

UNIVERSIDAD INTERAMERICANA DE PUERTO RICO
RECINTO DE SAN GERMAN
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA
PROGRAMA DE MAESTRIA EN CIENCIAS EN CIENCIAS AMBIENTALES

**CALIDAD DEL AGUA DE LAS PRINCIPALES
DESCARGAS DE AGUAS DE ESCORRENTIAS
RESERVA NATURAL CAÑO BOQUILLA
MAYAGÜEZ, PUERTO RICO**

Jessiemarie Rodríguez Guilloty
Mayo 2023

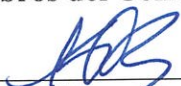
UNIVERSIDAD INTERAMERICANA DE PUERTO RICO
RECINTO DE SAN GERMÁN
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE MAESTRIA EN CIENCIAS EN CIENCIAS AMBIENTALES

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

**CALIDAD DEL AGUA DE LAS PRINCIPALES DESCARGAS
DE AGUAS DE ESCORRENTÍAS
RESERVA NATURAL CAÑO BOQUILLA
MAYAGÜEZ, PUERTO RICO**

Jessiemarie Rodríguez Guilloty
Mayo 2023

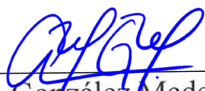
Miembros del Comité Graduado:



Keyla E. Cáceres Ruiz, MS
Directora de Tesis

22-5-23

Fecha



Ángela González Mederos, PhD
Miembro de Comité de Tesis

23 de mayo de 2023

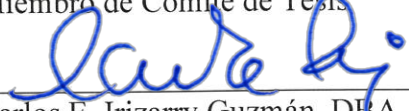
Fecha



Ana J. Navarro Rodríguez, PhD
Miembro de Comité de Tesis

23 de mayo de 2023

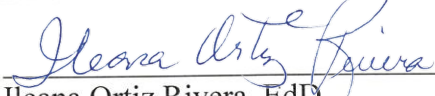
Fecha



Carlos E. Irizarry Guzmán, DBA
Director Escuela de Estudios Graduados e Investigación

7 de junio de 2023

Fecha



Ileana Ortiz Rivera, EdD
Decana Interina de Asuntos Académicos

7 de junio de 2023

Fecha

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, primeramente, a Dios por no dejarme desvanecer en el camino. A mi hija, Milah I. Ruiz Rodríguez, a ti hija nunca desistas de tus metas y sueños. A mi esposo, Ramón Ruiz Giovannetti, por estar a mi lado siempre, por su apoyo incondicional. A mi mamá, Santa Guilloty Morales, por cuidar de Milah y siempre estar presente. A mi papá, Manuel Rodríguez Hernández, por acompañarme en cada muestreo de este trabajo.

¡Los AMO!

AGRADECIMIENTOS

- Agradezco a Dios por darme la fortaleza y la sabiduría para culminar este trabajo de investigación.
- Agradezco a mi familia, en especial a mi esposo Ramón Ruiz, por estar a mi lado siempre, a mis padres Manuel Rodríguez y Santa Guilloty por su ayuda infinita, por siempre estar presente para mí, porque nunca hay un no, por cuidar a mi hija Milah I. Ruiz Rodríguez.
- Agradezco a mi familia en general por estar ahí siempre y ayudarme en este camino.
- Agradezco al Comité de Tesis a la Profa. Keyla Cáceres Ruiz, a la Dra. Ángela González Mederos y en especial a la Dra. Ana J. Navarro Rodríguez por su incondicional ayuda en todo momento. Por ser más que una mentora, una mano amiga. Gracias al comité de tesis por ayudarme y confiar en mí.
- Agradezco a los Profesores Lester Torres y Juan G. Vélez Rodríguez por su ayuda con la estadística de este trabajo de investigación.
- Agradezco al “*Sea Grant College Program*” de la Universidad de Puerto Rico, Recinto de Mayagüez.
- Agradezco a Mayagüezanos por la Salud y el Ambiente, a la Fundación Toyota de Puerto Rico y a la Fundación Comunitaria de Puerto Rico por su apoyo para los muestreos y análisis de la calidad del agua (donativo 2019-0544)
- Agradezco a la AAA por la colaboración con los equipos necesarios para llevar a cabo el análisis del agua.

TABLA DE CONTENIDO

ABSTRACT	1
RESUMEN	2
ACRÓNIMOS	3
LISTA DE FIGURAS	4
LISTA DE TABLAS.....	5
INTRODUCCIÓN	6
JUSTIFICACIÓN.....	8
OBJETIVOS.....	9
REVISIÓN DE LITERATURA.....	10
MATERIALES Y MÉTODOS	18
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
CONCLUSIÓN.....	42
RECOMENDACIONES FUTURAS INVESTIGACIONES	43
BIBLIOGRAFÍA.....	44

ABSTRACT

Water quality was analyzed for the three (3) main stormwater discharges that reach the estuarine and coastal waters of the *Reserva Natural Caño Boquilla* (RNCB) in Mayagüez, Puerto Rico. Physicochemical and bacteriological parameters were monitored during twenty-three (23) weeks. The measurements for temperature, salinity, nitrates, and phosphates were consistent with a healthy estuarine ecosystem according to local government standards. Conversely, dissolved oxygen and total chlorine measurements did not comply with local regulations (DRNA, 2019 b). Turbidity readings were noncompliant 65% of the time for station E1, 33% for station E5, and 17% for station E6. In addition, pH did not comply in 21.7% of the samples in station E1 and 26% of the samples in station E5. Total and pathogenic coliform counts were consistent with the local government standard for estuarine waters. Statistically significant differences were found between the three (3) stormwater stations for dissolved oxygen, temperature, turbidity, and salinity.

