



**SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA
DEL RÍO**

**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E
INVESTIGACIÓN**

**RELACIÓN DE FUENTES PUNTUALES Y DIFUSAS
DE CONTAMINACIÓN CON LA CALIDAD DE AGUA
DEL RÍO GRANDE, VER.**

TESIS

PRESENTA:

BIOL. JOSE AXEL SOLANO AGULETA

DIRECTOR:

DRA. PAULA ZUÑIGA RUIZ

CODIRECTORA:

M.I. I. ARACELI ISABEL AMARO ESPEJO

ASESOR:

M.C. CHRISTIAN REYES VELÁZQUEZ.

BOCA DEL RÍO, VERACRUZ, MÉXICO.



"2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata"

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

Número Registro **A-604-120118**

En la ciudad de Boca del Río, Ver., siendo las 14:00 horas del día 17 del mes de septiembre de 2019 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:

"RELACIÓN DE FUENTES PUNTUALES Y DIFUSAS DE CONTAMINACIÓN CON LA CALIDAD DE AGUA DEL RIO GRANDE, VER."

Que presenta el (la) alumno(a):

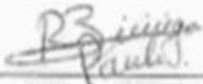
BIOL. JOSÉ AXEL SOLANO AGUILETA

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. Paula Zúñiga Ruiz
Director


M.C. Araceli Amaro Espejo
Codirector


M.C. Christian Reyes Velázquez
Asesor


Dra. Itzel Calaviz Villa
Asesor





"2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata"

Boca del Río, Ver., **14/octubre/ 2019**

ASUNTO: AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

BIOL. JOSÉ AXEL SOLANO AGUILETA
PASANTE DE LA 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:

"RELACIÓN DE FUENTES PUNTUALES Y DIFUSAS DE CONTAMINACIÓN CON LA CALIDAD DE AGUA DEL RÍO GRANDE, VER."

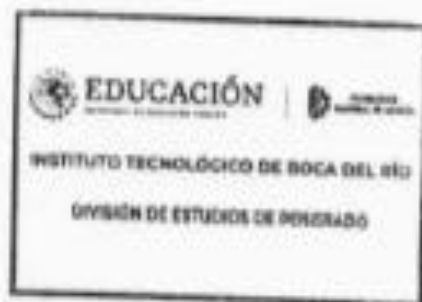
Esta División de Estudios de Posgrado e Investigación le concede AUTORIZACIÓN para que proceda a su impresión.

ATENTAMENTE

Excellencia en Educación Tecnológica
Por nuestros más responsables

M. C. ANA LETICIA PLATAS PINOS
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

c.c.p. Coordinación de la Maestría
c.c.p. Expediente



**“SI REALMENTE AMAS
LA NATURALEZA
ENCONTRARÁS LA BELLEZA
EN TODAS PARTES”**

Vincent Van Gogh

El presente trabajo está dedicado a mi familia por haber sido mi apoyo a lo largo de toda mi formación profesional y a lo largo de mi vida. A todas las personas especiales que me acompañaron en esta etapa, haciendo una contribución para forjar un ser humano entusiasta y con principios.

Agradecimientos

Agradezco al Instituto Tecnológico de Boca del Río para el Desarrollo de mi trabajo, y por las facilidades que otorgaron para la elaboración del proyecto y por confiar en mí para concluir este trabajo.

Agradezco al Consejo de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por su apoyo para la realización de este proyecto de tesis el cual es una herramienta importante para conocer el estado de Río Grande, Ver. Y para aportar información del impacto ambiental que están recibiendo los ríos en México.

Agradezco a la Doctora Paula Zúñiga Ruiz quien me asesoró y enseñó los análisis fisicoquímicos que fueron fundamentales para realizar el proyecto.

Al Maestro Christian Reyes Velázquez por su valiosa aportación de conocimientos y comentarios para presentar adecuadamente la tesis.

A la Maestra Araceli Isabel Amaro Espejo quien me asesoró y aportó sugerencias para la tesis.

Le agradezco a mi Familia por guiarme siempre en el camino correcto, por escucharme cuando lo he necesitado y por ser la fuerza que me mantiene en pie.

Resumen

La contaminación de las aguas superficiales un problema que ha sido objeto de estudio en los últimos años. Algunos autores mencionan que la principal ruta de contaminación marina son los ríos principalmente en las desembocaduras, varios de los principales contaminantes son: productos químicos, aguas residuales y residuos industriales.

Río Grande no cuenta con registros históricos de contaminación acerca de los contaminantes que transporta por lo que en este trabajo surgió la necesidad de estudiarlo; el objetivo de este trabajo fue evaluar la calidad de agua de Río Grande apegado a la normatividad correspondiente y considerando fuentes puntuales y difusas que se encuentren en él, así como también el empleo de un sistema de muestreo espacio temporal.

El diseño metodológico de la investigación es de tipo analítico descriptivo, en base a lo antes mencionado se realizaron dos muestreos de agua durante temporada de lluvias y nortes y se analizaron los parámetros de: O. D., Nitratos, Fósforo, Solidos Totales, Cloruros, Dureza, Conductividad, pH, DQO y DBO.

Como resultado se obtuvo que existen fuentes puntuales que generan descargas directas sobre el río, estas se tomaron en cuenta para puntualizar los sitios de muestreo, además de encontrarse cerca del cauce fuentes difusas como construcciones y áreas de pastoreo. En cuanto a los parámetros fisicoquímicos se observó que el punto 4 suministra al río altas concentraciones de nitratos, fosforo, solidos totales, DQO y DBO. El sitio 2 concentra la mayor cantidad de O.D., mientras que cloruros, dureza, conductividad y pH, son parámetros mayormente elevados en el sitio 5. Con respecto al estudio espacio temporal se observó que, en los parámetros de nitratos, cloruros, dureza, pH, la acción de la temporalidad expresa diferencias significativas mientras que fosforo, solidos totales, conductividad, DQO y DBO expresan diferencias con respecto al sitio.

PALABRAS CLAVE: Contaminación, Fuentes puntuales, Parámetros.

Abstract

Pollution of surface waters is a problem that has been studied in recent years. Some authors mention that the main route of marine pollution is the rivers mainly at the mouths, several of the main pollutants are chemical products, sewage and industrial waste.

Rio Grande does not have historical records of contamination about the contaminants it carries, so in this surgical work the need to study it; The objective of this work was to evaluate the water quality of Rio Grande, adhere to the corresponding regulations and evaluate specific and diffuse sources found in it, as well as the use of a temporal space sampling system.

The methodological design of the research is of a descriptive analytical type, based on the aforementioned two water samples will be analyzed during the rainy season and the parameters of: OD, Nitrates, Phosphorus, Total Solids, Chlorides, Hardness, Conductivity will be analyzed. , pH, COD and BOD.

As a result, it is obtained that there are specific sources that direct discharges are obtained on the river, these are taken into account to point out the sampling sites, in addition to finding diffuse sources such as constructions and grazing areas near the channel. Regarding the physicochemical parameters, point 4 will be detected, which is supplied to the river with high concentrations of nitrates, phosphorus, total solids, COD and BOD. Site 2 concentrates on the greatest amount of OD, while chlorides, hardness, conductivity and pH are mostly limited parameters at site 5. With respect to the temporal space study, it will be seen that in the parameters of nitrates, chlorides, hardness, pH, the action of temporality expresses different differences while phosphorus, total solids, conductivity, COD and BOD express differences with respect to the site.

KEYWORDS: Pollution, Point sources, Parameters.

Índice

Agradecimientos	i
Resumen	ii
Abstract	iii
Índice de figuras	vii
Índice de cuadros	viii
1. Introducción	1
2. Antecedentes	4
2.1 Contaminación en los cuerpos de agua	4
2.2 Contaminación de agua por fuentes puntuales y difusas	4
2.3. Análisis multiparamétricos para calidad de agua.	5
2.4. Análisis espacio temporales para calidad de agua	6
3. Marco Teórico.....	8
3.1 Ciclo Hidrológico	8
3.2 Ríos.....	9
3.3 Agua Superficial	10
3.4 Contaminación del agua	12
3.5. Contaminantes emergentes.....	13
3.6. Tipos de fuentes de contaminación.....	17
3.7 Parámetro Fisicoquímico	18
3.8 Parámetros Fisicoquímicos	18
3.8.1. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).....	18
3.8.2. Fósforo:	19
3.8.3. Sólidos Totales: Son la materia solida que esta, suspendida, disuelta, o asentada en un líquido como el agua, esta materia permanece luego de la evaporación y secado de alguna muestra. (Tesauro, 2013).....	19
3.8.4. Cloruros:.....	20
3.8.5. Nitratos:	20
3.8.7. Dureza:	21
3.8.8. pH:.....	21
3.8.9. DQO	22
3.8.10. Oxígeno disuelto.....	22
3.8.11. Conductividad.....	23
4. Justificación	25
5. Objetivo	26
5.1. Objetivo General	26

5.2. Objetivos Específicos	26
6. Material y Métodos	27
6.1 Identificación de los sitios de muestreo	27
6.2. Método de muestreo	28
6.2.1. Identificación de fuentes puntuales y difusas de contaminación al efluente y ubicación de puntos de muestreo	28
6.2.2. Toma de muestras.....	28
6.2.3. Integración y discusión de los resultados.	28
6.3 Análisis en el laboratorio	28
6.3.1 Medición de parámetros	28
6.4 Análisis estadístico.....	30
7. Resultados y Discusiones.....	31
7.1. Identificación de fuentes de contaminación puntual y difusa en Río Grande, Veracruz.....	34
7.1.1. Variación estacional de los parámetros de la calidad del agua superficial de Río grande.	35
7.1.2. Variación espacio temporal de la concentración de oxígeno disuelto (mg/L)	35
7.1.3. Oxígeno disuelto	35
7.1.4. Análisis por temporada	35
7.1.5. Análisis por sitio de muestreo	36
7.2. Variación espacio temporal de la concentración de nitratos (mg/L)	37
7.2.1. Nitratos	37
7.2.2. Análisis por temporada.....	37
7.2.3. Análisis por sitio de muestreo.....	38
7.3. Variación espacio temporal de la concentración de fosforo (mg/L).....	39
7.3.1. Fosforo	39
7.3.2. Análisis por temporada.....	39
7.3.3. Análisis por sitio de muestreo.....	40
7.4. Variación espacio temporal la concentración solidos totales (mg/L)	42
7.4.1. Sólidos totales	42
7.4.2. Análisis por temporada.....	42
7.4.3. Análisis por sitio de muestro.....	43
7.5. Variación espacio temporal la concentración de cloruros (mg/L)	44
7.5.1. Cloruros.....	44
7.5.2. Análisis por temporada.....	44

7.5.3. Análisis por sitio de muestreo.....	45
7.6. Variación espacio temporal la concentración de dureza (CaCO ₃ mg/L)	47
7.6.1. Dureza.....	47
7.6.2. Análisis por temporada.....	47
7.6.3. Análisis por sitio de muestreo.....	48
7.7. Variación espacio temporal la concentración de conductividad (μS/cm mg/L).....	49
7.7.1 Conductividad.....	49
7.7.2. Análisis por temporada.....	49
7.7.3. Análisis por sitio.....	50
7.4 Variación espacio temporal la concentración de pH	51
7.4.1 pH.....	51
7.4.2. Análisis por temporada.....	51
7.4.3. Análisis por sitio de muestreo.....	52
7.5. Variación espacio temporal la concentración de demanda química de oxígeno	53
7.5.1. Demanda Química de Oxígeno	53
7.5.2. Análisis por temporada.....	53
7.5.3. Análisis por sitio de muestreo.....	54
7.6. Variación espacio temporal la concentración de demanda Bioquímica de oxígeno	55
7.6.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno	55
7.6.2. Análisis por temporada	55
7.6.3. Análisis por sitio de muestreo.....	56
9. Conclusión.....	59
10. Recomendaciones	60
11. Literatura Citada	62
Anexos.....	69

Índice de figuras

Figura 1. Ciclo del Agua. Tomado de	8
Figura 2. Geografía de cuerpos de agua	10
Figura 3. Agua superficial	11
Figura 6. Sitio uno y segmento del mismo	32
Figura 7. Sitio dos con vista aérea.	33
Figura 8. Sitio tres con vista aérea.	33
Figura 9. Desagüe sitio cuatro	34
Figura 10. Sitio cinco	34
Figura 11. Concentración de oxígeno disuelto (mg/l) por temporada. (1) Nortes (2) Lluvias	35
Figura 12. Análisis de OD por sitio de muestreo.	36
Figura 13. Análisis de NO ₃ - por temporada.	37
Figura 14 Análisis de NO ₃ - por sitios de muestreo.	38
Figura 15. Análisis de P por sitio de muestreo	40
Figura 16. Análisis de P por sitio de muestreo	41
Figura 17. Análisis de ST por temporada	42
Figura 18. Análisis de ST por sitio de muestreo	43
Figura 19. Análisis de Cl por temporada.....	45
Figura 20. Análisis de CaCO ₃ por temporada	47
Figura 21. Análisis de CaCO ₃ por sitio de muestreo	48
Figura 22. Análisis de Conductividad por temporada	49
Figura 23. Análisis de Conductividad por sitio de muestreo	50
Figura 24. Análisis de pH por temporada	51
Figura 25. Análisis de pH por sitio de muestreo	52
Figura 26. Análisis de DQO por temporada.	53
Figura 27. Análisis de DQO por temporada.	54
Figura 28. Análisis de DBO por temporada	56
Figura 29. Análisis de DBO por sitio de muestreo	57

Índice de cuadros

Cuadro 1. Coordenadas de puntos de muestreo	Error! Bookmark not defined.
Cuadro 2. Fuentes puntuales y difusas en los sitios de Río Grande	35
Cuadro 3. Valores medios de las concentraciones de oxígeno disuelto (OD mg/L) durante las dos temporadas en los cinco sitios de muestreo.	36
Cuadro 4. Valores medios de las concentraciones de nitratos (mg/L) durante las dos temporadas en los cinco sitios de muestreo.	38
Cuadro 5. Valores medios de las concentraciones de fosforo (mg/L) durante las dos temporadas en los cinco sitios de muestreo.	41
Cuadro 6. Valores medios de las concentraciones de cloruros (Cl) durante las dos temporadas en los cinco sitios de muestreo.	43
Cuadro 7. Valores medios de las concentraciones de cloruros (Cl) durante las dos temporadas en los cinco sitios de muestreo.	46
Cuadro 8. Valores medios de las concentraciones de Dureza (CaCO ₃ durante las dos temporadas en los cinco sitios de muestreo.	48
Cuadro 9. Valores medios de la concentración de conductividad (µS/cm) durante las dos temporadas en los cinco sitios de muestreo	50
Cuadro 10. Valores medios de las concentraciones de demanda bioquímica de oxígeno (DQO mg/L) durante las dos temporadas en los cinco sitios de muestreo.	54
Cuadro 11. Valores medios de las concentraciones de DBO (mg/L) durante las dos temporadas en los cinco sitios de muestreo.	57
Cuadro 12. Valores de referencia de los parámetros estudiados.	58

1. Introducción

En México, como en gran parte del mundo existe una creciente preocupación por el agua, los principales desafíos identificados en los foros nacionales, regionales y especiales realizados para construir la Agenda del Agua 2030, son, entre otros:

¿Cómo cubrir las necesidades básicas de consumo de agua para los diversos usos sin deteriorar las fuentes naturales de agua y la integridad de los ecosistemas?

¿Cómo detener la sobreexplotación y la contaminación de los acuíferos y de los cuerpos de aguas superficiales? (CONAGUA 2011).

La contaminación se puede definir como una alteración producida por el hombre en la integridad física, química y biológica del agua, aire y suelo. (Naciones Unidas, 1984).

Sin embargo, la contaminación en ríos es una vertiente del impacto negativo general de la atmosfera; esta se concentra en los efluentes como consecuencia de escorrentías principalmente y actividades relacionadas con los humanos.

Los ríos pueden llegar a presentar una modificación debido a la existencia de contaminantes que alteran su estado y/o composición, estos pueden llegar a cambiar su dinámica natural y hacerlos incapaces de albergar vida y, por ende, que no puedan efectuar un servicio ambiental (Sanz, 1999).

Los cuerpos hidrológicos son la base para la acuicultura, riego, recreación, generación eléctrica e industrial, y parte importante del abastecimiento público. Su demanda mundial para estas actividades es cada día mayor, lo que aumenta su extracción y reduce los caudales disponibles.

La afectación a la calidad del agua comprende la contribución de sustancias químicas y otros contaminantes, incluyendo: sedimentos, nutrientes, microorganismos, grasas y aceites, pesticidas, entre otros.

Estos agentes externos son constituyentes que pueden considerarse como contaminantes si se encuentran en concentraciones excesivas que impidan el uso benéfico de un cuerpo receptor de agua y afecten su integridad ambiental. (Escobar, 2002), califica como riesgo potencial de contaminación la cercanía de las zonas urbanas a los ríos, por lo que es importante la Aparte de la afectación de las aguas superficiales debido a las descargas de aguas residuales, otros impactos incluyen: la

alteración hidráulica de los ríos, eliminar la vegetación ribereña (que se ubica cercana al cauce), o modificaciones hidrológicas que provocan que los ríos se tornen inestables y sufran de erosión (Novotny, 2003; Campbell, D'Arcy, Frost, Novotny y Sansom, 2005).

Alrededor del 70 % – 75 % de la contaminación marina global es producto de las actividades humanas que tienen lugar en la superficie terrestre. Un 90 % de los contaminantes es transportado por los ríos al mar. Por otro lado, entre un 70 % y 80 % de la población mundial (aproximadamente 3.6 billones de personas) se ubica en las costas o cerca de ellas, especialmente en zonas urbanas, donde una parte importante de los desechos que allí se producen se deposita directamente en el océano.

Las fuentes de contaminación deberían ocupar hoy una posición tan destacada en la temática ambiental como la tiene la preocupación por el cambio climático. Sin embargo, en la práctica esto aún no ocurre. La alteración y destrucción del hábitat, los efectos en la salud humana, la eutrofización, la disminución de las poblaciones de peces y otros recursos vivos, cambios en el flujo de sedimentos, son aspectos vinculados a las fuentes fijas y difusas de la contaminación producida por actividades que tienen lugar en tierra y por el efecto de captación de agua que tienen las cuencas hidrográficas, generan efectos concentrados en las desembocaduras de los ríos al mar y las zonas costeras aledañas.

Existe una clasificación del tipo de fuentes contaminantes que generan el mayor porcentaje de deterioro en los ríos y que son tema importante por considerar en los estudios de calidad de agua en este caso agua dulce, estas fuentes pueden también afectar la hidrología salobre y salada en caso de estar presentes en cuerpos de estas características. Ejemplo de estas fuentes son las puntuales que pueden ser detectadas con facilidad pues son puntos donde se exhibe un aporte de aguas de origen doméstico o industrial mientras que las fuentes difusas se encuentran asociadas a los diferentes usos de suelo y de agua, y que debido a fenómenos de transporte se movilizan y se transfieren a los recursos hídricos. (Arellano 2010).

Existe una remediación natural conocida como “autodepuración” que es la capacidad de un cuerpo de agua para convertir o diluir compuestos orgánicos progresivamente

(Branco, 1984) sin embargo, esta capacidad se ve opacada por la gran cantidad de residuos que son contaminantes de todo tipo de aguas.

El panorama de la contaminación hídrica en América Latina y el Caribe está dominado por las descargas municipales de origen doméstico e industrial, seguido de las mineras. Ellas constituyen una mezcla muy variada de sustancias y compuestos que representan entre el 90 %– 95 % de la contaminación que llega indirectamente a las áreas costeras y se estima que apenas el 2 % de las descargas reciben tratamiento (Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA], 1999) del total de la contaminación costera.

2. Antecedentes

2.1 Contaminación en los cuerpos de agua

Se evaluaron los efectos de la contaminación en cuerpos de agua y la procedencia de dichos contaminantes a estos recursos, algunos ejemplos se describen a continuación:

Leman en 1981 realizó una investigación llamada Impacto de los ríos en los sistemas oceánicos, la cual se basó en determinar la procedencia de los contaminantes existentes en las zonas de desembocadura de los ríos de Europa y como es que estos afectan los ecosistemas marinos.

Se hizo una investigación, la cual se basó en determinar la procedencia de los contaminantes existentes en las zonas de desembocadura de los ríos de Europa y como es que estos afectan los ecosistemas marinos.

