In *Methods in Stream Ecology: Third Edition* (Vol. 2, pp. 147–171). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813047-6.00009-7>
- Teixeira Correia, G., Sánchez Ortiz, I. A., Gebara, D., Dall'Aglio Sobrinho, M., & Matsumoto, T. (2013). Remoción de fósforo de diferentes aguas residuales en reactores aeróbios de lecho fluidizado trifásico con circulación interna. *Revista Facultad de Ingeniería*, 67, 172–182.  
<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&profile=ehost&scope=site&authtype=crawler&jrnl=01206230&AN=97255059&h=yAvvnMoO3n9B8tHBhJuV1HBgi6ya9J1vmxA016ZL2zQOKu4tlKFXI3%2B9nwQWELVcXiW3W91ma3TcoLm6o%2FajZg%3D%3D&crl=c>
- Thompson, L. M., & Troeh, F. R. (1980). Los suelos y su fertilidad. Reverté.
- Torres Eristáin, B., González López, G., Rustrían Ortila, E., & Houbron, E. (2013). Enfoque de cuenca para la identificación de fuentes de contaminación y evaluación de la calidad de un río, Veracruz, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 29(3), 135–146.  
[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-49992013000300001&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-49992013000300001&script=sci_arttext)
- van Rijn, L. (1993). Principles of Sediment Transport in Rivers, Estuaries and Coastal Seas. *Principles of Sediment Transport in Rivers, Estuaries and Coastal Seas*, 1–17. <https://www.aquapublications.nl/Contentsbook2part1.pdf>
- Verónica Pineda, M. (2009). Granulometría y Geoquímica de los Sedimentos Marinos en el área comprendida entre el Seno Reloncaví y Golfo Corcovado, Chile. Crucero Cimar 10 Fiordos. *Revista Ciencia y Tecnología Del Mar*, 32(1), 27–47. <https://www.redalyc.org/pdf/624/62412166003.pdf>
- Vide, J. (2009). *Ingeniería de ríos*.  
[https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=DI DodO5iHEYC&oi=fnd&pg=PT6&dq=Martin,+V.,+Juan+Pedro+\(2009\).+Ingeniería+de+ríos+\(Vol.+9\):+Univ.+Politèc.+de+Catalunya&ots=Fu-qXFDZec&sig=vKCASgc9tFo0inZkqXDPATYqtPQ](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=DI DodO5iHEYC&oi=fnd&pg=PT6&dq=Martin,+V.,+Juan+Pedro+(2009).+Ingeniería+de+ríos+(Vol.+9):+Univ.+Politèc.+de+Catalunya&ots=Fu-qXFDZec&sig=vKCASgc9tFo0inZkqXDPATYqtPQ)
- von Schiller, D., Bernal, S., Dahm, C. N., & Martí, E. (2017). Nutrient and Organic Matter Dynamics in Intermittent Rivers and Ephemeral Streams. In *Intermittent Rivers and Ephemeral Streams: Ecology and Management* (pp. 135–160). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803835-2.00006-1>
- Walker, D. B., Baumgartner, D. J., Gerba, C. P., & Fitzsimmons, K. (2019). Surface Water Pollution. In *Environmental and Pollution Science* (pp. 261–292). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-814719-1.00016-1>



- Yang, Y., Gao, B., Hao, H., Zhou, H., & Lu, J. (2017). Nitrogen and phosphorus in sediments in China: A national-scale assessment and review. *Science of the Total Environment*, 576, 840–849.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.136>
- Yolcubal, I., Brusseau, M. L., Artiola, J. F., Wierenga, P. J., & Wilson, L. G. (2004). ENVIRONMENTAL PHYSICAL PROPERTIES AND PROCESSES. *Environmental Monitoring and Characterization*, 207–239.  
<https://doi.org/10.1016/B978-012064477-3/50014-X>
- Zhu, D., Wu, S., Han, J., Wang, L., & Qi, M. (2018). Evaluation of nutrients and heavy metals in the sediments of the Heer River, Shenzhen, China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(7).  
<https://doi.org/10.1007/s10661-018-6740-1>
- Zúñiga-Ruiz, P., Solano-Aguileta, J. A., Amaro-Espejo, I. A., Salcedo-Garduño, M. G., & Velázquez, C. R. (2021). Evaluación de la contaminación en 2 temporadas (lluvias y nortes) por fuentes puntuales y difusas sobre Río Grande, Veracruz. *RINDERESU*, 5(2).

## 10. ANEXOS



Curva de calibración para fósforo



Preparación de muestras para el análisis granulométrico de Bouyoucos



Medida de tamices para el análisis granulométrico



Preparación de muestras para el análisis de MO



Muestras de sedimentos después de la incineración para determinar MO



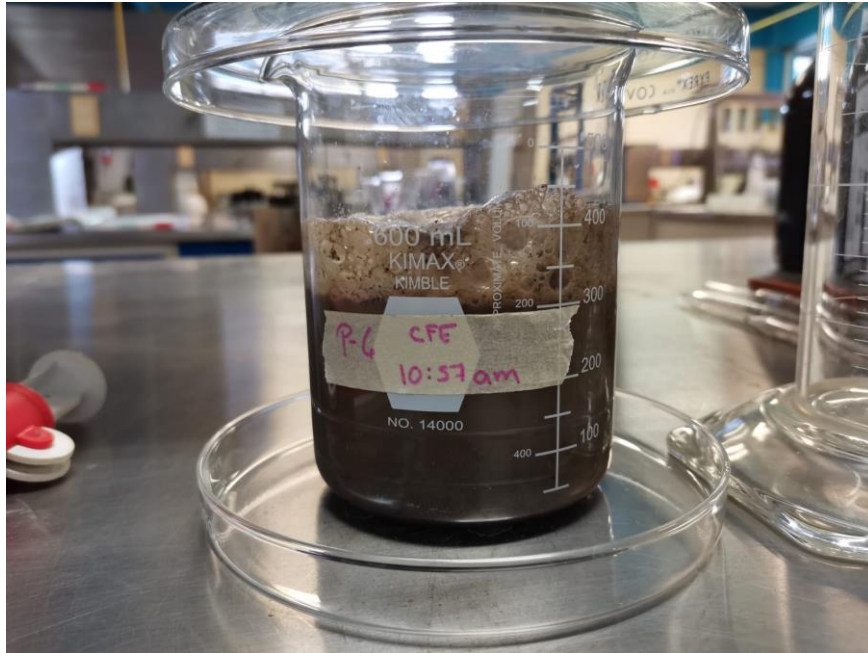
Soluciones para curva de calibración para la determinación de FT



Preparación de muestras para análisis de fósforo



Prueba de Bouyoucos para sedimentos



Análisis de sedimentos



Descarga de aguas residuales en Canal de Zamorana que descarga en Arroyo Moreno



Asentamientos humanos cercanos a Arroyo Moreno



Vertimientos en Arroyo Moreno