RESUMEN

Se analizó la calidad del agua de las tres (3) principales descargas de los desagües pluviales que llegan a las aguas estuarinas y costeras de la *Reserva Natural Caño Boquilla* (RNCB) en Mayagüez, Puerto Rico. Los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos fueron monitoreados durante veintitrés (23) semanas. Las mediciones de temperatura, salinidad, nitratos y fosfatos estuvieron dentro de los rangos para un ecosistema estuarino saludable de acuerdo con los estándares del gobierno local. Por el contrario, las mediciones de oxígeno disuelto y cloro total no cumplieron con las regulaciones locales (DRNA, 2019 b). Las lecturas de turbidez no cumplieron el 65 % del tiempo para la estación E1, el 33 % para la estación E5 y el 17 % para la estación E6. Además, el pH no cumplió en el 21,7% de las muestras de la estación E1 y en el 26% de las muestras de la estación E5. Los muestreos de coliformes patógenos y totales fueron consistentes con el estándar del gobierno local para aguas estuarinas. Se encontraron estadísticamente diferencias significativas entre las tres (3) estaciones de aguas pluviales para oxígeno disuelto, temperatura, turbidez y salinidad.

ACRÓNIMOS

CCFD- Control de la Contaminación por Fuentes Dispersas en la Zona Costanera

CZARA- *Coastal Zone Act Reauthorization Amendments*/Enmiendas Reautorizadas a la Ley Federal de Zona Costanera

CWA- Clean Water Act/ Ley Federal de Agua Limpia

DRNA- Departamento de Recursos Naturales y Ambientales

EPA- *Environmental Protection Agency*/ Agencia de Protección Ambiental

FDC- Fuentes Dispersas de Contaminación

JCA- Junta de Calidad Ambiental de Puerto Rico

MAC- *MacConkey Agar*/Agar MacConkey

mg/L- miligramos por litro

µ/L- microgramo por litro/ppm en soluciones diluidas

MM - Medidas de Manejo

MS4- *Municipality Separate Storm Sewer System*/ Sistemas de Alcantarillado Pluvial Separado del Municipio

NOAA- *National Oceanic and Atmospheric Administration*/Administración Nacional Oceánica y Atmosférica

NPDES- National Pollutant Discharge Elimination System

NTU- *Nephelometric Turbidity Unit*/ Unidad nefelométrica de turbidez

NUT-TTC- *Nutrient Agar*/ Triphenyl tetrazoliumchloride/ Agar Nutritivo

ppt- partes por mil

RECA- Reglamento de Estándares de Calidad de Agua

RNCB- Reserva Natural Caño Boquilla

SWMP- *Stormwater Management Program* /Programa de Gestión de Aguas Pluviales

UFC-Unidades formadoras de colonias

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Localización de desagües pluviales (escorrentías) en el área de estudio de la RNCB, Mayagüez, Puerto Rico.....	14
Figura 2.	Precipitación total registrada en la estación del aeropuerto de Mayagüez para el periodo de 1991 al 2020	16
Figura 3.	Localización de las 3 estaciones de muestreo: E1 (Caño Maní), E5 (Pabellón) y E6 (La Mora)	17
Figura 4.	Foto de la Estación E1 (Caño Maní)	18
Figura 5.	Foto de la Estación E5 (Pabellón).....	18
Figura 6 a-b.	Fotos de la Estación E6 (La Mora)	19
Figura 7.	Clave para la enumeración de bacterias en los <i>BioPaddles</i>	23
Figura 8.	Promedio de oxígeno disuelto (OD) para cada estación	29
Figura 9.	Datos de oxígeno disuelto (OD) para las 3 estaciones E1, E5, E6	29
Figura 10.	Promedio de temperatura para cada estación	30
Figura 11.	Promedio de pH para cada estación	31
Figura 12.	Promedio de turbidez para cada estación	32
Figura 13.	Datos de turbidez para las 3 estaciones E1, E5, E6	33
Figura 14.	Promedio de salinidad para cada estación	34
Figura 15.	Datos de cloro total para las 3 estaciones E1, E5, E6	36

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Resultados de parámetros fisicoquímicos determinados en la estación E1 (Caño Maní)	26
Tabla 2.	Resultados de parámetros fisicoquímicos determinados en la estación E5 (Pabellón).....	27
Tabla 3.	Resultados de parámetros fisicoquímicos determinados en la estación E6 (La Mora)	28
Tabla 4.	Coliformes totales (NUT) y patogénicos (MAC) en la estación E1 (Caño Maní)	37
Tabla 5.	Coliformes totales (NUT) y patogénicos (MAC) en la estación E5 (Pabellón)	38
Tabla 6.	Coliformes totales (NUT) y patogénicos (MAC) en la estación E6 (La Mora)	39
Tabla 7.	Valores F y Valores P del ANOVA de los principales parámetros fisicoquímicos determinados en las descargas de escorrentías de las 3 estaciones monitoreadas E1, E5 y E6	40

INTRODUCCIÓN

El recurso agua enfrenta múltiples y constantes amenazas debido a la pérdida de bosques, la contaminación en las cuencas hidrográficas, las descargas de aguas usadas (residuales), la degradación de los acuíferos, el uso excesivo de fertilizantes, la presencia de metales tóxicos y muchos otros impactos antropogénicos, clasificados como fuentes dispersas de contaminación, que afectan gravemente la calidad del agua y la salud del ecosistema acuático (Almazán, et. al, 2016).