Como resultado calificó a los ríos como “la principal ruta” de introducción al mar de contaminantes producidos por la actividad humana y por causas naturales.

Determinación de calidad de agua sedimentos y suelos marinos y costeros en puertos Colombianos Estos autores en 2010, Quintero, Agudelo, Quintana, Cardona, y Osorio, determinaron la calidad de agua en sedimentos y suelos marinos costeros en puertos colombianos, trabajo en el cual descubrieron que; la mala organización en cuanto al manejo de los residuos humanos y al mal uso de los espacios costeros como consecuencia de las actividades inherentes a su función, están alterando las condiciones naturales de la calidad de aguas, sedimentos y suelos.

Resultado de este trabajo se determinó que las aguas superficiales son receptores de residuos sólidos y líquidos, orgánicos e inorgánicos de tipo industrial o doméstico producidos por las áreas de influencia y que se ven impactadas por el crecimiento de los asentamientos humanos.

2.2 Contaminación de agua por fuentes puntuales y difusas

Se han evaluado los impactos de los contaminantes de tipo puntual, así como de tipo difuso varios ejemplos de ello son los siguientes:

Loaiza 2009 elaboró un estudio que consistió en realizar un diagnóstico de la contaminación del agua en La Quebrada Camaronera en Costa Rica al caracterizar los contaminantes y evaluar la calidad del agua por medio de la toma de muestras y su análisis de parámetros microbiológicos y biológicos. Para esto se utilizó la determinación de coliformes fecales/100 ml, y el parámetro biológico de DBO, con un muestreo en época seca y lluviosa. Todo esto tomando en cuenta las zonas urbanas cercanas a dicho cuerpo de agua clasificadas como fuentes de contaminación puntuales, a su vez existen fuentes difusas de contaminación, provenientes de campos de cultivo cercanos al medio.

Como resultado se obtuvo que los resultados de DBO demuestran a lo largo de la zona estudiada cantidades normales (2 mgO₂/l). Se determinó que la degradación y destrucción que afecta la quebrada son inducidas principalmente por el crecimiento urbano-turístico no planificado y el vertido de aguas servidas, aguas negras, y desechos sólidos catalogados como fuentes puntuales de contaminación.

Vintimilla 2016 determinó los valores de contaminación difusa en la cuenca del río Tomebamba en Monay, Ecuador de acuerdo con el uso de suelo. Para ello, seleccionó tres sitios en los cuales se realizó un monitoreo de caudal y 27 campañas de muestreo, analizando 4 parámetros de calidad del agua (SST, NO₃, DBO y DQO) por un período de 10 meses, cubriendo la estacionalidad húmeda, media y seca.

2.3. Análisis multiparamétricos para calidad de agua.

Se han realizado estudios de análisis multiparamétricos para calidad de agua los varios ejemplos de ello son los siguientes:

Bolaños *et al*; 2017 determinaron nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en Alajuela, Costa Rica.

Este trabajo se centró en medir los parámetros fisicoquímicos antes mencionados y el volumen de estos en las diversas muestras de agua potable de toda la región, como resultado obtuvieron que los nitritos y nitratos están presentes en concentraciones altas, lo cual es un indicador de contaminación de origen antrópico.

Con respecto a los análisis fisicoquímicos y microbiológicos Almazán-Juárez y colaboradores en 2016 evaluaron dichos parámetros durante la temporada de secas y lluvias para conocer la calidad del agua de la cuenca baja del río Papagayo y sus afluentes. Los parámetros analizados se compararon con los criterios ecológicos de calidad del agua y las Normas Oficiales Mexicanas.

Reportaron que algunos valores de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos se encuentran fuera de los límites máximos permisibles, en la época de lluvias se encontraron valores más altos que en la época de secas.

Díaz, 2013 realizó un estudio de la evaluación de la calidad de agua y sedimentos por medio de parámetros fisicoquímicos, bacteriológicos y metales pesados para determinar la disponibilidad y la concentración de agentes dañinos y conocer el grado de contaminación del río Grande de Morelia.

El cual tuvo como resultado una notable presencia de contaminación en río Grande, esto se debe posiblemente a las descargas municipales e industriales, por ser las que aportan gran cantidad de desechos a río Grande, lo cual afecta a los diferentes parámetros de calidad, también estas aguas residuales son grandes aportadores de sales y partículas disueltas y lo más importante de metales pesados, lo cual hace peligroso su uso para fines agrícolas.

2.4. Análisis espacio temporales para calidad de agua

Estudios de análisis espacio temporales han ayudado a determinar el comportamiento de contaminantes y su grado de afectación en recursos hídricos algunos trabajos son los siguientes:

Comas y colaboradores en 1998 realizaron un análisis espacio temporal en el río Urola, España. Este trabajo consistió en el monitoreo de una red de estaciones de muestreo perteneciente a la Diputación Foral de Guipuzkoa, donde desde 1977, se recoge información fisicoquímica con regularidad. Este trabajo expone los resultados de los factores FI y FII, donde FI es el nivel de contaminación orgánica y FII es el factor de la ordenación espacial mediante una matriz de datos.

Como resultado se reveló la existencia de un tramo fluvial profundamente contaminado, hecho que corrobora la necesidad de ubicar una planta depuradora. El

estudio de la variabilidad temporal refleja diferencias interanuales e intraanuales, lo cual permite interpretar, en términos generales, la evolución del río con base a su grado de contaminación.

Guzmán-Colis y colaboradores en 2011 evaluaron la variación espacial y temporal de las concentraciones de materia orgánica, nutrientes, tóxicos orgánicos, organismos coliformes y metales pesados en el río San Pedro, principal corriente del estado de Aguascalientes. En su recorrido de aproximadamente 90 km por la entidad, recibe el aporte de 24 cursos de agua y cerca del 96 % de las aguas residuales tratadas y crudas generadas por los diversos sectores.

Como resultado se obtuvieron que los valores de OD aumentaron con respecto a la cercanía con efluentes de aguas residuales, a su vez que mostraron valores bajos de OD en época de secas mientras que en época de lluvias aumento.

3. Marco Teórico

3.1 Ciclo Hidrológico

Toda el agua viene en forma de precipitación. El agua se evapora del océano por la energía del sol en una proporción de cerca de 1.8 metros de agua anualmente. El agua que se evapora está libre de sales minerales más pesadas que son desviadas atrás. Este vapor de agua sube y es transportado por los vientos, donde eventualmente condensa en las nubes. Cuando estas nubes se enfrían, las pequeñas partículas de agua se colectan dentro de gotas más grandes las que pueden precipitar dentro de la tierra o del agua en lagos y océanos. Cuando el agua cae en forma de lluvia nieve, o granizo, adhiere y transporta a la tierra el polvo y toda clase de impurezas en el aire. Innecesario, es decir, que la primera agua trae la mayor concentración de contaminación. Después de un corto periodo de lluvia, la precipitación es relativamente libre de contaminantes. Una gran parte del agua evaporada es llevada sobre la tierra por los vientos y las gotas que caen producen nuestras fuentes de agua fresca. Estas gotas pueden humedecer la tierra e infiltrarla a los mantos acuíferos, caer como nieve en la parte alta de las montañas o colectarse en lagos o ríos, pero en una forma u otra, todas las gotas eventualmente retornan al océano. Esta es una breve descripción del ciclo hidrológico.



Figura 1. Ciclo del Agua. Tomado de www.google.com

3.2 Ríos

Un río es una corriente natural de agua que fluye con continuidad. Posee un caudal determinado, rara vez constante a lo largo del año, y desemboca en el mar, en un lago o en otro río, en cuyo caso se denomina afluente. La parte final de un río es su desembocadura. Cuando el río es corto y estrecho, recibe el nombre de caño, riachuelo o arroyo, estas corrientes naturales reciben el nombre de ecosistemas fluviales en los cuales se conforma un biotopo con tres elementos fundamentales: el cauce, la ribera y la llanura de inundación, estos a su vez dan lugar a la biota acuática y terrestre.

El cauce de un río está formado por el lecho, el agua con sus características fisicoquímicas e hidráulicas y los sedimentos. Los sedimentos juegan un papel muy importante ya que su zona superficial es la que ocupan un conjunto de macroinvertebrados que son la base de la cadena trófica del río. Existen además una serie de factores que intervienen en el cauce, como el perfil longitudinal, la planta o la sección, que son fundamentales para entender la dinámica fluvial. Debe también tenerse en cuenta que el río es un sistema con dimensión longitudinal, quizás la más aparente, pero también con dimensión transversal y en profundidad, cuando el río se conecta con el acuífero. La base del ecosistema fluvial son las relaciones entre todos sus elementos siendo también muy importante la variabilidad anual y entre años en las condiciones hidráulicas (Fernández, s.f).

Los tipos de ríos son varios y según su período de actividad se pueden clasificar en: ríos perennes, ríos estacionales, ríos transitorios y ríos alóctonos.

Los ríos perennes son los que están formados por cursos de agua localizados en regiones de lluvias abundantes con escasas fluctuaciones a lo largo del año. Sin embargo, incluso en las áreas donde llueve muy poco pueden existir ríos con caudal permanente si existe una alimentación freática suficiente. La mayoría de los ríos pueden experimentar cambios estacionales y diarios en su caudal, debido a las fluctuaciones de las características de la cobertura vegetal, de las precipitaciones y de otras variaciones del tiempo atmosférico como la nubosidad, insolación, evaporación, etc.

Los ríos estacionales son de zonas con clima tipo mediterráneo, en donde hay estaciones muy diferenciadas, con inviernos húmedos y veranos secos o viceversa. Suelen darse más en zonas de montaña que en las zonas de llanura.

Los ríos transitorios son los ríos de zonas con clima desértico o seco, de caudal que a veces, en los cuales se puede estar sin precipitaciones durante años. Esto es debido a la poca frecuencia de las tormentas en zonas de clima de desierto. Pero cuando existen descargas de tormenta, que muchas veces son torrenciales, los ríos surgen rápidamente y a gran velocidad.

Los ríos alóctonos son ríos, generalmente de zonas áridas, cuyas aguas proceden de otras regiones más lluviosas. El Nilo en Egipto siempre se ha tomado como ejemplo de este tipo de ríos. También el Okavango, otro río africano que termina en un amplio delta interior en una cuenca endorreica de clima relativamente seco.



Figura 2. Geografía de cuerpos de agua. Tomado de www.google.com

3.3 Agua Superficial

Agua proveniente de las precipitaciones que no se infiltra ni regresa a la atmósfera por evaporación que se encuentra fluyendo (discurriendo) o en reposo (ONG Perú Ecológico, 2012). Todas las aguas que existen en la superficie del terreno. Incluye: humedales, lagos, ríos, quebradas (incluyendo intermitentes), marismas, charcas de aguas claras y otros.

Las fuentes de aguas superficiales podrían dividirse en ríos, lagos y fuentes de abastecimiento. En general son caracterizadas como aguas blandas, con turbiedad, sólidos suspendidos, algo de color y contaminación microbiológica. Aguas subterráneas por otra parte, son caracterizadas por concentraciones elevadas de sólidos disueltos, bajos niveles de color, relativamente alta dureza y libres de contaminación microbiológica.

Las aguas superficiales son las mayores receptoras de contaminantes ya que, pueden hacer captación de sustancias, que pueden interactuar con la dinámica de efluentes principalmente, un ejemplo de ello es el nitrógeno (N) especialmente en forma de nitratos, este es uno de los principales elementos que degradan la calidad del agua. Estimaciones realizadas, indicaron que entre el 8 % y 11 % del N total aplicado en toda una cuenca tenían como destino las fuentes superficiales de agua. (Gardi, 2001).

Estas aguas a su vez son las que reciben descargas de aguas residuales producto de las zonas urbanas que crecen de manera descontrolada, de las cuales Veracruz con 16.41 3/s; de acuerdo con la Comisión Nacional de Agua (CONAGUA, 2012).

La vulnerabilidad a la cual están sometidas las aguas superficiales y en general toda el agua, es crítico pues de este recurso natural proceden parte de las necesidades actuales de los seres humanos y demás seres vivos por lo que es necesario remediar el uso y la explotación que conlleva todos los recursos hídricos.

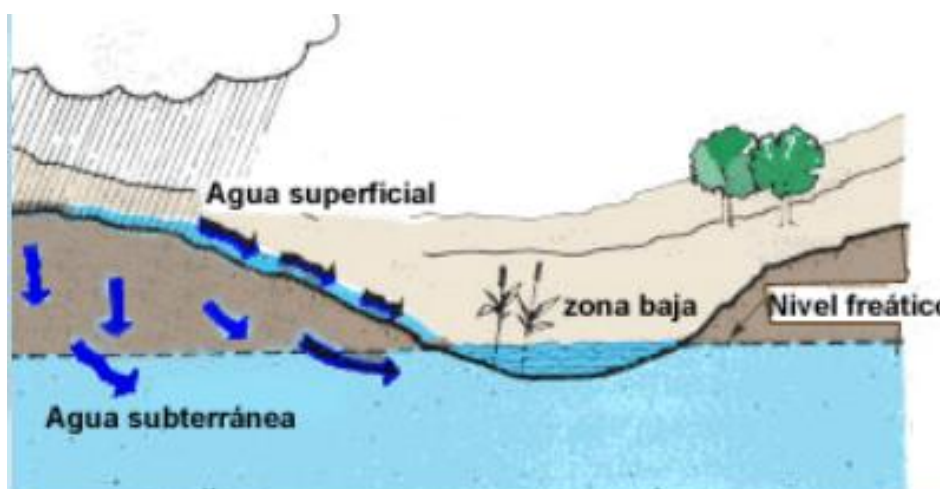


Figura 3. Agua superficial. Tomado de www.google.com

3.4 Contaminación del agua

La contaminación del agua es cualquier cambio químico, físico o biológico en la calidad del agua que tiene un efecto dañino en cualquier cosa viva que consuma esa agua. La contaminación del agua puede también puede hacer a esta inadecuada para un uso específico como lo es el agua de consumo humano. También se puede definir como la introducción de desechos u otras materias en el mar, resultante directa o indirectamente de actividades humanas, que tenga o pueda tener efectos perjudiciales tales como causar daño a los recursos vivos y a los ecosistemas marinos, entrañar peligros a la salud del hombre, entorpecer la actividades marítimas, incluidas la pesca y otros uso legítimos del mar, deteriorar la calidad del agua de mar en lo que se refiere a su utilización y menoscabar las posibilidades de esparcimiento.

Los contaminantes del agua se pueden dividir en dos grupos principales que son: contaminantes naturales y contaminantes artificiales.

Contaminantes naturales son aquellos que pueden entrar en contacto con el agua mediante ciertos constituyentes que se vierten naturalmente como resultado de los ciclos que se efectúan en la atmosfera y también como parte de la actividad de la corteza terrestre , ejemplo de ello son sustancias , minerales y sustancias orgánicas disueltas o en suspensión, tales como arsénico , cadmio , o bacterias adheridas al sustrato o en la columna de agua , a su vez gases provenientes de la atmosfera o de la transformación de materia orgánica resultante de la actividad de microorganismos.

Los contaminantes artificiales, son generalmente de origen antrópico y son producto de los desechos líquidos y sólidos que se vierten puntualmente o de manera difusa. Ejemplo de estos contaminantes artificiales son: sustancias de sumideros sanitarios como heces, orina, detergentes, entre otros. Sustancias provenientes de desechos industriales como grasas, aceites y compuestos químicos y desechos empleados en el combate de plagas agrícolas o de afectación humana como, pesticidas, herbicidas, insecticidas, raticidas, etc.

Dichos contaminantes a su vez se subdividen en contaminantes físicos, químicos y biológicos, a continuación, se describirán estos ejemplos.

Físicos: Afectan el aspecto del agua y cuando flotan o se sedimentan interfieren con la flora y fauna acuáticas. Son líquidos insolubles o sólidos de origen natural y diversos productos sintéticos que son arrojados al agua como resultado de las actividades del hombre, así como, espumas, residuos oleaginosos y el calor (contaminación térmica).

Químicos: Incluyen compuestos orgánicos e inorgánicos disueltos o dispersos en el agua. Los contaminantes inorgánicos son diversos productos disueltos o dispersos en el agua que provienen de descargas domésticas, agrícolas e industriales o de la erosión del suelo. Los principales son cloruros, sulfatos, nitratos y carbonatos.

También desechos ácidos, alcalinos y gases tóxicos disueltos en el agua como los óxidos de azufre, de nitrógeno, amoníaco, cloro y sulfuro de hidrógeno (ácido sulfhídrico). Gran parte de estos contaminantes son liberados directamente a la atmósfera y bajan arrastrados por la lluvia. Esta lluvia ácida, tiene efectos nocivos que pueden observarse tanto en la vegetación como en edificios y monumentos de las ciudades industrializadas.

Biológicos: Incluyen hongos, bacterias y virus que provocan enfermedades, algas y otras plantas acuáticas. Algunas bacterias son inofensivas y otras participan en la degradación de la materia orgánica contenida en el agua.

Ciertas bacterias descomponen sustancias inorgánicas. La eliminación de los virus que se transportan en el agua es un trabajo muy difícil y costoso.

3.5. Contaminantes emergentes

En el agua existen contaminantes emergentes que se pueden diferenciar entre sí, por ejemplo.

Pesticidas: son sustancias o mezclas de sustancias destinadas a prevenir, destruir, repeler o mitigar las plagas. Debido a la regulación de la cual han sido objeto, se han estudiado durante décadas y, en consecuencia, se tiene un razonable conocimiento sobre su presencia y destino en el medio acuático. En los últimos años la preocupación en torno a estos productos se centra en los metabolitos, productos de degradación, que han sido en su mayor parte ignorados hasta la fecha y que se ha visto que pueden ser más tóxicos que los compuestos a partir de los cuales se generan. Los estudios han demostrado que los metabolitos de plaguicidas a menudo

se detectan en aguas subterráneas en concentraciones más altas en comparación con los compuestos precursores.

En un estudio realizado por el Reino Unido, se reportaron concentraciones de metabolitos de plaguicidas medidos en las aguas subterráneas. Estos metabolitos se originaron a partir de compuestos no autorizados en el Reino Unido como DDT, heptacloro y atrazina. Estas tres sustancias hacen parte de la lista de las doce sustancias tóxicas más utilizadas en el mundo, incluidas en el tratado de las Naciones Unidas de mayo de 2001 en Estocolmo, Suecia; un total de 127 países adoptaron este tratado. Estas sustancias orgánicas están prohibidas ya que son persistentes, bioacumulables y poseen características de toxicidad capaces de ocasionar efectos adversos al ambiente y a la salud como cáncer hepático y defectos congénitos en personas y animales.

Productos Farmacéuticos: La presencia de productos químicos farmacéuticos en el medio acuático ha sido reconocida como una preocupación. Las vías principales de productos farmacéuticos en el medio ambiente son a través de la excreción humana, la eliminación de los productos no utilizados y por el uso agrícola. Una amplia gama de productos farmacéuticos se ha detectado en aguas superficiales y subterráneas, asociada con la eliminación de las aguas residuales. Estos residuos farmacéuticos son transportados al ciclo del agua por diferentes rutas: las plantas de tratamiento de aguas residuales actúan como una puerta de entrada de estos productos a los cuerpos de agua, porque muchos de estos compuestos no son realmente retenidos en sus procesos y, además, porque muchos residuos farmacéuticos veterinarios son descargados directamente al ecosistema. Lo que ha despertado una mayor preocupación con respecto a estos fármacos ha sido el hallazgo de algunos de ellos (como el ibuprofeno, el diclofenaco, la carbamacepina o el ácido clofíbrico) en aguas potables. Según las propiedades físico-químicas de los fármacos, sus metabolitos, productos de degradación, y las características de los suelos, estas sustancias pueden llegar a alcanzar las aguas subterráneas y contaminar los acuíferos o bien quedar retenidas en el suelo y acumularse pudiendo afectar al ecosistema y a los humanos a través de la cadena trófica.

