

UNIVERSIDAD INTERAMERICANA DE PUERTO RICO
RECINTO DE SAN GERMÁN
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA POR PARÁMETROS
FISICOQUÍMICOS Y COLIFORMES FECALIS EN UN SEGMENTO DE LA
PARTE BAJA DEL RÍO CAMUY**

Melanie López Ruiz
Mayo de 2021

UNIVERSIDAD INTERAMERICANA DE PUERTO RICO
RECINTO DE SAN GERMÁN
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

Tesis presentada y aprobada como requisito parcial para completar el grado de
Maestría en Ciencias en Ciencias Ambientales

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA POR PARÁMETROS
FISICOQUÍMICOS Y COLIFORMES FECALES EN UN SEGMENTO DE LA
PARTE BAJA DEL RÍO CAMUY**

Melanie López Ruiz
Mayo de 2021

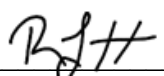
Miembros del Comité Graduado:



Keyla E. Cáceres Ruiz, M.S.
Director de Tesis

17 de mayo de 2021

Fecha



Rubén J. Hernández García, Ph.D.
Co-director

17 de mayo de 2021

Fecha



Wilma E. Montalvo Rivera, M.S.
Co-directora

17 de mayo de 2021

Fecha



Carlos Irizarry, Ph.D.
Director Escuela Estudios Graduados e Investigación

1 de junio de 2021

Fecha

Dedicatoria

A mi madre Maribel Ruiz y mi padre Juan A López por siempre brindarme su apoyo incondicional durante esta etapa de mi vida.

Agradecimientos

Agradezco a Dios por haberme dado la fortaleza necesaria para seguir adelante durante esta etapa de mi vida. Deseo expresar mi infinito agradecimiento a mi mentora, la profesora Keyla Cáceres por darme la oportunidad de trabajar con usted, por toda su ayuda y consejos para poder lograr este trabajo. A la Prof. Wilma Montalvo y el Prof. Rubén Hernández, miembros de mi comité de tesis por el tiempo que dedicaron a ayudarme. Quiero agradecer a todas las personas que contribuyeron con este trabajo, en especial a mi padre Juan López por ayudarme durante todo el periodo de muestreo. También, quiero agradecer a mi familia por su apoyo durante todos mis años de estudio.

Tabla de Contenido

Lista de Figuras	viii
Lista de Tablas	x
Apéndices.....	xi
Lista De Símbolos o Abreviaturas.....	xii
Resumen.....	xiii
Introducción	1
Trasfondo/Antecedentes del Estudio	1
Problema de Estudio	4
Justificación del Estudio.....	5
Hipótesis Formulada	8
Propósito del Estudio	9
Revisión de Literatura.....	10
Contaminantes del Agua	11
<i>Desechos Orgánicos</i>	11
<i>Compuestos Orgánicos</i>	11
<i>Sustancias Químicas Inorgánicas</i>	12
<i>Nutrientes Vegetales Inorgánicos</i>	12
<i>Sedimentos y Materiales Suspendidos</i>	12
<i>Contaminación Térmica</i>	12

<i>Microorganismos Patógenos</i>	13
<i>Sustancias Radioactivas</i>	13
Fuentes de Contaminación	13
Calidad de Agua.....	15
<i>Parámetros Físicos y Químicos</i>	15
<i>Parámetros Bacteriológicos</i>	22
Marco Legal.....	23
<i>Leyes Federales</i>	23
<i>Leyes estatales</i>	26
Estudios Relacionados a la Calidad de Agua en Puerto Rico	28
Metodología	30
Muestreo	31
<i>Lugar de Muestreo</i>	31
<i>Puntos de Muestreo</i>	32
<i>Colección y Preservación de la Muestra</i>	34
Evaluación de los Parámetros Físico-Químicos	35
<i>Temperatura</i>	35
<i>pH</i>	35
<i>Turbidez</i>	35
<i>Fosfato</i>	36
<i>Nitrato</i>	36
<i>Oxígeno Disuelto</i>	37

<i>Demanda Bioquímica de Oxígeno</i>	37
<i>Salinidad</i>	38
Parámetros Bacteriológicos	38
Análisis de Datos	39
Resultados	40
Parámetros Físicos y Químicos	40
Parámetros Bacteriológicos	58
Análisis de Resultados y Discusión.....	59
Conclusiones	68
Recomendaciones	72
Referencias.....	73
Apéndice B. Parámetros de Calidad de Agua Según el Reglamento de Estándares de Calidad de Agua de Puerto Rico de Abril de 2019.	88
<i>Apéndice C. Resultados del análisis estadístico para cada parámetro.</i>	89

Lista de Figuras

Figura 1: Earth Force® Low Cost Estuary & Marine Monitoring Kit, Code 5911 (Compañía LaMotte).....	30
Figura 2: Mapa satélital de la zona estudiada del Río Camuy.....	32
Figura 3: Mapa satélital del Río Camuy con los puntos de muestreo identificados	33
Figura 4: Fotos tomadas de los puntos de muestreo 1, 2 y 3.....	34
Figura 5: Resultados de la temperatura en cada punto de muestreo.....	41
Figura 6: Promedios de los puntos de muestreo para la temperatura	42
Figura 7: Resultados para el pH en los tres puntos de muestreo.....	43
Figura 8: Promedios para el pH en los tres puntos de muestreo.....	44
Figura 9: Resultados de turbidez para los puntos de muestreo.....	46
Figura 10: Promedios para la turbidez en los tres puntos de muestreo.....	46
Figura 11: Resultados para el fosfato en los tres puntos de muestreo.....	48
Figura 12: Valores promedios para el fosfato.....	49
Figura 13: Resultados para el nitrato en los tres puntos de muestreo	51
Figura 14: Valores promedios para el nitrato.....	51
Figura 15: Resultados del Oxígeno Disuelto para los Tres Puntos De Muestreo	53
Figura 16: Valores promedios para el oxígeno Disuelto	54
Figura 17: Resultados para la Demanda Bioquímica de Oxígeno para los tres puntos de muestreo.....	55
Figura 18: Valores promedios para la demanda bioquímica de oxígeno.....	56
Figura 19: Resultados de salinidad para los tres punto de muestreo	58

Figura 20: Vacas en área aledaña a la toma de agua de la planta de filtros Hatillo-Camuy (punto 1).....	66
Figura 21: Presencia de vacas en el punto de muestreo número 1	66

Lista de Tablas

Tabla 1: Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para la temperatura.....	42
Tabla 2: Tabla de resultados del análisis de varianza (ANOVA) para pH	45
Tabla 3: Tabla de resultados del análisis de varianza (ANOVA) para Turbidez.....	47
Tabla 4: Tabla de resultados del análisis de varianza (ANOVA) para el fosfato	49
Tabla 5: Tabla de resultados del análisis de varianza (ANOVA) para el nitrato	52
Tabla 6: Tabla de resultados del análisis de varianza (ANOVA) para el oxígeno disuelto	54
Tabla 7: Análisis de varianza (ANOVA) para la demanda bioquímica de oxígeno.....	57

Apéndices

Apéndice A: Resultados de los parámetros evaluados para cada punto de muestreo.	84
Apéndice B: Parámetros de Calidad de Agua Según el Reglamento de Estándares de Calidad de Agua de Puerto Rico de Abril de 2019.	87
Apéndice C: Resultados del análisis estadístico para cada parámetro.	88

Lista De Símbolos o Abreviaturas

AAA – Autoridad de Acueductos y Alcantarillados
APHA - “American Public Health Association”
AWWA - “American Water Works Association”
DBO - Demanda Bioquímica de Oxígeno
DRNA - Departamento de Recursos Naturales y Ambientales
DS - Departamento de Salud
JTU - “Jackson Turbidity Unit”
mg/L - miligramos por litro
NPDES - “National Pollutant Discharge Elimination System”
NTU - “Nephelometric Turbidity Unit”
OMS - Organización Mundial de la Salud
OD - Oxígeno Disuelto
ppm - partes por millón
RCRA - “Resource Conservation and Recovery Act”
TMDL - “Total maximum daily load”
USEPA - “United States Environmental Protection Agency”
USGS - “United States Geological Survey”
WEF - “Water Environment Federation”

Resumen

Los ríos son uno de los ecosistemas más importantes de Puerto Rico, ya que funcionan como fuentes de agua primordiales. Estos también sirven como fuente de alimentación y hogar para una gran diversidad de animales y áreas de recreación para las personas. La calidad de agua de los ríos es de suma importancia. Muchos de los contaminantes que son encontrados al evaluar la calidad de agua de los ríos llegan a ellos mediante la escorrentía creada por las lluvias. Si la calidad del agua se ve afectada puede causar serios problemas al ecosistema y la salud humana. Por esta razón, el propósito de esta investigación es evaluar la calidad de agua en tres puntos de muestreo de un segmento en la parte baja del Río Camuy. La calidad del agua fue evaluada a través de parámetros fisicoquímicos y coliformes fecales durante un periodo de aproximadamente cuatro meses. Al comparar los resultados con los estándares de calidad de agua establecidos, se observa que el oxígeno disuelto fue el parámetro que estuvo más tiempo sin cumplir con el reglamento. Los resultados obtenidos indican que la calidad del río Camuy varía según las posibles fuentes de contaminación y si hay eventos de lluvia. Las fuentes de contaminación pueden incluir residuos de fertilizantes, descargas de aguas residuales, desechos de animales, entre otras. Para ayudar a minimizar la contaminación por estas fuentes se recomienda tomar acciones correctivas. Los datos obtenidos en esta investigación pueden servir como referencia para otras investigaciones.

Introducción

Trasfondo/Antecedentes del Estudio

Puerto Rico es un archipiélago que se caracteriza por la gran variedad de ecosistemas que contiene. Estos ecosistemas incluyen bosques, cavernas, humedales, playas, estuarios, bahías, lagos, entre otros. Uno de sus ecosistemas más importantes son los ríos. Los ríos pueden ser definidos como “corrientes de agua continuas o discontinuas, de un caudal variante, que desembocan a otro río, a un lago, embalse o al mar” (Departamento de Recursos Naturales y ambientales, 2007, párrafo 1). Los mismos constituyen una de las fuentes de agua potable primordiales en Puerto Rico, lo que los convierte en ecosistemas de gran interés. Algunas funciones de los ríos incluyen: ser hábitat para una gran diversidad de fauna acuática, fuentes de alimentación, fuentes de abasto de agua dulce, áreas de recreación y esparcimiento, descargan material al mar que se incorpora a sedimentos en las costas y protegen de la erosión (DRNA, 2007, sección importancia de los ríos).

Los ríos generalmente se componen de tres partes: curso alto, curso medio y curso bajo. El curso alto comienza en las montañas. En esta área se encuentran las cascadas y saltos de agua. Aquí es donde el agua pasa rápidamente, arrastrando con ella elementos del terreno y causando erosión. En el curso medio del río las aguas continúan su curso de forma más lenta y ocurre la formación de los meandros. Según el Plan Integral de Recursos de Agua de Puerto Rico (2016), “los meandros son las ondulaciones formadas por el caudal de un río como consecuencia de la erosión de los suelos durante crecidas” (Departamento de Recursos Naturales y Ambientales, 2016, p.3-19). Generalmente, la zona del curso medio es utilizada para la construcción de los embalses. Mientras, en el

curso bajo el agua fluye lentamente hasta llegar a la desembocadura del río. La parte baja del río también incluye el estuario, lugar donde el agua dulce se une con el agua salada del mar (Ruiz Buehl, 2007). El estuario es hogar para especies endémicas y otras que vienen a desovar y sirve de refugio para muchas especies marinas terrestres y de agua dulce (DRNA, 2016, 3-39).

El agua de un río proviene generalmente de la escorrentía generada por la lluvia. La escorrentía es delimitada de acuerdo a el área de captación o drenaje, lo que se conoce como la cuenca hidrográfica (DRNA, 2016, p.3-17). Sin embargo, el agua de un río también puede provenir de agua subterránea. La mayoría de las cuencas hidrográficas en Puerto Rico se originan en la región montañosa del interior. En la isla, el flujo de un río varía según el área donde se encuentra ubicado. Los ríos del área norte, este y oeste mantienen un flujo constante comparado con los ríos del área sur, esto se debe a que tienen un área mayor de captación y reciben mayor cantidad de lluvia sobre sus cuencas, mientras que el área sur mantiene un flujo constante solamente durante la época de lluvia o cuando ocurren lluvias intensas en la época de sequía (DRNA, 2007, sección característica de los ríos). La mayoría de los ríos en la isla son superficiales, sin embargo existen ríos subterráneos como el río Tanama, el río Camuy y el río Encantado.

Los ríos se pueden ver afectados por varias razones. Algunas de estas son: el confinamiento de embalses y su canalización, las tomas de aguas, las descargas de aguas usadas, la contaminación de las aguas por plaguicidas o aceites, la sedimentación, entre otras. En Puerto Rico “la principal amenaza que afecta la condición de los ríos es la alta presencia humana en la isla” (Gutiérrez-Fonseca y Ramírez, 2016, p.434). Las

actividades antropogénicas originadas de industrias, comercios, domicilios, agricultura y fuentes móviles pueden afectar seriamente la calidad de agua de los ríos.

La calidad del agua es definida como la evaluación del grado de pureza química, física y biológica del agua la cual puede ser perjudicada por la introducción de materias extrañas, como por ejemplo, productos químicos, residuos industriales y microorganismos que pueden afectar su calidad (Cáceres Acosta, 2018; Zambrano Hidalgo, 2010). Esta calidad depende del uso que se le dará a el agua, por eso es de gran importancia conocer el mismo. El agua puede ser contaminada por causas naturales y no naturales. Las causas naturales pueden incluir elementos que pueden descender del suelo o la atmosfera. Mientras, las causas de contaminación no naturales incluyen las descargas domésticas, descargas industriales, desperdicios agrícolas, sedimentos, petróleo, sustancias peligrosas y descargas pluviales. Las descargas domésticas generalmente son causadas por las descargas de los desperdicios sanitarios de forma incorrecta. En Puerto Rico, la mayoría de los hogares no están conectados al sistema de alcantarillados de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados. Esto puede ocasionar que las aguas residuales sean descartadas de forma incorrecta. En la isla, la mayoría de las casas disponen de sus aguas usadas a través de pozos sépticos los cuales pueden estar contruidos de manera errónea. Sin embargo, los desperdicios que llegan al sistema de alcantarillado sanitario a veces no reciben el tratamiento adecuado y son depositados en los cuerpos de agua.

Todas las fuentes de contaminación mencionadas anteriormente pueden afectar las reservas naturales de gran importancia. Por esta razón, se debe considerar tener un conocimiento sobre su calidad de agua. Al conocer la calidad de agua de los cuerpos de

aguas superficiales podemos identificar las fuentes que podrían estar causando contaminación. Así, se podrá implementar acciones correctivas para minimizar la contaminación o eliminarla por completo si es posible.

Actualmente, la calidad de agua de los ríos de Puerto Rico se ve muy afectada por las actividades Humanas. Uno de los ríos afectados es el río Camuy. La cuenca de este río se encuentra localizada en el área norte de Puerto Rico entre los pueblos de Lares, Camuy, Utuado y Hatillo. El río es de alta importancia ecológica debido a su particularidad de tener un tramo subterráneo que fluye a través de cavernas y conductos en las rocas calizas del área. En este tramo del río se encuentra el sistema de cuevas más grande de la isla. Después de este tramo, el río continúa su curso hasta su desembocadura entre los pueblos de Hatillo y Camuy. A través de lo largo del río, la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados opera tomas para las plantas de filtración, una de ellas localizada cerca de Lares y otras dos en los barrios Quebradas y Pueblos de Camuy. En la parte baja del río se encuentra localizada la planta de filtros de Hatillo-Camuy. En adicción, en el área de la desembocadura del río se encuentra El gran parque del Norte, un área recreativa colindante al río. Los factores mencionados anteriormente hacen que el tener conocimiento de la calidad del agua del río Camuy sea de gran importancia.

Problema de Estudio

La contaminación por sustancias ajenas a la naturaleza del agua, pueden convertirla en inservible para el uso particular al cual estaba designado. Esta contaminación puede causar problemas como: mal olor y sabor, problemas de sedimentación, problemas de toxicidad para los seres vivos y problemas de salud. A pesar de que los ríos tienen un alto valor ecológico, económico y recreativo, las actividades

realizadas por los seres humanos han causado su deterioro. El río Camuy es uno de los ríos afectado por estas actividades.

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA, por sus siglas en inglés) ha encontrado anteriormente violaciones en el parámetro de coliformes fecales en el río Camuy. A lo largo del río existen varias áreas en las que se puede encontrar ganado. También, hay varias áreas residenciales cercanas a este. Estas residencias generalmente disponen del agua residual a través de pozos sépticos. Algunos de estos pozos pueden estar mal contruidos por lo que pueden causar contaminación. En adición, en áreas aledañas al río hay varios vertederos clandestinos. Todo esto puede afectar la calidad del agua del río debido a la escorrentía pluvial que puede arrastrar esa basura y contaminantes al río. Es de suma importancia tener conocimiento de la calidad de agua del río para así ejercer un buen uso de este recurso. Por esta razón, el siguiente estudio va dirigido a la evaluación de la calidad de agua del río Camuy mediante la evaluación de parámetros físicos y químicos.

Justificación del Estudio

El agua es un recurso natural esencial para la vida humana. Con el pasar de los años este recurso se ha visto muy afectado por las actividades humanas. La cantidad de agua dulce existente hoy día es limitada. Además, su calidad ha disminuido debido a la contaminación. El agua contaminada puede ser un gran problema debido a que puede causar enfermedades. Según la organización mundial de la salud, “el agua que se encuentra contaminada puede transmitir enfermedades como el cólera, la diarrea, la disentería, la fiebre tifoidea y la poliomielitis” (Organización Mundial de la Salud, 2019).

En adicción, la degradación de la calidad puede perjudicar el uso al cual es destinada el agua. Actualmente, cada vez son más los cuerpos de agua contaminados.

El Reglamento de Estándares de Calidad de Agua de Puerto Rico es él que se encarga de establecer los usos designados a ser mantenidos y protegidos para las aguas de Puerto Rico. El río Camuy está clasificado como clase SD. Según el Reglamento de Estándares de Calidad de Agua, las aguas clasificadas como SD, son “destinadas a utilizarse como fuente de abasto para el suministro de agua potable, la propagación y preservación de especies deseables, incluyendo especies amenazadas o en peligro de extinción, así como para recreación de contacto primario y secundario” (Department of Natural and Environmental Resources, 2019, p.37). El estuario del río Camuy es clasificado como clase SB. Esto significa que las aguas del estuario son “destinadas para recreación de contacto primario y secundario, y para la propagación y preservación de especies amenazadas o en peligro de extinción” (DNER, 2019, p.36). Debido a que las aguas del río están designadas para estos usos, es de suma importancia conocer su calidad.

Las estaciones de rastreo del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS por sus siglas en inglés) son la fuente principal de datos de calidad de los cuerpos de agua, teniendo 42 estaciones que recolectan datos de calidad de agua en la isla (Morris et al., s.f.). Actualmente el USGS cuanta con tres estaciones de medición de calidad de agua superficial activas (DRNA, 2016, p. 5-88). En adicción, existen otras agencias encargadas de monitorear la calidad de agua como la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (AAA) y el Departamento de Salud (DS) quienes se encargan de la calidad del agua potable. Por su parte, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos

(USEPA) es la encargada de establecer los estándares de calidad a nivel nacional, tanto para el agua potable como para los cuerpos de agua naturales (Morris et al., s.f.).

Además, universidades, agencias federales y estatales o el sector privado pueden realizar estudios sobre la calidad de los cuerpos de agua. Los datos del USGS pueden ser encontrados en su página de internet oficial. Sin embargo, datos de calidad de agua de otras agencias o estudios son más difíciles de obtener (DRNA, 2016, p.5-88).

El USGS cuenta con una estación de medición de flujo y precipitación funcionando actualmente en el río Camuy (USGS 50014800 RIO CAMUY NR BAYANEY, PR). No obstante, esta estación no emite datos sobre calidad de agua. Para el año 2020, la página de la USEPA, How's my waterway, indica que las aguas del río Camuy utilizadas para recreación de contacto primario y secundario no están aptas para su uso debido a que se encontró una posible contaminación con coliformes fecales (USEPA, revisado el 18 de abril de 2021). Esta página de internet provee información sobre la condición de la calidad de las aguas locales al público general (USEPA, 16 de febrero de 2021). Sin embargo, la página indica que no se evaluaron parámetros para la calidad del agua para uso de abastecimiento de agua potable y para la vida acuática.