Para abordar este tema existen leyes que lo cobijan, como la Ley Federal de Zona Costanera (CZARA, por sus siglas en inglés), que establece que los estados costeros y los territorios como Puerto Rico, que tienen programas federales de manejo de zona costanera, tienen que desarrollar planes para el Control de la Contaminación por Fuentes Dispersas en la Zona Costanera (CCFD) (DRNA, 2019 a). Esta ley fortalece los programas federales y estatales de manejo de la zona costanera y la calidad del agua, con el propósito de hacer un buen manejo de las actividades que afectan las aguas de los humedales y la costa. La Agencia de Protección Ambiental Federal (EPA, por sus siglas en inglés), requiere que se desarrollen medidas de manejo (MM) obligatorias que cumplan con la ley, y medidas adicionales establecidas por Puerto Rico para mantener y sostener los estándares de calidad del agua (DRNA, 2000).

Las fuentes dispersas de contaminación del agua (FDC) son aquellas que no se conoce su origen, provienen principalmente por escorrentías de la lluvia sobre la tierra o a través de esta, como: las escorrentías de estacionamientos, patios de las casas, áreas urbanas, campos agrícolas, y áreas en desarrollo que arrastran contaminantes a los cuerpos

de aguas como: los ríos, lagos, quebradas, humedales, acuíferos, estuarios, playas y océanos. La EPA incluye como contaminantes a los sedimentos, aceite, basura, productos químicos, fertilizantes, pesticidas de jardín y productos tóxicos de vehículos de motor, entre otros, que caen directamente a cuerpos de agua receptores dañando la calidad del agua.

Las descargas de los Sistemas de Alcantarillado Pluvial Separado del Municipio, conocidos como MS4 y regulados por los municipios, son también FDC. Estos sistemas son comúnmente conocidos como desagües pluviales y descargan aguas de escorrentías a la costa. La Ley Federal de Agua Limpia de 1977 (CWA, por sus siglas en inglés) también regula el MS4 para las descargas de los desagües pluviales en los municipios. Estas descargas pueden ocasionar impacto negativo en los ambientes costeros, causando erosión y llevando contaminantes directamente a la costa (DRNA, 2000).

La EPA ha desarrollado el permiso *National Pollution Discharge Elimination System* (NPDES, por sus siglas en inglés) para fiscalizar las descargas que provienen de los MS4. Cada emisor de FDC debe obtener un permiso de descarga (NPDES de Escorrentías) y desarrollar un programa de control para las escorrentías. Este programa de permisos se implementó en dos etapas: Etapa 1 (año 1990) aplica a las ciudades con poblaciones de 100,000 personas o más que debían tener cobertura de un permiso NPDES para descargas de aguas pluviales, y la Etapa 2 (año 1999) que incluye los MS4 pequeños, en áreas urbanizadas y fuera de las áreas urbanizadas.

Cada MS4 municipal debe desarrollar e implementar un programa de gestión de escorrentías (*Stormwater Management Program- SWMP*) para prohibir y reducir la contaminación y las descargas ilegales a la costa, a través de los desagües pluviales.

JUSTIFICACION

En el presente trabajo de investigación evaluamos la calidad del agua de las 3 principales descargas de aguas de escorrentías (descargas pluviales) que llegan a las aguas estuarinas y costeras de la RNCB. Esta información permitiría conocer si estas descargas cumplen con los estándares de calidad de agua de Puerto Rico para aguas estuarinas y costeras, a través de los Sistemas de Alcantarillado Pluvial Separado del Municipio (MS4). Siendo el primer estudio que mide la calidad del agua de las escorrentías que llegan a las aguas de la RNCB y evaluando por vez primera la presencia de cloro total en dichas descargas.

Este estudio brinda a la comunidad en general, información sobre el estado actual y el cumplimiento con el Reglamento de los Estándares de Calidad de Agua establecidos en Puerto Rico para la calidad de agua en estos cuerpos costeros, en especial, la Reserva Natural Caño Boquilla en Mayagüez, Puerto Rico.

OBJETIVOS

- 1- Evaluar los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos de las principales descargas de aguas de escorrentías (descargas pluviales) que llegan a las aguas estuarinas y costeras de la *Reserva Natural Caño Boquilla* en Mayagüez, Puerto Rico, según detallado en el documento MS4 para el Municipio de Mayagüez.
- 2- Determinar cumplimiento de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos de las aguas de escorrentías con los estándares de calidad de agua para aguas estuarinas, según el Reglamento de Estándares de Calidad de Agua de Puerto Rico (DRNA, 2019 b).
- 3- Comparar la calidad del agua en las estaciones monitoreadas y determinar si existen diferencias significativas, estadísticamente, en los parámetros fisicoquímicos estudiados.
- 4- Documentar la presencia de aceite y flotantes (basura) que llegan, a través de las descargas de aguas de escorrentías, a las aguas de la Reserva Natural Caño Boquilla en Mayagüez, Puerto Rico.