Drogas ilícitas: Las drogas ilícitas y sus metabolitos son un gran grupo de contaminantes emergentes. Ellas entran a la red de aguas residuales como drogas inalteradas y/o sus metabolitos activos por excreción humana, saliva, y sudor,

después del consumo ilegal o por la eliminación accidental o deliberada de los laboratorios clandestinos de drogas. La disminución de la concentración, en los efluentes de aguas residuales Contaminantes emergentes en aguas superficiales, efectos y posibles tratamientos, dependen de las tecnologías utilizadas en los distintos procesos de aguas residuales en las plantas de tratamiento; además, la eficiencia de remoción del tratamiento depende de la carga y la naturaleza molecular de los fármacos y sus metabolitos. Tanto las drogas ilícitas como sus metabolitos son muy recalcitrantes a la eliminación de tratamientos convencionales fisicoquímicos y biológicos; por lo tanto, es necesario utilizar procesos de oxidación avanzada, ozonización, ósmosis, etc.; sin embargo, la mayoría de los tratamientos no los incluyen debido a sus altos costos, lo que significa que tanto las drogas como los metabolitos son liberados a las aguas superficiales e incluso en agua potable. Entre los contaminantes de drogas ilícitas más estudiadas están la anfetamina, la cocaína y sus metabolitos benzoilecgonina, norcocaína; metanfetamina, heroína, (3,4-metilendioxi metanfetamina) MDMA, además de la morfina. Las concentraciones de estos en el agua bajan de acuerdo con los días y horas; en las noches las concentraciones bajan, mientras en los fines de semana se ven incrementadas⁶³. La determinación de su concentración en el ambiente es una herramienta indirecta para estimar los niveles de consumo en la comunidad y evaluar el potencial impacto ecotoxicológico. Aunque las concentraciones de las diferentes drogas y sus metabolitos en las aguas superficiales se encuentran en el rango de nanogramos por litro, sus posibles efectos sobre la fauna y la salud humana no se pueden descartar, especialmente en las poblaciones vulnerables.

Hormonas y esteroides: Son encontradas en las aguas, ya que naturalmente el hombre las contiene, se producen en células específicas de los testículos, la corteza adrenal, ovarios y placenta. Los testículos serían los encargados de secretar, principalmente, testosterona (andrógenos), la corteza adrenal produce la aldosterona, cortisol y la DHEA (dehidroepiandrosterona), los ovarios producen los estrógenos que engloban el estradiol, 4-androsteno-3, 17-diona y la progesterona, y por último estaría la placenta que también secreta estradiol y progesterona, pero además produce otra sustancia, el estriol. Igualmente existen hormonas sintéticas de amplio uso, entre las que se incluyen las píldoras anticonceptivas. Tanto los estrógenos como los andrógenos se introducen al medio ambiente a través de los

efluentes de aguas residuales de las plantas de tratamiento, donde no son eliminados completamente⁶⁶, y actúan como disruptores endocrinos. Los estrógenos son un grupo de compuestos esteroides, llamados así por su importancia en el ciclo de celo y en la función primaria de la hormona sexual femenina, siendo un compuesto muy abundante y excretado constantemente por las mujeres; entre los más estudiados están los estrógenos naturales 17- β -estradiol y estriol; y estrógenos sintéticos como el 17- α -etinilestradiol; mientras entre los andrógenos, los compuestos naturales como testosterona y androstenoide, además de los sintéticos como oxandrolona y nandrolona, son los más investigados, por su ocurrencia en las aguas superficiales y subterráneas.

Cuidado personal: Los productos de cuidado personal que hacen parte de los contaminantes emergentes son: perfumes, fragancias, policíclicos y macrocíclicos; agentes de protección solar, Benzofenona, metilbenzilidenecambor; repelentes de insectos, N, N-dietiltoluamida. Los productos de cuidado personal se diferencian de los farmacéuticos ya que en grandes cantidades pueden ser directamente introducidos al ambiente; por ejemplo, estos productos pueden ser liberados dentro de las aguas recreacionales o volatilizados en el aire. Estos productos pueden afectar a los organismos acuáticos y a los humanos en ciertas concentraciones, estando presentes como: DEET-N, N-dietil-meta-toluamida, el ingrediente activo más común.

Retardantes de llamas: Los retardantes de llama bromados (BFRs), entre los que destacan el tetrabromo bisfenol A (TBBPA), el hexabromociclododecano (HBCD), y los polibromodifeniléteres (PBDEs), se emplean en una gran variedad de productos comerciales, tales como muebles, plásticos, tejidos, pinturas, aparatos electrónicos, etc. La producción de retardantes de llama a nivel mundial es de 200.000 toneladas por año, de las cuales cerca de 47.000 corresponden a PBDEs (Birnbaum y Staskal, 2004). La preocupación por estos compuestos radica básicamente en su gran ubicuidad, ya que se han detectado en un amplio abanico de muestras, tanto humanas como animales y medioambientales, y en áreas, además, alejadas de las zonas de mayor producción y uso (Meironyte , Noren y Bergman, 1999).

Contaminación por sedimentos: Se da el nombre genérico de sedimentos a las partículas procedentes de las rocas o suelos, que son acarreadas por las aguas que escurren y por los vientos. Todos estos materiales son depositados a lo largo de los propios cauces, en lagos o lagunas, en el mar y en las partes bajas de la cuenca,

principalmente en la planicie, lo que da origen a la formación de esta y a su levantamiento. El sedimento que se deposita en un gran cuerpo de agua recibe de esta su estructura y carácter finales. (García y Maza, 2019).

La agencia de protección ambiental de Estados Unidos considera a los sedimentos como los contaminantes más comunes en ríos , arroyos , lagos y embalses , estos tienen un decremento en su calidad de agua debido a la escorrentía de sedimentos provenientes de desagües pluviales y sumideros que transportan el agua lejos de las calles y las viviendas , lo que aumenta el potencial de inundaciones , el agua contaminada con sedimentos se torna turbia lo que impide que los animales acuáticos puedan ver su alimento , además de que la turbidez en el agua impide el crecimiento de vegetación acuícola. Otro ejemplo del impacto negativo es que los sedimentos que se depositan en el lecho de arroyos y ríos alteran la cadena alimenticia natural al destruir el hábitat donde viven los organismos más pequeños y provoca disminuciones masivas de poblaciones de peces.

Hay contaminantes que se pueden sedimentar como, por ejemplo, carbonatos, sales de magnesio o calcio e inclusive metales pesados como lo son el cadmio, plomo, selenio, níquel o cromo, que no se encuentran en altas concentraciones naturalmente en la composición de suelos acuáticos. Estos metales pueden generar una toxicidad alta en el agua, por lo cual se debe tener cuidado en ellos, ya que también pueden ser bioacumulados en los organismos que viven en los cuerpos de agua alterados. Estos pueden traer consecuencias graves a los humanos pues principalmente, el agua dulce que es convertida a potable y para consumo humano proviene de ríos, a su vez de que un alto índice de recursos pesqueros proviene de caudales, ríos, lagunas y otros cuerpos de agua dulce, por lo que podrían llegar a representar peligro a los humanos si consumen especies de río las cuales han sido contaminadas por los elementos sedimentables. (Esteves, Gil, y Harvey,1996).

3.6. Tipos de fuentes de contaminación

Se pueden diferenciar los contaminantes antes mencionados de acuerdo con su fuente, los cuales son puntuales y difusas.

Fuentes puntuales de contaminación son aquellas que tienen una localización estacionaria desde la cual los contaminantes son descargados. Es una fuente identificable individual de contaminación, Como los sistemas de tuberías y las fábricas. Estas fuentes son fáciles de identificar, monitorear y regular. (Pineda 2017)

Las fuentes difusas se refieren a fuentes de contaminación provenientes de extensas superficies de tierra que descargan contaminantes sobre una gran área de aguas superficiales y por filtración a aguas subterráneas. Ej. aguas de escorrentía de campos de cultivo, bosques, áreas urbanas, contaminación atmosférica. El control de la contaminación proveniente de fuentes no puntuales es más difícil ya que se desconoce el punto de entrada a los cursos de agua. Para el control de fuentes no puntuales es necesario poner más énfasis en prevención como por ejemplo: mejor uso del suelo, conservación del suelo, control de la contaminación atmosférica, regulación de la población. (González 2007)

3.7 Parámetro Fisicoquímico

Los parámetros fisicoquímicos son aquellos indicadores que dan una información extensa de la naturaleza de las especies químicas del agua y sus propiedades físicas; sin aportar información de su influencia en la vida acuática; los métodos biológicos aportan esta información, pero no señalan nada acerca del contaminante o los contaminantes responsables, por lo que muchos investigadores recomiendan la utilización del recurso hídrico (Orozco *et al.*, 2005).

La ventaja de los métodos fisicoquímicos se basa en los análisis rápidos y pueden también ser monitoreados con mayor frecuencia, en comparación con los métodos biológicos, basados en la observación y medición de ciertas comunidades de seres vivos en las aguas.

3.8 Parámetros Fisicoquímicos

3.8.1. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

La cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para oxidar residuos orgánicos de modo aerobio se denomina Demanda Bioquímica de Oxígeno. La

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) se usa como una medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidación de la materia orgánica biodegradable, presente en la muestra de agua, como resultado de la acción de oxidación aerobia (Ramalho, 2003).

La determinación de DBO es una de las pruebas más importantes para conocer la capacidad de contaminación de los cuerpos receptores, y la fuerza contaminante de las aguas negras y los desechos industriales. El DBO da un índice de la cantidad de agua clara de dilución necesaria, para una evacuación satisfactoria de aguas negras por dilución. (Del Ángel, 1994).

3.8.2. Fósforo: Símbolo P, número atómico 15, peso atómico 30.9738. El fósforo forma la base de gran número de compuestos, de los cuales los más importantes son los fosfatos, estos son importantes para desempeñar procesos esenciales en los procesos de transferencia de energía como el metabolismo, la fotosíntesis, la función nerviosa y la acción muscular, etc. Los meta y polifosfatos, llamados fosfatos complejos o condensados, también están presentes en aguas naturales bien sea porque son generados por los organismos acuáticos o porque provienen de las descargas de aguas residuales domésticas e industriales que contienen detergentes y productos químicos utilizados para el tratamiento de las aguas. Entre las fuentes de fósforo de origen natural caben mencionar los depósitos y rocas fosfóricas las cuales desprenden fósforo, en forma de ortofosfato principalmente, mediante erosión. Las fuentes antropogénicas puntuales incluyen las aguas servidas domésticas e industriales; las fuentes difusas están asociadas con la escorrentía de áreas agrícolas y domésticas. Una fracción del P en los fertilizantes orgánicos e inorgánicos es removida parcialmente por las plantas, otra fracción es arrastrada por el agua y el resto se acumula en el suelo trayendo como consecuencia la presencia de cantidades elevadas de este elemento en ríos y lagos.

3.8.3. Sólidos Totales: Son la materia sólida que esta, suspendida, disuelta, o asentada en un líquido como el agua, esta materia permanece luego de la evaporación y secado de alguna muestra. (Tesauro, 2013).

La determinación de los sólidos totales permite estimar los contenidos de materias disueltas y suspendidas presentes en un agua, pero el resultado está condicionado por la temperatura y la duración de la desecación. Su determinación se basa en una

medición cuantitativa del incremento de peso que experimenta una cápsula previamente tarada tras la evaporación de una muestra y secado a peso constante a 103-105°C. (APHA-AWWA-WEF 2005).

3.8.4. Cloruros: Los cloruros son sales que resultan de la combinación del gas cloro (ion negativo) con un metal (ion positivo). El cloro (Cl_2) es altamente tóxico y es usualmente utilizado como desinfectante, sin embargo, en combinación con un metal, como el sodio (Na), es esencial para la vida, dado que, pequeñas cantidades de cloruros son requeridas para la función celular en los seres vivos. En la naturaleza las sales de cloruro de sodio, cloruro de potasio, y cloruro de calcio están ampliamente distribuidas, su solubilidad en agua fría es: 357, 344, 745 g/L, respectivamente. El cloruro, en forma de ion Cl^- , es uno de los aniones inorgánicos principales en el agua, su contenido procede de fuentes naturales, aguas residuales y vertidos industriales. El efecto antropogénico está mayormente asociado con el ion sodio (Iowa Department of Natural Resources, 2009).

3.8.5. Nitratos: El nitrato es un compuesto inorgánico formado por un átomo de nitrógeno (N) y tres átomos de oxígeno que dan lugar a un anión (NO_3^-)

Los nitratos son componentes nitrogenados y son el resultado final del ciclo del nitrógeno en el cual unas bacterias llamadas nitrosomonas y nitrobacter se encargan de transformar el amoníaco en una sustancia con menor nivel de toxicidad.

El origen de los nitratos puede estar en las poblaciones urbanas, en las industrias, y en la actividad agraria. Los vertidos de las poblaciones e industrias contienen muchos compuestos nitrogenados que al oxidarse producen nitratos. El nitrato en la agricultura procede de los fertilizantes nitrogenados que se utilizan para abonar los campos de cultivos. También los desperdicios del ganado contienen nitrógeno que con el tiempo acaba transformándose en nitrato.

Su medición es importante ya que son un indicador absoluto de contaminación fecal en aguas naturales. Los nitratos no se consideran en sí tóxicos, pero la ingesta de grandes cantidades produce un efecto diurético. (Cabrera, Hernández, Gómez y Cañizares, 2003).

3.8.7. Dureza: Se denomina dureza del agua a la concentración de compuestos minerales que hay en una determinada cantidad de agua, en particular sales de magnesio y calcio. El agua denominada comúnmente como “dura” tiene una elevada concentración de dichas sales y el agua “blanda” las contiene en muy poca cantidad.

La dureza está controlada, principalmente, por factores geológicos. Las fuentes minerales principales de la dureza provienen del suelo y de acuerdo con la composición de éste, el agua será más o menos dura. Las aguas duras, aguas con elevado contenido de calcio y magnesio, se asocian con cuencas de captación de rocas sedimentarias, de las cuales las más comunes son las de piedra caliza y creta. Las aguas blandas, aguas con bajo contenido de calcio y magnesio, suelen haber estado en contacto con rocas impermeables como el granito. Las aguas superficiales en general, suelen ser más blandas que las aguas subterráneas.

Existen algunos antecedentes internacionales en la bibliografía especializada sobre la relación entre dureza del agua de consumo y algunas enfermedades que afectan al ser humano. La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2006), menciona que existen varios estudios epidemiológicos, ecológicos y analíticos, en que se ha observado que existe una relación inversa significativa entre la dureza y las enfermedades cardiovasculares y también se menciona que aguas muy blandas tienen efectos negativos en el equilibrio mineral del hombre. La OMS considera que estos estudios no son concluyentes, por lo que no se propone ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para la dureza. No obstante, el grado de dureza del agua puede afectar a su aceptabilidad por parte del consumidor en lo que se refiere al sabor y a la formación de incrustaciones.

3.8.8. pH: Se define como el logaritmo de la inversa de la concentración de protones: $\text{pH} = \log 1/[\text{H}^+] = -\log [\text{H}^+]$ La medida del pH tiene amplia aplicación en el campo de las aguas naturales y residuales. Estas tienen normalmente valores de pH en la zona de 4 a 9 y la mayoría son ligeramente básicas debido a la presencia de bicarbonatos y carbonatos de los metales alcalinos y alcalinotérreos. (Giraldo 1995.)

El pH es una propiedad básica e importante que afecta a muchas reacciones químicas y biológicas. Valores extremos de pH pueden originar la muerte de peces, drásticas alteraciones en la flora y fauna, reacciones secundarias dañinas

(por ejemplo, cambios en la solubilidad de los nutrientes, formación de precipitados, etc.). (Spehar, R.L., Christensen, G.M., Curtis, C., Lernke, A.E., Norberg, T.J. and Pickering, Q.H. 1992). El pH es un factor muy importante en los sistemas químicos y biológicos de las aguas naturales. El valor del pH compatible con la vida piscícola está comprendido entre 5 y 9. Sin embargo, para la mayoría de las especies acuáticas, la zona de pH favorable se sitúa entre 6.0 y 7.2. Fuera de este rango no es posible la vida como consecuencia de la desnaturalización de las proteínas.

3.8.9. DQO

Se define la Demanda Química de Oxígeno (DQO) como la cantidad de O_2 químicamente equivalente al $Cr_2O_7^{2-}$ consumido en este proceso. Dicha equivalencia queda establecida a partir de las reacciones de reducción-oxidación, además de proveer un vínculo adecuado entre los electrones intercambiados en dicho proceso con el sustrato orgánico involucrado, la biomasa y el oxígeno liberado permitiendo realizar un balance de masas sobre una misma base. La determinación de la DQO se utiliza para la caracterización y regulación de la emisión de desechos industriales.

Este análisis es muy útil para interpretar el funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales. No es aplicable en las aguas potables, ya que al tener un contenido tan bajo de materia oxidable la precisión del método no sería adecuada.

El DQO varía en función de las características de las materias presentes, de sus proporciones respectivas, de sus posibilidades de oxidación y de otras variables. Por esto la reproductividad de los resultados y su interpretación no pueden ser satisfechos más que en condiciones de metodología de ensayo bien definidas y estrictamente respetadas.

3.8.10. Oxígeno disuelto

Representado con las siglas OD, es la cantidad de oxígeno que está disuelta en el agua. Es un indicador de contaminación del agua. Generalmente, un nivel más alto de oxígeno disuelto indica que el agua es de mejor calidad. Si los niveles de oxígeno disuelto son demasiado bajos, algunos peces y otros organismos no pueden

sobrevivir. El oxígeno disuelto, proviene del oxígeno en el aire que se ha disuelto en el agua, parte del oxígeno disuelto en el agua es el resultado de la fotosíntesis de las plantas acuáticas. Otros factores como la salinidad, la altitud debido al cambio de presión atmosférica también afectan los niveles de oxígeno disuelto. En los lagos el nivel de oxígeno disuelto varía fundamentalmente con la profundidad, mientras en los ríos y arroyos los cambios suelen estar más a la dimensión horizontal. El oxígeno disuelto depende de la temperatura. El agua más fría puede contener más oxígeno que el agua más caliente. El oxígeno disuelto se puede expresar en miligramos por litro (mg/L) o en porcentaje de saturación (%).

La importancia de medir el oxígeno disuelto en agua es que se produce oxígeno y a la vez se consume este mismo. La producción de oxígeno está relacionada con la fotosíntesis, mientras el consumo dependerá de la respiración, descomposición de sustancias orgánicas y otras reacciones químicas. También puede intercambiarse oxígeno con la atmósfera por difusión o mezcla turbulenta. La concentración total de oxígeno disuelto dependerá del balance entre todos estos fenómenos. Los niveles bajos de oxígeno disuelto pueden encontrarse en áreas donde el material orgánico está en descomposición. Las bacterias requieren oxígeno para descomponer desechos orgánicos y, por lo tanto, disminuyen el oxígeno del agua. Si se consume más oxígeno que el que se produce, puede alcanzar niveles por debajo de lo necesario para la vida de muchos organismos en especial los peces pues estos son sensibles a la hipoxia.

3.8.11. Conductividad

La conductividad eléctrica (CE) del agua es una medida de la capacidad de esta para transportar la corriente eléctrica. En el Sistema Internacional de Unidades la CE se expresa como siemens por metro (S/m), pero por simplicidad se utiliza $\mu\text{S}/\text{cm}$ a una temperatura de 25°C. La conductividad del agua está relacionada con la concentración de las sales en disolución, cuya disociación genera iones capaces de transportar la corriente eléctrica. La solubilidad de las sales en el agua depende de la temperatura, por lo que la conductividad varía en conformidad con la temperatura del agua.

El método es aplicable a todo tipo de aguas: crudas, de proceso y tratadas, aguas residuales y naturales, incluidas las marinas. Para estas últimas, es preferible medir salinidad. Uno de sus objetivos básicos es verificar el cumplimiento de la legislación vigente para aguas potables en lo referente a la conductividad. En el control del agua potable distribuida, permite descubrir variaciones causadas por infiltraciones de aguas de mineralizaciones diferentes y a menudo, contaminadas. En las aguas residuales es necesario considerar que, a pesar de que se puedan presentar altas concentraciones de sólidos disueltos, los valores de conductividad pueden ser bajos porque las materias orgánicas y coloidales son, en general, malas conductoras de la corriente eléctrica.

4. Justificación

El estudio de Río Grande permitirá conocer las fuentes puntuales y difusas que contribuyen a su deterioro, obteniendo información sobre los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que reducen su calidad, lo que dará pauta para poder realizar propuestas de mitigación y hacerlas llegar a las autoridades correspondientes.

Se podría llegar a utilizar el recurso para el uso de actividades domésticas, además este río representaría una alternativa de recreación y pesca en años posteriores, sin embargo, hoy en día es receptor de desechos de los asentamientos cercanos.

El crecimiento poblacional e industrial requiere de la necesidad del recurso hidrológico, por lo que es necesario trabajar en la recuperación de cuerpos de agua.