En el tramo estudiado del río Camuy hay varias áreas que tienen distintas funciones las cuales requieren una buena calidad de agua. En este tramo se encuentra la planta de filtros Hatillo-Camuy de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados. Esta planta cuenta con un permiso NPDES (National Pollutant Discharge Elimination System) el cual le permite la descarga de efluentes de filtros de retro lavado y desagües de tanques de sedimentación al río Camuy (USEPA, 2019). La desembocadura del río se encuentra

colindante con el Gran Parque del Norte en donde el estuario del río es utilizado para fines recreativos y para pesca.

El río pasa por ciertas áreas que podrían estar afectando la calidad del agua. En áreas que se encuentran más arriba del tramo a ser estudiado hay fincas en las que se puede encontrar ganado. Este ganado puede generar contaminantes fecales. También hay residencias que no cuentan con sistemas de alcantarillado y utilizan pozos sépticos que pueden estar mal contruidos. En adicción, hay un área que es utilizada para recreación con vehículos todo terreno los cuales generalmente pueden tener derrames de aceite o combustible. En esta área también hay vertederos clandestinos en los que se puede encontrar basura, aparatos electrodomésticos y vehículos. Todos estos factores pueden contribuir a afectar la calidad del agua del río que está siendo usada para agua potable y recreación, ya que cuando llueve la escorrentía arrastra todos estos contaminantes al río.

Esta investigación contribuye a tener conocimiento actualizado de la calidad del agua del río. También, ayuda a identificar las fuentes de contaminación que puedan estar afectando la calidad. Con esta información se puede recomendar medidas que contribuyen a la protección y restauración de las aguas del río. La investigación provee datos recientes sobre la calidad del agua del río Camuy. El tener conocimiento de las condiciones en las que se encuentra el río permite tomar acciones correctivas para enriquecer la vida del mismo.

Hipótesis Formulada

La calidad de agua de un segmento de la parte baja del río Camuy es afectada por las posibles fuentes de contaminación encontradas en áreas cercanas al río.

Propósito del Estudio

Este estudio tuvo como propósito evaluar la calidad de agua del río Camuy. La misma fue evaluada en un tramo de la parte baja del río. Se estuvieron utilizando parámetros físico-químicos para evaluar la misma. Además, se evaluó la presencia de coliformes fecales. Una vez la calidad de agua fue evaluada, se procedió a identificar las posibles fuentes de contaminación que contribuyeron al deterioro de la calidad del agua de acuerdo a los resultados obtenidos. Después de identificar las posibles fuentes de contaminación, se recomendaron acciones correctivas para ayudar a mejorar la calidad del agua del río Camuy. Los objetivos de esta investigación son los siguientes:

1. Evaluar la calidad de agua de un segmento de la parte baja del río Camuy mediante parámetros físico-químicos y coliformes fecales.
2. Identificar las posibles fuentes de contaminación que pueden estar impactando la calidad de agua.
3. Identificar y recomendar acciones correctivas que ayuden a mejorar la calidad de agua del río.

Revisión de Literatura

El agua es un recurso indispensable para el desarrollo de la humanidad; es por esta razón que su protección es uno de los temas más tratados y discutidos actualmente (Morell-Bayard et al., 2015). Muchas enfermedades pueden ser transmitidas a través del agua por lo que es de suma importancia mantener una buena calidad de la misma (Adesakin et al., 2020; OMS, 2019). El agua posee características específicas como sus propiedades fisicoquímicas y su capacidad de unión con otros elementos orgánicos e inorgánicos, que la convierten en un disolvente universal (Cáceres Acosta, 2018; Zambrano Hidalgo, 2010). Este elemento no es puro totalmente, ya que contiene elementos que pueden alterar sus propiedades (Zambrano Hidalgo, 2010).

La Guía de manejo de Ríos en Puerto Rico, indica que el agua dulce de Puerto Rico contiene minerales inorgánicos y sustancias orgánicas disueltas en el agua en una condición natural que son importante para la vida de los organismos y para los nutrientes que son transportados a las plantas por el agua, por lo que no se consideran contaminantes (Morris et al., s.f.). Generalmente, estos minerales y sustancias se encuentran en el agua en pequeñas cantidades. Si estas cantidades se ven alteradas puede ocurrir contaminación del agua. La contaminación del agua es definida como la introducción de sustancias en concentraciones excesivas que altere o deteriore la calidad del agua para su uso ecológico o antropogénico (Morris et al., s.f.; Zambrano Hidalgo, 2008). Según Adesakin et al. (2020) “el monitoreo de la calidad del agua se vuelve esencial para identificar problemas y formular medidas para minimizar el deterioro de la calidad del agua” (p.2).

Contaminantes del Agua

Los contaminantes del agua pueden ser químicos, físicos o biológicos. Según Zambrano Hidalgo (2010), los contaminantes químicos pueden alterar la composición del agua y reaccionar con ella; los físicos no reaccionan con el agua, pero pueden ocasionar daños al ecosistema, mientras que los biológicos son organismos o microorganismos que se pueden encontrar en exceso en las aguas o ser dañinos (p.16). Algunos de los contaminantes que se pueden encontrar en el agua son los siguientes: desechos orgánicos, compuestos orgánicos, sustancias químicas inorgánicas, nutrientes vegetales inorgánicos, sedimentos y materiales suspendidos, contaminación térmica y microorganismos patógenos.

Desechos Orgánicos

Los desechos orgánicos se componen de residuos orgánicos que pueden ser descompuestos por bacterias aeróbicas. Esto incluye desechos producidos por humanos y animales como por ejemplo las heces. Cuando este contaminante se encuentra en exceso puede agotar el oxígeno y causar la muerte de peces y seres vivos.

Compuestos Orgánicos

Los compuestos orgánicos son compuestos químicos que contienen carbono. Estos compuestos pueden ser naturales o artificiales. Entre los compuestos orgánicos que pueden contaminar las aguas se encuentran el petróleo, la gasolina, plásticos, plaguicidas, detergentes, disolventes, etc. Algunos compuestos orgánicos pueden tardar muchos años en descomponerse debido a que son fabricados por el hombre.

Sustancias Químicas Inorgánicas

Las sustancias químicas inorgánicas son sustancias que no contiene carbono. Si estas sustancias se encuentran en el agua pueden causar serios daños a los seres vivos. Ejemplos de las sustancias químicas inorgánicas son los ácidos, sales y metales tóxicos

Nutrientes Vegetales Inorgánicos

Los nutrientes vegetales inorgánicos incluyen los fosfatos y nitrógenos. Estos son solubles en agua y son necesarios para el crecimiento de las plantas. Cuando se encuentran en niveles altos en el agua pueden causar que las algas crezcan de manera excesiva lo que puede causar eutrofización. Esto causa que el oxígeno disuelto disminuya y aumente la turbidez, lo que puede provocar la muerte de los organismos acuáticos.

Sedimentos y Materiales Suspendidos

Cuando el agua sigue su curso a través de los ríos esta puede arrastrar partículas del suelo. Las aguas también pueden tener materiales en suspensión. Estos sedimentos que se encuentran en suspensión forman el mayor contaminante en términos de su masa (Morris et al., s.f.). Estos pueden aumentar la turbidez en los ríos y aguas costeras y a la misma vez dificultar la vida de los organismos.

Contaminación Térmica

La contaminación térmica ocurre cuando la temperatura del agua es alterada de una forma inesperada. Este cambio en temperatura puede tener efectos nefastos en los organismos vivos. El cambio de temperatura puede ser causado por el agua caliente liberada por centrales de energía o procesos industriales.

Microorganismos Patógenos

Los microorganismos patógenos incluyen los virus, bacterias, protozoos entre otros. Estos microorganismos pueden causar enfermedades como cólera, hepatitis, gastroenteritis y otras. Los mismos pueden llegar al agua por medio de la materia fecal.

Sustancias Radioactivas

Las sustancias radioactivas son “isótopos radiactivos solubles que pueden estar presentes en el agua y, a veces, se pueden ir acumulando a lo largo de las cadenas tróficas, alcanzando concentraciones considerablemente más altas en algunos tejidos vivos que las que tenían en el agua” (Zambrano Hidalgo, 2010, p.26).

Fuentes de Contaminación

La contaminación de los cuerpos de agua puede ser causada por fuentes puntuales o dispersas. Las fuentes de contaminación puntuales son aquellas que descargan a un punto determinado. Los puntos de descarga pueden incluir tuberías de descarga de una planta de tratamiento al mar o a cuerpos de agua determinados. Por el contrario, las fuentes de contaminación dispersas son aquellas que se encuentran en varios puntos de origen. Estas fuentes pueden ser difíciles de controlar e identificar (Ocasio Santiago, 2008, p.10). La contaminación que es causada por fuentes dispersas proviene de la escorrentía de la lluvia. Los contaminantes en las escorrentías son movilizados mediante el escurrimiento de las aguas pluviales y son transportadas hacia los cuerpos de agua receptores.

Las aguas de escorrentía pueden incluir contaminantes naturales y antropogénicos. Entre las descargas de agua de fuentes dispersas se encuentra los sedimentos generados por la erosión, los coliformes fecales provenientes de las heces

fecales de animales y descargas ilegales, generalmente arrastrados por el agua de lluvia. Estas aguas también pueden incluir residuos de fertilizantes y herbicidas, aceites y grasas, detergentes, sedimentos, agentes patógenos, entre otros. Los desechos pueden ser generados en procesos de industrias, agricultura y comunidades sin sistema de alcantarillado o tratamiento de aguas usadas.

Puerto Rico cuenta con una gran cantidad de industrias, las cuales generan una gran cantidad de desperdicios líquidos que generalmente son descargados a los cuerpos de agua, algunas veces sin ningún tratamiento previo de ser necesario. Estas industrias también pueden tener tanques soterrados con filtraciones. La isla también cuenta con una vasta industria agrícola, lo que genera más desperdicios que pueden contaminar los cuerpos de agua. Algunas fuentes de contaminación por parte de la industria agrícola son los fertilizantes, plaguicidas y herbicidas, los desechos de animales y residuos de las cosechas. Estos contienen compuestos orgánicos tóxicos que puede afectar la vida acuática.

Así mismo, Puerto Rico tiene una gran cantidad de viviendas y negocios que no están conectados al sistema de alcantarillado de la AAA (DRNA, 2016, p.5-92). Debido a esto, las aguas residuales son dispuestas de forma incorrecta. Las aguas usadas o residuales, son las aguas que contienen sustancias disueltas o suspendida y contaminantes que provienen de las residencias, comercios, establecimientos industriales, recreaciones o de cualquier otra actividad realizada por el hombre (DRNA, 2019, p.5). En ocasiones, para disponer de estas aguas se utilizan pozos sépticos que son construidos de manera inadecuada. El no tener una forma correcta de disponer de las aguas usadas puede causar descargas ilegales.

Calidad de Agua

La cantidad de agua en Puerto Rico no es el principal problema, sino la calidad de agua que se ve afectada por los contaminantes (Ocasio Santiago, 2008, pp. 7-8). La conservación de la calidad de agua es de gran importancia para el abastecimiento de agua potable, sus usos designados y la producción de alimentos (Cáceres Acosta, 2018). La manera más usual de evaluar la calidad de las aguas es a través de la medición de parámetros físicos, químicos y biológicos; y comparar sus resultados con los reglamentos establecidos para un uso determinado (Montalvo Esteves et. al., 2019, p.4). Los parámetros fisicoquímicos ayudan a proveer información de naturaleza de las especies químicas del agua y sus propiedades físicas; mientras que los parámetros biológicos ayudan a aportar información sobre el estado de contaminación del cuerpo de agua (Cáceres Acosta, 2018; Ocasio Santiago 2008). La evaluación de los parámetros fisicoquímicos tiene la ventaja de que sus análisis son más rápidos y pueden ser monitoreados con más frecuencia (Samboni Ruiz et.al., 2007). No obstante, la evaluación de parámetros biológicos es más complicada debido a que se debe de seleccionar la especie que será analizada, ya que depende del uso al cual está destinado el agua.

Parámetros Físicos y Químicos

La composición física y química del agua se debe a compuestos disueltos o en estado coloidal que provienen de fuentes como la erosión y efectos de actividades realizadas por los humanos (Castillos Palacios, 2013). Los parámetros físicos y químicos, pueden ser considerados como la manera más fácil de identificar las variaciones composicionales de los cuerpos de agua resultantes de cambios en factores naturales (Morell-Bayard et. al., 2015). Estos parámetros pueden ser utilizados para determinar

cuan contaminadas están las aguas. Los mismos tienden a ser más estables, con excepción de ciertos parámetros físicos que pueden cambiar de forma repentina debido a la influencia de fenómenos meteorológicos. (Castillos Palacios, 2013). Algunos de los parámetros físicos y químicos que son evaluados para determinar la calidad de las aguas son: temperatura, pH, turbiedad, fosfatos, nitratos, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno y salinidad.

La temperatura es definida como “una medida de calor o energía térmica de las partículas en una sustancia” (Torres Vega, 2009 p.35). Este parámetro puede ser medido con un termómetro digital o de mercurio y ser expresado en unidades de grados centígrados (°C) o Fahrenheit (°F), este último utilizado generalmente en Estados Unidos (Castillo Palacios, 2013). La temperatura es un parámetro de mucha importancia, ya que puede influir en otros parámetros de calidad de agua y puede regular las características y tipos de vida acuática (Torres vega, 2009; Cáceres Acosta, 2018). Este parámetro puede acelerar, retrasar o intervenir en la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la formación de depósitos, la desinfección y los procesos de mezcla en las plantas de tratamiento como: floculación, sedimentación y filtración (Cáceres Acosta, 2018; Castillo Palacios, 2013). Los organismos que se encuentran en el agua pueden verse afectados por los cambios de temperatura, ya que esta podría alterar las condiciones óptimas para que estos organismos sobrevivan (Torres Vega, 2009). El aumento de temperatura puede disminuir la solubilidad de los gases. Además, altas temperaturas pueden aumentar la putrefacción, y durante descargas de agua caliente puede afectar los organismos y el área teniendo un impacto ecológico significativo

(American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, 2018f; Ocasio Santiago, 2008).

El pH es uno de los parámetros más importantes a la hora de determinar la calidad del agua. Este se define como la concentración del ion hidronio y es usado como un indicador de acidez o basicidad de una sustancia (Cáceres Acosta, 2018; Torres Vega, 2009). Este parámetro sirve como un “indicador de la calidad del agua y del grado de afectación de esta por agentes contaminantes producida por las descargas de un efluente” (Cáceres Acosta, 2018, p.20). El pH es de gran importancia, debido a que influye en ciertos procesos químicos y biológicos, los cuales pueden interferir con la vida acuática. Por esta razón es de suma importancia tener conocimiento del mismo, pues variaciones en su concentración podría afectar el agua.

Altos niveles de pH pueden causar que el agua tenga un mal sabor, afectar la efectividad de desinfección en los procesos de tratamiento y afectar tuberías, mientras que niveles bajos pueden corroer o disolver metales y algunas sustancias (Cáceres Acosta, 2018). Los organismos acuáticos están acostumbrados a un nivel de pH en específico, un cambio en este nivel puede causar su muerte. Los cambios en pH pueden ser causados por lluvia ácida, desechos industriales, escorrentías agrícolas o drenaje de operaciones mineras mal ejecutadas (Patiño Pescador, 2015; La Motte s.f.). El pH puede ser medido por un metro de pH. Un metro de pH consiste de un par de electrodos conectados a un metro capaz de medir pequeños voltajes que son generados cuando los electrodos son colocados en una solución (Brown et. al, 2012). Los resultados de la medición serán expresados en una escala de 0 a 14. Una solución que tenga un pH menor a 7 se clasifica como una solución ácida. Mientras, una solución con pH mayor a 7 será

clasificada como básica. Una solución con pH 7 es una solución neutra. Generalmente, el pH del agua natural suele estar entre 6.5 y 8.2 (La Motte, s.f.).

Las partículas que se encuentran disueltas en el agua pueden causar que la misma presente algún cambio en el color o se vea turbia. La turbiedad es definida como la medida de la claridad o falta de transparencia en el agua (Ocasio Santiago, 2008; La Motte, s.f.). Esta puede ser causada por materia que se encuentra suspendida en el agua como sólidos suspendidos, partículas o coloides (Cáceres Acosta, 2018; La Motte, s.f.). Es importante no confundir la turbiedad con el color. El agua puede tener un color oscuro, pero esto no significa que es turbia. Las causas de que el agua sea turbia incluyen: erosión del suelo, escorrentía urbana, sedimentos y proliferación de algas.

La turbiedad puede ser medida mediante un turbidímetro, y sus unidades son unidades nefelométricas de turbidez. Cuando el agua se ve sucia la turbidez es alta. Niveles altos de turbiedad pueden tener efectos negativos. Cuando hay muchas partículas suspendidas en el agua estas bloquean la luz solar por lo que la fotosíntesis de las plantas acuáticas se ve afectada (Patiño Pescador, 2015). Así mismo, los niveles de oxígeno pueden disminuir por lo que la vida acuática también se verá afectada. La turbidez alta trae riesgos debido a que esta puede “proteger a los microorganismos como virus, parásitos y algunas bacterias de los efectos de desinfección y puede estimular su proliferación” causando problemas a la salud (Cáceres Acosta, 2018).

El fósforo se encuentra en las aguas naturales y residuales como fosfato. Este puede estar presente en compuestos como ortofosfatos, fosfatos condensados y fosfatos unidos químicamente, presentes en solución, partículas o en cuerpos de organismos acuáticos (APHA, AWWA, WEF, 2018e). El fosfato es importante para el crecimiento de

las plantas y animales. Además, es un elemento importante en las reacciones metabólicas. Este nutriente puede ser el que limita la productividad de un cuerpo de agua (APHA, AWWA, WEF, 2018e). El fosfato puede provenir de distintas fuentes como aguas residuales, desechos agrícolas, desechos industriales y desechos humanos. También, puede encontrarse en los sedimentos en el fondo del cuerpo de agua o en los lodos biológicos en compuestos orgánicos o formas inorgánicas precipitadas (APHA, AWWA, WEF, 2018e).

Por su parte, el nitrógeno en las aguas naturales y residuales puede estar en distintas formas. Entre estas las de mayor interés son nitrato, nitrito, amoníaco y nitrógeno orgánico. El nitrato es necesario para la producción de proteínas de plantas y animales acuáticos (La Motte, s.f.). El nitrato puede encontrarse en cantidades pequeñas en aguas subterráneas y en aguas residuales domésticas. Sin embargo, este puede encontrarse en cantidades más grandes en aguas residuales provenientes de las plantas de tratamiento biológico nitrificante (APHA, AWWA, WEF, 1999). El nitrato en exceso puede aumentar el crecimiento y la descomposición de las plantas, y también puede promover la descomposición bacteriana. Esto causa que el oxígeno disponible disminuya y a su vez cause eutrofización alterando el estado natural del río (APHA, AWWA, WEF, 1999; Ocasio Santiago 2008). Generalmente las aguas residuales son la principal fuente de exceso de nitrato. De la misma forma, los fertilizantes y las escorrentías agrícolas también contribuyen al aumento de niveles de nitratos en el agua. Las cantidades de nitrato en agua potable son de gran importancia debido a que altas cantidades pueden afectar la capacidad de nuestra sangre para transportar oxígeno (La Motte, s.f.). En los

bebés puede causar una enfermedad conocida como metahemoglobinemia (APHA, AWWA, WEF, 1999).

El oxígeno disuelto es un parámetro muy importante debido a que los ecosistemas acuáticos dependen de este para poder sobrevivir. El oxígeno disuelto es la medida de la cantidad disuelta que se encuentra en el agua (Ocasio Santiago, 2008). La concentración del oxígeno en las aguas depende de varios factores. La presión parcial del oxígeno en la atmósfera, la temperatura, los procesos de descomposición de los cuerpos de agua, el flujo del río, la materia orgánica y nutrientes presentes en el agua pueden alterar la concentración de oxígeno (Adesakin et al, 2020; Cáceres Acosta, 2018; Post, 2018). Las aguas naturales que tienen niveles altos de oxígeno disuelto consistentemente son consideradas aguas estables (La Motte, s.f.). Sin embargo, niveles bajos de este parámetro podrían ser indicadores de contaminación o mala calidad de agua (Ocasio Santiago, 2008).