REVISIÓN DE LITERATURA

RESERVA NATURAL CAÑO BOQUILLA (RNCB)

La Reserva Natural Caño Boquilla es la primera reserva natural del pueblo de Mayagüez, con una extensión territorial de 193 cuerdas de terreno de dominio público, que se extiende por la zona marítimo terrestre desde el Caño la Puente en Añasco hasta Punta Algarrobo en Mayagüez (frente a las Villas Centroamericanas). La RNCB también incluye una extensión de mar territorial de 9 millas náuticas en la Bahía de Mayagüez. (Mayagüezanos por la Salud y el Ambiente, 2013).

En la RNCB se encuentran extensos bosques de mangles, que brindan protección a la costa, evitando la erosión, y un rodal de árboles de Palo de Pollo llamado por su nombre científico *Pterocarpus officinalis*. Estos árboles son tolerantes a poca salinidad, pueden crecer solos o juntos con otros árboles y arbustos en condiciones salobres, siendo sus raíces hábitat para reproducirse varias especies de peces endémicas del lugar, existen pocos bosques de *Pterocarpus officinalis* en la isla, localizándose uno de estos en la RNCB. La RNCB es utilizado por pescadores de la zona y vecinos para realizar actividades pasivas como la pesca, el kayak, el avistamiento de aves y las caminatas por la costa. (Mayagüezanos por la Salud y el Ambiente, 2013)

LA CALIDAD DE AGUA EN LA RNCB

La calidad del agua se define como las características físicas, químicas y biológicas que se utilizan para determinar su idoneidad (Navarro, 2017). En Puerto Rico, el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA) es la agencia que

actualmente se encarga de implementar el Reglamento de Estándares de Calidad de Agua en Puerto Rico (DRNA, 2019 b). Bajo este reglamento, la RNCB está clasificada como SB, *“Uso y descripción. Las aguas costaneras y aguas estuarinas destinadas para uso en la recreación de contacto primario y secundario, la propagación y el mantenimiento de especies, incluidas las especies amenazadas o en peligro de extinción”*. Bajo la clasificación SB los cuerpos de agua de un estuario deben cumplir con los siguientes estándares:

- a) El oxígeno disuelto no puede ser menor de 5 mg/L, excepto en fenómenos naturales que ocasionen una disminución a ese valor
- b) Para las aguas estuarinas, la temperatura no puede exceder los 30°C

Para el Reglamento de Estándares de Calidad del 2016, la temperatura no podía exceder los 32.2°C (Junta de Calidad Ambiental de Puerto Rico, 2016)
- c) El pH en ningún momento deberá estar fuera del rango de 7.3 a 8.5 unidades, excepto si es alterado por un fenómeno natural
- d) La turbidez no excederá de 10 unidades nefelométricas de turbiedad (NTU), excepto por fenómenos naturales
- e) El fósforo total en aguas estuarinas no excederá 1ppm y para los nitratos no excederá 5 ppm
- f) Para aguas estuarinas, los coliformes totales no excederán 10,000 col por 100 mL (JCA, 2014) y los coliformes fecales (patogénicos) no excederán de 200 col por 100 mL
- g) Las aguas deberán estar libres de aceites y grasas flotantes no derivados del petróleo, así como derivados del petróleo

- h) El cloro en aguas estuarinas, clasificadas como SB, no debe exceder de .0075 mg/L con la finalidad de proteger el cuerpo de agua y que haya propagación y preservación de especies acuáticas o especies que dependen del cuerpo de agua

En el año 2019, Jusino realizó una investigación sobre los cambios geomorfológicos y calidad de agua en los caños que comprenden la RNCB en Mayagüez, Puerto Rico. En dichos caños suelen descargar aguas de escorrentías (Caño Maní, Caño Boquilla y Caño La Puente). Jusino, reportó valores de oxígeno disuelto de 1.5 ppm a 8 ppm. El pH osciló de 7 a 9.0. La salinidad tuvo lecturas de 0 a 30 ppt y la temperatura de 22 a 30 °C. Reportó coliformes totales de 3 a 45 UFC/100mL y coliformes patogénicos de 1 a 47 UFC/100mL, cumpliendo con los estándares establecidos. Reportó un 75% de los muestreos en cumplimiento con el parámetro de fosfatos y un 95% para los nitratos.

ESTUDIOS DE CALIDAD DE AGUA EN ESCORRENTÍAS EN PUERTO RICO

Las aguas de escorrentías son aguas que provienen de la lluvia que cae sobre el terreno y no se infiltra. Estas aguas pasan a través de los desagües pluviales, “*cunetas* o “*saldinés*” y llegan directamente a un cuerpo de agua receptor como: ríos, lagos, quebradas, humedales, acuíferos, estuarios, playas y océanos. Estas aguas son importantes estudiarlas porque llevan contaminantes directamente a los cuerpos receptores sin ningún previo tratamiento.