5. Objetivo

5.1. Objetivo General

Evaluar la calidad del agua de Río Grande, Veracruz, mediante la normatividad correspondiente; considerando las fuentes puntuales y difusas empleando un sistema de muestreo espacio temporal.

5.2. Objetivos Específicos

Establecer los puntos de muestreo de acuerdo a las fuentes puntuales y difusas de contaminación.

Analizar por medio de parámetros fisicoquímicos la calidad del agua en apego a la normatividad.

Evaluar la influencia de las fuentes puntuales y difusas en la calidad el agua y su relación con las épocas de norte y lluvias.

6. Material y Métodos

6.1 Identificación de los sitios de muestreo

Se inició con visitas prospectivas a la zona de estudio; haciendo recorridos del área.

La zona de muestreo de aprox. 5 Km. está ubicada al norte de la ciudad de Veracruz, en ella se establecieron cinco sitios de muestreo, con la característica de ser adyacentes al efluente conocido como Río Grande (Figura 4).

Se realizaron 4 muestreos en total haciéndose dos en cada temporada (1 lluvias y 2 2 nortes), a partir de la información generada sobre las fuentes puntuales y difusas de contaminación al efluente. Se seleccionaron los sitios de muestreo y se evaluó las variaciones que sufren los parámetros fisicoquímicos de distintos puntos de muestreo, a fin de demostrar la calidad del agua; partiendo con la estandarización y adecuación de técnicas y equipos.

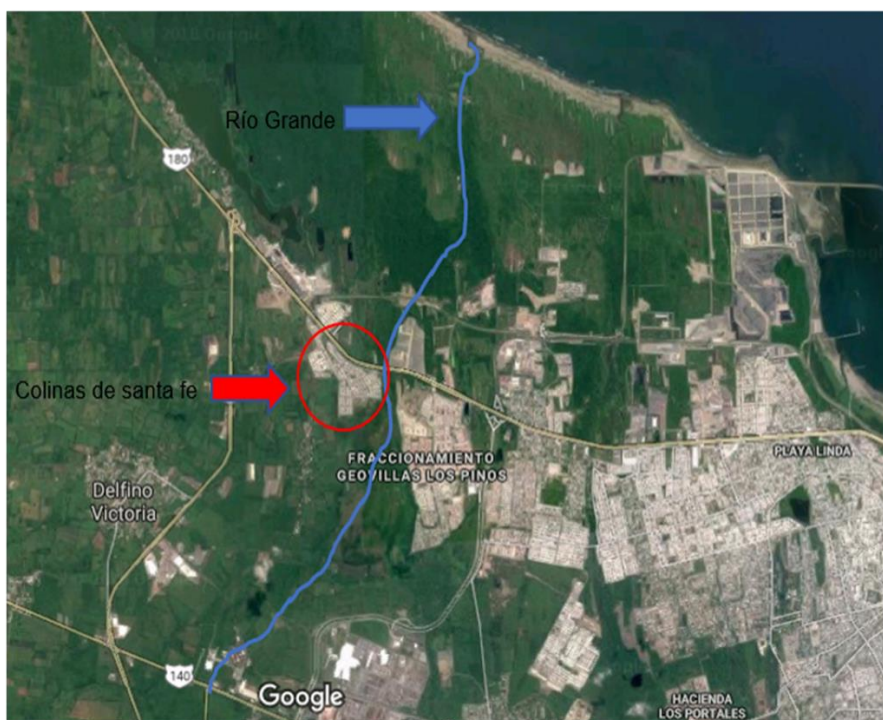


Figura 4 Área de estudio , fuente de Google Maps

6.2. Método de muestreo

6.2.1. Identificación de fuentes puntuales y difusas de contaminación al efluente y ubicación de puntos de muestreo

Se establecieron 5 puntos de muestreo en una sección aproximada de 5 Km de longitud. El criterio para la selección del sitio de muestro y toma de muestra tuvo como criterio la cercanía de las fuentes puntuales y difusas de contaminación.

6.2.2. Toma de muestras

Preservación y análisis de acuerdo a la NMX-AA-014-1980, para cuerpos receptores de aguas superficiales incluyendo los siguientes sitios: a) Cuerpos de agua dulce (o salobre) continental, excluyendo aguas de estuarios y lagunas costeras. b) cuerpos de agua dulce como de agua salobre, tanto continentales como de mar. Esta norma aplica a todos los sistemas de abastecimiento público y privados, tales como obras hidráulicas y de almacenamiento

6.2.3. Integración y discusión de los resultados.

Para conocer la calidad del agua se aplicó la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 (DOF, 1994), criterios para la calidad de agua de CONAGUA y criterios de calidad de agua de la OMS. Si el cuerpo de agua presenta características de calidad del agua semejantes a la del agua residual, es conveniente incluir los parámetros incluidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996.

6.3 Análisis en el laboratorio

6.3.1 Medición de parámetros

Se tomó en cuenta los métodos establecidos en las Normas Mexicanas correspondientes a los análisis propuestos en el trabajo.

Cloruros: Se utilizó el método propuesto en la NOM-AA-073-1981. Que define el método volumétrico para la determinación de cloruros totales en agua. El cual se basa en una valoración con nitrato de plata utilizando como indicador cromato de potasio.

Conductividad: Se realizó una medición in situ de acuerdo con el método propuesto en la NOM-001-SEMARNAT-1996. Definido como método de prueba. En el cual se

utiliza un conductímetro o sonda multiparamétrica. El análisis se efectuó con una sonda marca HANNA modelo HI-9828.

DBO: Para el análisis de DBO se utilizó el método propuesto en la NMX-AA-028-SCFI-2001. Consiste en añadir a la muestra por cada litro, 1 ml de las siguientes disoluciones: sulfato de magnesio, cloruro de calcio, cloruro férrico y disolución amortiguadora de fosfatos, poner las muestras en botellas winckler de preferencia llenas durante 5 días a 20°C en un digestor.

DQO: Para el análisis de DQO se utilizó el método propuesto en la NMX-AA-030-SCFI-2001. El cual consiste en transferir 10 ml de muestra a un matraz de reacción, diluir con reactivos de sulfato de mercurio y dicromato de potasio, llevar la mezcla al condensador hasta que esta haga ebullición y dejar reposar, posteriormente se titula con una solución de sulfato ferroso amoniacal de azul-verde a café rojizo, después de unos minutos regresa a color azul-verde.

Dureza: Se utilizó el método propuesto en la NOM-AA-072-2001. Que define el método E.D.T.A. Para la determinación de dureza total en agua. se emplea como indicador el negro de ericromo T, el cual, al ser agregado a una solución que contenga iones de calcio y magnesio, reacciona formando complejos de un color rojo vino. Después se adiciona la solución de E.D.T.A., que remueve los iones de calcio y magnesio de los complejos coloridos formando complejos solubles. Cuando ha sido agregada suficiente solución de E.D.T.A., para liberar todos los iones de calcio y magnesio, el indicador regresa a su color azul original.

Fósforo: Para realizar el análisis de fósforo se utilizó el método propuesto en la NMX-AA-029-SCFI-2001, denominado como método cloruro estanoso el cual consiste en ajustar el pH de la muestra. En caso de que la muestra presente un color rosado añadir unas cuantas gotas de ácido para neutralizar el desarrollo de color, posteriormente se añade 4.0 ml de heptamolibdato de amonio tetrahidratado a cada muestra, también se le añaden 5.0 ml de cloruro estanoso, la intensidad del color dependerá de la temperatura ambiente y se debe medir en el espectrofotómetro a 690nm, comparando la curva de calibración.

Nitratos: La medición de nitratos se efectuó mediante el método de reducción de cadmio cuperizado propuesto en la NMX-AA-079-SCFI-2001. En este método se emplea una disolución estándar intermedia de N-NO_3^- que sirve para preparar

disoluciones con un intervalo de concentraciones de 0,05 mg N-NO₃-/L a 1 mg N-NO₃-/L. Posteriormente se miden 0,5 ml, 1,0ml, 2,0 ml, 5,0 ml y 10,0 ml y se afora a 100 mL en matraces volumétricos, se transfiere una alícuota de cada dilución a una celda de 1 cm y se mide su absorbancia en el espectrofotómetro a 543 nm.

Oxígeno Disuelto: Se efectuó el análisis del parámetro de oxígeno disuelto mediante el método de disolución de tiosulfato de sodio, propuesto en la NMX-AA-012-SCFI-2001, en el cual se toma una muestra de agua que estará almacenada en una botella winckler de 300ml, posteriormente se añaden 2 ml de solución alcalina de yoduro-azida, esta solución fija el oxígeno después de realizar un agitado de la muestra y dejando sedimentar el precipitado, posteriormente se añaden 2 ml de ácido sulfúrico para completar el precipitado, por último se realiza una titulación con tiosulfato de sodio 0.025M agregando almidón hasta el final de la titulación hasta que alcance un color amarillo pálido.

pH: Se realizó una medición in situ de acuerdo con el método propuesto en la NMX-AA-008-SCFI-2016. Definido como método de prueba. Se utiliza una sonda multiparamétrica. El análisis se efectuó con una sonda marca HANNA modelo HI-9828.

Sólidos Totales: Se realizó el proceso de análisis de sólidos totales, en base a la norma NMX-034-SCFI-2015. Este procedimiento se le conoce como secado de muestra y consiste en transferir la muestra a la cápsula previamente puesta a masa constante y evaporar a sequedad en el horno de secado a 105 °C ± 2 °C.

Trasladar la cápsula al desecador y dejar enfriar por 20 min como mínimo. Llevar la cápsula a masa constante repitiendo el ciclo horno-desecador, hasta obtener una diferencia de 0,000 5 g en dos pesadas consecutivas.

6.4 Análisis estadístico

Los estadísticos pertinentes para este estudio se llevaron a cabo mediante un análisis de varianza (ANOVA) de dos factores con un 95% de nivel de confianza, en el que se consideraron como factores a los sitios de muestreo y las dos temporadas de análisis; como variables de respuesta se consideraron a los parámetros de Oxígeno Disuelto (O.D.), Nitratos (NO₃-), Fósforo (P), Sólidos Totales (S.T.), Cloruros (Cl-),

Dureza, (CaCO_3), Conductividad (σ), pH, Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO); en los casos pertinentes se consideró a la prueba de Tukey con un 95% de nivel confianza.

Todos los análisis se realizaron en el programa STATISTICS v 7.0.

7. Resultados y Discusiones

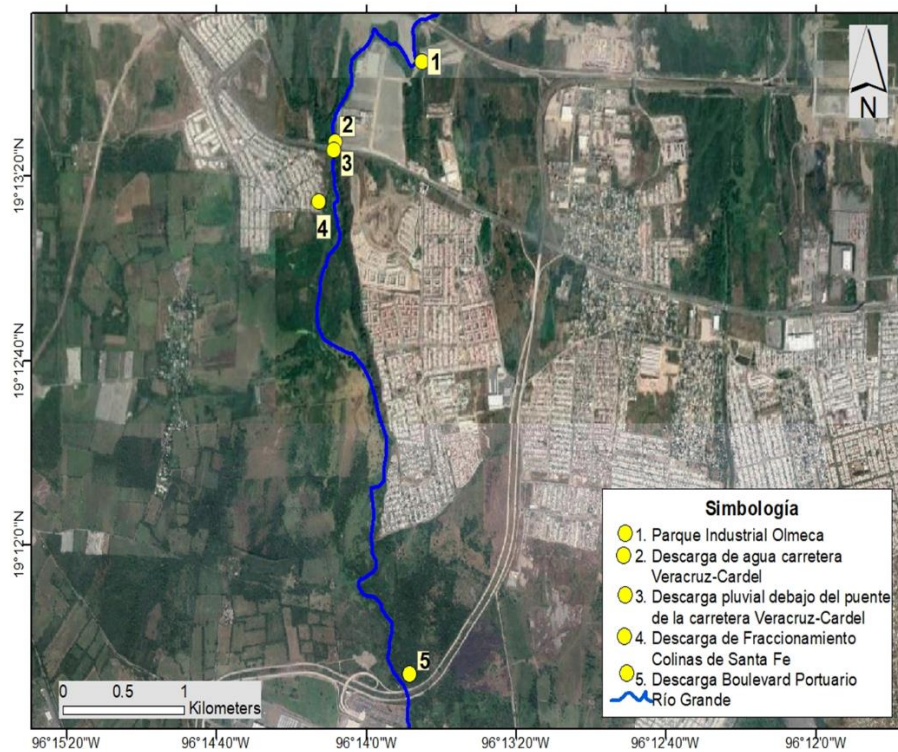


Figura 5 Disposición de los puntos de muestreo.

Cuadro 1. Coordenadas de puntos de muestreo

Sitio de muestreo	Coordenadas
Sitio 1 Parque Industrial Olmeca	19°13'44.8"N 96°13'45.2" W
Sitio 2 Descarga de agua carretera Veracruz-Cardel	19°13'27.3"N 96°14'08.4"W
Sitio 3 Descarga pluvial debajo del puente de la carretera Veracruz-Cardel	19°13'25.5"N 96°14'08.9"W
Sitio 4 Descarga de Fraccionamiento Colinas de Santa Fe	19°13'14.5"N 96°14'12.8"W
Sitio 5 Descarga Boulevard portuario	19°11'23.1"N 96°13'54.6"W

Sitio 1: Se localiza en un tramo de río donde se ubica el Parque Industrial Olmeca, como se observa en la figura 6.



Figura 4. Sitio uno y segmento del mismo.

Sitio 2: Se ubica a un costado del parque industrial, este aporte a Río Grande presenta más volumen de agua vertido que los demás puntos.



Figura 5. Sitio dos con vista aérea.

Sitio 3: Este sitio es una descarga que se encuentra debajo del puente que cruza Río Grande, que corresponde a la carretera Veracruz -Cardel, esta descarga es directa y se encuentra a escasos 30 metros del sitio 2 aumentando así el volumen de agua residual vertida.



Figura 6. Sitio tres con vista aérea.

Sitio 4: Corresponde a un sitio de deposición de aguas residuales del Fraccionamiento Colinas de Santa Fe, también se ubica en las proximidades un terreno de pastoreo y la desembocadura del canal de aguas pluviales que cruza por el Fraccionamiento.



Figura 7. Desagüe sitio cuatro

Sitio 5: El sitio es localizado en la cercanía de un complejo industrial en un segmento del kilómetro 13.5, no se aprecian descargas en el sitio.



Figura 8. Sitio cinco

7.1. Identificación de fuentes de contaminación puntual y difusa en Río Grande, Veracruz

Como resultado de los muestreos prospectivos y de toma de muestras, se lograron identificar las siguientes fuentes de contaminación, mismas que se muestran en el cuadro dos.

Cuadro 2. Fuentes puntuales y difusas en los sitios de Río Grande

Sitio	Fuentes Puntuales	Fuentes Difusas
1	Aplica	Aplica
2	Aplica	No aplica
3	Aplica	No aplica
4	Aplica	Aplica
5	Aplica	No aplica

7.1.1. Variación estacional de los parámetros de la calidad del agua superficial de Río grande.

7.1.2. Variación espacio temporal de la concentración de oxígeno disuelto (mg/L)

7.1.3. Oxígeno disuelto

7.1.4. Análisis por temporada

Los valores promedio de oxígeno disuelto (O.D.) mg/L en temporada de lluvias es de: 1.582 mientras que en temporada de nortes es de 1.894.

El valor más alto fue de 2.550 mg/L, en la temporada de nortes mientras que el valor más bajo fue de 0.003 mg/L en la temporada de lluvias.

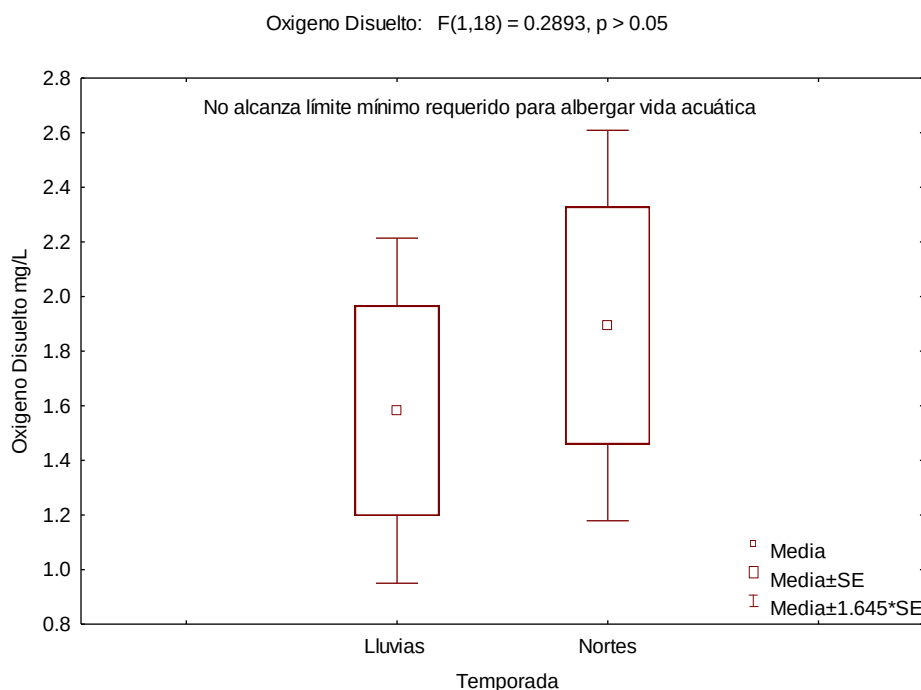


Figura 9. Concentración de oxígeno disuelto (mg/l) por temporada.

7.1.5. Análisis por sitio de muestreo

Los valores promedio de oxígeno disuelto (O.D.) mg/L por sitio son: sitio 1: 2.477, sitio 2: 3.306, sitio 3: 1.04, sitio 4: 0.471, sitio 5: 1.386.

El valor más alto fue de 2.550 mg/L, en el sitio dos, mientras que el valor más bajo fue de 0.003 mg/L en la temporada de nortes en el sitio cuatro.

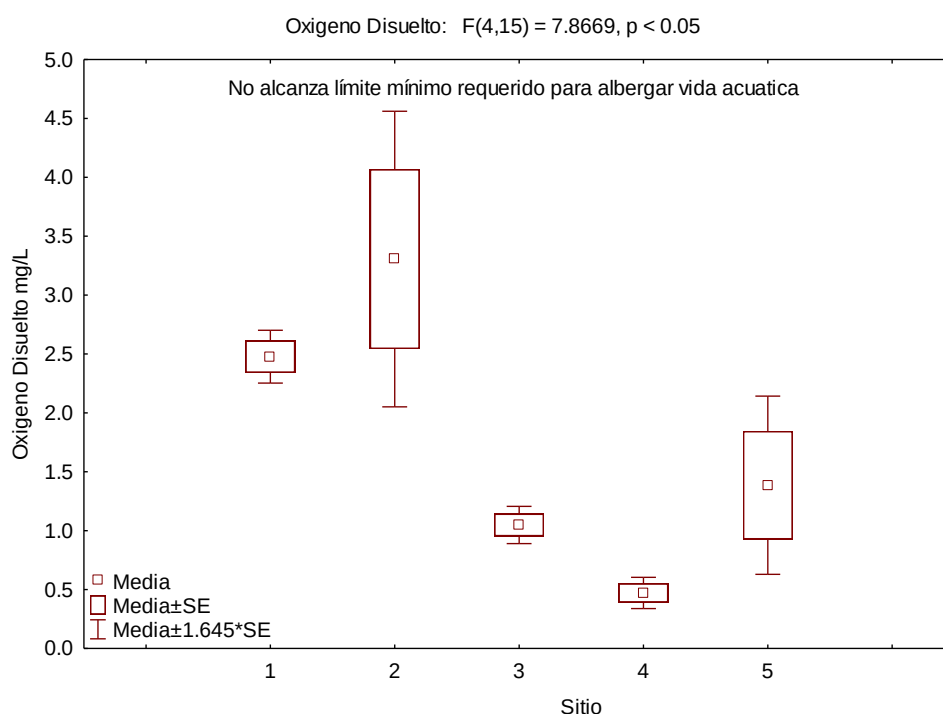


Figura 10. Análisis de OD por sitio de muestreo.

Cuadro 3. Valores medios de las concentraciones de oxígeno disuelto (OD mg/L) durante las dos temporadas en los cinco sitios de muestreo.

Temporada/ Sitio	1	2	3	4	5
Lluvias	2.445 ^b	2.550 ^b	0.3323 ^a	0.240 ^a	1.400 ^a
Nortes	0.438 ^b	0.441 ^b	0.003 ^a	0.116 ^a	0.753 ^a

Los valores con literales diferentes expresan diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$).