Los niveles bajos de oxígeno disuelto pueden ser afectados por cambios naturales inducidos por actividades realizadas por el hombre, aguas residuales y materia orgánica (La Motte, s.f., Ocasio Santiago, 2008). Estos cambios pueden “indicar contaminación elevada, condiciones sépticas de materia orgánica o una actividad bacteriana intensa; por ello se le puede considerar como un indicador de contaminación” (Cáceres Acosta, 2018, p.33). Es por esto que la medición del oxígeno disuelto es muy importante para el control de procesos de tratamiento de residuos y contaminación del agua.

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es la medida de la cantidad de oxígeno que usan las bacterias cuando descomponen desechos orgánicos (La Motte, s.f., p.26). La determinación de la demanda bioquímica de oxígeno es utilizada en

procedimientos de laboratorio utilizados para determinar los requisitos relativos de oxígeno en las aguas residuales, efluentes y aguas contaminadas (APHA, AWWA, WEF, 2018d). Generalmente, esta prueba es realizada incubando una muestra durante cinco días en un lugar oscuro. Pasados los cinco días, se procede a medir la disminución de oxígeno disuelto en el agua. Valores altos de DBO pueden indicar altas concentraciones de materia orgánica biodegradable (Zambrano Hidalgo, 2010). En ríos contaminados, las bacterias consumen gran parte del oxígeno disuelto disponible, robándole a otros organismos acuáticos el oxígeno disuelto que estos necesitan para sobrevivir (La Motte, s.f.).

Otro parámetro fisicoquímico es la salinidad. La salinidad se define como el total de todas las sales disueltas que se encuentran en el agua. Este parámetro es de suma importancia debido a que puede afectar la distribución de la vida vegetal y animal en un sistema acuático y esta puede ayudar a la identificación y caracterización de las masas de agua (La Motte, s.f.; Zambrano Hidalgo, 2010). La salinidad es una de las características más importante de los estuarios. Los cambios en salinidad pueden ocurrir a diario, y son causados por las mareas. También, pueden cambiar drásticamente según la estaciones del año. Por ejemplo, durante el verano el agua de mar está presente en un estuario, mientras que en épocas de lluvia las inundaciones pueden causar que el agua dulce llegue a la desembocadura. En época de huracanes, los niveles de salinidad pueden ser afectados y aumentar drásticamente. Las tormentas grandes pueden afectar la salinidad durante años (La Motte, s.f.).

La forma más confiable de determinar la salinidad verdadera o absoluta de un agua natural es hacer un análisis químico completo, sin embargo, esto tomaría mucho

tiempo y no puede proporcionar la precisión necesaria para un trabajo preciso (APHA, AWWA, WEF, 2018b). Según el “Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater” para determinar la salinidad se usan métodos que incluyan la medición de una propiedad física. Estos métodos pueden incluir índice de refracción, densidad y conductividad, pero hay que tener mucha precaución al medir estos parámetros porque la precisión de la medición determinara la precisión de la salinidad (APHA, AWWA, WEF, 2018b).

Parámetros Bacteriológicos

Muchas de las enfermedades transmitidas por el agua provienen de microbios que se encuentran en el agua (Morris et al., s.f.). Por esta razón, los parámetros bacteriológicos son de suma importancia. Estos pueden indicar si la calidad del agua es óptima para su uso determinado, especialmente si esta es destinada para el consumo. Las aguas pueden ser alteradas biológicamente por diferentes bacterias, virus, protozoarios y otros organismos que pueden causar enfermedades (Ocasio Santiago, 2008). Estos pueden llegar a las aguas a través de la materia fecal de animales o humanos.

Entre los parámetros bacteriológicos más importantes se encuentran los coliformes fecales. Los coliformes son una familia de bacterias que pueden ser encontradas en el sistema digestivo de los mamíferos. Cuando estos están presentes en aguas son indicadores de contaminación por aguas residuales o desechos en descomposición (Ramos-Ortega et. al., 2008). En los análisis para agua potable los coniformes son indicadores de contaminación fecal, por esto es uno de los parámetros más usados para calidad de agua (Castillo Palacios, 2013). Las bacterias coliformes en sí

misma no son patógenas, pero estas ocurren con patógenos intestinales que son peligrosos para la salud humana (La Motte, s.f., p.16).

Marco Legal

Las aguas de los ríos están protegidas por diversas leyes y reglamentos. En Puerto Rico, agencias estatales y federales son las encargadas de implementar estas leyes. La Constitución del Estado Libre Asociado de Puerto Rico, aprobada en 1952 establece que, “Será la política pública del Estado Libre Asociado la más eficaz conservación de sus recursos naturales, así como el mayor desarrollo y aprovechamiento de los mismos para el beneficio general de la comunidad; ...” (Constitución de Puerto Rico Artículo. 6, sección 19). El gobierno federal es el que decide cuáles leyes federales sobre las aguas aplican en Puerto Rico, mientras que el gobierno estatal ha adoptado sus propias leyes basándose en las federales (Ocasio Santiago, 2008).

Leyes Federales

Existen varias leyes federales sobre agua que aplican a Puerto Rico. La Ley de Agua limpia (CWA por sus siglas en inglés) es la ley encargada de establecer la estructura para regular las descargas de contaminantes en las aguas de los Estados Unidos (USEPA, 2020b). Los objetivos de la Ley de Agua Limpia incluyen: restaurar y mantener la integridad química, física y biológica de las aguas de la nación; hacer ilegal la descarga de cualquier contaminante de una fuente puntual a menos que esté autorizado por la Ley (una fuente puntual es típicamente una tubería, zanja u otro medio de transporte que descarga contaminantes); reconocer, preservar y proteger las responsabilidades primarias de los estados para prevenir, reducir y eliminar la contaminación y brindar asistencia financiera a estados y municipios (Cook et. al., 2020).

La Ley de Agua Potable Segura (SDWA por sus siglas en inglés) es la encargada de la protección de la calidad del agua potable en los Estados Unidos, enfocándose en las aguas destinadas para el uso potable provenientes de fuentes aéreas o subterráneas (USEPA, 2020e). Esta ley autoriza a la USEPA a establecer los estándares mínimos de calidad de agua para el agua potable. Los propietarios u operadores de sistemas públicos de agua tienen que cumplir con estos estándares. Esta ley también se encarga de disponer los estándares mínimos para los programas estatales para la protección de las fuentes subterráneas de agua potable y así evitar la contaminación por inyección subterránea. La ley es administrada a través de programas que establecen estándares y requisitos de tratamiento para el suministro público de agua, financian proyectos de infraestructura de agua potable, promueven el cumplimiento del sistema de agua y controlan la inyección subterránea de fluidos para proteger las fuentes subterráneas de agua potable (Tiemann, 2017).

Otra ley estatal es la a Ley de Conservación y Recuperación de Recursos (RCRA por sus siglas en inglés) fue promulgada en el 1976. Esta ley federal es la encargada de regular el manejo de desperdicios sólidos y desechos peligrosos. RCRA le otorga a la USEPA la autoridad de controlar los desechos peligrosos desde su principio hasta su muerte, influyendo su generación, transporte, tratamiento, almacenamiento y eliminación (USEPA, 2020a). Para lograr este objetivo, la USEPA desarrolla regulaciones, guías y políticas para garantizar el manejo seguro y la limpieza de desechos sólidos y peligrosos, y programas que fomentan la reducción de fuentes y la reutilización beneficiosa (USEPA, 2020a). La ley prohíbe el vertido abierto de los desperdicios sólidos no peligrosos y se encarga de establecer los criterios federales para la operación de vertederos municipales e

industriales. Estos criterios incluyen el diseño, restricciones de ubicación, acciones correctivas y requisitos de cierre. Esta ley también regula la generación, transportación, almacenamiento, eliminación, requisitos de permisos y acciones correctiva o de limpieza de los desperdicios peligrosos.

De igual manera, el “National Pollutant Discharge Elimination System” (NPDES por sus siglas en inglés) es otra ley federal implementada en Puerto Rico. EL NPDES es un programa de permisos que regula las fuentes puntuales que descargan contaminantes a las aguas de los Estados Unidos (USEPA, 2020c). Este fue creado por la Ley de Agua Limpia (CWA) en 1972. La Ley de Agua Limpia define como fuentes puntuales cualquier medio de transporte confinado como tuberías, embarcaciones flotantes que pueden descargar contaminantes y operaciones concentradas de alimentación animal. Las descargas de estas fuentes puntuales necesitan un permiso para poder descargar sus desechos. Los permisos de NPDES incluyen regulaciones sobre que se puede descargar, niveles aceptables de un contaminante, parámetro de contaminantes en una descarga, requisitos de monitoreo, y otras disposiciones que se encargan de asegurar que las descargas no afecten la calidad del agua ni la salud de las personas (USEPA, 2020d). Todas las descargas de fuentes puntuales a las aguas de los Estados Unidos necesitan permiso. Sin embargo, las descargas a sistema de alcantarillado municipal no necesitan permiso NPDES. Las descargas de contaminantes a sistemas de alcantarillado pluvial municipal necesitan un permiso dependiendo de lo que se descargue. Los permisos de NPDES son emitidos por estados que han obtenido la aprobación de la EPA para emitir permisos o por regiones de la EPA en estados sin dicha aprobación (USEPA, 2020d).

Leyes estatales

En Puerto Rico se implementan varias leyes para la protección de los cuerpos de agua. Estas leyes incluyen: Ley sobre Política Pública Ambiental de 2004, Ley para la Conservación, Desarrollo y Uso de Recursos de Agua y la Ley para Establecer la Política Pública Sobre la Prevención de Inundaciones y Conservación de Ríos y Quebradas.

La Ley Núm. 416 de 22 de septiembre de 2004, mejor conocida como la Ley sobre Política Pública Ambiental de 2004, tiene como objetivo proteger la calidad del ambiente mediante el control de la contaminación del aire, de las aguas, los suelos y la contaminación por ruidos (Ocasio Santiago, 2008). El propósito de esta ley es actualizar las disposiciones de la Ley Sobre Política Pública Ambiental del Estado Libre Asociado de Puerto Rico, y promover una mayor y más eficaz protección del ambiente mediante la creación de un banco de datos ambientales y sistema de información digitalizada. Esta ley también considera los aspectos ambientales en los esfuerzos del gobierno por atender necesidades sociales y económicas de la población, promover la evaluación de otras políticas y programas que puedan estar interfiriendo con los objetivos de esta ley. Los fines de esta ley incluyen: “establecer una política pública que estimule una deseable y conveniente armonía entre el hombre y su medio ambiente; fomentar los esfuerzos que impedirían o eliminarían daños al ambiente y la biosfera y estimular la salud y el bienestar del hombre; enriquecer la comprensión de los sistemas ecológicos y fuentes naturales importantes para Puerto Rico y establecer una Junta de Calidad Ambiental” (Ley Núm. 416 de 22 de septiembre de 2004, Artículo 2).

La Ley Núm. 136 de 3 de junio 1976, según enmendada, mejor conocida como la Ley para la Conservación, Desarrollo y Uso de Recursos de Agua, tiene como objetivo

declarar las aguas de Puerto Rico patrimonio y riqueza del Pueblo de Puerto Rico. También, le otorga al Secretario de Recursos Naturales facultades para planificar y reglamentar el uso y aprovechamiento de las aguas. En adicción, esta ley establece la conservación y el desarrollo de las aguas de Puerto Rico y ayuda a implementar la política pública y los reglamentos y normas pertinentes a las aguas de Puerto Rico (Ley Núm. 136 del 3 de junio de 1976).

La ley Núm. 049 del año 2003 mejor conocida como la Ley para Establecer la Política Pública Sobre la Prevención de Inundaciones y Conservación de Ríos y Quebradas, es la encargada de establecer la política pública sobre la prevención de inundaciones y la conservación de ríos y quebradas en Puerto Rico. Según la ley, “el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales podrá llevar a cabo obras de control de inundaciones y canalización de ríos siempre y cuando las obras sean necesarias para prevenir inundaciones en áreas que tienen un historial de inundaciones con daños a la vida y la propiedad y cuya realización tenga un obvio fin e interés público, y que el costo de las mismas sea inferior a la expropiación, reubicación o remoción de estructuras, de construcciones o de rellenos en zonas inundables” (Ley Núm. 049 del año 2003, Artículo 1). Además, el departamento tiene el poder de expropiar, reubicar o remover las estructuras en zonas inundables si se determina que el costo de las obras para la prevención de inundaciones es mayores a las de expropiación, reubicación o remoción de estructuras.

En adicción, la ley decreta que el deber del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales es la conservación, vigilancia y limpieza de playas y ríos. Sin embargo, el DRNA no es responsable de la limpieza y conservación de quebradas y cauces de cuerpos

de agua de dominio privado. La ley declara que cualquier obra de urbanización o lotificación colindante con un cuerpo de agua será de uso público. Cualquier obra de construcción o mejora hecha sin autorización en el cauce de un cuerpo de agua puede ser removida por orden del Secretario.

Al igual que las leyes estatales y federales, el Reglamento de Estándares de Calidad de Agua de Puerto Rico tiene como objetivo preservar, conservar y restaurar la calidad de las aguas de Puerto Rico, de manera que sean compatibles con las necesidades sociales y económicas del país. Los propósitos principales de este reglamento son los siguientes: designar los usos para los cuales se mantendrá y protegerá la calidad de los cuerpos de agua de Puerto Rico; promulgar las normas de calidad del agua necesarias para mantener los usos designados; identificar otras reglas y regulaciones aplicables a las fuentes de contaminación que puedan afectar la calidad de las aguas sujetas a este Reglamento y establecer otras medidas necesarias para lograr y mantener la calidad de las aguas de Puerto Rico (DNER, 2019).

Estudios Relacionados a la Calidad de Agua en Puerto Rico

En Puerto Rico se han realizado varios estudios relacionados a la calidad de agua. En estos generalmente se evalúa la calidad de agua de los cuerpos de agua y cuáles son las posibles fuentes de contaminación que afectan la misma. En un estudio realizado por Fantauzzi Soto (2009), se identificaron las posibles fuentes de contaminación en la subcuenca del río Tanamá y se determinó la calidad de agua. Este estudio demostró que los contaminantes encontrados en el río provienen de fuentes de contaminación dispersa. De igual manera, otro estudio realizado en un segmento del río Piedras, se encontró que

las fuentes de contaminación provienen de aguas de escorrentías, jardines y áreas de bosques secundarios (Ocasio Santiago, 2008).

Otros estudios han evaluado los efectos de patrones de lluvia, flujo, nutrientes, características microbiológicas, efectos de los sistemas de los rellenos sanitarios y los efectos que tienen las descargas de aguas residuales de las plantas de tratamiento en la isla. Martínez Matías (2008), evaluó datos de calidad de agua en el río La Plata y su relación con los patrones de lluvia en el área, el flujo en el cuerpo de agua y las distintas actividades que puedan afectar la calidad. En el estudio se encontraron concentraciones elevadas de nitrógeno, fósforo total, amoníaco y coliformes fecales relacionadas con los patrones de lluvia. Por su parte, otro estudio encontró que la concentración de distintos parámetros de calidad de agua excedieron los estándares establecidos para estos en aguas cercanas a los sistemas de relleno sanitario (Ortiz Pastor, 2012). Por último, otra investigación encontró que la mayoría de los parámetros de calidad de agua se ven afectados por las descargas de efluentes de plantas de tratamiento (Figuerola Nieves, 2014).

Metodología

El propósito de este estudio fue evaluar la calidad del agua mediante parámetros físicos y químicos del Río Camuy. Los parámetros evaluados fueron los siguientes: temperatura, pH, nitrato, fosfato, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, salinidad, turbiedad y coliformes fecales. Para evaluar estos parámetros se recolectaron muestras de agua en tres puntos distintos del río. Algunos de los parámetros fueron evaluados in situ. Mientras que los parámetros que no pudieron ser evaluados in situ fueron transportados al lugar donde se estuvieron realizando las pruebas.

Los parámetros fueron evaluados utilizando el kit “Low Cost Estuary & Marine Monitoring Kit” de la compañía La Motte (Figura 1). Este kit está diseñado para analizar la calidad de agua de un estuario de una forma fácil, accesible y no peligrosa. El kit incluye su clasificación de los resultados para los parámetros de calidad de agua a ser evaluados. Esta clasificación es usada para determinar la calidad relativa del agua según el kit. Este y otros kits similares de calidad de agua creados por la compañía LaMotte han sido utilizado anteriormente en estudios de investigación (Quach et. al, 2016; Moritsch, 2011). En adición, kits de calidad de agua de la compañía han sido utilizados en varios eventos de evaluación de calidad de agua en Puerto Rico por voluntarios debido a que es fácil y seguro utilizarlo (Navarro, s.f., Programa del Estuario de la Bahía de San Juan, s.f.). Los resultados obtenidos fueron comparados con los estándares de calidad de agua establecidos en el Reglamento de Estándares de Calidad de Agua de Puerto Rico de abril 11 de 2019 para los parámetros que aplicables.

Figura 1

Earth Force® Low Cost Estuary & Marine Monitoring Kit, Code 5911 (Compañía LaMotte).



Muestreo

Según el “Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater” el objetivo de un muestreo es recolectar una porción de material lo suficientemente pequeño como para ser transportado convenientemente; sin embargo lo suficientemente grande como para propósitos analíticos, mientras que todavía es preciso representando el material que se muestrea (APHA; AWWA; WEF, 2018a). La muestra fue manejada de una forma en la que no ocurran cambios significativos en su composición antes de que se analizarán las pruebas. El muestreo para este estudio se realizó una vez a la semana durante el periodo de noviembre de 2020 a marzo 2021.

Lugar de Muestreo

El lugar de muestreo analizado fue un segmento de la parte baja del Río Camuy. El inicio de la zona evaluada comenzó en el área colindante a la planta de filtración de agua potable de la Autoridad De Acueductos Y Alcantarillados y terminó en la desembocadura del río (Figura 2). Cercano a este tramo del río se encuentran urbanizaciones, carreteras, empresas de materiales de construcción, áreas de cultivo de grama y varias áreas recreativas.

Figura 2

Mapa satelital de la zona estudiada del Río Camuy.



Nota. El tramo marcado es el segmento estudiado durante esta investigación. Tomado de Google Maps (2021).

Puntos de Muestreo

El muestreo fue realizado en tres puntos distintos a lo largo del segmento evaluado los cuales se encuentran señalados en la figura 3. Los puntos fueron localizados en el área colindante con la planta de filtros Hatillo-Camuy de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (Figura 4A), en la desembocadura del río la cual se encuentra colindante con el Gran Parque del Norte (Figura 4B) y en un punto intermedio cercano a Tropical concrete empresa encargada de la venta de concreto y materiales de construcción (Figura 4C).

Figura 3

Mapa satelital del Río Camuy con los puntos de muestreo identificados.



Nota. En el mapa se presentan los lugares de muestreo de esta investigación. El punto de muestreo número 1 está representado por un diamante, el punto número 2 por un cuadrado y punto número 3 por un círculo. Tomado de Google Maps (2021).

Figura 4

Fotos tomadas de los puntos de muestreo 1, 2 y 3.



A.

B.

C.

Nota. La figura 3A presenta el punto de muestreo número 1, la figura 3B presenta el punto número 2 y la figura 3C el punto número 3. Fotos tomadas por Melanie López Ruiz, 2020.

Colección y Preservación de la Muestra

La colección y preservación de la muestra se realizó de acuerdo al método de recolección de muestra del kit “Low Cost Estuary & Marine Monitoring Kit” (La Motte, s.f.) y la sección 1060 del “Stándar Methods for the Examination of Water and Waste Water” (2018). Las muestras fueron recolectadas en bolsas destinadas para leche materna de 500 mL de la marca Parent’s Choice, debido a que estas ya vienen previamente esterilizadas. Para la recolección de muestras se utilizaron guantes para no contaminarlas. Al momento de colectar la muestra, las bolsas fueron abiertas sin tocar su interior, y enjuagadas tres veces con el agua del río. Luego se procedió a llenarlas completamente con la muestra y cerradas. Las bolsas fueron identificadas con el lugar de muestreo, fecha y hora en que se tomó la muestra. Las muestras fueron almacenadas en una nevera de

playa portátil con hielo en la que la temperatura rondaba los 4°C en lo que fueron transportadas al lugar donde se analizarían las mismas. Las muestras fueron analizadas el mismo día de su colección. Las pruebas para temperatura turbidez, oxígeno disuelto y demanda bioquímica de oxígeno fueron realizadas en el lugar de muestreo.

Evaluación de los Parámetros Físico-Químicos

La evaluación de los parámetros se llevó a cabo de acuerdo a los procedimientos establecidos para cada parámetro en el “Low Cost Estuary & Marine Monitoring Kit” (La Motte, s.f.).