Sin embargo, según conversación con el Dr. Gustavo Martínez el 12 de abril de 2023, catedrático de la Universidad de Puerto Rico en el Recinto de Mayagüez en el Departamento de Ciencias Agroambientales, relató no haber suficiente información y estudios realizados sobre las escorrentías pluviales que descarguen a un cuerpo de agua en

Puerto Rico (G. Martínez, comunicación personal, 12 de abril de 2023).

Por otro lado, el 23 de abril de 2023, en conversación con personal de Manejo de aguas de escorrentías del Departamento de Desarrollo Económico del Municipio de Mayagüez, el Sr. Jesús Castillo comunicó que el Municipio de Mayagüez está trabajando la iniciativa de adiestrar el personal de manejo de escorrentías para realizar el manejo apropiado de estas aguas (J. Castillo, comunicación personal, 23 de abril de 2023).

OTROS ESTUDIOS DE CALIDAD DE AGUA EN ESCORRENTÍAS

Smith (2001) llevó a cabo un estudio en los desagües pluviales que desembocan en el Río Trinity, Dallas Texas, EE UU. Obtuvo concentraciones de nitratos que fluctuaron de 5 a 6 mg/L, para el pH obtuvo fluctuaciones de 6.21 a 8.64 y la temperatura obtuvo resultados de 11°C a 32 °C. Concluyó que algunos desagües se secan por completo en la época de seca y otros desagües se mantienen con un nivel de agua bajo en la misma época.

Un estudio realizado en Suecia en desagües pluviales de 4 cuencas urbanas, encontraron que el pH estuvo dentro del rango recomendado para la protección de la vida acuática, obtuvieron resultados que oscilaron de 6.9 a 8.4. Estos reportaron para la turbidez resultados de 4 a 735 NTU y para la temperatura obtuvieron valores de 6 a 16°C. También, analizaron los coliformes y obtuvieron resultados de 10 a 80,000 UFC/100 mL (Galfi, et al., 2016). Concluyeron que los coliformes totales se encontraron en los desagües pluviales tanto para época de lluvia como para época de seca.

En un estudio realizado a las aguas pluviales urbanas que llegan a los cuerpos receptores en Juliaca, Perú encontraron alta carga de contaminantes en la red de drenaje pluvial (Alfaro y Apolo, 2011). La temperatura osciló entre 11.4 a 20.3 °C, encontrando

que el aumento de la temperatura se debió a la temperatura ambiente. También analizaron la turbidez obteniendo resultados de 12.76 NTU a 649 NTU, para OD encontraron una variación de 2.76 a 3.83 mg/L, concluyendo que probablemente obtuvieron estos resultados por contaminación orgánica. Para los nitratos obtuvieron valores de 4.8 a 12.30 mg/L y para los fosfatos los resultados fluctuaron de 0.231 a 3.836 mg/L. Para las pruebas biológicas como los coliformes totales obtuvieron valores de 44 a 930 NMP/100 mL y para los coliformes fecales valores de 44 a 750 NMP/100 mL reportando que se encuentran dentro de los parámetros permisibles para diferentes usos, pero no para consumo doméstico con simple desinfección. Para el pH encontraron que es un pH alcalino, obtuvieron resultados de 7.2 a 10.18.

En Edmonton, Alberta, Canadá, Zhang y colaboradores (2018) determinaron la concentración cloro total en los desagües pluviales, y reportaron que los resultados durante el verano 2015 fluctuaron de 0.02 a 0.77 mg/L y para el verano 2016 las concentraciones de cloro fueron más bajas obteniendo resultados de 0 a 0.24mg/L. Concluyeron que posiblemente debido a la mayor precipitación de lluvia en el verano 2016, pudo reducir que las personas usaran agua para el uso doméstico al aire libre, y por lo tanto detectaron menores cantidades en las aguas de escorrentía.

SISTEMAS DE ALCANTARILLADO PLUVIAL SEPARADO DEL MUNICIPIO DE MAYAGÜEZ (MS4)

El área urbanizada de Mayagüez tiene una extensión territorial de 77.63 millas² y una población de 89,080 habitantes para el 2006 (MS4, 2016). El Municipio de Mayagüez opera el “*Municipal Separate Storm Sewer System*” o Sistema Separado de Alcantarillado Municipal (MS4) que incluye los barrios del centro del pueblo, el centro urbano y zonas

rurales desarrolladas dentro del municipio.