Oxígeno Disuelto: El Oxígeno Disuelto es la cantidad de oxígeno que está disuelta en el agua y que es esencial para los riachuelos y lagos saludables según Peña, 2013. El nivel de oxígeno disuelto puede ser un indicador de cuán contaminada está el agua a su vez de que puede indicar si realmente soporta vida animal y vegetal en un cuerpo acuoso. En las gráficas se observa que no presenta diferencias significativas en cuanto a las temporadas, sin embargo, en los sitios de muestreo, el sitio dos es el punto que presenta mayor concentración de oxígeno disuelto, sin embargo, los valores no alcanzan un límite mínimo para albergar vida acuática por lo que las aguas del río se ven afectadas por presencia de materia orgánica que absorbe dicho oxígeno inhabilitándolo como un sistema biológico de acuerdo con Peña, 2007.

7.2. Variación espacio temporal de la concentración de nitratos (mg/L)

7.2.1. Nitratos

7.2.2. Análisis por temporada

Los valores promedio de nitratos (NO_3^-) mg/L por temporada de lluvias es de: 0.326 ± 0.294 mientras que en temporada de nortes es de: 1.359.

El valor más alto fue de 3.88 en la temporada de nortes, mientras que el valor más bajo fue de 0.09 en la temporada de lluvias.

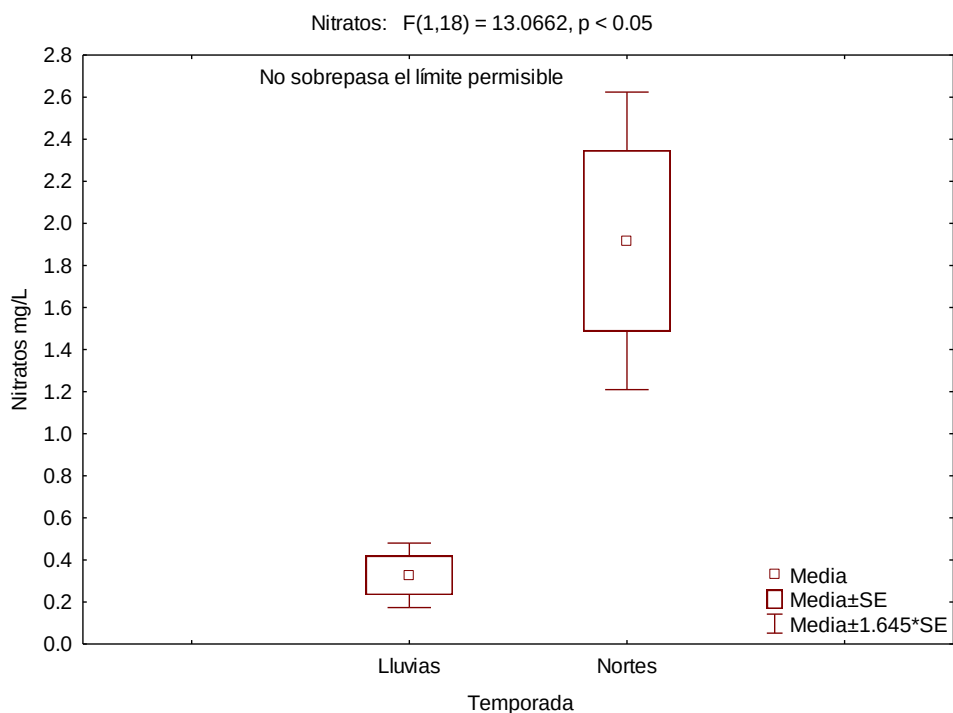


Figura 11. Análisis de NO_3^- por temporada.

7.2.3. Análisis por sitio de muestreo

Los valores promedio de nitratos (NO_3^-) mg/L por sitio son: sitio 1: 0.755, sitio 2: 1.011, sitio 3: 0.868, sitio 4: 2.123, sitio 5: 0.850.

El valor más alto fue de 3.88 mg/L, en el sitio cuatro mientras que el valor más bajo fue de 0.09 mg/L en el sitio cinco.

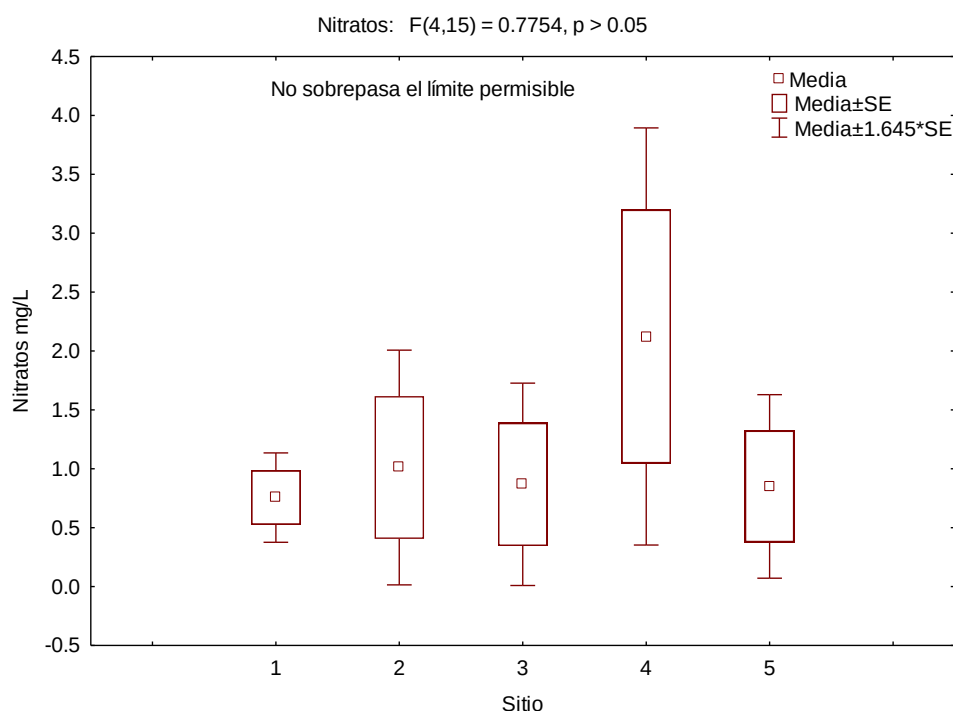


Figura 12 Análisis de NO_3^- por sitios de muestreo.

Cuadro 4. Valores medios de las concentraciones de nitratos (mg/L) durante las dos temporadas en los cinco sitios de muestreo.

Temporada /Sitio	1	2	3	4	5
Lluvias	0.55 ^a	0.32 ^a	0.28 ^a	0.36 ^b	0.09 ^a
Nortes	0.95 ^a	1.69 ^b	1.45 ^a	3.88 ^b	1.60 ^a

Los valores con literales diferentes expresan diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$).

Los nitratos se originan por la degradación del nitrógeno amoniacal, resultado de la acción de bacterias quimioautótrofas como nitrobacter y nitrosomonas. Los nitratos no se consideran tóxicos, pero pueden llegar a afectar la salud de los organismos que los ingieran en gran medida, estos compuestos son indicador de vertimientos industriales, humanos y de fertilizantes agrícolas de acuerdo con Cabrera y colaboradores 2003. Como se puede apreciar en las gráficas, en la temporada dos se observa un incremento de nitratos con respecto a la temporada uno, la temporada dos se caracteriza por ser de nortes, lo cual quiere decir que además de la presencia de nitratos por contaminación directa, existen compuestos que se volatilizan y posteriormente se depositan al cauce añadiendo cierto porcentaje de nitratos al agua del río Grande, presumiblemente de las construcciones cercanas incompletas que están en proceso de concluir, así como de la volatilización de materia fecal de las cabezas de ganado cercanas a dicho río, en la tabla dos propiamente se observa que en el sitio cuatro hay una mayor concentración de nitratos pues es un canal que desecha contaminantes de origen humano directamente al río dando como resultado el pico de presencia de nitratos, cabe destacar que las concentraciones de este parámetro no sobrepasan la normativa, esto teniendo en cuenta la descarga puntual de aguas residuales domésticas.

7.3. Variación espacio temporal de la concentración de fosforo (mg/L)

7.3.1. Fosforo

7.3.2. Análisis por temporada

El valor promedio de fosforo (P) mg/L es por temporada de lluvias es de: 1.735, mientras que en temporada de nortes es de: 1.074.

El valor más alto fue de 3.59 mg/L, en la temporada de lluvias mientras que el valor más bajo fue de 0.14 mg/L en la temporada de nortes.

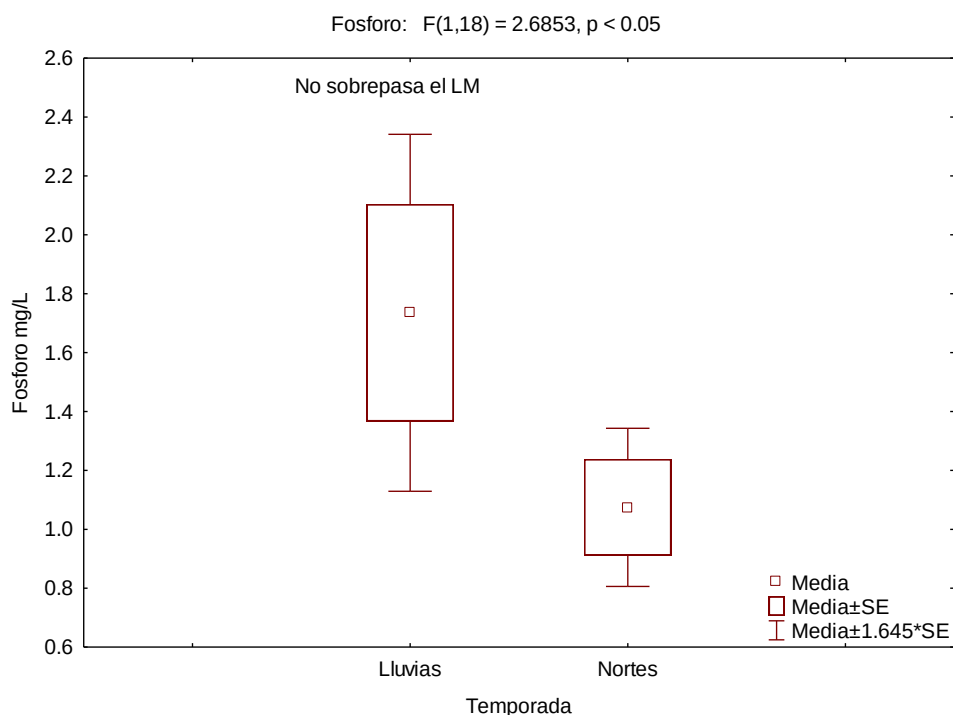


Figura 13. Análisis de P por sitio de muestreo

7.3.3. Análisis por sitio de muestreo

Los valores promedio de fósforo (P) mg/L por sitio son: sitio 1: 0.915, sitio 2: 0.870, sitio 3: 0.816, sitio 4: 2.771, sitio 5: 1.651.

El valor más alto fue de 3.59 mg/L, en el sitio cuatro mientras que el valor más bajo fue de 0.14 mg/L en el sitio cinco.

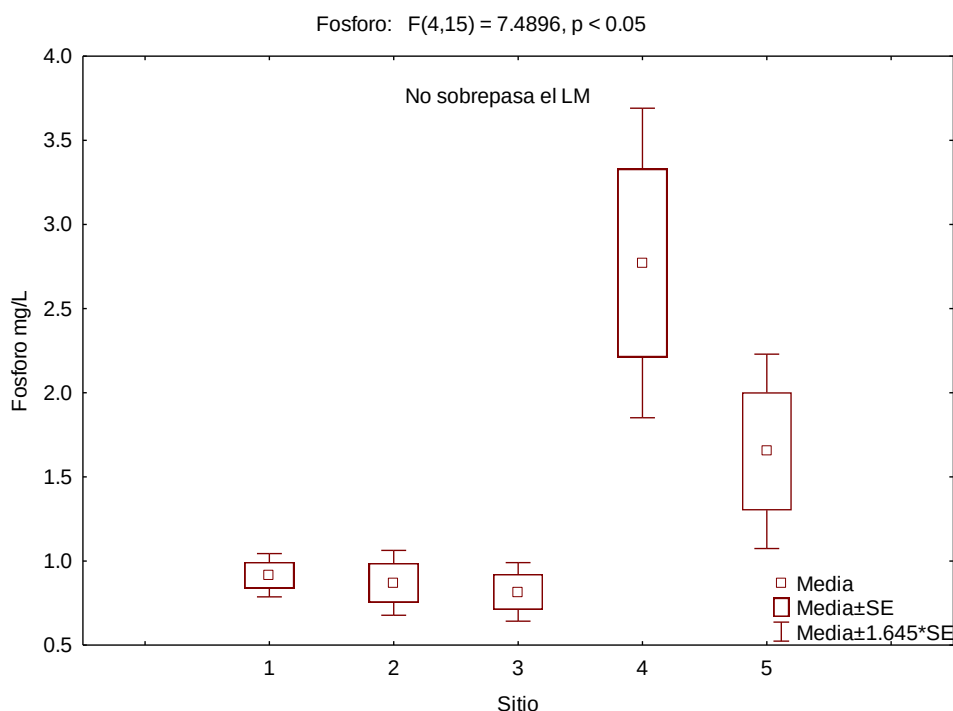


Figura 14. Análisis de P por sitio de muestreo

Cuadro 5. Valores medios de las concentraciones de fosforo (mg/L) durante las dos temporadas en los cinco sitios de muestreo.

Temporada /Sitio	1	2	3	4	5
Lluvias	0.95 ^a	0.99 ^a	0.90 ^a	3.59 ^b	2.22 ^b
Nortes	0.87 ^a	0.74 ^a	0.73 ^a	0.46 ^b	0.14 ^b

Los valores con literales diferentes expresan diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$).

El fosforo es un elemento presente naturalmente como fosfatos y otros compuestos fosfatados, este es un indicador de contaminación del agua ya que en gran presencia de algún fosfato el cuerpo acuoso tiende a eutrofizarse, no es la excepción en rio Grande pues se observa en todos los puntos de muestreo la existencia de gran cantidad de lirio acuático, como resultado de la eutrofización (Carpenter *et al.*, 1998). En la gráfica correspondiente a temporadas se observa una concentración mayor en la temporada uno que son lluvias, claramente se puede entender que el aumento de fosforo en época de lluvias es producto de la escorrentía que proviene de varios sectores, que traen consigo agentes contaminantes que se depositan en rio Grande. La gráfica correspondiente a los sitios de muestreo se puede observar que

nuevamente el sitio cuatro se caracteriza por añadir exceso de nutrientes que son consecuencia de desechos urbanos vertidos directamente sobre el efluente.

7.4. Variación espacio temporal la concentración solidos totales (mg/L)

7.4.1. Sólidos totales

7.4.2. Análisis por temporada

El valor promedio de solidos totales (ST) mg/L durante la temporada de lluvias es de: 742.1, mientras que para la temporada de nortes fue de: 1222.1.

El valor más alto fue de 2112.5 mg/L en la temporada de nortes mientras que el valor más bajo fue de 479.5 mg /L en el sitio tres en la temporada de lluvias.

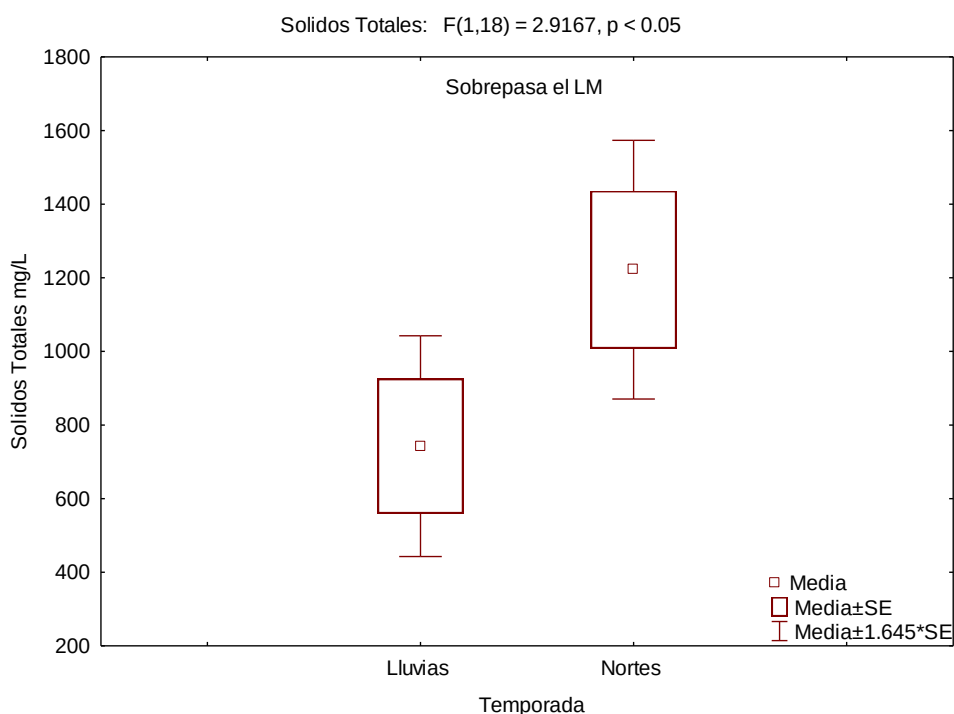


Figura 15. Análisis de ST por temporada

7.4.3. Análisis por sitio de muestro

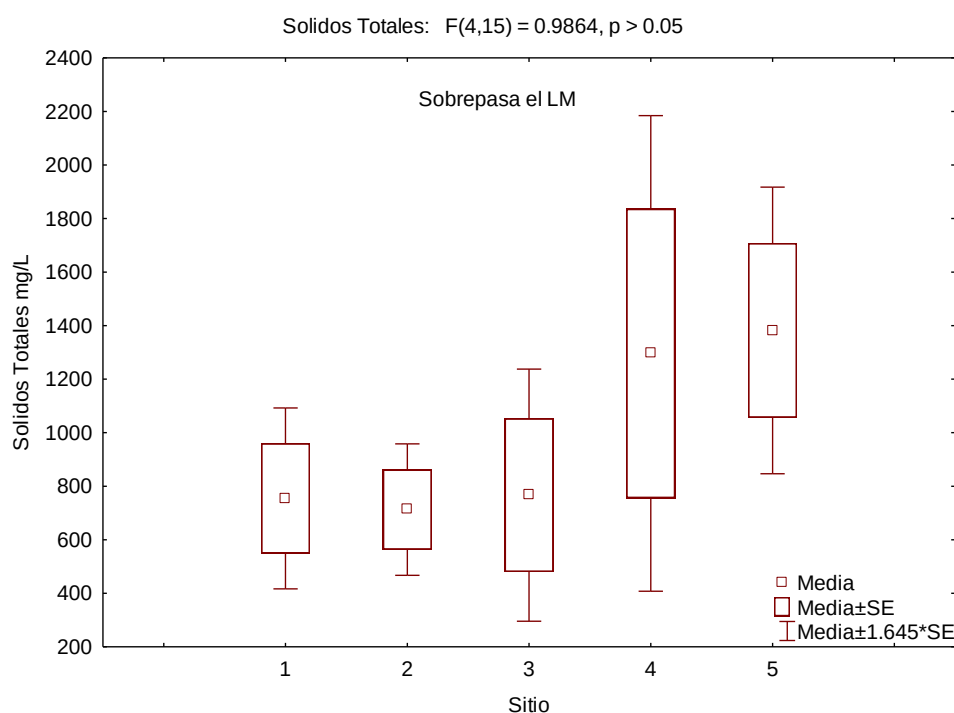


Figura 16. Análisis de ST por sitio de muestreo

Los valores promedio de solidos totales (ST) mg/L en por sitio son: sitio 1: 754.6, sitio 2: 712.8, sitio 3: 766.6, sitio 4: 1296.0, sitio 5: 1382.1.

El valor más alto fue de 2112.5 mg/L, en el sitio cuatro mientras que el valor más bajo fue de 479.5 mg/L en el sitio cuatro en temporada de lluvias.

Cuadro 6. Valores medios de las concentraciones de cloruros (Cl) durante las dos temporadas en los cinco sitios de muestreo.