Temperatura

La temperatura fue tomada con un termómetro digital. En cada punto de muestreo se colocó el termómetro cuatro pulgadas debajo de la superficie del agua por un minuto. Pasado el minuto, se procedió a sacar el termómetro del agua y leer la temperatura. El resultado fue reportado en grados Celsius (°C) y escrito en la libreta de campo.

pH

El pH de la muestra fue medido utilizando los materiales incluidos en el kit en el lugar donde se realizaron las pruebas. Se llenó el tubo de ensayo (0106) hasta la línea de 10 ml con la muestra de agua. Se procedió a agregar una tableta pH Wide Range TesTab (6459A), se tapó el tubo de ensayo y se mezcló hasta que la tableta fue desintegrada. Se comparó el color de la muestra con la tabla de colores de pH del kit y se registró el resultado de pH.

Turbidez

Para la turbidez se utilizó el frasco del kit de prueba de agua y etiqueta adhesiva del icono del disco de Secchi incluido para la prueba de turbidez. La etiqueta adhesiva

fue adherida al fondo interior del frasco de 8 a 24 horas antes de ser utilizado. Al momento de realizar la prueba se llenó el frasco hasta la línea de llenado de turbidez ubicada en la etiqueta exterior del kit. Se sostuvo la tabla de turbidez en el borde superior del frasco para comparar la apariencia del icono del disco de Secchi del frasco con la tabla. Los resultados se reportaron en JTU.

Fosfato

La prueba para el fosfato fue realizada con los materiales incluidos en el kit. El tubo de ensayo fue llenado hasta la línea de 10 ml con la muestra de agua. Se procedió a agregar una tableta para la prueba de fósforo (5422A). El tubo de ensayo se tapó y se mezcló invirtiendo hasta que la tableta fue desintegrada. Se esperaron 5 minutos para el desarrollo los cuales fueron medidos con un temporizador. El color de la muestra cambia a un color azul en la presencia de fosfato. El color fue comparado con la tabla de colores para determinar la cantidad de fosfato. El resultado fue registrado como ppm de fosfato. Cuando la muestra fue incolora el resultado fue registrado como 0 ppm de fosfato.

Nitrato

El nitrato fue evaluado con el procedimiento y los materiales incluidos en el kit. Para la prueba se llenó el tubo de ensayo hasta la línea de 10 ml con la muestra de agua. Se agregó una tableta “NitrateWide Range CTA TesTab” (3703A) y se procedió a deslizar el tubo de ensayo en la funda protectora (0106-FP) para proteger la reacción de la luz ultravioleta. Se procedió a esperar un periodo de 5 minutos que fueron medidos por un temporizador. El cambio de color de la muestra fue comparado con la tabla de colores para nitrato y el resultado se registró en ppm de nitrato.

Oxígeno Disuelto

Para el oxígeno disuelto es de suma importancia la manera en la que se maneja la muestra. Para la evaluación de este parámetro, se utilizaron los materiales incluidos en el kit. Primeramente se tomó la temperatura con el procedimiento descrito anteriormente para la temperatura. Luego, se sumergió el tubo pequeño (0125) en el río para tomar la muestra. Se retiró con cuidado manteniéndolo lleno hasta arriba. Se añadieron dos tabletas Dissolved Oxygen TesTabs (3976A) en el tubo y se procedió a taparlo asegurándonos de que no haya burbujas de agua en la muestra. Se mezcló invirtiendo el tubo por un promedio de cuatro minutos hasta que las tabletas fueron desintegradas. Después se procedió a esperar cinco minutos más para el desarrollo del color. El color de la muestra fue comparado con la tabla de colores para oxígeno disuelto. Los resultados fueron registrados en ppm.

Demanda Bioquímica de Oxígeno

Para la demanda bioquímica de oxígeno se estuvo realizando la prueba de cinco días con los materiales incluidos en el kit. La muestra para esta prueba se tomó sumergiendo el tubo de ensayo pequeño (0125) en el río. El tubo fue llenado completo con agua y tapado inmediatamente. Se procedió a envolver el tubo con papel de aluminio y a guardarlo en un lugar oscuro. El tubo fue guardado en un lugar oscuro y a temperatura ambiente por un periodo de cinco días. Después de los cinco días, se procedió a quitar el papel de aluminio y agregar dos tabletas de oxígeno disuelto (3976A) al tubo de ensayo y taparlo. No debe haber burbujas de aire en la muestra. La muestra fue mezclada hasta que se desintegraron las tabletas y procedió a esperar cinco minutos. El color de la muestra fue comparado con la tabla de colores de DBO. La diferencia en el nivel de

oxígeno disuelto entre el tubo descubierto y el tubo cubierto es la demanda bioquímica de oxígeno.

Salinidad

La salinidad fue analizada según el procedimiento del kit. Para este procedimiento se agregaron 5 gotas de la muestra de agua al tubo de ensayo grande (0788) incluido en el kit. Luego se llenó el tubo hasta la línea de 100 ml con agua destilada. Se procedió a llenar el tubo de ensayo (0106) hasta la línea de 10 ml con la muestra diluida del paso anterior. A este tubo se le agregó una tableta para la prueba de cloruro (3885A) se tapó y mezcló suavemente hasta que se desintegró la tableta. El tubo fue colocado sobre la columna derecha de círculos negros que se encuentra en la tabla de colores. Los círculos de la columna derecha fueron comparados a través del tubo con los círculos de la columna de la izquierda. El resultado fue registrado en unidades de ppt de salinidad.

Parámetros Bacteriológicos

Para el análisis bacteriológico se evaluaron los coliformes fecales. Para llevar a cabo el análisis se utilizó el procedimiento establecido para coliformes fecales en el “Low Cost Estuary & Marine Monitoring Kit” (La Motte, s.f.). La prueba de coliformes fecales incluida en este kit indica si la muestra de agua tiene más o menos de 20 colonias de coliformes por 100 ml de agua de río. Esta prueba se debe de realizar con mucha precaución y sus desechos deben ser dispuestos de la manera correcta. La prueba fue comenzada agregando 10 ml de la muestra al tubo de ensayo grande que contiene una tableta. El tubo fue tapado y colocado en una posición vertical asegurándonos de que la tableta se encuentre plana sobre la parte inferior del tubo. El tubo fue incubado en posición vertical a temperatura ambiente y sin luz solar directa durante un período de 48

horas. Los tubos no deben de ser agitados ni manipulados durante el período de incubación. Tras culminar el periodo de incubación la apariencia del tubo fue comparada con la imagen de la tabla de colores para coliformes. Los resultados se registraron como negativo o positivos siguiendo los criterios establecidos en el manual del kit.

Los criterios para los resultados negativos indican que el líquido sobre el gel debe ser transparente, el gel debe permanecer en el fondo del tubo, el indicador debe permanecer rojo o volverse amarillo sin burbujas de gas e indicar menos de 20 colonias de coliformes totales por 100 ml de agua. Los criterios para los resultados positivos indican la presencia de muchas burbujas de gas, el gel en la superficie, el líquido debajo del gel debe ser turbio y el indicador se debe convertir amarillo e indicar más de 20 colonias de coliformes totales por 100 ml de agua. Al terminar la prueba, los desechos fueron descartados utilizando el procedimiento incluido en el manual.

Análisis de Datos

Los datos recopilados de los análisis de muestra para cada muestreo fueron tabulados. Se realizó un análisis estadístico para los resultados de cada parámetro el cual se calculó el promedio, sumatoria, desviación estándar y varianza. Los resultados también fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA). Los resultados de los parámetros fueron comparados con niveles aceptables de calidad de agua para su uso designado establecidos en el Reglamento de Estándares de Calidad de Agua de Puerto Rico.

Resultados

La calidad de agua del Río Camuy fue evaluada durante un periodo de 16 semanas. Durante estas semanas se tomaron un total de 48 muestras de agua procedentes de los tres puntos de muestreo escogidos (Toma de agua de la planta de filtros Hatillo-Camuy, Punto Intermedio y Estuario). Los parámetros físicos y químicos fueron evaluados con el kit para calidad de agua *Low Cost Estuary & Marine Monitoring Kit* de la compañía *LaMotte*. También, fueron evaluados los coliformes fecales en los tres puntos de muestreo con el mismo kit. Los resultados de las pruebas realizadas para los parámetros determinados fueron recopilados para cada punto de muestreo en el Apéndice A. Estos resultados fueron analizados y comparados con los estándares establecidos para cada parámetro en el *Reglamento de estándares de Calidad de Agua de Puerto Rico* (2019) según la clasificación de las aguas de los tres lugares de muestreo (Apéndice B) para determinar si estaban en cumplimiento o no.

Se realizó análisis estadístico donde se calculó el promedio, la varianza y la desviación estándar para los resultados de cada parámetro evaluado en los distintos puntos de muestreo (Apéndice C). En adición, se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA por sus siglas en inglés) utilizando el programa *Microsoft Excel* 2013 para determinar la diferencia entre los tres puntos de muestreo utilizando un 95% de confiabilidad.

Parámetros Físicos y Químicos

La temperatura fue determinada con un termómetro digital in situ, en cada punto de muestreo (Figura 5). La misma obtuvo valores variados durante el periodo de muestreo. Después de realizar el análisis estadístico para la temperatura se encontró que

la temperatura promedio para los puntos de muestreo fue de 23.9 °C para el punto de uno, 24.0 °C para el punto número dos y 25.1 °C para el punto tres (Figura 6). Al analizar estos resultados se obtiene que el punto de muestreo con la temperatura más alta fue el punto número tres (Estuario). Los valores cumplen con el estándar establecido para temperatura en el reglamento el cual indica que la temperatura de las aguas en Puerto Rico no puede exceder de 30 °C (DNER, 2019). Luego de realizar el análisis de varianza (Tabla 1), se determinó que existe diferencia significativa ($p= 2.82E-06$) entre los tres puntos de muestreo para la temperatura.

Figura 5

Resultados de la temperatura en cada punto de muestreo.

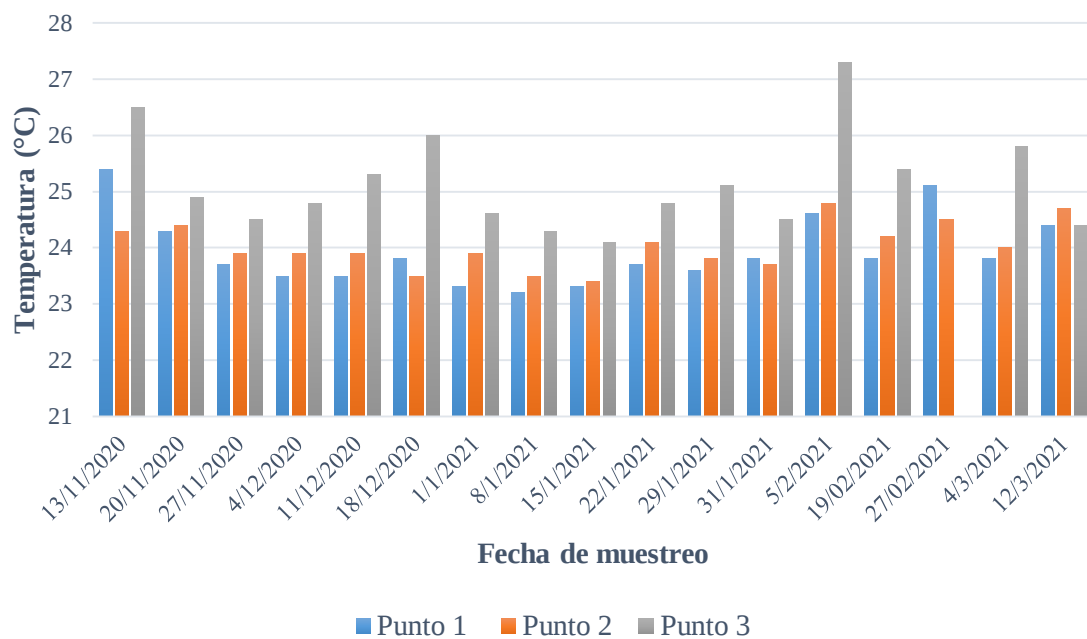


Figura 6

Promedios de los puntos de muestreo para la temperatura.

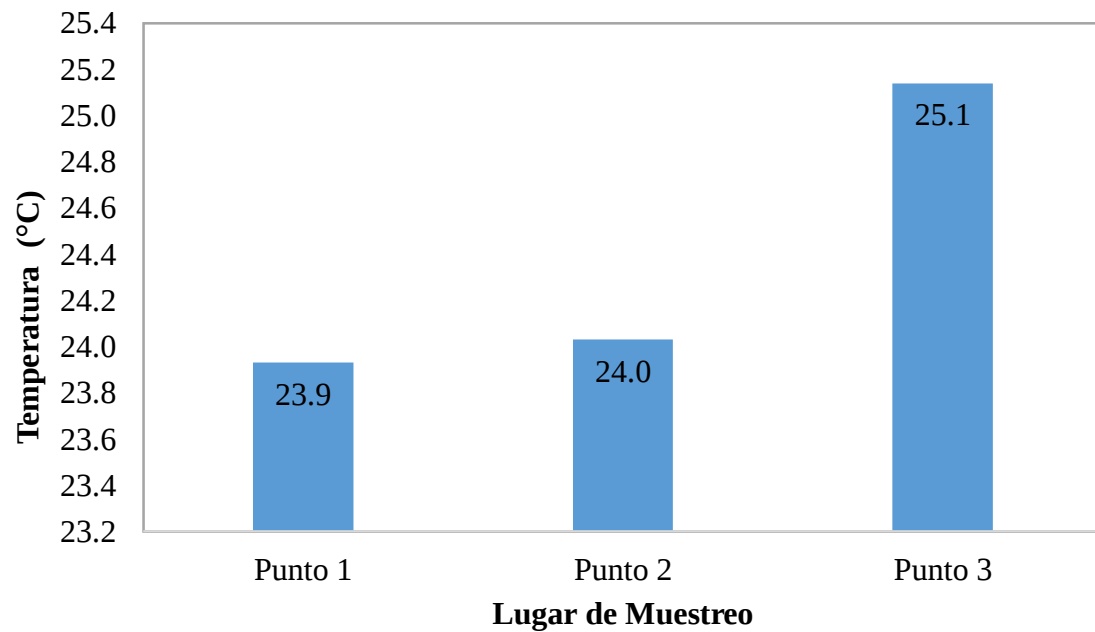


Tabla 1

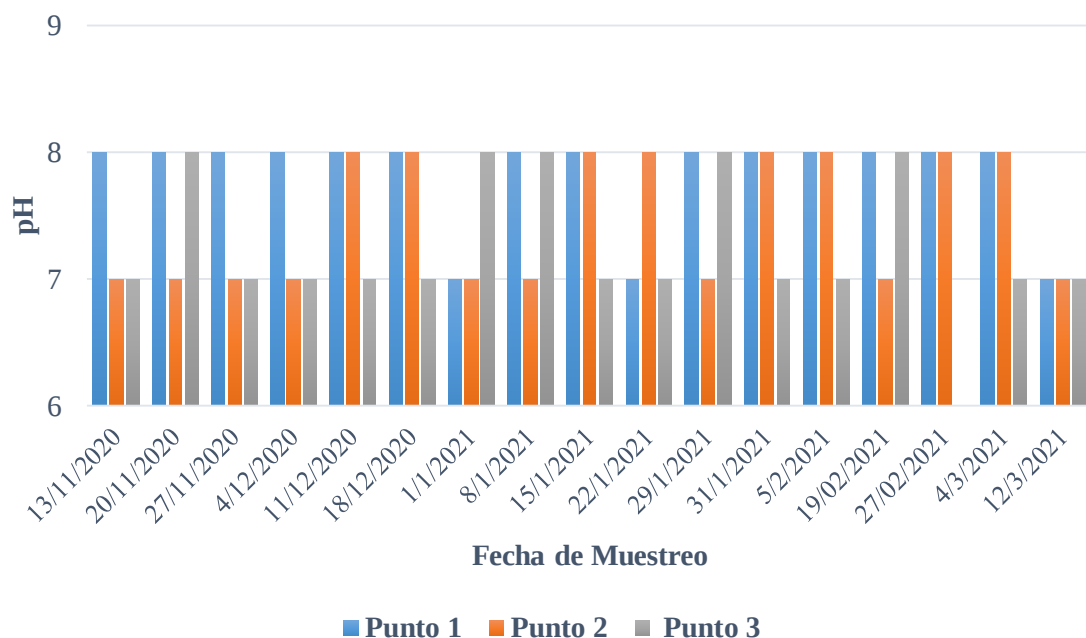
Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para la temperatura.

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	14.83484	2	7.417418	16.98097	2.82E-06	3.195056
Within Groups	20.52996	47	0.436808			
Total	35.3648	49				

La Figura 7 presenta los resultados de pH para los puntos de muestreo. Los resultados para el punto uno fueron 8 unidades estándares de pH para la mayoría de los muestreos, con excepción de 3 ocasiones en las que se reportaron valores de 7 unidades estándares de pH. Los valores para el punto dos fluctuaron entre 7 y 8 unidades estándares de pH. El reglamento indica que el estándar de pH para aguas clasificadas como SD debe permanecer entre 6.0 y 9.0 unidades estándares de pH (DNER, 2019). Por lo tanto, los valores de pH reportados para el punto uno y dos se encuentran entre el rango establecido en el reglamento, por lo que cumple con el mismo.

Figura 7

Resultados para el pH en los tres puntos de muestreo.



Los valores de pH para el punto tres se encuentran entre 7 y 8 unidades estándares de pH. Estos resultados cumplen con el rango establecido en el reglamento para aguas clasificadas como SB. El mismo establece que el de pH se debe de encontrar en 7.3 a 8.5 unidades estándares de pH (DNER, 2019). Los valores promedio para el pH calculados (Figura 8) fueron 7.8 unidades estándares de pH para el punto uno, 7.5 unidades estándares de pH para los puntos dos y 7.3 unidades estándares de pH para el punto tres. El promedio de pH más alto fue obtenido en el punto número uno, mientras que el menor fue en el punto número tres. Esto indica que el pH fue disminuyendo río abajo. Los promedios calculados se encuentran entre los rangos establecidos en el reglamento. El análisis de varianza (Tabla 2) nos indica que hay una diferencia significativa ($p=0.009$) en el pH entre los puntos de muestreos evaluados.

Figura 8

Promedios para el pH en los tres puntos de muestreo.