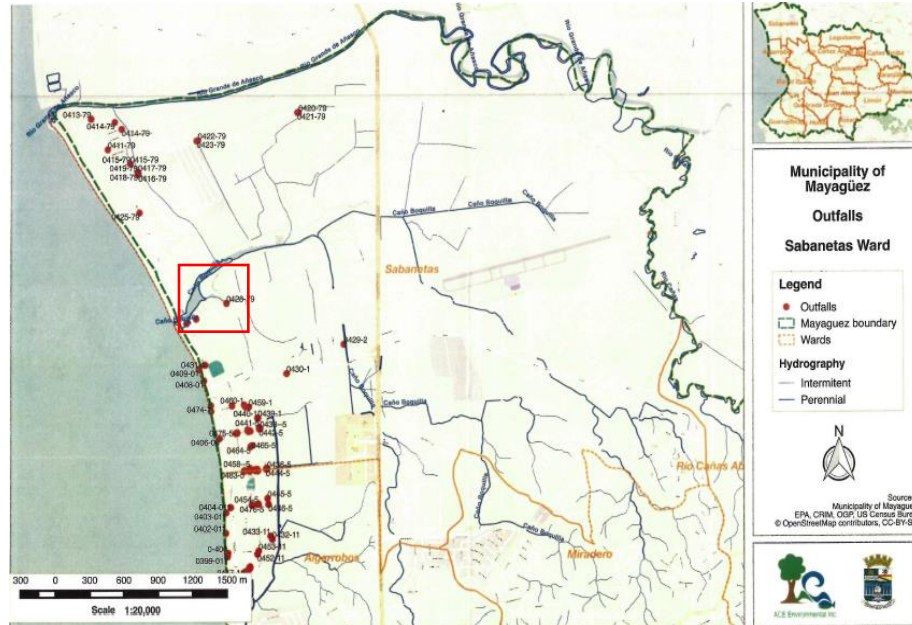


Figura 1. Localización de desagües pluviales (escorrentías) en el área de estudio de la RNCB, Mayagüez, Puerto Rico (cuadro color rojo) imagen tomada de MS4, 2016.

El MS4 en áreas urbanas consiste en alcantarillas ubicadas en las carreteras municipales interconectadas por tuberías subterráneas de hormigón o PVC que normalmente desembocan en ríos y arroyos que descargan en la Bahía de Mayagüez o el Pasaje de La Mona. El MS4 abarca unas 20.93 millas² del área urbanizada de Mayagüez. En las zonas rurales, el MS4 consiste en una serie de canales de hormigón abiertos, conocidos comúnmente como “*cunetas o saldinés*”, interconectados, que corren paralelos a las carreteras municipales y descargan a tierra. Su flujo también llega a los cuerpos de agua superficiales (MS4,2016).

El MS4 tiene 17 cuerpos de agua receptores identificados, de los cuales solo el Río Yágüez, tiene 66 desagües pluviales que han sido monitoreados (MS4, 2016). El sistema de alcantarillado pluvial de Mayagüez descarga principalmente en el Río Yagüez, Río Hondo, Quebrada del Oro, Caño Llavat, Quebrada Pulida, Quebrada Guifen, Quebrada

Maga, Caño Boquilla, Caño Majagual y Caño Merle. Estos cuerpos de agua descargan a la bahía de Mayagüez y algunas escorrentías descargan directamente a la Bahía de Mayagüez (Figura 1).

En la Figura 1 se incluye el mapa de la infraestructura del *Municipal Separate Storm Sewer System*” o Sistema Separado de Alcantarillado Municipal (MS4), correspondiente al Barrio Sabanetas donde se localiza la RNCB, y en el mismo se identifican 12 desagües pluviales que descargan directa e indirectamente a la RNCB, los cuales no han sido monitoreados al presente. El MS4 informa los posibles contaminantes que se pueden encontrar en el Caño Boquilla, según la lista de contaminantes 303d del Acta de Aguas Limpias (CWA) por sus siglas en inglés, según provisto por la Agencia de Protección Ambiental (EPA, 2016).

Para la RNCB, los contaminantes que pueden estar causando problemas de calidad de agua son: **el oxígeno disuelto, la turbidez y los surfactantes** (MS4,2016). El oxígeno disuelto es la cantidad de oxígeno disponible en el agua para que ocurran las actividades bioquímicas (JCA, 2010 y DRNA, 2019 b). La turbidez es la medida de la transparencia del agua debido a la presencia de partículas en suspensión (Navarro, A.J., 2017). Los surfactantes son definidos como una sustancia que reduce la tensión superficial de un líquido y que sirve como agente humectante (detergentes y jabones para uso doméstico) (Pérez, 2014).

En Puerto Rico, históricamente, hay 2 periodos que predominan el clima en la isla: 1- periodo o época de lluvia para los meses de abril a noviembre, y 2- periodo o época de seca para los meses de diciembre a marzo. En la Figura 2 se muestra la precipitación total registrada, para los últimos 20 años, en la estación del aeropuerto Eugenio María de Hostos

en Mayagüez, cuyas coordenadas son 18.255374 - 67.148454, es la estación más cercana a la RNCB. Los meses de mayor precipitación han sido julio y septiembre y los meses de menor precipitación enero y febrero (NOAA, 2022). La lluvia merma significativamente durante los meses de diciembre a abril y los periodos de sequía comienzan a observarse durante los meses de abril, mayo y puede extenderse hasta agosto, (NOAA, 2022).

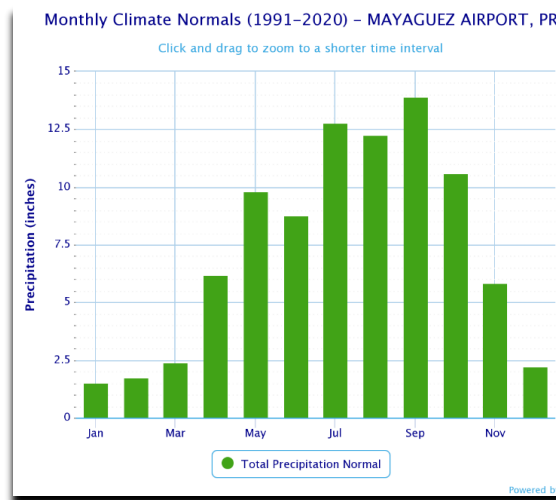


Figura 2. Precipitación total registrada en la estación del aeropuerto de Mayagüez para el periodo de 1991 al 2020 (http://www.weather.gov/images/sju/Interactive_Map/Mayaguez_Airport.png imagen obtenida el 18-noviembre-2022)