Temporada/ Sitio	1	2	3	4	5
Lluvias	482.5 ^a	547.7 ^a	492.0 ^a	479.5 ^b	1711.7 ^b
Nortes	1026.7 ^a	877.8 ^a	1041.3 ^a	2112.5 ^b	1052.5 ^b

Los valores con literales diferentes expresan diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$).

Todos los contaminantes del agua, con excepción de los gases disueltos, contribuyen a la "carga de sólidos". Pueden ser de naturaleza orgánica y/o inorgánica. Proviene de las diferentes actividades domésticas, comerciales e industriales. Los orgánicos los cuales son sustancias que contienen carbono, hidrógeno y oxígeno, pudiendo alguno de estos elementos combinarse con nitrógeno, azufre o fósforo principalmente y los inorgánicos que son sustancias inertes y no susceptibles de ser degradados, designándoseles comúnmente como minerales (Argandoña y Macías, 2013).

Los sólidos totales se encuentran oscilando entre los 600 y 1200 mg/L, esto se puede observar en las dos gráficas. En la gráfica correspondiente a temporadas se observa que la temporada dos se muestra con un índice de sólidos mayor con respecto a la temporada uno, por lo que se puede pensar que la deposición de sólidos, en el río concierne al tipo de sólidos inorgánicos que son externos y que no se encuentran dentro de la dinámica natural del río, estos son minerales que se desprenden debido a fuertes rachas de viento.

En la gráfica de sitios de muestreo, el sitio cuatro constituye un alto transmisor de sólidos totales a la corriente de agua debido a la atribución constante del desagüe que tiene como característica el vertimiento de desechos antropogénicos.

7.5. Variación espacio temporal la concentración de cloruros (mg/L)

7.5.1. Cloruros

7.5.2. Análisis por temporada

El valor promedio de cloruros (Cl) mg/L durante la temporada de lluvias es de: 98.05 ± 58.12 mientras que en temporada de nortes es de 169.0 ± 77.13 .

El valor más alto fue de 286.9 mg/L en el sitio cinco, en la temporada de nortes mientras que el valor más bajo fue de 61.3 mg/L en el sitio uno en la temporada de lluvias.

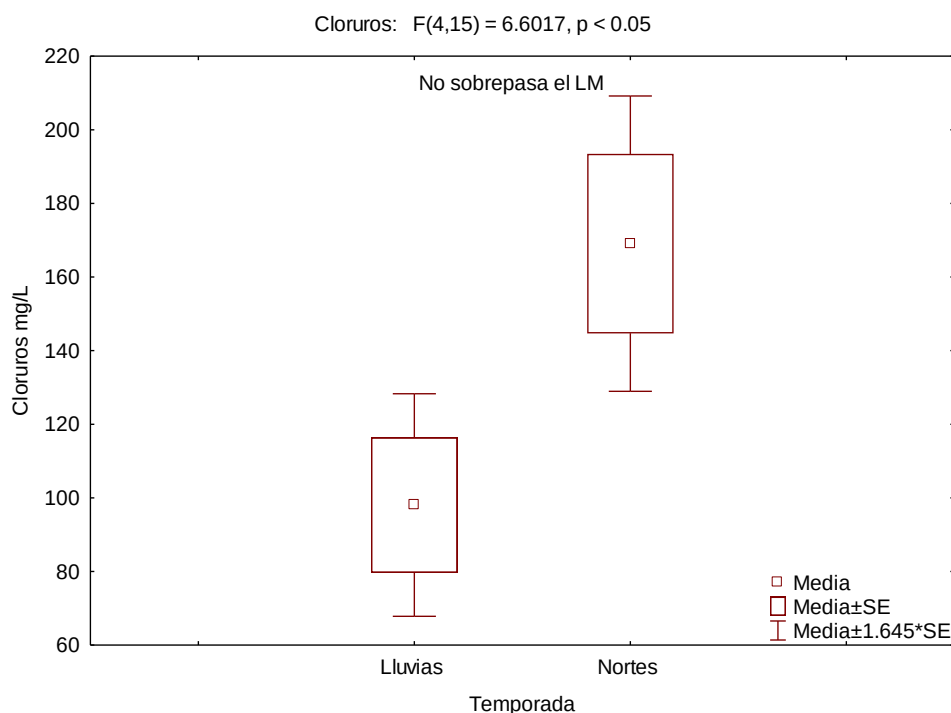
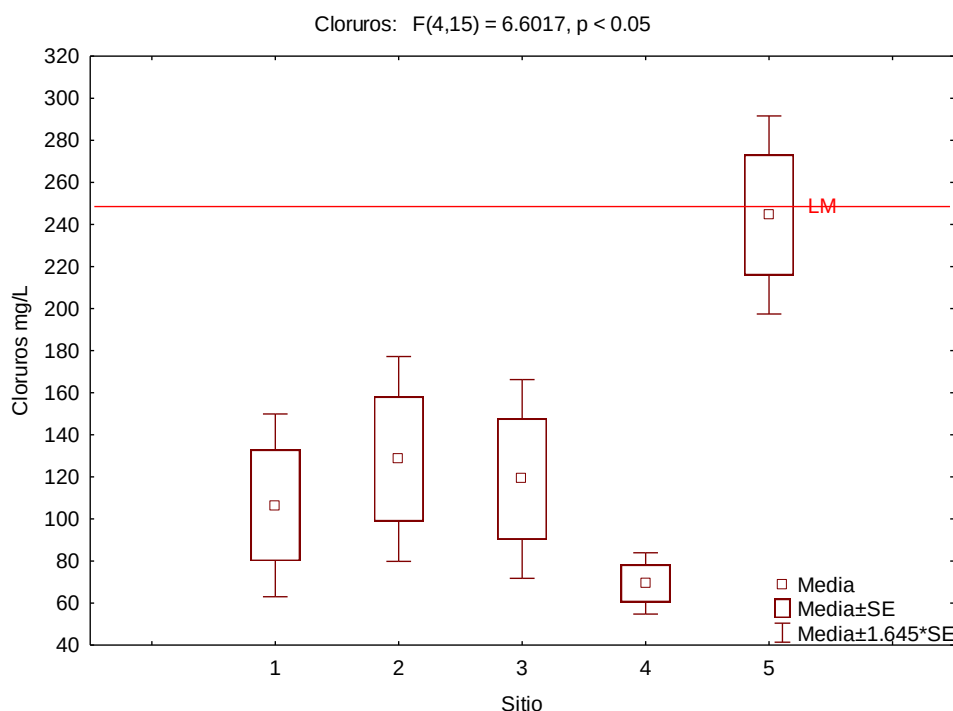


Figura 17. Análisis de Cl por temporada

7.5.3. Análisis por sitio de muestreo

Los valores promedio de los cloruros (Cl) mg/L por sitio son: sitio 1: 106.4, sitio 2: 128.52, sitio 3: 118.9, sitio 4: 69.35, sitio 5: 244.5.

El valor más alto fue de 286.9 mg/L en el sitio cinco, en la temporada de nortes mientras que el valor más bajo fue de 61.3 mg/L en el sitio uno en la temporada de lluvias.



Cuadro 7. Valores medios de las concentraciones de cloruros (Cl) durante las dos temporadas en los cinco sitios de muestreo.

Temporada /Sitio	1	2	3	4	5
Lluvias	61.3 ^a	79.2 ^a	73.1 ^a	74.5 ^a	202.0 ^b
Nortes	151.5 ^a	177.8 ^a	164.8 ^a	64.2 ^a	286.9 ^b

Los valores con literales diferentes expresan diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$).

Se observa que el sitio 4 es el que presenta una concentración menor de cloruros, este valor se aprecia elevado en el sitio 5 debido a la presencia de sales, que presumiblemente se asocian a procesos industriales de la zona, las cuales desembocan en aguas de Río Grande, posteriormente la concentración desciende debido a dos posibles razones, en primera instancia el punto 5 es el más alejado a la desembocadura del río, por lo que se encuentra en una zona ligeramente más elevada que los demás sitios, lo cual supone que mediante el movimiento del cauce río abajo se disuelvan las sales, por otro lado existe posibilidad que haya una mezcla con otro tipo de aguas de uso doméstico procedente del sitio 4, disminuyendo así la

concentración de cloruros. En cuanto a las temporadas se observa que en la época de nortes incrementa la presencia de cloruros en el agua de río grande lo cual puede ser resultado de las partículas provenientes del entorno que se depositan en el agua debido a las fuertes rachas de aire que caracterizan a la temporada, a pesar de un visible incremento en los nortes estos valores no sobrepasan los límites permisibles, sin embargo muestra que en época de lluvias los cloruros pueden diluirse por la mayor cantidad de precipitaciones, e incluso haciendo interacción con otros compuestos que puedan degradarlos.

7.6. Variación espacio temporal la concentración de dureza (CaCO_3 mg/L)

7.6.1. Dureza

7.6.2. Análisis por temporada

El valor promedio de dureza (CaCO_3 mg/L) durante la temporada de lluvias es de: 236.6, mientras que en temporada de nortes es de: 323.0.

El valor más alto fue de 359.2 mg/L la temporada de nortes, mientras que el valor más bajo fue de 199.7 mg/L en la temporada de lluvias.

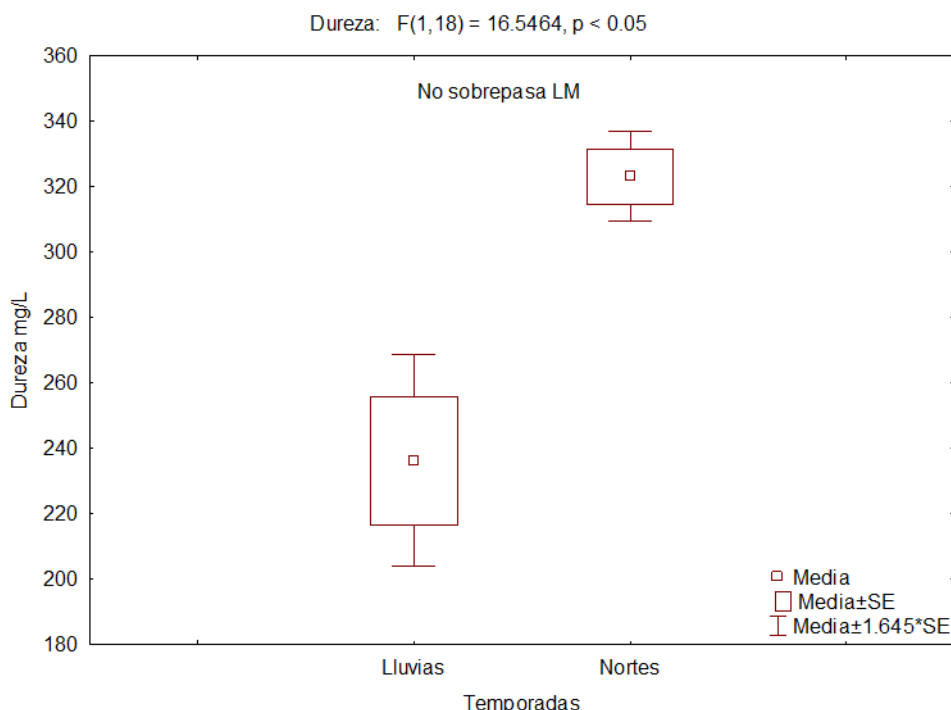


Figura 18. Análisis de CaCO_3 por temporada

7.6.3. Análisis por sitio de muestreo

Los valores promedio de dureza (CaCO_3 mg/L) por sitio son: sitio 1: 254.8, sitio 2: 270.1, sitio 3: 257.1, sitio 4: 288.0, sitio 5: 328.2.

El valor más alto fue de 359.2 mg/L, en el sitio cinco mientras que el valor más bajo fue de 199.7 mg/L en el sitio tres.

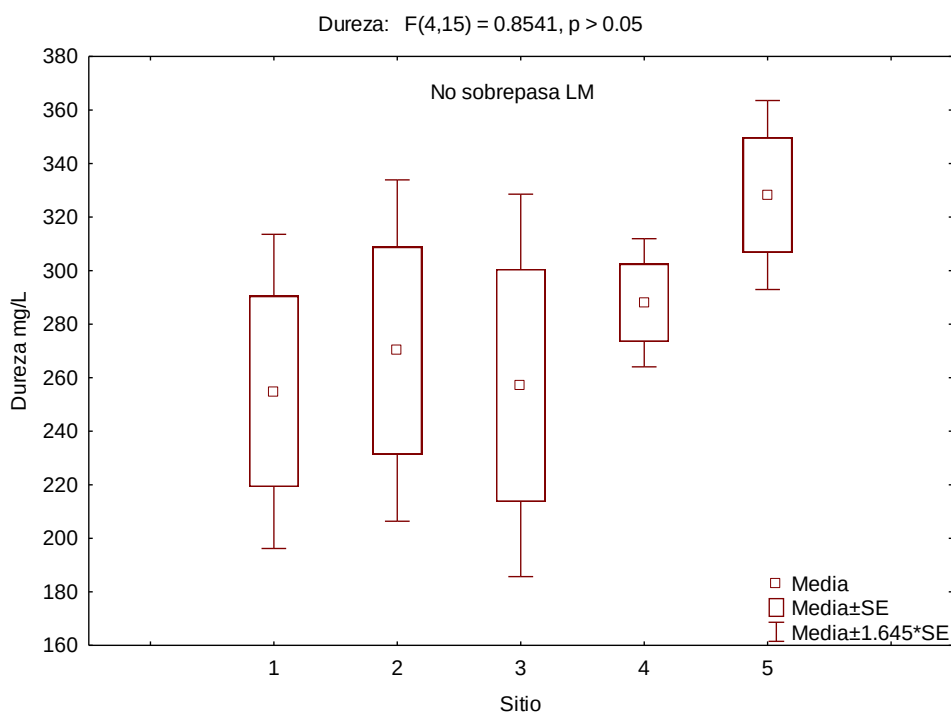


Figura 19. Análisis de CaCO_3 por sitio de muestreo

Cuadro 8. Valores medios de las concentraciones de Dureza (CaCO_3) durante las dos temporadas en los cinco sitios de muestreo.

Temporada /Sitio	1	2	3	4	5
Lluvias	200.0 ^a	215.5 ^a	199.7 ^a	269.0 ^a	297.2 ^b
Nortes	309.7 ^a	324.7 ^a	314.5 ^a	307.0 ^a	359.2 ^b

Valores con literales diferentes expresan diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$).

Los resultados correspondientes a dureza muestran un comportamiento similar a los sitios de muestreo por lo que este parámetro no es influenciado por los sitios de manera representativa, se observa una pequeña variación en cuanto a los puntos

estudiados , nuevamente el sitio 5 presentando la mayor concentración de dureza total con respecto a los otros sitios , no sobrepasando los límites permisibles , En cuanto concentración de dureza entre temporadas se aprecia una variación significativa la cual puede ser producida por el efecto de los vientos que representan a dicha temporada , a pesar de apreciarse un aumento en la época de nortes no sobrepasan los límites permisibles. Posibles fuentes industriales que ocasionan incremento en la dureza del agua son la industria de la construcción, producción de papel, metales, fertilizantes y medicinas. (Neira, 2006).

7.7. Variación espacio temporal la concentración de conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$ mg/L)

7.7.1 Conductividad

7.7.2. Análisis por temporada

El valor promedio de conductividad σ ($\mu\text{S}/\text{cm}$) en la temporada de lluvias es de: 108.2, mientras que en la temporada de nortes es de: 112.5.

El valor más alto fue de 182.4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en la temporada de nortes, mientras que el valor más bajo fue de 78.3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en la temporada de lluvias.

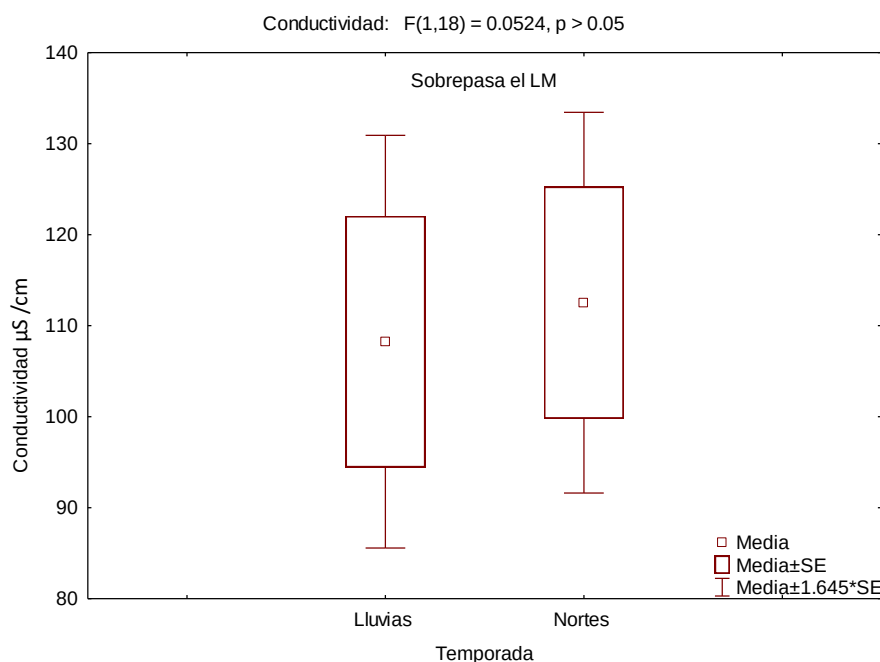


Figura 20. Análisis de Conductividad por temporada

7.7.3. Análisis por sitio

Los valores promedio de conductividad σ ($\mu\text{S}/\text{cm}$) por sitio son: sitio 1: 81.11, sitio 2: 97.52, sitio 3: 84.55, sitio 4: 106.93, sitio 5: 181.8.

El valor más alto fue de 182.4 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) en el sitio cinco, mientras que el valor más bajo fue de 78.3 en el sitio uno.

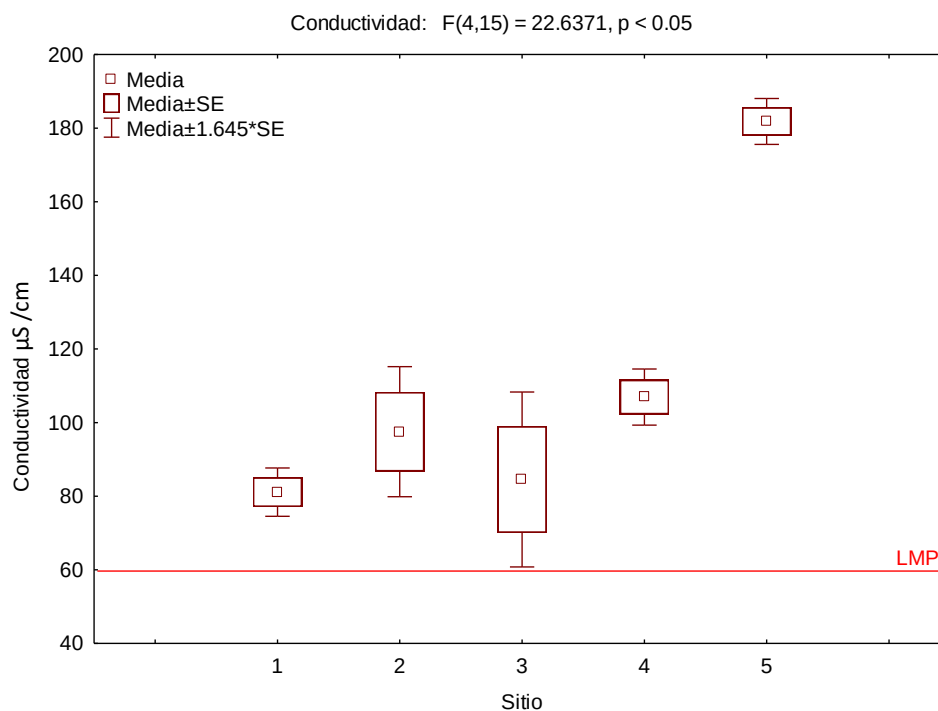


Figura 21.Figura 23. Análisis de Conductividad por sitio de muestreo

Cuadro 9. Valores medios de la concentración de conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) durante las dos temporadas en los cinco sitios de muestreo

Temporada /Sitio	1	2	3	4	5
Lluvias	78.3 ^a	94.4 ^a	83.9 ^a	103.2 ^a	181.2 ^b
Nortes	83.9 ^a	100.5 ^a	85.1 ^a	110.6 ^a	182.4 ^b

Valores con literales diferentes expresan diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$).