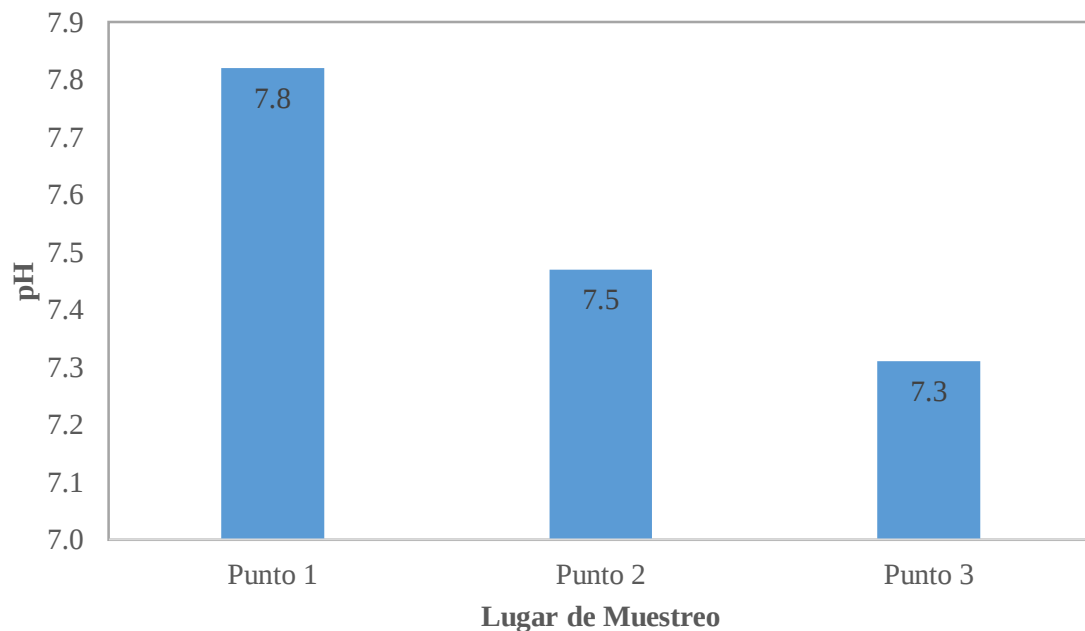


Tabla 2

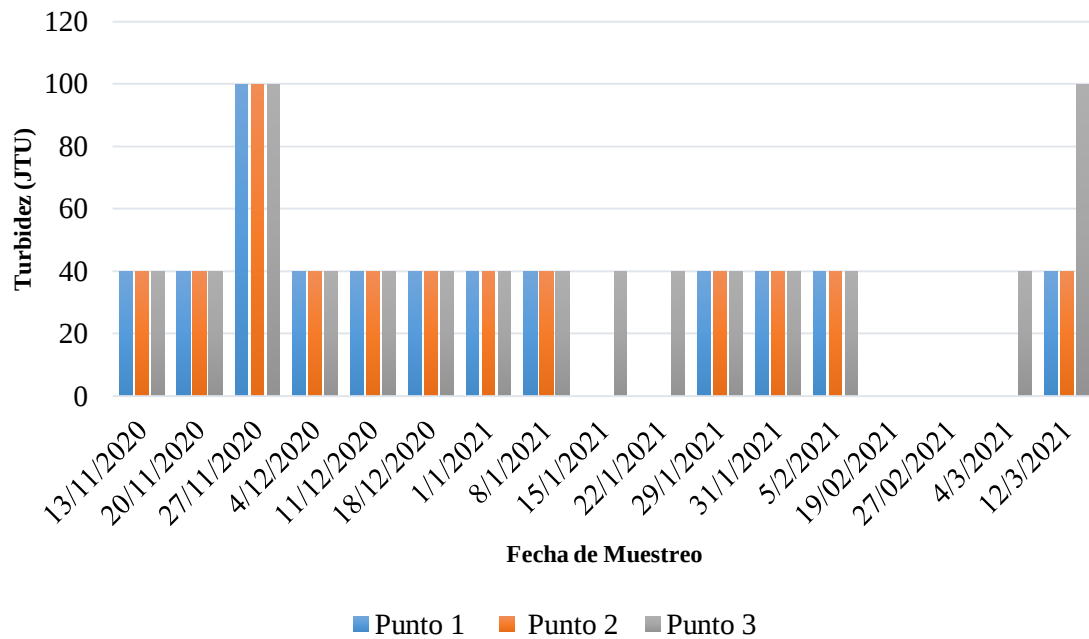
Tabla de resultados del análisis de varianza (ANOVA) para pH.

ANOVA						
<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	2.276618	2	1.138309	5.274426	0.009	3.195056
Within Groups	10.14338	47	0.215817			
Total	12.42	49				

Los resultados para la turbidez varían según el punto de muestreo, y si ocurrió un evento de lluvia o no (Figura 9). La turbidez reportada para el punto número uno tuvo un valor mínimo de 0 JTU y un valor máximo de 100 JTU. El valor máximo de turbidez se alcanzó en los muestreos en los que ocurrió un evento de lluvia. La turbidez reportada para el punto número dos tuvo un valor mínimo de 0 JTU y un valor máximo de 100 JTU. La turbidez reportada para el punto número tres se mantuvo la mayoría de los muestreos en 40 JTU. La turbidez cambió en dos fechas a 100 JTU y en una a 0 JTU. La turbidez promedio en los puntos de muestreo (Figura 10) fue de 32 JTU para los puntos de muestreo uno y dos; mientras que para el punto de muestreo número tres fue de 45 JTU. El nivel de turbidez más alto fue reportado en el área del estuario.

Figura 9

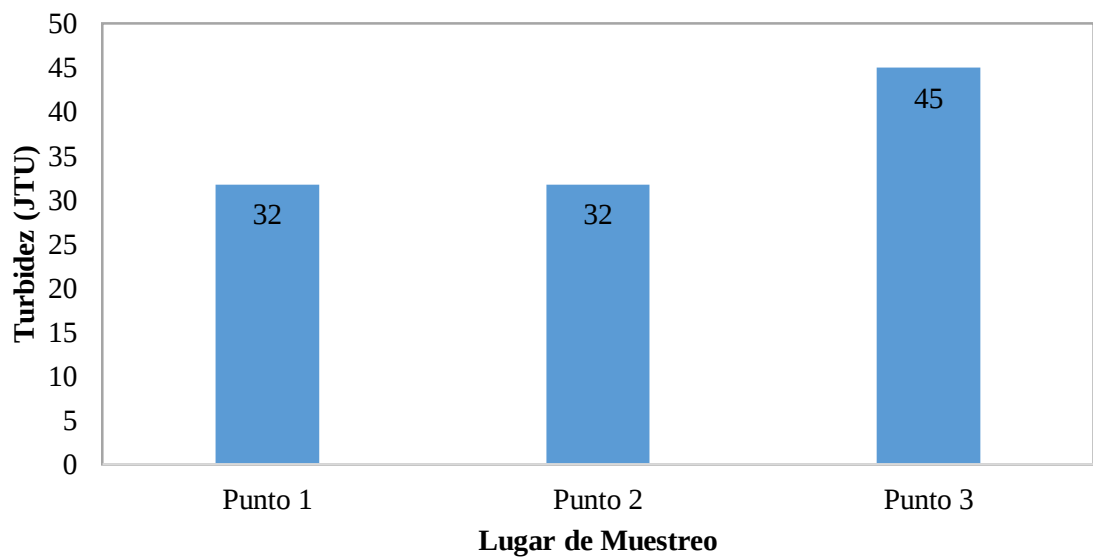
Resultados de turbidez para los puntos de muestreo.



Nota. Los valores en las fechas de muestreo que no son representados indican una turbidez de 0 JTU.

Figura 10

Promedios para la turbidez en los tres puntos de muestreo.



El reglamento de estándares de calidad de agua establece que la turbidez para aguas clasificadas como SD no debe de exceder 50 NTU (DNER, 2019). Los resultados no pueden ser comparados con el reglamento debido a que las unidades JTU utilizadas en el kit son unidades de turbidez utilizadas en turbidímetro de vela Jackson. El turbidímetro de vela Jackson era utilizado como método estándar para determinar turbidez en el pasado. Actualmente se utilizan los nefelómetros electrónicos debido a su precisión, sensibilidad y aplicabilidad en un amplio rango de turbidez (APHA, AWWA, & WEF, 1999). El análisis de varianza (Tabla 3) indica que no hay una diferencia significativa en la turbidez de los puntos de muestreo ($p=0.2273$).

Tabla 3

Tabla de resultados del análisis de varianza (ANOVA) para Turbidez.

ANOVA						
<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	1905.882353	2	952.9411765	1.528916	0.2273	3.195056
Within Groups	29294.11765	47	623.2790989			
Total	31200	49				

Los resultados para el fosfato se muestran en la Figura 11. Los mismos varían durante el periodo de muestreo. El punto número uno tienen un valor mínimo de 0 ppm y un valor máximo de 2 ppm. Para el punto dos, los resultados tienen un valor mínimo de 1 ppm para la mayoría de los muestreos y un valor máximo de 4 ppm en tres muestreos. Los resultados de fosfato para el punto tres mostraron un valor de 1 ppm para la mayoría de los muestreos, un valor de 2 ppm en tres ocasiones y un valor máximo de 4 ppm en dos muestreos. Los valores promedios para el fosfato (Figura 12) fueron 1.4 ppm para el punto uno, 1.8 ppm el dos y 1.6 ppm para el tres. El punto de muestreo con el valor promedio más alto de fosfato fue el punto dos. El reglamento de estándares de calidad de agua no incluye un estándar para fosfato en aguas clasificadas como SB y SD. Al realizar el análisis de varianza (Tabla 4) no se encontró una diferencia significativa entre los puntos de muestreo analizados ($p=0.4598$).

Figura 11

Resultados para el fosfato en los tres puntos de muestreo.

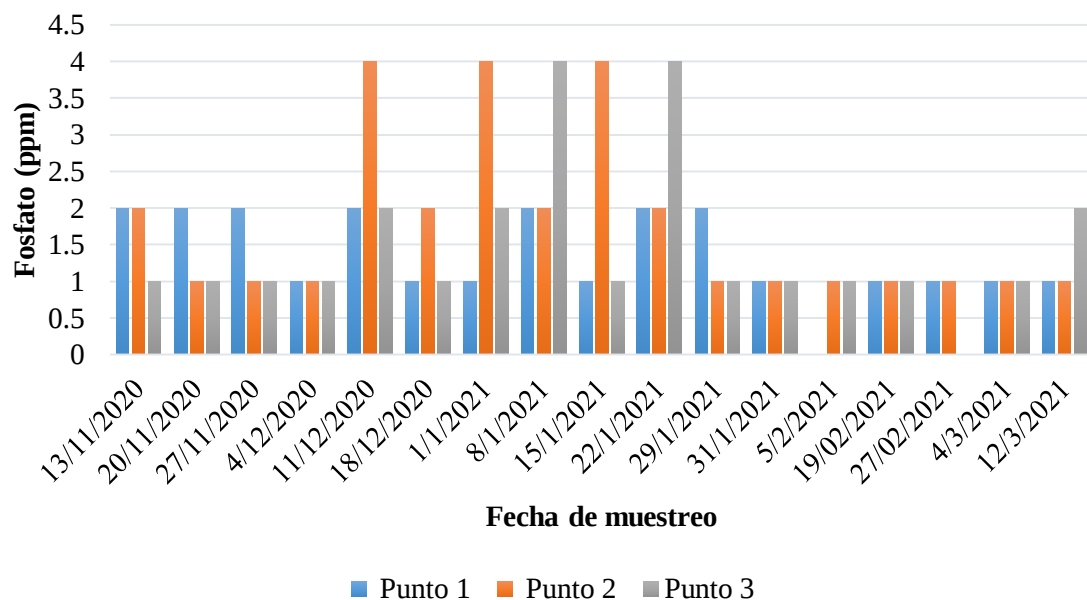


Figura 12

Valores promedios para el fosfato.

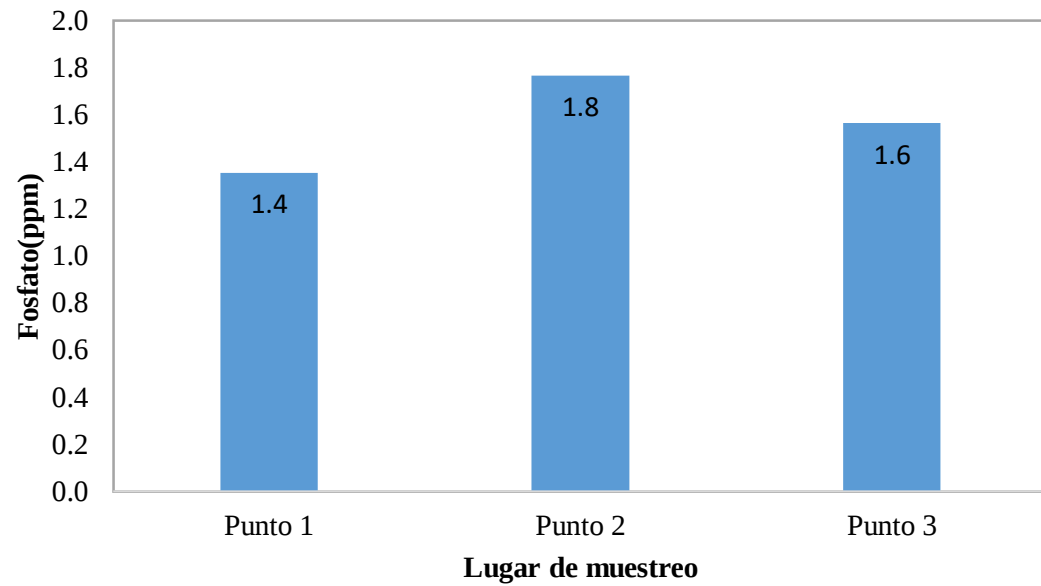


Tabla 4

Tabla de resultados del análisis de varianza (ANOVA) para el fosfato.

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	1.441324	2	0.720662	0.789929	0.4598	3.195056
Within Groups	42.87868	47	0.912312			
Total	44.32	49				

Los resultados del nitrato (Figura 13) nos muestra que los valores reportados fueron 5 ppm para los puntos uno y tres en todos los muestreos realizados. Sin embargo, para el punto número dos, el nitrato se mantuvo en 5 ppm para la mayoría de los muestreos con excepción del muestreo del 4 de diciembre de 2020. En este muestreo se registró un valor de nitrato de 20 ppm. Los promedios calculados para el nitrato tienen un valor de 5.00 ppm para el punto uno, 5.88 ppm para el punto dos y 5.00 ppm para el punto tres, siendo el punto dos el promedio más alto (Figura 14).

El reglamento de estándares de calidad de agua de Puerto Rico no incluye un estándar para el nitrato en aguas clasificadas como SD y SB. La Agencia De Protección Ambiental De Estados Unidos (USEPA, por sus siglas en inglés) establece que el nivel máximo de contaminante (MCL, por sus siglas en inglés) para el nitrato es de 10 mg/L o ppm. Los valores de nitratos en los muestreos realizados se mantuvieron por debajo de este nivel con excepción del muestreo realizado en el punto dos el 4 de diciembre de 2020. Los resultados para el análisis de varianza mostrado en la Tabla 5, no indica una diferencia significativa entre los puntos de muestreo ($p=0.3867$).

Figura 13

Resultados para el nitrato en los tres puntos de muestreo.

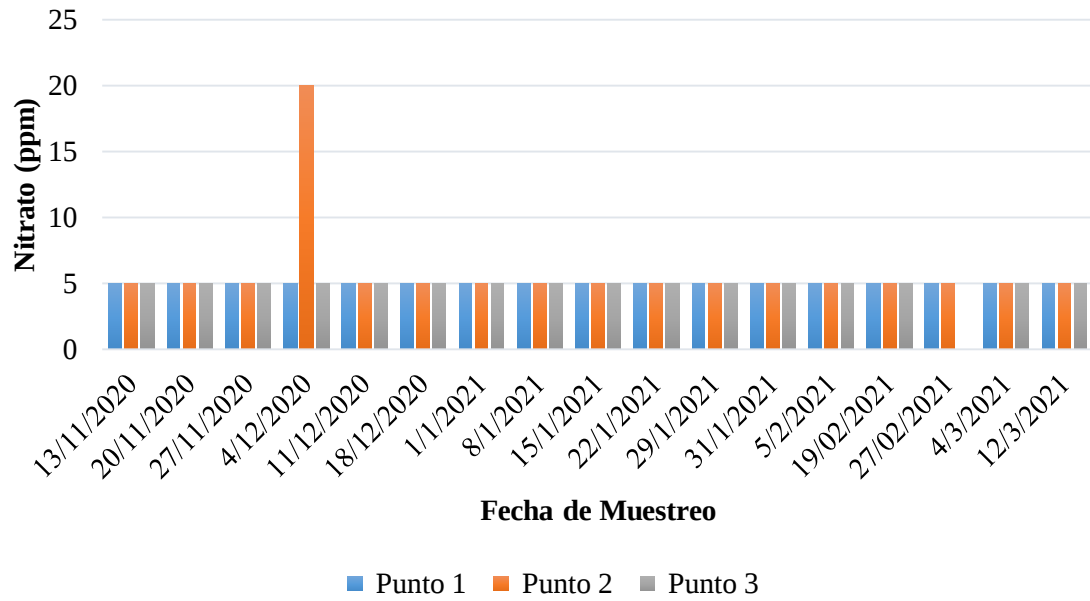


Figura 14

Valores promedios para el nitrato.

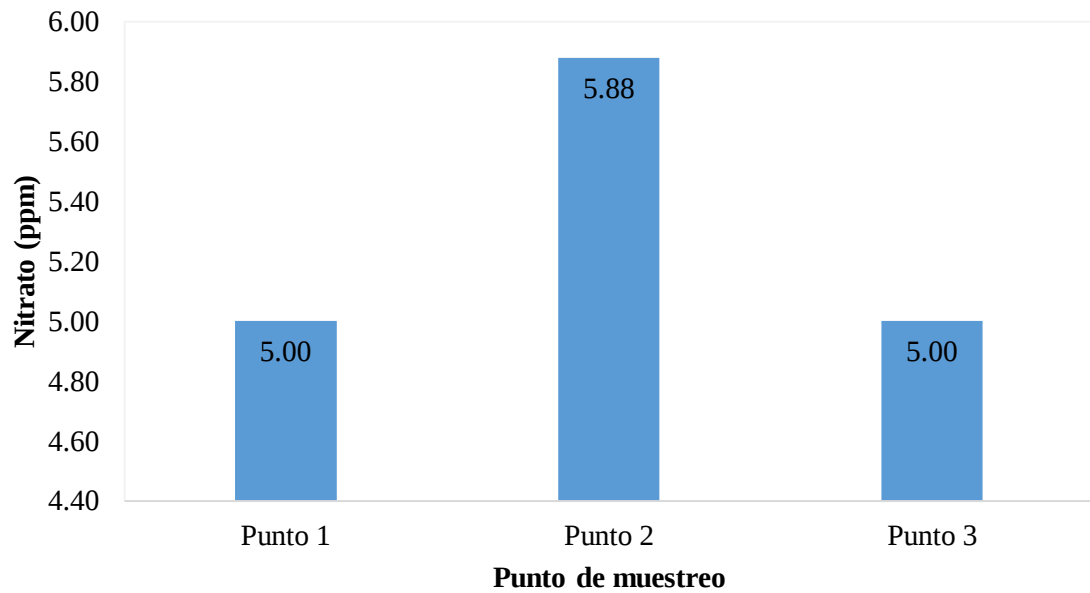


Tabla 5

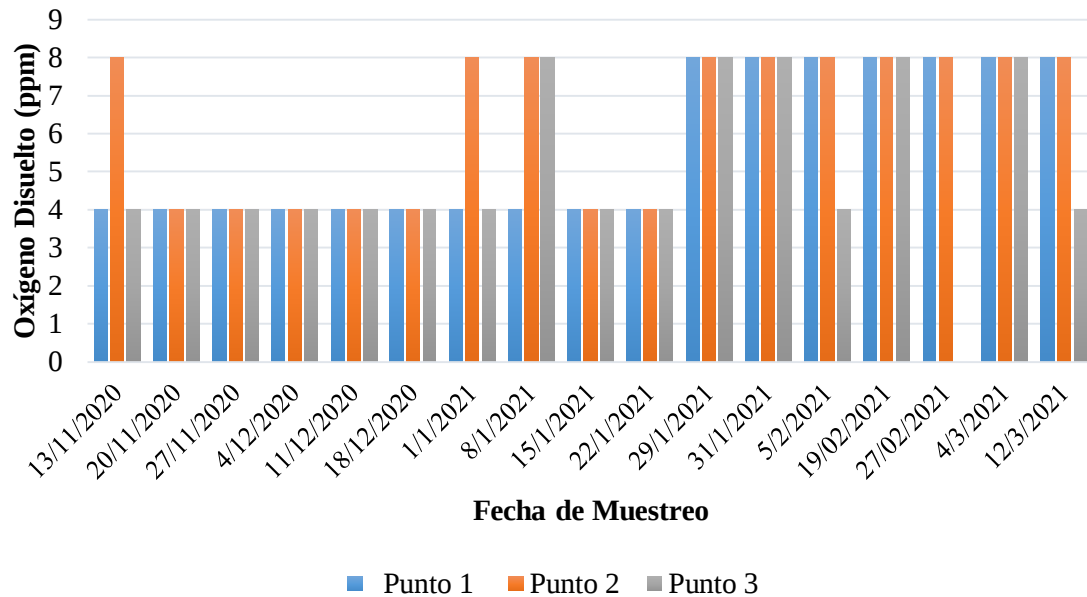
Tabla de resultados del análisis de varianza (ANOVA) para el nitrato.

ANOVA						
<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	8.735294	2	4.367647	0.969375	0.3867	3.195056
Within Groups	211.7647	47	4.505632			
Total	220.5	49				

El oxígeno disuelto es uno de los parámetros más importantes para la evaluación de la calidad del agua. Los resultados de oxígeno disueltos son mostrados en la Figura 15. Los valores mínimos reportados son de 4 ppm y valores máximos de 8 ppm en el punto uno (Toma de agua planta de filtros Hatillo-Camuy) y el punto dos (Intermedio). Según el reglamento, el valor estándar para oxígeno disuelto no debe ser menor a 5 mg/L o ppm (DNER, 2019). Por esta razón, se entiende que el oxígeno disuelto para el punto uno no estuvo en cumplimiento durante los muestreos realizados del 13 de noviembre de 2020 al 22 de enero de 2021. Mientras el oxígeno disuelto sí se estuvo en cumplimiento durante los muestreos realizados del 29 de enero de 2021 al 12 de marzo de 2021. En lo que se refiere al punto dos, los niveles de oxígeno disuelto no estuvieron en cumplimiento durante siete de los muestreos realizados. Mientras, sí estuvieron en cumplimiento durante diez de los muestreos realizados.