Dada la importancia ecológica de la RNCB y el posible impacto que pueden tener las aguas de escorrentía en la misma, esta investigación monitoreó la calidad del agua de las escorrentías que incluyó la época seca y la época lluviosa para Puerto Rico.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente trabajo de investigación se determinaron los parámetros fisicoquímicos y biológicos, la presencia de material flotante, aceite y cloro total en 3 de las estaciones de mayor volumen de descargas de aguas de escorrentías (pluviales) al área costera de la RNCB, según el MS4 del Municipio de Mayagüez (Figura 3).

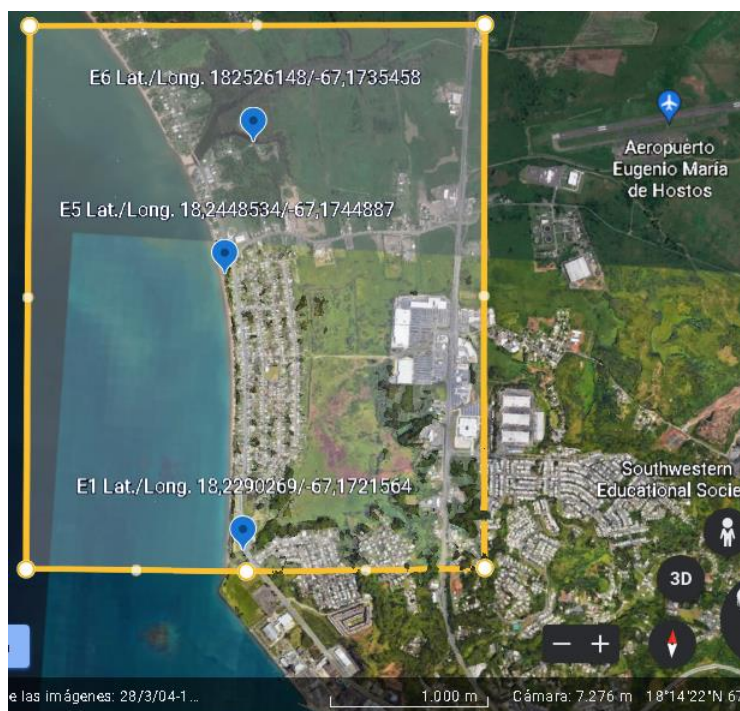


Figura 3. Localización de las 3 estaciones de muestreo: E1 (Caño Maní), E5 (Pabellón) y E6 (La Mora) (<https://earth.google.com/imagen>)

Descripción de las estaciones de muestreo

La Estación E1 se localiza en el Caño Maní, en la carretera PR-64, kilómetro 2.3, frente a la Urbanización Quinto Centenario (Figura 4). Durante la investigación, la Estación E1 se mantuvo siempre con agua y emanaba un olor desagradable. Se observó en esta estación grandes cantidades de desperdicios sólidos. La Estación E5 (Figura 5) se

localiza en la carretera PR-64, kilómetro 3.9, cerca del Pabellón de Boxeo en el Barrio Sabanetas-Maní y el 50% del tiempo se mantuvo seca, sin agua pluvial (escorrentías). La Estación E6 (Figura 6) se localiza en la carretera PR- 64, kilómetro 0.5, interior, en el sector La Mora. Esta Estación es la más cercana al Caño Boquilla y tiene a su alrededor varias residencias. La misma se mantuvo todo el tiempo recibiendo agua pluvial (escorrentías) de las partes altas del Caño.



Figura 4. Foto de la Estación E1(Caño Maní)



Figura 5. Foto de la Estación E5 (Pabellón)



Figura 6 a-b. Fotos de la Estación E6 (La Mora)

Las 3 estaciones de muestreos fueron escogidas por su fácil acceso para llegar al lugar, por su localización y por ser las de mayores descargas de aguas pluviales y su diferencia del entorno que les rodea. Las estaciones E1 y E5 se ubican en áreas urbanizadas cercanas a la costa y la estación E6 está más cercana al Caño Boquilla, la más aislada y a su alrededor se encuentran árboles, mangle, flora y fauna.

Según el MS4 de Mayagüez, el oxígeno disuelto y la turbidez son dos de los contaminantes más comunes de las descargas de aguas de esorrentías que llegan a los ecosistemas costeros de la RNCB.

Colección de las muestras de agua

Semanalmente se colectaron muestras de agua superficial, utilizando guantes de nitrilo, en envases plásticos reusables de 120 ml (4.0 onzas), previamente lavados con agua destilada e identificados con el número de la estación (E1, E5 y E6) correspondiente a cada desagüe pluvial. Las muestras de agua se colocaron en una nevera con hielo y transportadas al laboratorio para su respectivo análisis (dentro del período de las 6 horas de recolección de cada muestra). La investigación se llevó a cabo durante el periodo de octubre 2020 a marzo 2021 (23 semanas) y se colectaron un total de 110 muestras de agua para análisis.