Con respecto a la conductividad, esta se asocia directamente con electrolitos que le confieren al agua propiedades de conducción eléctrica, se observa que puntualmente en cada sitio existe un exceso de dicha conductividad sobrepasando los límites permisibles, lo que da resultado una gran cantidad de sales en el medio, siendo el sitio 5 el que tiene mayor concentración, haciendo que haya un decremento en la

calidad de agua del rio pues se alteran los procesos biológicos del mismo , lo que da pie a que el líquido vital no sea apto para albergar vida e inclusive volviéndolo inutilizable para cualquier actividad. Entre las temporadas estudiadas se aprecia un comportamiento similar, dando pie a que la mayor variación de la concentración sea por sitio, lo cual significa que la conductividad se ve influenciada mayormente por las fuentes puntuales de contaminación.

7.4 Variación espacio temporal la concentración de pH

7.4.1 pH

7.4.2. Análisis por temporada

El valor promedio de pH en la temporada de lluvias es de: 7.478, mientras que en la temporada de nortes es de: 7.266.

El valor más alto fue de 7.72, en la temporada de nortes mientras que el valor más bajo fue de 7.10 en la temporada de nortes en el sitio tres.

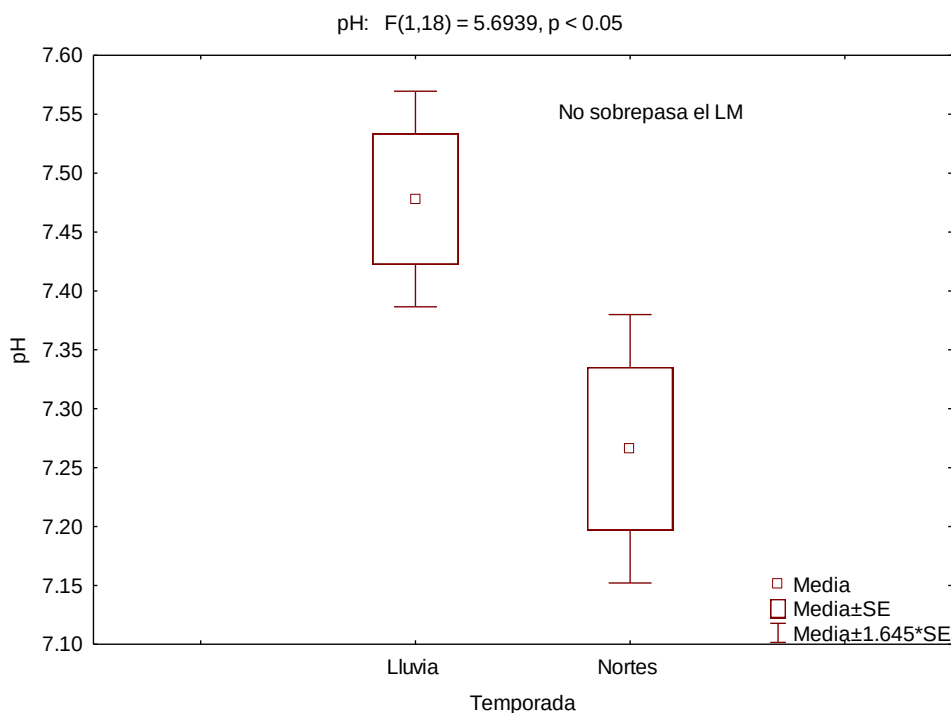


Figura 22. Análisis de pH por temporada

7.4.3. Análisis por sitio de muestreo

Los valores promedio de pH por sitio son: sitio 1 :7.345, sitio 2: 7.277, sitio 3: 7.255, sitio 4: 7.337, sitio 5: 7.645.

El valor más alto fue de 7.72 en el sitio cinco mientras, que el valor más bajo fue de 7.10 en el sitio tres.

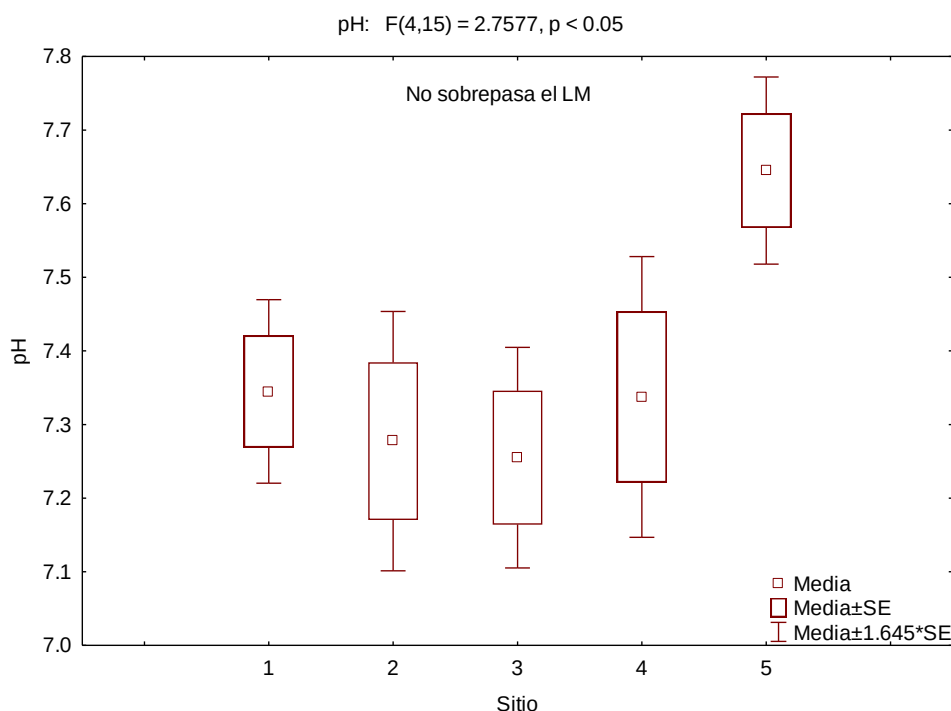


Figura 23. Análisis de pH por sitio de muestreo

Temporada /Sitio	1	2	3	4	5
Lluvias	7.38 ^a	7.35 ^a	7.41 ^a	7.52 ^a	7.72 ^b
Nortes	7.30 ^a	7.20 ^a	7.10 ^a	7.15 ^a	7.56 ^b

Valores con literales diferentes expresan diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$)

Los valores de pH representados nos sobrepasan los límites permisibles por lo que el agua adquiere cierta neutralidad, que da lugar al favorecimiento de los mecanismos de precipitación y adsorción con respecto a los compuestos detectados en el estudio, el suelo podría jugar un papel importante ya que podría transferir cierta alcalinidad al

agua por los compuestos propios del mismo. A pesar de que se detectan ciertos parámetros elevados en el agua del río sigue manteniendo un pH de carácter normal pudiendo así facilitar la implementación de una remediación si es que se desea. El sitio 5 persiste con la concentración mayor en el nivel de pH. En caso del pH la temporalidad juega un papel importante pues en época de lluvias se magnifican los valores mientras que en época de nortes decrecen, pudiendo así teorizar que debido a las lluvias el agua que cae o incluso las aguas de escorrentía influyan para incrementar de manera mínima los valores de pH.

7.5. Variación espacio temporal la concentración de demanda química de oxígeno

7.5.1. Demanda Química de Oxígeno

7.5.2. Análisis por temporada

El valor promedio de DQO mg/L en temporada de lluvias es de: 145.6, mientras que en la temporada de nortes es de: 169.1.

El valor más alto fue de 434.1 mg/L en la temporada de nortes, mientras que el valor más bajo fue de 28.3 en la temporada de nortes en el sitio uno.

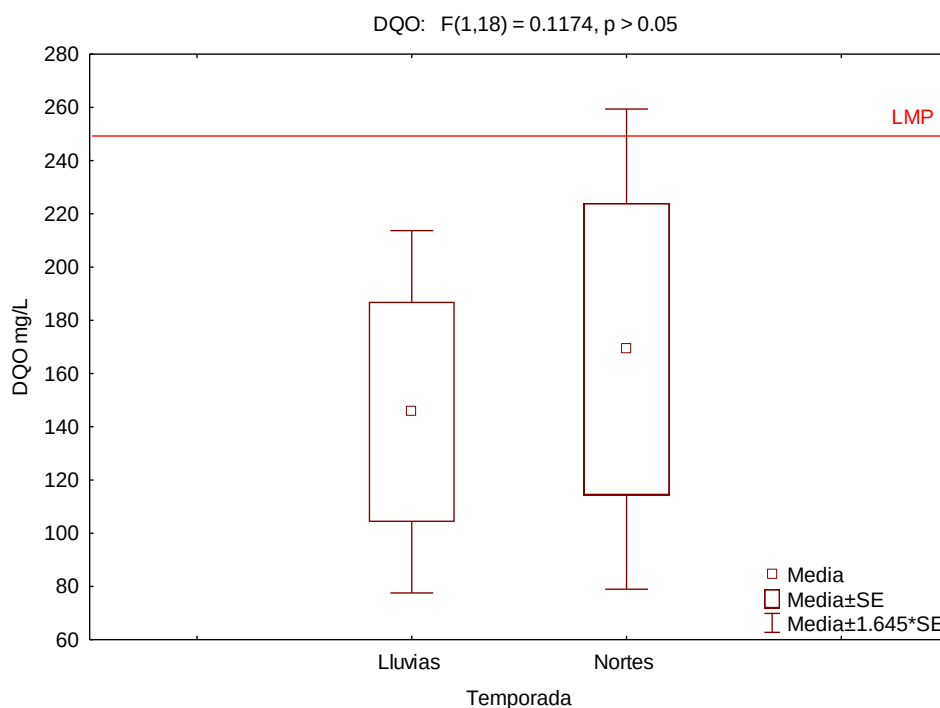


Figura 24. Análisis de DQO por temporada.

7.5.3. Análisis por sitio de muestreo

Los valores promedio de DQO mg/L por sitio son: sitio 1: 45.82, sitio 2: 102.9, sitio 3: 107.91, sitio 4: 409.99, sitio 5: 120.3.

El valor más alto fue de 434.1mg/L en el sitio cuatro, mientras que el valor más bajo fue 28.3 mg/L en el sitio uno.

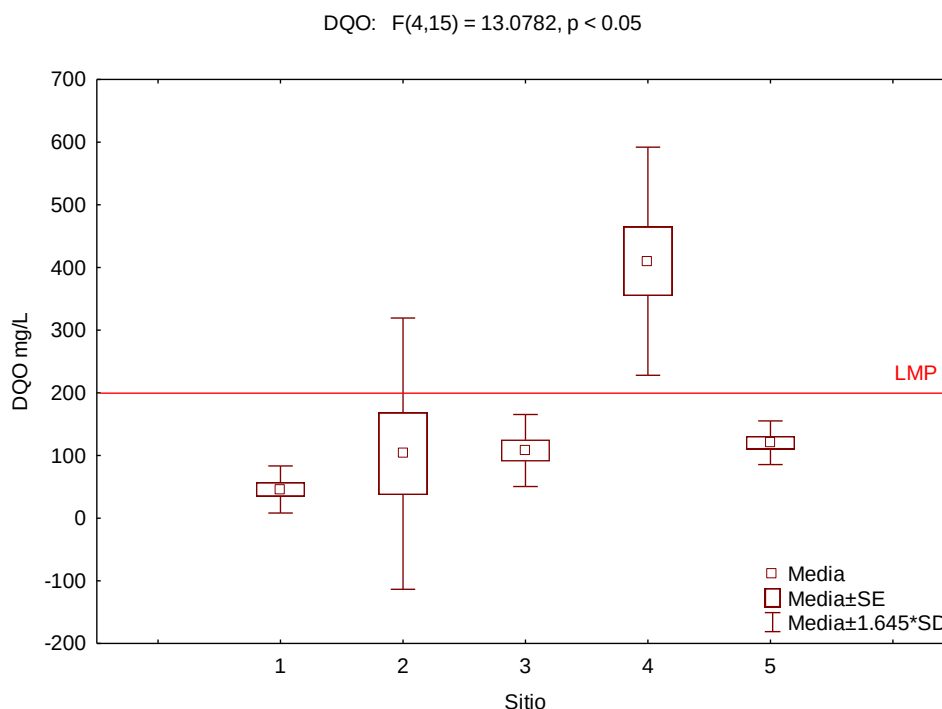


Figura 25. Análisis de DQO por temporada.

Cuadro 10. Valores medios de las concentraciones de demanda bioquímica de oxígeno (DQO mg/L) durante las dos temporadas en los cinco sitios de muestreo.

Temporada /Sitio	1	2	3	4	5
Lluvias	63.3 ^a	50.8 ^a	116.6 ^a	385.8 ^b	111.4 ^a
Nortes	28.3 ^a	154.9 ^a	99.1 ^a	434.1 ^b	129.1 ^a

Los valores con literales diferentes expresan diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$)

La DQO es un parámetro importante y lo suficientemente rápido para determinar el grado de contaminación del agua y puede ser empleada para estimar la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales. Además, la demanda química de oxígeno (DQO), es un parámetro químico, que representa una medida de toda la materia orgánica e inorgánica suspendida presente en una disolución que puede ser químicamente oxidada, por la acción de agentes oxidantes, bajo condiciones ácidas y se mide como miligramos de “oxígeno” equivalentes a la fracción orgánica disuelta y/o suspendida por litro de disolución (agua residual).

Se puede observar que el DQO en la temporada dos es más elevado que en la temporada uno, presumiblemente debido a que partículas se depositan en el lecho del río, combinándose con oxígeno, en la gráfica de sitios, se observa que el sitio cuatro es nuevamente el mayor contribuyente al deterioro del río por acción de la deposición de aguas negras urbanas de manera directa, hecho que refleja contenido fecal en dichas descargas indudablemente. La DQO es una prueba que se realiza en muchos laboratorios, ya que es uno de los parámetros más usados para establecer la concentración de materia orgánica en muestras de aguas y aguas residuales (Ramírez-Burgos, Domínguez-de-Bazúa, García-Fernández, Montuy-Hernández y Oaxaca-Grande, 2008). Durante la aplicación de esta prueba se genera una cantidad importante de residuos considerados como peligrosos por su contenido de metales (cromo hexavalente, plata y mercurio), de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana, NOM-052-ECOL-1993.

7.6. Variación espacio temporal la concentración de demanda Bioquímica de oxígeno

7.6.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno

7.6.2. Análisis por temporada

El valor promedio de DBO mg/L en la temporada de lluvias es de: 40.81, mientras que en temporada de nortes es de: 49.15.

El valor más alto fue de 163.2 mg/L en la temporada de nortes, mientras que el valor más bajo fue de 10.2 en la temporada de nortes en el sitio uno.

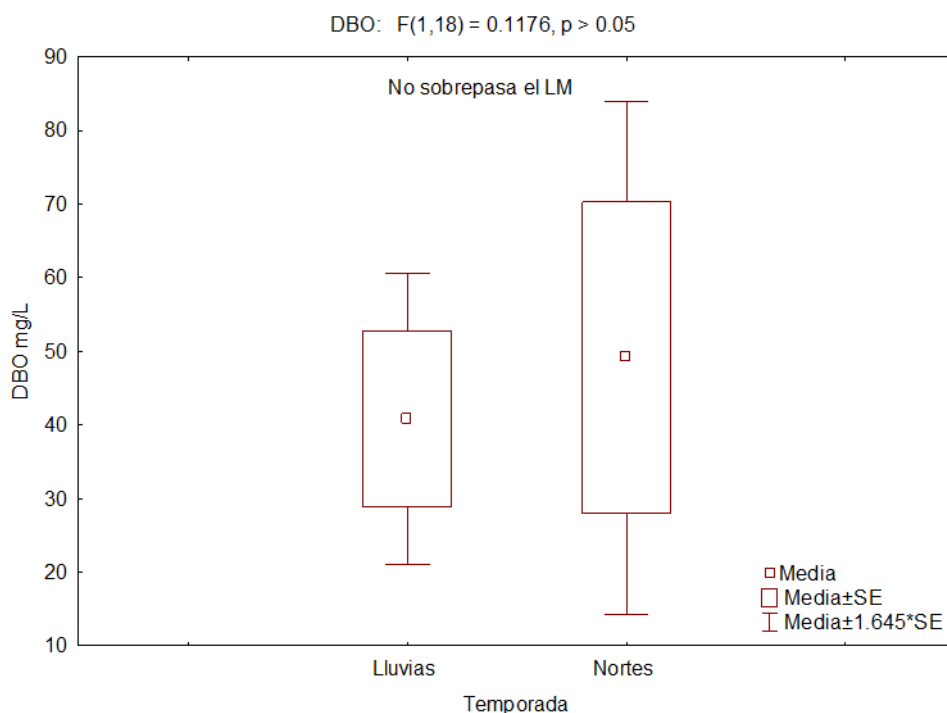


Figura 26. Análisis de DBO por temporada.

7.6.3. Análisis por sitio de muestreo

Los valores promedio de DBO mg/L por sitio son: sitio 1: 12.62, sitio 2: 16.25, sitio 3: 15.525, sitio 4: 135.7, sitio 5: 44.75.

El valor más alto fue de 163.2 mg/L en el sitio cuatro, mientras que el valor más bajo fue de 10.2 en el sitio uno.

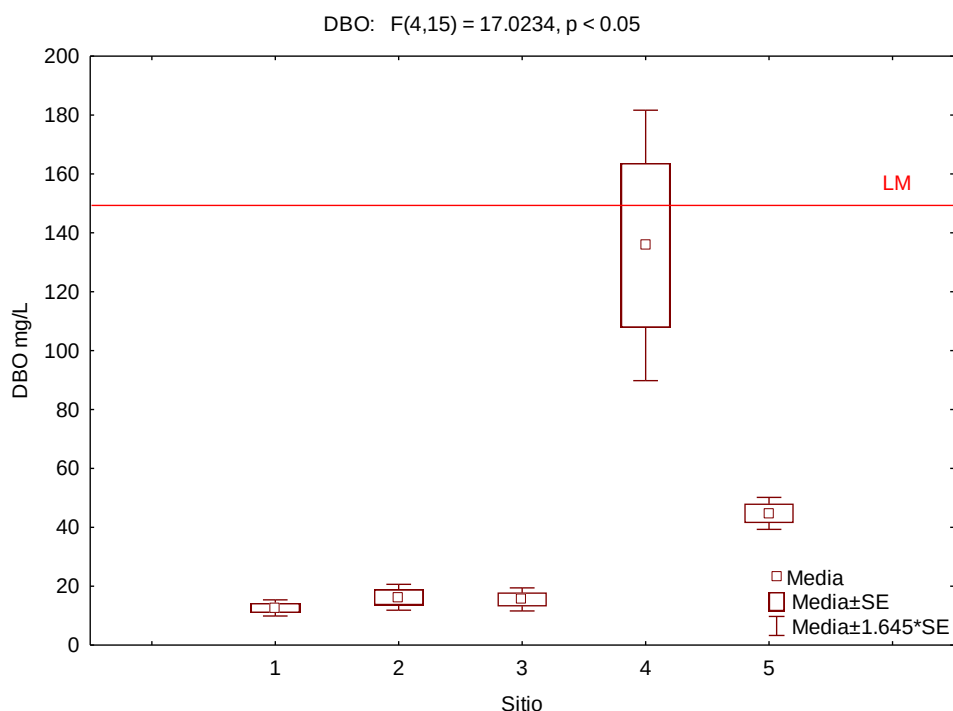


Figura 27. Análisis de DBO por sitio de muestreo

Cuadro 11. Valores medios de las concentraciones de DBO (mg/L) durante las dos temporadas en los cinco sitios de muestreo.

Temporada /Sitio	1	2	3	4	5
Lluvias	15.0 ^a	18.7 ^a	14.8 ^a	108.2 ^b	47.2 ^a
Nortes	10.2 ^a	13.7 ^a	16.2 ^a	163.2 ^b	42.2 ^a

Los valores con literales diferentes expresan diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$).

DBO: El fósforo, sólidos disueltos, DBO y la temperatura son parámetros que físicamente se relacionan entre sí, por lo cual es aceptable y comprensible que en estaciones cercanas se tengan coeficientes altos de correlación y determinación (Tetzaguic, 2003).

En la temporada dos se puede apreciar que hay un aumento de DBO, el cual se puede relacionar con las masas de aire en combinación con elementos de origen orgánico que pueden llegar a depositarse en el río por acción de las rachas de viento, así mismo el sitio cuatro presenta mayor concentración de DBO por presencia de materia fecal existente proveniente del tubo de drenaje que se haya en ese lugar.