Figura 15

Resultados del Oxígeno Disuelto para los Tres Puntos De Muestreo.



Los resultados para el punto de muestreo tres (Estuario) indican los niveles de oxígeno disuelto obtenidos fueron de 4 ppm en la mayoría de las fechas de muestreo y 8 ppm en 5 ocasiones. El estándar para oxígeno disuelto en aguas clasificadas como SB no puede contener menos de 5 mg/L o ppm. Esto significa que el punto número tres cumplió con el estándar establecido durante la mayoría del periodo de muestreo. Los resultados para los promedios de oxígeno disuelto fueron de aproximadamente 5.6 ppm, 6.4 ppm y 5.3 ppm (Figura 16). Estos promedios cumplen con el estándar establecido de no contener menos de 5 ppm para aguas clasificadas como SD y SB. Los niveles más altos de oxígeno disuelto según los promedios fueron reportados en el punto dos. Los resultados del análisis de varianza (Tabla 6) indican que no hay diferencia significativa entre los puntos de muestreo ($p=0.2813$).

Figura 16

Valores promedios para el Oxígeno Disuelto.

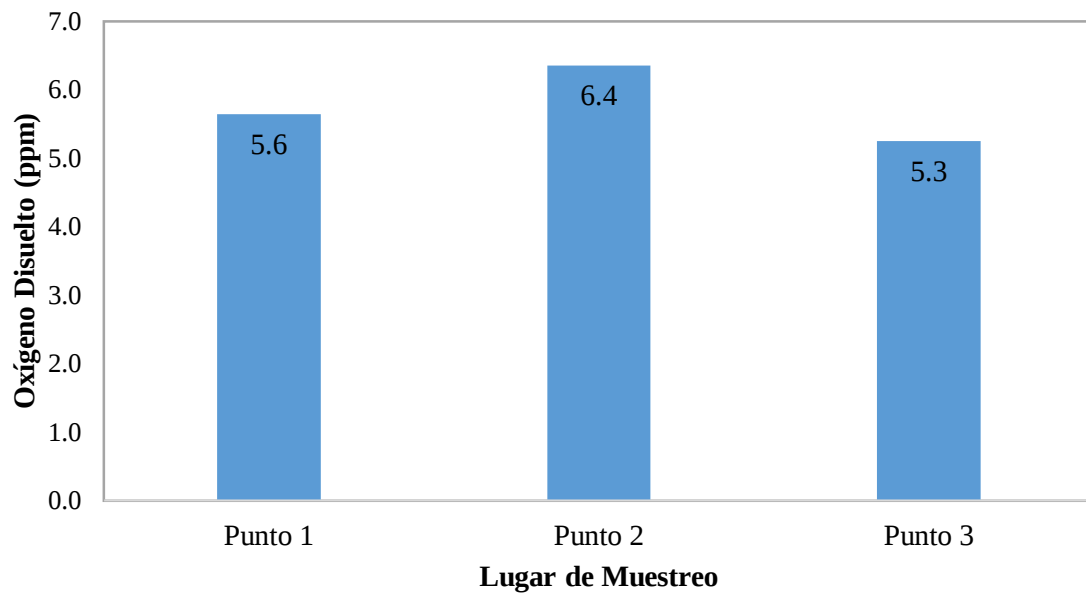


Tabla 6

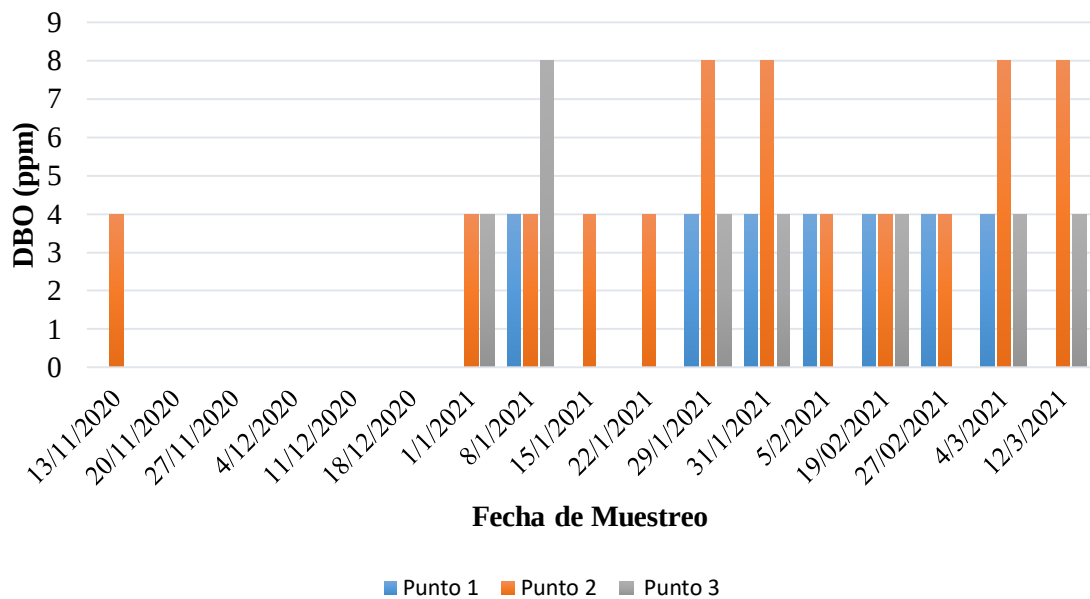
Tabla de resultados del análisis de varianza (ANOVA) para el oxígeno disuelto.

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	10.35529	2	5.177647	1.302973	0.2813	3.195056
Within Groups	186.7647	47	3.973717			
Total	197.12	49				

El resultado de la prueba de demanda bioquímica de oxígeno es la diferencia entre el resultado de la prueba de oxígeno disuelto realizada in situ y el resultado de oxígeno disuelto después de 5 días. Los resultados obtenidos (Figura 17) para la demanda bioquímica de oxígeno en el punto 1 indican un valor mínimo de 0 ppm y un valor máximo de 4 ppm. En los puntos de muestreo dos y tres se reportaron valores de 0 ppm, 4 ppm y de 8 ppm durante el período de muestreo.

Figura 17

Resultados para la Demanda Bioquímica de Oxígeno para los tres puntos de muestreo.



Nota. Los valores en las fechas de muestreo que no están representados en la gráfica, indican un resultado de la demanda bioquímica de oxígeno de 0 ppm.

Los promedios para la demanda bioquímica de oxígeno para los puntos de muestreo son mostrados en la figura 18. Los resultados para el promedio fueron 1.6 para el punto uno, 3.8 para el dos y 2.0 para el tres. El punto con la demanda bioquímica de oxígeno más alta fue el punto número dos. Al realizar el análisis de varianza (Tabla 7) se obtiene que hay una diferencia significativa ($p=0.043$) entre los puntos de muestreo. El reglamento de estándares no incluye un valor estándar para la demanda bioquímica de oxígeno en aguas clasificadas como SB y SD.

Figura 18

Valores promedios para la demanda bioquímica de oxígeno.

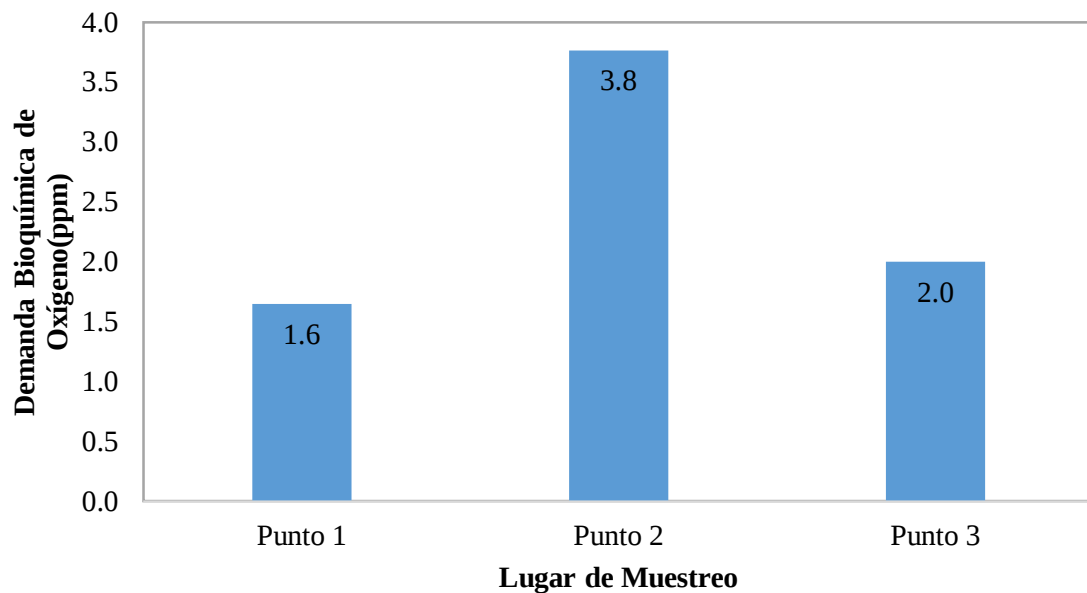


Tabla 7

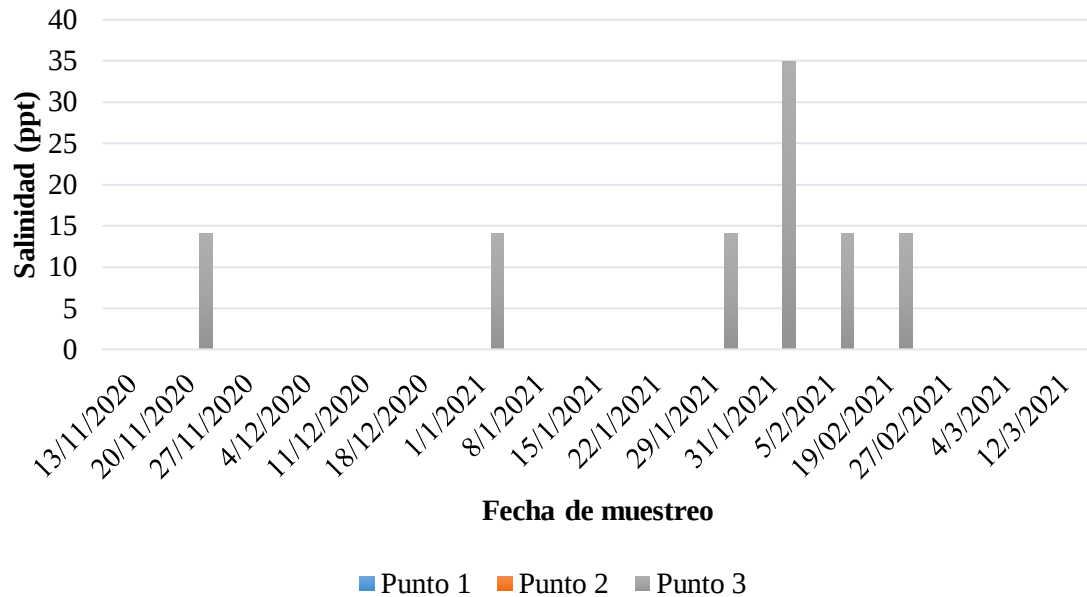
Análisis de varianza para la demanda bioquímica de oxígeno.

ANOVA						
<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	43.53882	2	21.76941	3.355278	0.043441	3.195056
Within Groups	304.9412	47	6.48811			
Total	348.48	49				

La salinidad para los tres puntos de muestreo puede ser observada en la Figura 19. Los resultados para los puntos de muestreo uno y dos indican un valor de salinidad de 0 ppt para todos los muestreos. En el punto número tres, se observa que la salinidad varía según la fecha de muestreos. La salinidad alcanzó un valor de 14 ppt en cinco ocasiones y 35 ppt en una. Por esta razón, el punto número tres obtuvo tiene los valores de salinidad más altos.

Figura 19

Resultados de salinidad para los tres puntos de muestreo.



Nota. Los resultados presentados en esta gráfica son valores mayores a 0 ppt, los no representados indican una salinidad de 0 ppt.

Parámetros Bacteriológicos

Para esta investigación se evaluaron los coliformes fecales como parámetros bacteriológicos. Para esto se utilizó la prueba para coliformes fecales incluida en el kit utilizado. Esta prueba reporta un resultado positivo o negativo para la presencia de coliformes. Un resultado positivo indica más de 20 colonias totales de coliformes por cada 100 mL de agua. Mientras que un resultado negativo indica menos de 20 colonias totales de coliformes por cada 100 mL de agua. Los resultados obtenidos fueron positivos para todas las muestras evaluadas en los tres puntos de muestreo.

Análisis de Resultados y Discusión

El río Camuy es uno de los ecosistemas más importantes de Puerto Rico. Sus aguas son utilizadas como fuente de agua potable y para recreación. Por esta razón, las aguas de la parte baja del río están clasificadas según el Reglamento de Calidad De Agua de Puerto Rico como SD Y SB. El objetivo principal de esta investigación fue evaluar la calidad de agua de la parte baja del Río Camuy. En este segmento del río se encuentra la toma de agua para la planta de filtros de Hatillo-Camuy. Las aguas de este segmento del río también son utilizadas para distintas actividades recreativas, como la pesca. Debido a esto, la calidad de estas aguas debe mantenerse en cumplimiento con los estándares establecidos para estas.

La calidad del agua fue evaluada durante un periodo de aproximadamente cuatro meses. Durante este tiempo se realizaron muestreos para evaluar los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos. Los mismos fueron evaluados con el kit de calidad de agua “Low Cost Estuary & Marine Monitoring Kit” de la compañía La Motte. Los resultados de estas pruebas nos indican que la calidad del agua varía a través de los puntos de muestreo. La calidad de estas aguas se ve afectadas por las fuentes de contaminación que se encuentran a lo largo de la parte baja del río.

La temperatura es uno de los parámetros fisicoquímicos más importantes, ya que de esta dependen otros parámetros de calidad de agua. La misma puede afectar la fotosíntesis de las plantas y la velocidad de las reacciones químicas (Adesakin et al, 2020; Dey et al, 2021). La temperatura varía dependiendo la hora del día, la estación del año y el clima. En los ríos puede variar según la profundidad y su exposición a la luz solar (Alcántara y Manta, 2018). Las tendencias de temperatura observadas en el

segmento evaluado del río Camuy indican que la misma varía dependiendo del punto de muestreo y la época del año. Estos resultados demuestran que la temperatura aumenta en las áreas donde el agua recibe más luz solar. En el caso del segmento evaluado, el punto de muestreo con la temperatura más alta fue el punto número tres (Estuario). Esto se debe a que en el estuario está más expuesto a la radiación solar durante el día, por lo que el agua es más caliente. Los resultados obtenidos muestran promedios de 23.9 °C, 24.0 °C y 25.1 °C. Resultados similares a estos se han encontrado en otros estudios realizados en varios ríos de Puerto Rico (Cáceres-Acosta, 2008; Juarbe García, 2009; Ocasio-Santiago, 2008 y Ortiz-Pastor, 2012). La temperatura en el río Camuy se mantuvo en cumplimiento con el estándar establecido durante todo el periodo de muestreo.

Otro parámetro de suma importancia en la calidad del agua es el pH. Cambios en el pH pueden indicar cambios en la química del agua. La composición química de las rocas, procesos biológicos y fuentes antropogénicas pueden influir en el pH de las aguas superficiales y subterráneas (Ramjukadh et al, 2018; Adesakin et al, 2020). El pH en el agua puede cambiar si hay algún tipo de contaminación. Para los puntos de muestreo evaluados pH se mantuvo entre 7 y 8 unidades estándares de pH. Estos valores son clasificados como básicos en la escala de pH. Los mismos se encuentran en cumplimiento con el estándar establecido en el reglamento de calidad de agua para los usos designados a las aguas de este segmento. Estudios realizados en otros ríos de Puerto Rico muestran resultados similares a los obtenidos en este estudio para el pH (Cáceres Acosta, 2018; Juarbe García, 2009; Ocasio Santiago, 2008).

La turbidez es otro parámetro que nos ayuda a determinar la calidad del agua. Una turbidez alta en el agua puede afectar el proceso de fotosíntesis de las plantas e interferir

en el proceso de desinfección y afectar la eficacia del mismo protegiendo los microorganismos de la desinfección y aumentando la demanda de cloro (Cáceres Acosta, 2018; Marcó et al, 2004). En los muestreos realizados la turbidez se mantuvo en niveles bajos con excepción de los muestreos en los que ocurrieron eventos de lluvia a través de todo el río. En estos eventos, la turbidez tiende a aumentar debido a que la lluvia arrastra sólidos y microorganismos que terminan suspendidos en los cuerpos de agua por lo que los niveles aumentan. El río Camuy presenta niveles normales de turbidez, por lo que no es un parámetro que represente mala calidad del agua.

Por su parte, altos niveles de fosfato pueden afectar el crecimiento de algas y causar eutrofización lo cual disminuye la calidad de las aguas. La escorrentía de agua de lluvia puede contener distintas cantidades de fosfatos que provienen de fertilizantes utilizados para la agricultura y aguas residuales (Bolaños-Alfaro et al, 2017; Dávila Vargas y Zúñiga Espinoza, 2018). Los resultados obtenidos para el fosfato muestran un aumento significativo en el punto de muestreo número dos para finales de diciembre y el mes de enero, obteniendo resultados de 4 ppm de fosfato. Según Bolaños-Alfaro et al. (2017), el aumento en los niveles de fosfato en el agua pueden ser causados por el uso de abonos inorgánicos con fosfatos solubles, vertidos con residuos de detergentes que contienen fosfato, provenir del suelo, minerales y otro tipo de materia orgánica que provengan de desechos agrícolas. Cercano al punto de muestreo dos se encuentra un terreno donde se cultiva grama, en el cual es posible que se utilice algún tipo de fertilizante que llegue al río por el agua de riego o eventos de lluvia y sea una posible fuente de contaminación.

Al igual que el fosfato, el nitrato es un nutriente que es utilizado comúnmente en los fertilizantes, ya que es esencial para el crecimiento de las plantas. Este puede alcanzar altas concentraciones en las aguas superficiales debido a fuentes de contaminación puntuales y dispersas que provienen de aguas residuales, actividades industriales, pozos sépticos, descargas de las emisiones de gases de vehículos, entre otros (Bolaños-Alfaro et al, 2017). Los resultados para el nitrato en la parte baja del río Camuy obtuvieron un valor de 5 ppm para todos los puntos de muestreos con excepción del 4 de diciembre de 2020 en donde se registró un valor de 20 ppm en el punto dos. Este valor representa un aumento significativo en el nitrato sobrepasando el nivel máximo de contaminante de 10 mg/L establecido por la USEPA.

En el informe anual de la calidad del agua potable de la planta de filtros de Hatillo-Camuy para el año 2019 menciona que el nitrato es uno de los contaminantes que ha sido detectado en la planta en hasta cinco años anteriores (Autoridad de Acueductos y Alcantarillados de Puerto Rico, 2019). Este informe señala como posible origen de este contaminante la escorrentía con fertilizantes, erosión de los depósitos naturales y la lixiviación de pozos sépticos. El aumento en el punto número dos pudo ser causado debido a que cercano a este punto se encuentra un terreno utilizado para cultivar grama y los residuos de los fertilizantes usados en el mismo pudieron llegar al río a través de la escorrentía causada por un evento de lluvia ocurrido en ese muestreo.

Los niveles de OD pueden disminuir debido a la contaminación con materia orgánica, el escurrimiento de fertilizantes, temperaturas altas, y el flujo del río (Adeskin et al., 2020; Post, 2018). Según Danladi Bello et al., (2017), un flujo de agua alto o moderado puede aumentar la concentración de OD. Mientras, un flujo de agua bajo

pueden disminuir las concentraciones de OD (Cox & Whitehead, 2009). En el caso del segmento evaluado, los niveles de OD no presentaron un cambio significativo entre cada punto de muestreo. Por lo tanto, el cambio en flujo no contribuye al cambio del nivel de OD.