Si la cantidad de materia orgánica es suficientemente elevada, el consumo de oxígeno puede llevar a su agotamiento, lo que tiene una consecuencia inmediata en la destrucción de las comunidades acuáticas que necesitan el oxígeno para vivir. Además, el exceso de materia orgánica posibilita la proliferación de microorganismos, muchos de los cuales resultan patógenos (contaminación biológica), provoca déficit de oxígeno, lo que aumenta la solubilidad en el agua de ciertos metales y a la vez se incrementa el efecto de la corrosión de las conducciones y tuberías por la presencia de sulfuros. Para medir la cantidad de materia orgánica presente en un agua se usa un parámetro, la demanda bioquímica de oxígeno o DBO, y se expresa como el consumo de oxígeno por los microorganismos heterótrofos aerobios presentes en una muestra.

Cuadro 12. Valores de referencia de los parámetros estudiados.

Parámetro	Valores medios Temporada/Sitio	Valor de referencia	Estado Cumple/No cumple
OD	1.738	6 mg/L	No Cumple
Nitratos	1.121	10 mg/L	Cumple
Fosforo	1.405	20 mg/L	Cumple
Solidos Totales	982.4	150 mg/L	No cumple
Cloruros	133.5	250 mg/L	Cumple
Dureza	279.6	500 mg/L	Cumple
Conductividad	110.3	1500 μ S/cm	Cumple
pH	7.372	6.5 - 8.5	Cumple
DQO	157.3	200 - 250 mg/L	Cumple
DBO	44.98	75 – 150 mg/L	Cumple

*Valor de referencia NOM-001-SEMARNAT-1996, NOM-127-SSA1-1994, CONAGUA, NMX-AA-012-SCFI-2001 y OMS.

9. Conclusión

En el trabajo realizado, se establecieron los sitios de muestreo con respecto a fuentes puntuales encontradas en Río Grande, las cuales fueron desagües que afectan de manera directa la calidad de agua, pues vierten desechos urbanos e industriales al cauce.

En las cercanías con dicho río se encontraron fuentes difusas estas son: zonas de pastoreo; así como también obras en construcción, no se desestima la cercanía con el basurero municipal que pueda llegar a impactar negativamente el agua del río.

En cuanto a los parámetros fisicoquímicos se observó que el punto 4 suministra al río altas concentraciones de nitratos, fosforo, solidos totales, DQO y DBO.

El sitio 2 concentra la mayor cantidad de O.D., mientras que cloruros, dureza, conductividad y pH, son parámetros mayormente elevados en el sitio 5.

Con respecto a lo mencionado anteriormente se puede concluir que las descargar del sitio 4 son de origen doméstico, mientras que los del sitio 5 son de origen industrial.

Con respecto al estudio espacio temporal se observó que, en los parámetros de nitratos, cloruros, dureza, pH, la acción de la temporalidad expresa diferencias significativas mientras que fosforo, solidos totales, conductividad, DQO y DBO expresan diferencias con respecto al sitio.

El O.D. expresó diferencias tanto temporal como espacialmente, este hecho significa que la interacción de la temporalidad con los sitios los cuales se caracterizan por representar fuentes puntuales tiene interacción en el comportamiento de esta variable.

10. Recomendaciones

Realizar proyectos sustentables para las actividades industriales y ganaderas en los cuales se promueva la utilización de compuestos naturales, así como un mejor orden territorial para nuevos terrenos de fábricas o proyectos de inmobiliarios.

Implementar programas para crear concientización en las poblaciones, y así ayudar a la remediación y recuperación de la calidad de agua de río Grande.

Dar mantenimiento pertinente a plantas de tratamiento de aguas residuales en los asentamientos aledaños, también realizar la construcción de una planta exclusiva para la zona industrial ya que sus aguas residuales son muy diferentes a las municipales y domésticas.

Ampliar el estudio multidisciplinario para río Grande, ya que promueve la iniciativa de mejores propuestas de remediación.

Involucrar a las estancias gubernamentales por ejemplo al gobierno municipal, así como al gobierno estatal y federal tratando que el personal de los puestos altos tome cartas en el asunto sobre el tema de la recuperación de la calidad de agua de Río Grande.

Mejorar la normatividad mexicana en cuestión de calidad del agua y protección ambiental, ya que no cuentan con las recomendaciones necesarias para todos los parámetros llámese fisicoquímicos, bacteriológicos y metales pesados.

Plantear el uso de energías renovables para aminorar el impacto en los recursos naturales, específicamente en los ríos.

Proteger los ecosistemas de agua dulce, promoviendo estrategias de corto, mediano y largo plazo, que redunden en la restauración del ciclo del agua.

Asignar los volúmenes en cantidad y calidad que permita a la misma naturaleza desempeñar sus funciones y brindar sus servicios ambientales.

Una mayor medición del recurso hídrico en las diferentes fases del ciclo del agua para un conocimiento detallado y así poder evaluar la disponibilidad real del agua por cuenca y por acuífero.

Ampliar los criterios de calidad del agua para determinar las fuentes de contaminación relacionadas con las actividades antropogénicas.

11. Literatura Citada

- Almazán-Juárez, M. T., Almazán-Juárez, A., Carreto-Pérez, B. E., Hernández-Castro, E., Damián-Nava, A. y Almazán-Núñez, R.C. (2016). Calidad y clasificación de usos del agua en la cuenca baja del río Papagayo, Guerrero, México. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 9: 293-305.
- APHA-AWWA-WEF (2005) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21th Edition. New York, 2-55 y 2-56, método 2540 B. Recuperado de <https://boletinagrario.com/ap-6,solidos+totales,4177.html>
- Arellano H.E. (2010). Evaluación del impacto de la contaminación puntual y difusa en la bahía de Acapulco, Guerrero. (tesis inédita de maestría). Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, Morelos, México.
- Argandoña, L.E. y Macias, R. G. (2013). Determinación de sólidos totales, suspendidos, sedimentados y volátiles, en el efluente de las lagunas de oxidación situadas en la Parroquia Colón, Cantón Portoviejo, Provincia de Manabí, durante el período de marzo a septiembre 2013 (Tesis inédita de maestría). Universidad técnica de Manabí facultad de ciencias matemáticas físicas y químicas. Manabí, Ecuador.
- Balmaseda, C. y García, Y. (2013). Calidad de las aguas de la cuenca del Río Naranjo, Municipio de Majibacoa, provincia Las Tunas para el riego. *Cultivos tropicales*. 34 (4), 68-73. ISSN 0258-5936.
- Birnbaum, L.S. y Staskal, D.F. (2004). Brominated flame retardants: ¿cause for concern? *Environ. Health Perspect.* 112, 9– 17.
- Bolaños-Alfaro, J. D. (2017). Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Branco, S. M. (1984). Limnología sanitaria, estudio de la polución de aguas continentales. OEA. Washington, Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico.120.
- Cabrera, E., Hernandez, L., Gómez, H. y Cañizares, M. (2003). Determinación de nitratos y nitritos en agua. Comparación de costos entre un método de flujo

- continuo y un método estándar. *Revista de la Sociedad Química de México*, 47(1), 88-92.
- Calvo-Flores, F.G. (2019). Contaminación del agua. Recuperado de www.ugr.es.
- Campbell, N., D'Arcy, B., Frost, A., Novotny, V., Sansom, A. (2005). Diffuse pollution an Introduction to the problems and solutions. IWA Publishing, London, UK.
- Carpenter, S. R., Caraco, N. F., Correll, D. L., Howarth, R. W., Sharpley, A. N., y Smith, V. H. (1998). Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological applications*, 8(3), 1-13.
- Carpio, T.M. (2006). Solidos totales secados a 103°C -105°C. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Colombia.
- Comisión Nacional de Agua (CONAGUA) (2011). Criterios ecológicos de calidad del agua.
- Del Ángel, M.M. (1994). Contribución al estudio de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) (tesis inédita de maestría). Universidad Autónoma de Nuevo León, México.
- Díaz, L.S. (2013). Evaluación de la calidad en agua y sedimentos el río grande de Morelia, Michoacán (tesis inédita de maestría). Universidad michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México.
- Escobar, J. (2002). La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar. División de Recursos Naturales e Infraestructura. CEPAL, Santiago de Chile. ISBN: 92-1-322090-1
- Esteves, J., Gil, M. y Harvey, M. (1996). Evaluación de la contaminación por metales en sedimentos y materiales en suspensión de la cuenca Turbio-Gallegos. Informe Técnico N°12 del Plan de Manejo Integrado de la Zona Costera Patagónica. Puerto Madryn, Argentina.
- Fernández, J. (s. f). La recuperación de los ríos en entornos urbanos el caso del Río Zadorra en Vitoria-Gasteiz. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal de la Universidad Politécnica de Madrid.

- Fuentes, R.M., Ramos, J.A. Jiménez, M.C. y Esparza, M. (2015). Caracterización de la materia orgánica disuelta en agua subterránea del Valle de Toluca mediante espectrofotometría de fluorescencia 3D. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 31(3), 253-264.
- García, M. y Maza, J. (2019). Origen y propiedad de los sedimentos. Capítulo 7 del manual de ingeniería de ríos. Recuperado de http://eias.utalca.cl/isi/publicaciones/unam/origen_y_propiedades_de_los_sedimentos.pdf.
- Gardi, C. (2001). Land use, agronomic management and water quality in a small Northern Italian watershed. *Agriculture, Ecosystem and Environment*. 87,1-12.
- Goyenola, G. (2007). Determinación del pH. Inédito. Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos. Montevideo, Uruguay.
- Giraldo G.(1995). Manual de análisis de aguas. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de ciencias y administración departamento de ciencias. Manizales, Colombia.
- González, S. (2007). Contaminación difusa de las aguas. Instituto Nacional de Ingeniería Ambiental. *Agricultura limpia*. 21:25 Recuperado de <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/05/contaminacion-difusa-de-las-aguas.pdf>
- Graniel, C. E. y Carrillo, C. M. (2006). Calidad del agua del río Zanatenco en el Estado de Chiapas. *Revista Académica Ingeniería*. 10 (3), 35–42.
- Guzmán-Colis, G., Thalasso, F., Ramírez-López, E. M., Rodríguez-Narciso, Silvia, Guerrero-Barrera, A. L., y Avelar-González, F. J. (2011). Evaluación espacio temporal de la calidad del agua del río San Pedro en el Estado de Aguascalientes, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 27(2), 89-102. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S018849992011000200001&lng=es&tlng=es.
- Holtan, H. Kamp-Nielsen, I. y Stuanes, A. (1988). Phosphorus in soil, water and sediment: an overview. *Hydrobiologia*, 170:19-34.

- Iowa Department of Natural Resources. (2009). Consultation Package. Water Quality Standards Review: Chloride, Sulfate and Total Dissolved Solids.
- Jiménez, C. (2011). Contaminantes orgánicos emergentes en el ambiente: productos farmacéuticos. En: *Rev. Lasallista Investig.* 8 (2), 143-153.
- Kolpin, D. et al. (2002). Pharmaceuticals, hormones, and other organic wastewater contaminants in US streams, 1999-2000: a national reconnaissance. En: *Environmental Science and Technology.* 36, 1202-1211.
- Lerman, A. (1981). Controls on river water composition and the mass balance of river systems. In: Martin, J.M., Burton, J.D. and Eisma, D. (Eds.), *River Inputs to Ocean Systems*, UNESCO, Roma, 1-4.
- Meironyte D, Noren K, Bergman A. (1999). Toxicol. *Environ Health.* 58, 329.
- Menendez, C. y Dueñas, J. (2018). Los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales desde una visión no convencional. *Ingeniería hidráulica y ambiental*, vol. XXXIX (3), 97-107. La Habana, Cuba.
- Neira, M.A. (2006). Dureza en aguas de consumo humano y uso industrial, impactos y medidas de mitigación. Estudio de caso: Chile
- Norma Oficial Mexicana NMX-AA-014-1980, Cuerpos receptores-Muestreo, Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, México, D.F. 5 de septiembre de 1980.
- Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996. Diario Oficial de la Federación, México, D.F. 23 de abril de 2003.
- Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, Diario Oficial de la Federación, México, D.F. 6 de enero de 1997.
- Novotny, V. (2003). *Water Quality. Diffuse Pollution and Watershed Management.* (2° ed.). New York: John Wiley and Sons, Inc.
- ONG Perú ecológico. (2012). Eco-diccionario. Recuperado de http://www.peruecologico.com.pe/glosario_a.htm

Organización Mundial de la Salud (OMS) (2006). Guías para la calidad del agua potable. Recomendaciones. Recuperado de [https://www.who.int/water sanitation health/dwg/gdwq3 es full_lowres.pdf](https://www.who.int/water_sanitation_health/dwg/gdwq3_es_full_lowres.pdf)

Orozco, C., Pérez, A., Gonzales, M. N., Rodríguez, F., Alfayate, J., Contaminación Ambiental. Una visión desde la Química. Tercera edición, Thomson Editoriales España, Paraninfo, S.A., 2005.

Peña, E. (2007). Calidad de agua. Trabajo de investigación. Oxígeno disuelto (OD). Recuperado de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6162/5/Investigacion.pdf>.

Peña, E. (2013). Calidad de agua. Oxígeno disuelto (OD). Escuela Superior Politécnica del Litoral. Recuperado de <https://www.slideserve.com/kellan/oxigeno-disuelto-od-integrante-evelyn-pe-a-pulla>.

Pineda, J. (2017). Contaminación de fuente puntual, difusa y lineal. en Colombia. Recuperado de <https://encolombia.com/medio-ambiente/interesa/contaminacion-de-fuente-puntual-difusa-y-lineal/>

Poynton, H.C. y Vulpe, C.D. (2009). Ecotoxicogenomics: Emerging Technologies for Emerging Contaminants. En: *Journal of the American Water Resources Association*. 45, 83–9.

Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) (1999). Panorama General en Perspectivas del Medio Ambiente Mundial PMAM –División de Información y Evaluación Ambientales y Alertas tempranas (DIEA y AT), PNUMA, Nairobi, Kenya. Recuperado de <http://www.unep.org>

Quintero, L.A., Agudelo, E.A., Quintana, Y.A., Cardona, S.A. y Osorio, A.F. (2010). Determinación de indicadores para la calidad de agua, sedimentos y suelos, marinos y costeros en puertos colombianos. *Revista Gestión y ambiente*. 13 (3), 51-64.

- Quispe, M. S. (2016). Estudio del comportamiento del oxígeno disuelto y parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de la Bahía Interior de Puno (Tesis inédita de Licenciatura). Universidad privada Norbert Wiener Facultad de farmacia y bioquímica. Lima, Perú.
- Ramalho, R. (2003). Tratamiento de Aguas Residuales. Barcelona: España, Editorial Reverté, S.A.
- Ramírez-Burgos, L. I., Domínguez-de-Bazúa, M. del C., García-Fernández, J. L., Montuy-Hernández, R. y Oaxaca-Grande, M. (2008). Serie Química Ambiental de los Residuos Peligrosos.
- Richardson, M. L. y Bowron, J. M. (1985). The fate of pharmaceutical chemicals in the aquatic environment. En: J Pharm Pharmacol.. 37,1-12.
- Rivera-Vázquez, R. (2007). Contaminación por coliformes y helmintos en los ríos Texcoco, Chapingo y San Bernardino tributarios de la parte oriental de la cuenca del Valle de México. Rev. Int. Contam. Ambie. 23, 69-77.
- Rodier, J., Legube, B. y Merlet, N. (2010). Análisis del agua. Barcelona: Ed. Omega.
- Ruivo, M. (1971). La Contaminación del Mar y los Recursos Vivos, FAO, Roma 9-18 de diciembre. 9-18. SBN 978-84282-1530-5-.
- Sanz M. (1999). Ciencias de la tierra y del medio ambiente. España. Ed. Del laberinto.
- Solís-Castro, Y., Zúñiga-Zúñiga, L.A. y Mora-Alvarado, D. (2018). La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica. Tecnología en Marcha. 3(1), 35-46.
- Spehar, R.L., Christensen, G.M., Curtis, C., Lernke, A.E., Norberg, T.J. & Pickering, Q.H. (1992). Effects of Pollution on Freshwater Fish. Water Pollution Journal WPCF 54 (6):877-922.
- Tetzaguic, C. (2003). Sistematización de la información de la calidad del agua del lago de Amatitlán con parámetros que determinan su contaminación secuencial (Tesis inédita de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. Guatemala.

Tobón, F., López, L. y Paniagua, R. (2010). Contaminación del agua por plaguicidas en un área de Antioquia: En: Rev. Salud Pública. 12 (2), 300-307.

Wagner, E.G. & Pinheiro, R.G. (2001). Upgrading water treatment plants. London:OMS. Recuperado de file:///C:/Users/Acer/AppData/Local/Temp/9780429078149_googlepreview.pdf.

Anexos



Anexo A. Ejecución técnica de cloruros nmx-aa-073-scfi-2001.



Anexo B. Tinción con cromato de potasio.



Anexo C. Proceso de dilución en la técnica de cloruros.



Anexo D. Dilución negro de eriocromo técnica de conductividad.



Anexo E. Dilución técnica de dureza nmx-aa-072-scfi-2001.



Anexo F. Dilución técnica de dureza.



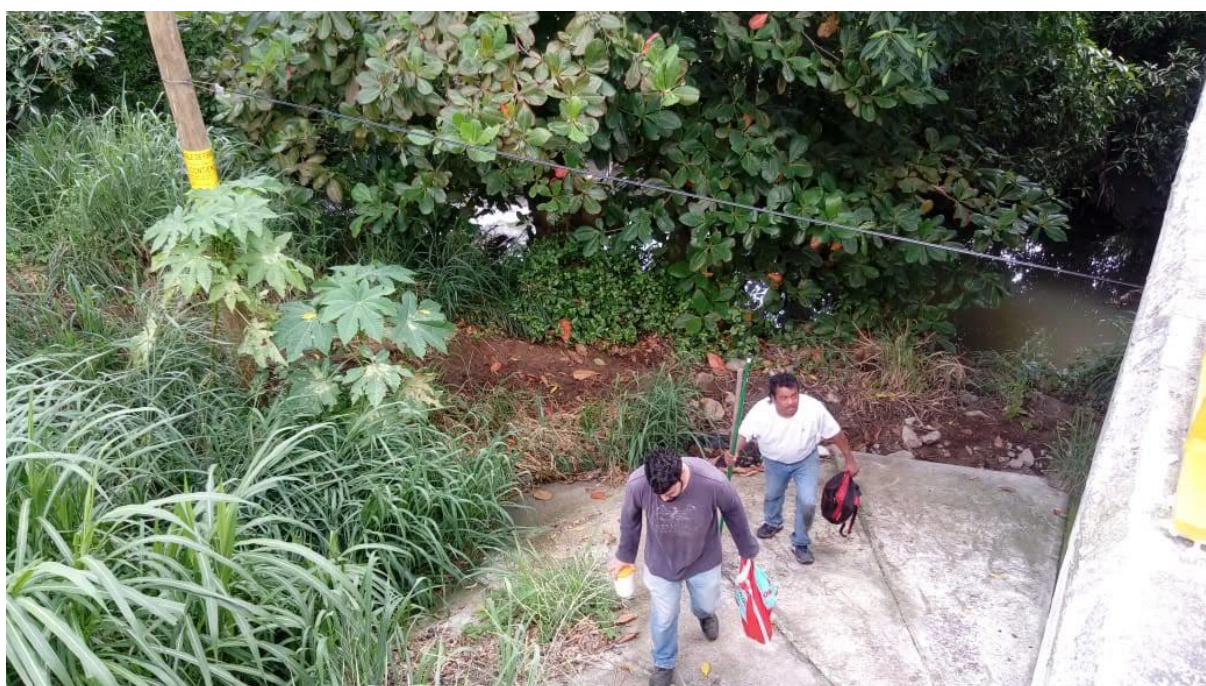
Anexo G. Sitio uno de muestreo.



Anexo H. Zona de pastoreo cercana a Rio Grande.



Anexo I. Canal de aguas residuales en pésimas condiciones.



Anexo J. Toma de muestras en sitio cinco.



Anexo K. Dos fraccionamientos cercanos a Rio Grande.



Anexo L. Rio Grande cubierto de lirio acuático.



Anexo M. Vista aérea de punto cuatro de muestreo.



Anexo N. Vista aérea de Rio Grande.



Anexo O. Fraccionamiento a un costado de Rio Grande.



Anexo P. Vista aérea del curso del rio.