Las altas temperaturas influyen en la disminución de oxígeno disuelto debido a que aceleran los procesos biológicos que consumen oxígeno y ayuda a liberarlo al ambiente (Teves Aguirre, 2016). Los resultados para el OD en el periodo evaluado presentaron niveles de OD menores al establecido en el reglamento durante los meses de noviembre de 2020 a enero de 2021. Sin embargo, la temperatura obtuvo resultados con diferencias significativas, por lo que no está relacionada con la disminución en el OD durante estos meses. No obstante, en una ocasión la temperatura sí influyó en el nivel de OD en el estuario debido a que este obtuvo un valor menor al de los otros dos puntos de muestreo. En el muestreo mencionado, se registró el valor más alto de temperatura (27.3 °C) en todo el periodo de muestreo

Otro parámetro que puede influir en los niveles de OD es el fosfato. El fosfato contribuye al crecimiento de algas y puede causar un aumento de estas, lo que provocaría una disminución en el OD (Blaños-Alfaro et al, 2017). Un estudio realizado en China determinó que el OD disminuyó cuando había niveles altos de fosfato, mientras que el nivel de OD aumentaba cuando el contenido de nutrientes era menor (Li et al, 2020). El aumento en niveles de fosfato puede estar relacionado con la disminución del OD observada durante los meses de noviembre a enero. Durante este intervalo de tiempo, los niveles de fosfato reportados en los tres puntos de muestreo variaron entre 1 ppm a 4 ppm de modo que pudo contribuir a la merma del OD.

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es la cantidad de oxígeno disuelto necesario para descomponer la materia orgánica que está presente en el agua. La DBO en esta investigación se obtuvo mediante la diferencia entre la prueba de oxígeno disuelto realizada in situ y el resultado de oxígeno disuelto después de 5 días. Los resultados promedio para la DBO indican una diferencia significativa entre los puntos de muestreo. El muestreo con el promedio más alto de DBO fue el punto número dos con un promedio de 3.8 ppm. Los niveles altos de DBO generalmente provienen de las fuentes de contaminación antropogénicas (Vigiak et al., 2019). Estas fuentes de contaminación incluyen desbordamientos de alcantarillado, desechos domésticos, desechos de las ganaderías y desechos industriales.

Cercano al punto de muestreo dos se encuentra la compañía Tropical Concrete en la cual se trabaja con hormigón. También, se encuentra un terreno utilizado para cultivar grama. Desechos generados por ambos lugares pudieron influir en la cantidad de materia orgánica debido a que los nutrientes encontrados en sus desechos son arrastrados al río por la escorrentía en eventos de lluvia. En adicción, cercano a este lugar de muestreo se encuentran varias viviendas las cuales pueden ser una fuente de contaminación debido a la manera en la que se descartan los desperdicios domésticos en estas. En el reglamento de calidad de agua los estándares para la DBO son establecidos para las fuentes de aguas residuales y dependerá del cuerpo de agua receptor (DNER, 2019).

La salinidad fue otro de los parámetros evaluados en esta investigación. Esta mide la cantidad de sales disueltas en el agua. Variaciones en la salinidad puede causar cambios en el ecosistema, afectando la flora y la fauna. Los resultados para los puntos de muestreo fueron de 0 ppt con excepción del punto tres (estuario). En el estuario, la

mayoría de los muestreos de los resultados obtenidos fueron de 0 ppt de salinidad con excepciones de 14 ppt en algunas ocasiones y 35 ppt en una ocasión. Esto se debe a que la salinidad en los estuarios varía según el oleaje y durante las estaciones del año. El valor más alto de salinidad obtenido en esta investigación fue durante un evento de marejada alta. El reglamento no establece un estándar para la salinidad.

En adicción a los parámetros fisicoquímicos, se evaluaron los coliformes fecales. Los coliformes fecales son uno de los parámetros bacteriológicos más importantes de la calidad del agua. Estos son indicadores de microorganismos patógenos que pueden causar serios problemas a la salud. Generalmente los cuerpos de agua con coliformes fecales indican algún tipo de contaminación con aguas residuales o heces fecales. Estudios realizados en distintos cuerpos de agua de la isla demuestran que los coliformes fecales representan un problema para su calidad de agua (Norat-Ramirez et al, 2018; Ocasio Santiago, 2008; Prieto-Pulido, 2008; Torres Vega, 2009).

Los resultados de la prueba para coliformes fecales arrojaron positivo para todos los muestreos en los tres puntos del río evaluados. El punto número uno es de suma importancia debido a que este es la toma de agua para la planta de filtros Hatillo-Camuy. Sin embargo, durante varios de los muestreos se observó ganado vacuno en los alrededores de la toma de agua (Figura 20 y 21). Esto representa un gran problema debido a que se considera una fuente de contaminación para los coliformes fecales. La contaminación por coliformes fecales en los otros puntos de muestreo puede provenir de los desechos de animales y descargas ilegales de aguas negras. Los resultados para los coliformes no pueden ser comparados con los estándares de calidad de agua establecidos

para las aguas clasificadas como SB y SD debido a que el método utilizado para evaluar su presencia no reporta los resultados en las mismas unidades.

Figura 20

Vacas en área aledaña a la toma de agua de la planta de filtros Hatillo-Camuy (punto 1).



Figura 21

Presencia de vacas en el punto de muestreo número 1.



Luego de evaluar la calidad del agua del río Camuy podemos determinar que esta varía a través del río. La mayoría de los parámetros comparados cumplen con los estándares de calidad de agua establecidos en el Reglamento de Estándares de Calidad de Agua de Puerto Rico para el año 2019. Los parámetros que no cumplen con los estándares se ven afectados por distintas fuentes de contaminación. Las posibles fuentes de contaminación determinadas para el segmento evaluado del Río Camuy son: ganado presente en los alrededores del río, las residencias en áreas cercanas al río, la compañía Tropical Concrete y los terrenos utilizados para cultivar grama. Estas fuentes de contaminación influyen en los cambios de los siguientes parámetros: oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, fosfato, nitrato y coliformes fecales.

Para poder mejorar los valores de estos parámetros se debe de implantar acciones correctivas. Ejemplo de estas acciones correctivas son: evitar que el ganado llegue a las áreas cercanas al río y que las vacas entren en contacto con el agua; utilizar otro tipo de fertilizantes que no contengan fosfatos inorgánicos en su composición y disponer de los desechos correctamente. Para evitar que el ganado llegue a áreas cercanas al río se debe de mantener un diálogo con el dueño y orientarlo acerca del efecto que tiene que el ganado se encuentre en esa área. Se recomienda una orientación acerca de la utilización de fertilizantes y pesticidas al personal que trabaja en el cultivo de grama. En adicción, es recomendable evaluar la forma de disposición de los desechos de las residencias cercanas al río para determinar si son una fuente de contaminación dispersa.

Conclusiones

Mantener una buena calidad de las aguas es de suma importancia. Las aguas superficiales de Puerto Rico cada vez se encuentran más deterioradas. Esto puede causar problemas para los ecosistemas y para la salud humana. El río Camuy es utilizado como fuente de agua potable y para distintas actividades recreativas. Por esta razón se debe de tener un conocimiento actualizado de cómo se encuentran la calidad del agua del río. Para esta investigación se evaluó la calidad del agua de un segmento localizado en la parte baja del río. El mismo fue escogido debido al uso de sus aguas. Cercano a este segmento del río se encuentran residencias, áreas utilizadas para recreación, cultivo de grama y crianza de ganado. La calidad del agua del río se ve afectada por estas posibles fuentes de contaminación.

Para la evaluación de la calidad del agua se evaluaron parámetros fisicoquímicos y los coliformes fecales. Los parámetros fisicoquímicos evaluados fueron la temperatura, pH, turbidez, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, fosfatos, nitratos y salinidad. Los resultados obtenidos nos confirman que la calidad del agua de este segmento se ve afectada por las fuentes de contaminación cercanas al río. La temperatura se mantuvo entre los valores establecidos en el reglamento mostrando una diferencia significativa entre los puntos de muestreo. El pH se mantuvo en niveles neutrales con diferencias significativas entre los puntos de muestreo siendo el punto número uno el más alto. Por su parte la turbidez aumento durante los eventos de lluvia y la misma depende del punto de muestreo. Esto se debe a que la cantidad de materia suspendida en el agua varía a través de los lugares evaluados.

El oxígeno disuelto es el parámetro que no estuvo en cumplimiento con el estándar establecido durante más tiempo. El mismo no cumplió con el valor mínimo de 5 mg/L durante el periodo de noviembre a enero, ya que se obtuvieron valores menores a este. Después de este periodo, los valores aumentaron cumpliendo con el estándar establecido. Valores bajos o ausencia de oxígeno disuelto pueden indicar contaminación. Este disminuye con la presencia de fertilizantes y materia orgánica en el agua. Además, puede disminuir con un aumento en temperatura. La cantidad de materia orgánica puede verse afectada cuando entran al agua residuos de fertilizantes que contienen nitratos y fosfatos. En adicción, pueden ser afectados por desechos industriales y animales. Debido a esto podemos identificar como posible fuente de contaminación las áreas utilizadas para el cultivo de grama, el ganado observado en las áreas aledañas al río, descargas de aguas residuales y cambios en temperatura. Estas fuentes de contaminación pueden afectar a su vez la demanda bioquímica de oxígeno, otro parámetro que mostró alteraciones durante el periodo de muestreo.

Las alteraciones al oxígeno disuelto y la demanda bioquímica de oxígeno pueden estar relacionadas con la cantidad de nutrientes encontrados en el agua. El nitrato y el fosfato han sido vinculados con la disminución del oxígeno disuelto y el aumento en la demanda bioquímica de oxígeno en estudios realizados anteriormente. Esto se debe a que los mismos contribuyen al crecimiento de las algas aumentando así la materia orgánica en los cuerpos de agua. Durante esta investigación los valores de nitrato se mantuvieron constante durante todo el periodo de muestreo, excediendo el nivel máximo de contaminante establecido por la USEPA en una sola ocasión. No obstante, los valores de fosfato variaron durante todo el periodo de muestreo alcanzando valores máximos de 4

ppm. Los niveles de fosfato en el agua pudieron ser alterados con la presencia de residuos de detergentes que contienen fosfato, desechos agrícolas y constituyentes naturales.

En el área del estuario se observaron variaciones en la salinidad durante el plazo de tiempo de esta investigación. Los niveles de salinidad fueron variados debido a los eventos de marejadas y de lluvia ocurridos. Por el contrario, al evaluar la presencia de coliformes fecales se determinó que esta fue positiva todo el tiempo. Esto indica que puede haber contaminación fecal debido a la presencia de desechos de animales y heces fecales provenientes de aguas residuales o encontrados en los alrededores del río. Estos pueden provenir de las escorrentías que arrastran las aguas contaminadas a los cuerpos de agua. Durante el transcurso de esta investigación se observó la presencia de ganado en los alrededores del río los cuales pueden estar contribuyendo a la contaminación fecal.

En conclusión la calidad del agua del Río Camuy se ve afectada por las fuentes de contaminación dispersas. Esta contaminación llega a través del flujo de lluvia que arrastra los contaminantes al río. En el punto número uno se encuentra la toma de agua de la planta de filtros Hatillo-Camuy. La calidad de agua de este sitio de muestreo demuestra estar influida por la cantidad de materia orgánica presente en el agua y la presencia de ganado en los alrededores. El punto intermedio o número dos se ve afectado debido a los residuos de fertilizantes y desechos industriales que provienen de la compañía Tropical Concrete y el terreno utilizado para cultivar grama. El área del estuario es el punto de muestreo que presenta mejor calidad de agua. La misma se ve influida por los cambios naturales ocurridos en el ambiente como por ejemplo los cambios en temperatura, eventos de lluvias y marejadas.

Aunque la calidad de agua del Río Camuy no se encuentra deteriorada a gran escala, se pueden realizar ciertas acciones correctivas para mejorarla. Una de estas acciones podría ser la orientación sobre los efectos de los desechos industriales en la calidad de agua para así trabajar en la creación de un plan de manejo de los desechos. También, se puede trabajar en la orientación a los dueños del ganado con relación al efecto que tiene en el agua la presencia del ganado en el río. De igual manera, se debe de evaluar la forma de disposición de los desechos de los hogares cercanos al río para determinar si son una fuente de contaminación y poder realizar acciones correctivas de ser necesario. Esta investigación ayudó a tener información reciente de la calidad del agua del segmento bajo del río Camuy.

Recomendaciones

1. Evaluar nuevamente la calidad de agua con mejores métodos para poder tener valores más certeros debido a que el kit utilizado en este estudio nos da aproximaciones de los parámetros evaluados.
2. Hacer estudios durante la época de lluvia para poder evaluar certeramente como las escorrentías afectan la calidad del agua.
3. Realizar estudios específicos sobre los coliformes fecales presentes en el río y como estos pueden afectar la calidad del agua de la planta de filtros.
4. Evaluar la presencia de aceites y grasas en el río.
5. Evaluar el crecimiento de algas en el río para saber si está relacionado con los niveles de nitrato y fosfato.

Referencias

- Adesakin, T., Oyewale, A. T., Bayero, U., Mohammed, A., Aduwo, I., Ahmed, P.,
Abubakar, N. D., Barje, I.B. (2020). Assessment of Bacteriological Quality and
Physico-Chemical Parameters of Domestic Water Sources in Samaru Community,
Zaria, Northwest Nigeria. *Heliyon*, 6(8), e04773.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04773>
- American Public Health Association, American Water Works Association, & Water
Environment Federation. (2018). *1060 Collection And Preservation Of Samples* .
In Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater 23rd. DOI:
10.2105/SMWW.2882.009
- American Public Health Association, American Water Works Association, & Water
Environmental Federation. (2018). *2520 Salinity (2017)*. In Standard Methods For
the Examination of Water and Wastewater, 23rd. DOI: 10.2105/SMWW.2882.028
- American Public Health Association, American Water Works Association, & Water
Environmental Federation. (2018). *2550 Temperature (2017)*. In Standard
Methods For the Examination of Water and Wastewater, 23rd. DOI:
10.2105/SMWW.2882.031
- American Public Health Association, American Water Works Association,, & Water
Environmental Federation. (1999). *4500-N NITROGEN*(51)*. In Standard
Methods For the Examination of Water and Wastewater.

American Public Health Association, American Water Works Association,, & Water Environmet Federation. (2018). *5210 Biochemical Oxygen Demand (BOD)*. In Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater, 23rd. DOI: 10.2105/SMWW.2882.102.

American Public Health Association,, American Water Works Association, & Water Environmental Federation. (2018). *4500-P Phosphorus (2017)*. In Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater, 23rd.doi.org/10.2105/SMWW.2882.093.

Autoridad de Acueductos y Alcantarillado de Puerto. (2019). *Informe Anual: La Calidad del Agua Potable 2019 Sistema Hatillo-Camuy*.
<https://past.acueductospr.com:8181/MICUENTA/CCR/showccr?selyear=2019&selpwsid=2662>

Bolaños-Alfaro, J. D., Cordero-Castro, G., & Segura-Araya, G. (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). *Tecnología en Marcha [online]* 30 (4), 15-27. DOI: 10.18845/tm.v30i4.3408.

Brown, T. L., LeMay, H., Bursten, B. E., Murphy, C. J., & Woodward, P. M. (2012). Measuring pH. In *Chemistry: The Central Science Twelfth Edition* (p. 663). Pearson Prentice Hall.

- Cáceres Acosta, N. M. (2018, mayo). *Estudio Fisicoquímico y Toxicológico de los Metales Pesados en los Ríos*. [Tesis de doctorado, Universidad del Turabo (Puerto Rico)]. ProQuest Dissertations Publishing. <https://search-proquest-com.uprarcibobiblioteca.idm.oclc.org/docview/2132428305/9325B6DEC33D48B6PQ/1?accountid=44844>
- Castillo Palacios, I. d. (2013, octubre). *Evaluación Físico-Química y Bacteriológica del Agua en el Sistema de Abastecimiento del Casco Urbano del Municipio de la Concordia Durante Cinco Semanas de Abril y Junio Del Año 2013* [Tesis para obtener el título de ingeniero civil, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua]. Repositorio UNAN. <https://repositorio.unan.edu.ni/5475/1/64547.pdf>
- Constitución de Puerto Rico [Const.]. Artículo 6, Sección 19. 25 de julio de 1952 (Puerto Rico). (n.d.). <https://www.lexjuris.com/lexprcont.htm>
- Cook, M., Gilinsky, E., Hanlon, J., Quigley, M., Shapiro, M., & Wayland, B. (2020, April). *Water Quality: A Half Century of Progress*. <https://www.epaalumni.org/hcp/waterquality.pdf>
- Cox, B., & Whitehead, P. (2009). Impacts of Climate Change Scenarios on Dissolved Oxygen in the River Thames, UK. *Hydrology Research*, 40 (2-3), 138-152. <https://doi.org/10.2166/nh.2009.096>.
- Danladi Bello, A.-A., Hashim, N., & Mohd Haniffah, M. (2017). Predicting Impact of Climate Change on Water Temperature and Dissolved Oxygen in Tropical Rivers. *Climate*, 5(3), <https://doi.org/10.3390/cli5030058>.

- Davila Vargas, J., & Zuñiga Espinoza, F. (2018). *Determinación de Fosfatos y Nitratos en el Río Ichu Parte Urbana del Distrito de Huancavelica* [Tesis Para Optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental y Sanitario]. Repositorio Institucional UNH.: <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/2182>
- Departamento de Recursos Naturales y Ambientales . (2016). *Plan Integral de Recursos de Agua de Puerto Rico* [Archivo pdf]. <https://www.drna.pr.gov/wp-content/uploads/formidable/PIRA-2016.pdf>
- Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. (2007). *Hojas De Nuestro Ambiente: Los Ríos* [Archivo pdf]. <https://www.drna.pr.gov/wp-content/uploads/2015/04/Los-r%c3%ados.pdf>
- Department of Natural And Environmental Resources. (2019). *PUERTO RICO WATER QUALITY STANDARDS REGULATION*.
<https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-12/documents/prwqs.pdf>
- Dey, S., Botta, S., Kallam, R., Angadala, R., & Andu, J. (2021). Seasonal Variation in Water Quality Parameters of Gudlavaluru Engineeringcollege Pond. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 4, 100058.
<https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2021.100058>.
- Fantauzzi Soto, J. (2009, abril 29). *Evaluación de Riesgos por Presencia de Nitrato y Coliformes en el Sector Angeles del Río Tanamá, Utuado* [Tesis de maestria, Universidad Metropolitana San Juan, PR].
https://documento.uagm.edu/cupey/biblioteca/biblioteca_tesisamb_fantauzzisotoj2009.pdf

- Figueroa Nieves, D. (2014, september). *Impacts of Treated Sewage Effluents on Stream Ecology in Puerto Rico [Disertation]*. ProQuest Dissertations Publishing.
<https://search.proquest.com/openview/f24a21e2daf7dbb4b19d9ec27f5ca254/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750&diss=y>
- Google Maps. (2021). *Mapa satelital Río Camuy*.
<https://www.google.com/maps/@18.4797953,-66.8348697,2974m/data=!3m1!1e3>
- Gutiérrez-Fonseca, P.E. & Ramírez, A. (2016). Evaluación de la Calidad Ecológica de los Ríos en Puerto Rico: Principales Amenazas y Herramientas de Evaluación. *Hidrobiológica [online]*, 26(3), 433-441.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-88972016000300433&lng=es
- Juarbe García , C. G. (2009, septiembre). *Estudio Comparativo de la Dinámica de Oxígeno Disuelto en los Estuarios de los Rios del Noreste de Puerto Rico* [Tesis de Maestria, Universidad del Turabo].
https://gurabo.uagm.edu/sites/default/files/uploads/Centro-Estudios-Doctorales/Tesis-2005-06/Tesis-2008-09/Juarbe_C_34994.pdf
- LaMotte. (s.f.). *Estuary and Marine Monitoring Manual*.
<https://drive.google.com/file/d/1POmhbVIBdmWnBI7Y83N75DV0cR42EFby/view>
- Ley Núm. 049 del año 2003. *Ley Para Establecer la Política Pública Sobre la Prevención de Inundaciones y Conservación de Ríos y Quebradas*.
<https://www.lexjuris.com/lexlex/leyes2003/lexl2003049.htm>

- Ley Núm. 136 de 3 de Junio 1976, según enmendada. *Ley para la Conservación, Desarrollo y Uso de Recursos de Agua*. (2021, febrero 18).
<http://www.bvirtual.ogp.pr.gov/ogp/Bvirtual/leyesreferencia/PDF/Recursos%20Naturales/136-1976/136-1976.pdf>
- Ley Núm. 416. *Ley sobre Política Pública Ambiental de 2004*. 22 de septiembre de 2004.(P. de la C. 4790), 2004, ley 416. (s.f.).
<https://www.lexjuris.com/lexlex/leyes2004/lexl2004416.htm#:~:text=La%20aprobaci%C3%B3n%20de%20la%20%22Ley,seres%20humanos%20y%20la%20naturaleza>
- Li, X., Lu, C., Zhang, Y., Zhao, H., Wang, J., Liu, H., & Yin, K. (2020). Low Dissolved Oxygen in the Pearl River Estuary in Summer: Long-Term Spatio-Temporal Patterns, Trends, and Regulating Factors. *Marine Pollution Bulletin*, 151, 110814.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110814>
- Manta, G., & Alcántara, I. (2018). Variabilidad y Tendencia de la Temperatura Superficial de los Grandes Embalses del Río Negro. *NNOTEC*, núm. 16, 17-26. <https://doi.org/10.26461/16.07>
- Marcó, L., Azario, R., Metzler, C., & García, M. (2004). La Turbidez Como Indicador Básico de Calidad de Aguas Potabilizadoras a Partir de Fuentes Superficiales. *Higiene y Sanidad Ambiental*, 4.
[https://saludpublica.ugr.es/sites/dpto/spublica/public/inline-files/bc510156890491c_Hig.Sanid_.Ambient.4.72-82\(2004\).pdf](https://saludpublica.ugr.es/sites/dpto/spublica/public/inline-files/bc510156890491c_Hig.Sanid_.Ambient.4.72-82(2004).pdf)

- Martínez Matías, A. J. (2008). *Relación Entre los Patrones de Lluvia, Flujo, Nutrientes y Características Microbiológicas del Río la Plata y Sus Peligros Potenciales a la Salud* [Tesis de maestría, Universidad Metropolitana Escuela Graduada de Asuntos Ambientales San Juan, Puerto Rico].
https://documento.uagm.edu/cupey/biblioteca/biblioteca_tesisamb_martinezmatiasa2008.pdf
- Montalvo Estévez, J., Romero López, T., Lozano Medina, A., & Tierra Landa, J. (2019). Calidad del Agua del Río Luyanó: Aplicación de Un Índice de Calidad del Agua. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*. 40 (3), 3-14. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382019000300003&lng=en&tlng=es.
- Morell-Bayard, A. d., Bergues-Garrido, P. S., & Portuondo-Ferrer, E. (2015). Valoración de los Parámetros Físico-Químicos de las Aguas del Río San Juan en Los Períodos Húmedo y Seco de 2014. *Ciencia en su PC*, 1, 1-12.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181338814001>
- Morris, G. L., Portalatín, J., de Jesús, R., Ramos, M., & Toledo, T. (n.d.). *Guía para el Manejo de Ríos en Puerto Rico* [Archivo pdf].
<http://www.drna.pr.gov/historico/oficinas/saux/secretaria-auxiliar-de-planificacion-integral/planagua/estudios/estudios-del-plan-de-aguas-2013-2009-pdf/Guia%20para%20el%20Manejo%20de%20Rios%20lwres.pdf>
- Moritsch, M. (2011). Associations among Plankton Abundance, Water Quality And Sediment Quality In The San. *Berkeley Scientific Journal*, 14(1):
<https://escholarship.org/content/qt1zf0t4tr/qt1zf0t4tr.pdf?t=mp97n7>

- Navarro, A. (s.f.). *Testing water quality in Puerto Rico's beaches: A volunteer experience*. <https://acwi.gov/monitoring/nwqmc.org/NWQMC-Proceedings/Papers-Alphabetical%20by%20First%20Name/Ana%20Navarro-poster.pdf>
- Norat-Ramírez, J., Méndez-Lázaro, P., Hernández-Delgado, E., Mattei-Torres, H., & Cordero-Rivera, L. (2019). A Septic Waste Index Model to Measure the Impact of Septic Tanks on Coastal Water Quality and Coral Reef Communities in Rincon, Puerto Rico. *Ocean & Coastal Management*, 169, 201-213. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2018.12.016>.
- Ocasio Santiago, F. A. (2008). *Evaluación de la Calidad del Agua y Posibles Fuentes de Contaminación en un Segmento del Río Piedras* [Tesis de Maestría, Universidad Metropolitana Escuela Graduada de Asuntos Ambientales]. https://documento.uagm.edu/cupey/biblioteca/biblioteca_tesisamb_ocasiosantiago_f2008.pdf
- Organización Mundial de la Salud. (2019, junio 14). *Agua*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water#:~:text=El%20agua%20contaminada%20puede%20transmitir,zonas%20con%20escasez%20de%20agua>.
- Ortiz Pastor, A. (2012). *Contaminación de los Cuerpos de Agua Superficiales por Sistemas de Relleno Sanitario en Puerto Rico* [Tesis de maestría, Universidad del Turabo]. https://gurabo.uagm.edu/sites/default/files/uploads/Centro-Estudios-Doctorales/Tesis-2005-06/Tesis-2011-12/OrtizA_2012_UT.pdf

- Patiño Pescador, G. A. (2015). *Evaluación de la Calidad del Agua por Medio de Bioindicadores Macroinvertebrados Acuáticos en la Quebrada La Vieja* .
<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/4724/Pati%F1oPescadorGinaAlejandra2015.pdf;jsessionid=F3ED942176A6D90086A6CA5495B37C33?sequence=1>
- Post, C., Cope, M. P., Gerard, P., Masto, N., Vine, J., Stiglitz, R.Y., Hallstrom, J.O., Newman, J.C.,Mikhailova, E. A. (2018). Monitoring Spatial and Temporal Variation of Dissolved Oxygen and Water Temperature in the Savannah River Using a Sensor Network. *Environ Monit Assess* , <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6646-y>.
- Prieto-Pulido, P. (2008). *Aporte de Coliformes Fecales de Fuentes Dispersas en la Cuenca del Río Grande De Añasco*.
https://scholar.uprm.edu/bitstream/handle/20.500.11801/1855/INCI_PrietoPulidoP_2008.pdf?sequence=1&isAllowed=n3
- Programa del Estuario de la Bahía de San Juan. (s.f.). *Dia de Monitoreo de Calidad de Agua*. <https://estuario.org/diademontoreo/>
- Quach, T., Colon, L., Akinrinlola, A., Bell, J., & Good , S. (2016). Assessing the East Bay of Galveston Bay, Texas for Coliform Bacteria in Recreational Water. *Open Journal of Marine Science* (6), 472-481.
- Ramjukadh, C.-L., Silberbauer, M., & Taljaard, S. (2018, october 4). *An Anomaly in pH Data in South Africa's National Water Quality Monitoring Database – Implications for Future Use*. <https://doi.org/10.4314/wsa.v44i4.23>

- Ramos-Ortega, L. M., Vidal, L. A., Vilardy, S., & Saavedra-Díaz, L. (2008). Análisis de la Contaminación Microbiológica (Coliformes Totales y Fecales) en la Bahía de Santa Marta, Caribe Colombiano. *Acta biol.Colomb. [online]* 13 (3):
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-548X2008000300007
- Ruiz Buehl , L. M. (2007). *Las Ciencias Ambientales en Puerto Rico* [Tesis de maestría, Universidad del Turabo].
https://gurabo.uagm.edu/sites/default/files/uploads/Centro-Estudios-Doctorales/Tesis-2005-06/Tesis-2006-07/Ruiz_L_Tesis_UT_2007.pdf
- Samboni Ruiz, N. E., Carvajal Escobar, Y., & Escobar, J. C. (2007). Revisión de Parámetros Fisicoquímicos Como Indicadores de Calidad y Contaminación del Agua. *Revista Ingeniería e Investigación* ,27 (3), 172-181.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-56092007000300019&lng=en&tlng=es
- Teves Aguirre , B. M. (2019). *Estudio Fisicoquímico de la Calidad del Agua del Río Caca, Región Lima* [Tesis para optar el grado de magister en química, Pontificia Universidad Católica Del Perú]. Repositorio Concytec.
http://repositorio.concytec.gob.pe/bitstream/20.500.12390/285/3/2016_Teves_Estudio-fisicoquimico-calidad.pdf
- Tiemann, M. (2017, march 1). *Safe Drinking Water Act (SDWA): A Summary of the Act and Its Major Requirements*. <https://fas.org/sgp/crs/misc/RL31243.pdf>
- Torres Vega, F. J. (2009). *Desarrollo y Aplicación de un Índice de Calidad de Agua Para Ríos en Puerto Rico*[Tesis de maestría, Universidad de Puerto Rico Recinto

Universitario de Mayagüez].

https://scholar.uprm.edu/bitstream/handle/20.500.11801/1753/INCI_TorresVegaFJ_2009.pdf?sequence=1&isAllowed=y

United States Environmental Protection Agency . (2019). *Fact Sheet: National Pollutant Discharge Elimination System Hatillo Wtp Permit No. PR0024163*.

https://www.epa.gov/sites/production/files/2019-09/documents/hatillo_wtp_fact_sheet_.pdf

United State Environmental Protection Agency. (2020, may 26). *Resource Conservation and Recovery Act (RCRA) Overview*. <https://www.epa.gov/rcra/resource-conservation-and-recovery-act-rcra-overview>

United States Environmental Protection Agency. (2020, julio 28). *Summary of the Clean Water Act*. <https://www.epa.gov/laws-regulations/summary-clean-water-act>

United States Environmental Protection Agency. (2021, abril 18). *How's My Waterway*. <https://mywaterway.epa.gov/community/210100020502/overview>

United States Environmental Protection Agency. (2021, february 16). *How's My Waterway*. <https://www.epa.gov/waterdata/how-s-my-waterway>

United States Environmental Protection Agency. (2020, september 1). *National Pollutant Discharge Elimination System (NPDES)*. <https://www.epa.gov/npdes>

United States Environmental Protection Agency. (2020, agust 3). *NPDES Permit Basics*. <https://www.epa.gov/npdes/npdes-permit-basics>

United States Environmental Protection Agency. (2020, agust 3). *Summary of the Safe Drinking Water Act*. <https://www.epa.gov/laws-regulations/summary-safe-drinking-water->

act#:~:text=42%20U.S.C.&text=The%20Safe%20Drinking%20Water%20Act%20(SDWA)%20was%20established%20to%20protect,above%20ground%20or%20underground%20sources.

Vigiak, O., Grizzetti, B., Udias-Moinelo, A., Zanni, M., Dorati, C., Bouraoui, F., &

Pistocchi, A. (2019). Predicting Biochemical Oxygen Demand in European Freshwater Bodies. *Science of the Total Environment*, 666, 1089-1105.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.252>.

Zambrano Hidalgo, C. D. (2010). *Evaluación y Análisis de la Calidad del Agua del Estuario del Río Guayas* [Trabajo de Grado, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]. <http://192.188.52.94:8080/bitstream/3317/1183/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-27.pdf>

Apéndice A. Resultados de los parámetros evaluados para cada punto de muestreo.

Tabla A1

Resultados para el punto de muestreo #1 Toma De Agua Planta De Filtros Hatillo-Camuy.

Fecha de muestreo	Temperatura (°C)	Turbidez (JTU)	DO (ppm)	BOD (ppm)	Fosfato (ppm)	Nitrato (ppm)	pH	Salinidad (ppt)	Coliformes Fecales (Positivo/Negativo)
13/11/2020	25.4	40	4	0	2	5	8	0	Positivo
20/11/2020	24.3	40	4	0	2	5	8	0	Positivo
27/11/2020	23.7	100	4	0	2	5	8	0	Positivo
4/12/2020	23.5	40	4	0	1	5	8	0	Positivo
11/12/2020	23.5	40	4	0	2	5	8	0	Positivo
18/12/2020	23.8	40	4	0	1	5	8	0	Positivo
1/01/2021	23.3	40	4	0	1	5	7	0	Positivo
8/01/2021	23.2	40	4	4	2	2	8	0	Positivo
15/01/2021	23.3	0	4	0	1	5	8	0	Positivo
22/01/2021	23.7	0	4	0	2	5	7	0	Positivo
29/01/2021	23.6	40	8	4	2	5	8	0	Positivo
31/01/2021	23.8	40	8	4	1	5	8	0	Positivo
5/02/2021	24.6	40	8	4	0	5	8	0	Positivo
19/02/2021	23.8	0	8	4	1	5	8	0	Positivo
27/02/2021	25.1	0	8	4	1	5	8	0	Positivo
4/03/2021	23.8	0	8	4	1	5	8	0	Positivo
12/03/2021	24.4	40	8	0	1	5	7	0	Positivo

- Nota: En los coliformes fecales un resultado negativo indica menos de 20 colonias totales de coliformes por cada 100 mL de agua. Un resultado positivo indica más de 20 colonias totales de coliformes por cada 100 mL de agua.
- Nota: El resultado del BOD es la diferencia entre el DO y el resultado de oxígeno disuelto después de 5 días.

Tabla A2

Resultados Para el Punto de Muestreo #2 Punto Intermedio.

Fecha	Temperatura (°C)	Turbiedad (JTU)	DO (ppm)	BOD (ppm)	Fosfato (ppm)	Nitrato (ppm)	pH	Salinidad (ppt)	Coliformes Fecales (Positivo/ Negativo)
13/11/2020	24.3	40	8	4	2	5	7	0	Positivo
20/11/2020	24.4	40	4	0	1	5	7	0	Positivo
27/11/2020	23.9	100	4	0	1	5	7	0	Positivo
4/12/2020	23.9	40	4	0	1	20	7	0	Positivo
11/12/2020	23.9	40	4	0	4	5	8	0	Positivo
18/12/2020	23.5	40	4	0	2	5	8	0	Positivo
1/01/2021	23.9	40	8	4	4	5	7	0	Positivo
8/01/2021	23.5	40	8	4	2	5	7	0	Positivo
15/01/2021	23.4	0	4	4	4	5	8	0	Positivo
22/01/2021	24.1	0	4	4	2	5	8	0	Positivo
29/01/2021	23.8	40	8	8	1	5	7	0	Positivo
31/01/2021	23.7	40	8	8	1	5	8	0	Positivo
5/02/2021	24.8	40	8	4	1	5	8	0	Positivo
19/02/2021	24.2	0	8	4	1	5	7	0	Positivo
27/02/2021	24.5	0	8	4	1	5	8	0	Positivo
4/03/2021	24.0	0	8	8	1	5	8	0	Positivo
12/03/2021	24.7	40	8	8	1	5	7	0	Positivo

- Nota: En los coliformes fecales un resultado negativo indica menos de 20 colonias totales de coliformes por cada 100 mL de agua. Un resultado positivo indica más de 20 colonias totales de coliformes por cada 100 mL de agua.
- Nota: El resultado del BOD es la diferencia entre el DO y el resultado de oxígeno disuelto después de 5 días.

Tabla A3

Resultados para el punto de muestreo #3 Parque del Norte (Estuario).

Fecha	Temperatura (°C)	Turbiedad (JTU)	DO (ppm)	BOD (ppm)	Fosfato (ppm)	Nitrato (ppm)	pH	Salinidad (Ppt)	Coliformes Fecales (Positivo/ Negativo)
13/11/2020	26.5	40	4	0	1	5	7	0	Positivo
20/11/2020	24.9	40	4	0	1	5	8	14	Positivo
27/11/2020	24.5	100	4	0	1	5	7	0	Positivo
4/12/2020	24.8	40	4	0	1	5	7	0	Positivo
11/12/2020	25.3	40	4	0	2	5	7	0	Positivo
18/12/2020	26.0	40	4	0	1	5	7	0	Positivo
1/01/2021	24.6	40	4	4	2	5	8	14	Positivo
8/1/2021	24.3	40	8	8	4	5	8	0	Positivo
15/1/2021	24.1	40	4	0	1	5	7	0	Positivo
22/1/2021	24.8	40	4	0	4	5	7	0	Positivo
29/1/2021	25.1	40	8	4	1	5	8	14	Positivo
31/1/2021	24.5	40	8	4	1	5	7	35	Positivo
5/2/2021	27.3	40	4	0	1	5	7	14	Positivo
19/2/2021	25.4	0	8	4	1	5	8	14	Positivo
27/2/2021	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4/03/2021	25.8	40	8	4	1	5	7	0	Positivo
12/03/2021	24.4	100	4	4	2	5	7	0	Positivo

- Nota: En los coliformes fecales un resultado negativo indica menos de 20 colonias totales de coliformes por cada 100 mL de agua. Un resultado positivo indica más de 20 colonias totales de coliformes por cada 100 mL de agua.
- Nota: El resultado del BOD es la diferencia entre el DO y el resultado de oxígeno disuelto después de 5 días.
- Nota: El muestreo para la fecha del 27 de febrero de 2021 no pudo ser realizado en el punto número tres.

Apéndice B. Parámetros de Calidad de Agua Según el Reglamento de Estándares de Calidad de Agua de Puerto Rico de Abril de 2019.

Tabla B1.

Parámetros de Calidad de agua según la clasificación SD en el Reglamento De Estándares de Calidad de Agua de Puerto Rico 2019 (DRNA).

Temperatura	<30°C
Turbiedad	<50 NTU;
Oxígeno Disuelto	5 ppm<
Demanda Bioquímica de Oxígeno	NA
Fosforo Total	160 µg/L
Nitrógeno total	1,700 µg/L
pH	6.0-9.0
Salinidad	NA
Coliformes fecales	< 200 colonias/ 100 mL

Nota. NA (no aplica).

Tabla B2.

Parámetros de Calidad de agua según la clasificación SB (estuario) en el Reglamento de Estándares de Calidad de Agua De Puerto Rico 2019 (DRNA).

Temperatura	<30°C
Turbiedad	<10 NTU
Oxígeno Disuelto	5 ppm<
Demanda Bioquímica de Oxígeno	NA
Fosforo total	1,000 µ/L
Nitrógeno total	5,000 µ/L
pH	7.3-8.5
Salinidad	NA
Coliformes fecales	< 14 MPN/ 100 mL

Nota. NA (no aplica).

Apéndice C. Resultados del análisis estadístico para cada parámetro.

Tabla C1

Resultados del análisis estadístico para la temperatura.

Punto de muestreo	Sumatoria	Promedio	Varianza	Desviación Estándar
Punto 1	406.8	23.9	0.395	0.628
Punto 2	408.5	24.0	0.168	0.410
Punto 3	402.3	25.1	0.768	0.876

Tabla C2

Resultados del análisis estadístico para el pH.

Punto de muestreo	Sumatoria	Promedio	Varianza	Desviación Estándar
Punto 1	133.00	7.8	0.154	0.393
Punto 2	127.00	7.5	0.265	0.515
Punto 3	117.0	7.3	0.229	0.479

Tabla C3

Resultados del análisis estadístico para la Turbidez.

Punto de muestreo	Sumatoria	Promedio	Varianza	Desviación estándar
Punto 1	540	32	652.9	25.55
Punto 2	540	32	652.9	25.550
Punto 3	720	45	560	23.66

Tabla C4

Resultados del análisis estadístico para el Fosfato.

Punto de muestreo	Sumatoria	Promedio	Varianza	Desviación estándar
Punto 1	23	1	0.3676	0.6063
Punto 2	30	2	1.316	1.147
Punto 3	25	2	1.063	1.031

Tabla C5

Resultados del análisis estadístico para el Nitrato.

Punto de muestreo	Sumatoria	Promedio	Varianza	Desviación estándar
Punto 1	85.0	5.00	0.000	0.00
Punto 2	100	5.88	13.24	3.64
Punto 3	80.0	5.00	0.000	0.00

Tabla C6

Resultados del análisis estadístico para el Oxígeno Disuelto.

Punto de muestreo	Sumatoria	Promedio	Varianza	Desviación estándar
Punto 1	96	6	4.118	2.029
Punto 2	108	6	4.118	2.029
Punto 3	84	5	3.667	1.915

Tabla C7

Resultados del análisis estadístico para la Demanda Bioquímica de Oxígeno.

Punto de muestreo	Sumatoria	Promedio	Varianza	Desviación estándar
Punto 1	28	2	4.118	2.029
Punto 2	64	4	8.941	2.990
Punto 3	32	2	6.4	2.53

Tabla C8

Resultados del análisis estadístico para la Salinidad.

Punto de muestreo	Sumatoria	Promedio	Varianza	Desviación estándar
Punto 1	0.00	0.00	0.000	0.000
Punto 2	0.00	0.00	0.000	0.000
Punto 3	105.0	6.56	101.020	10.052