Determinación de Parámetros Fisicoquímicos

a. Oxígeno Disuelto, Temperatura, pH

La determinación de oxígeno disuelto (OD) en mg/L, temperatura (T) en °C y pH se realizó en el lugar de muestreo, utilizando un multímetro modelo HQ 40d portable multi 10/2017, Edición 6, marca HACH. Para la medición de oxígeno disuelto se colocó el electrodo primeramente a leer aire a temperatura ambiente para calibrarlo al cero y luego se procedió a tomar la muestra in situ. Para determinar el pH, el electrodo se colocó en el agua, y se realizó la medida. Previo a cada medición se verificó la calibración con solución amortiguadora de buffers para pH 4, 7 y 10. Este equipo es calibrado por una compañía externa contratada por la AAA y tiene una validez de seis meses de calibración.

b. Turbidez

Para medir la turbidez, o la presencia de sedimentos en el agua, se utilizó un turbidímetro 2100Q Marca HACH con celdas de cristal, serie 2100, donde se colocó la muestra de agua y se midió turbidez en Unidad Nefelométrica de turbidez (NTU). Para verificar la calibración del equipo se utilizó estándares secundarios de turbidez. Este equipo es calibrado por una compañía externa contratada por la AAA y tiene una validez de tres meses de calibración.

c. Nutrientes (Nitratos y Fosfatos)

Se utilizó el *Earth Force® Low Cost Estuary and Marine Monitoring Kit*, code 591, de la compañía *LaMotte*, para determinar presencia de nitratos y fosfatos (mg/L) en las muestras de agua, utilizando los reactivos Nitrate CTA TestTabs # 3703A y Phosphorus Tablets # 5422A-J, Lot #08219-C. (Jusino, 2019) (Lamotte, 2020) siguiendo las instrucciones del fabricante (Lamotte,2020).

d. Cloro Total

Para determinar la presencia de cloro total en las muestras de agua, se utilizó un *Pocket Colorimeter* II04/2014, Edición 1 marca HACH. Se aplicó un reactivo DPD Total (M00110-F10, A6327, HACH), el cual se torna color rosado ante la presencia de cloro (Clesceri et al,1998). Se calibró el equipo a cero con una muestra de 10 ml de agua, sin el reactivo, se descartó esa solución y se extrajo 10 ml de muestra, se le añadió el reactivo (DPD Total) y se agitó por 20 segundos. Se colocó la muestra en el equipo y se procedió anotar el valor medido (Clesceri et al,1998).

e. Salinidad

Para determinar la salinidad se utilizó un “*Salinity Refractometer*” marca *Vitalsine Code 5-0020Model SR-6(7)* de la compañía *LaMotte*. El instrumento se calibró a cero partes por mil (0 ppt) con agua destilada. Luego, se colocaron 3 gotas de las muestras a analizarse en el área de la muestra y se procedió a leer el valor en partes por mil (ppt) (Jusino, 2019) (Lamotte, 2020) siguiendo las instrucciones del fabricante.

Para todos los análisis fisicoquímicos se utilizó agua destilada como control o blanco para mantener la validación de los datos del instrumento o prueba química. Los datos obtenidos de cada una de las mediciones de los parámetros fisicoquímicos se organizaron en una matriz de datos para posteriormente llevar a cabo el análisis estadístico.

De manera visual en cada estación, durante la colección de cada muestra, se observó si había presencia de aceites y materiales flotantes (basura) en el desagüe pluvial.

Determinación de Parámetros Biológicos

Para el análisis bacteriológico de abundancia de coliformes totales y patogénicos se utilizaron las *BioPaddles*® Code 5553 (LaMotte, 2020). Estos contienen una paleta en un frasco con 2 agares: Agar Nutriente (NUC-TTC) y Agar MacConkey (MAC) (NUC-TTC/MAC) que promueven el cultivo, y diferenciación de bacilos Gram negativos (G-). El agar Nutriente es de color amarillo siendo un medio no selectivo y favorable para variedad de organismos. En este medio puede crecer microorganismos aerobios como anaerobios y se usa para identificar bacterias coliformes aerobias, ya que tienen la capacidad de reducir el Tinte de cloruro de 2,3,5-Trifeniltetrazolio a tinte de color rojo. (Lamotte, 2020) (Jusino, 2019).

El agar MacConkey (MAC) es un medio selectivo y diferencial, usado para diferenciar bacterias Gram negativas, así inhibiendo el crecimiento de bacterias Gram positivas. Este medio diferencia coliformes fermentadores de lactosa y no fermentadores de lactosa y patógenos potenciales (Lamotte, 2020) (Jusino, 2019). Cuando hay crecimiento de colonias rosa rojizo, indica que hay presencia de microorganismos que fermentan lactosa. El crecimiento incoloro de colonias en este medio indica que hay presencia de organismos que no fermentan lactosa. (Lamotte, 2020) (Jusino, 2019).

Para su uso, se siguió el procedimiento descrito por la compañía fabricante, *LaMotte*, que se resume a continuación:

- 1) Se removió la paleta del frasco que contiene el agar MacConkey y Nutriente (es importante no tocar la superficie de los agares)
- 2) Se llenó el frasco con 40 ml de la muestra de agua a analizarse
- 3) Se introdujo la paleta de agares en el agua de muestreo y se dejó por 30 segundos

de contacto

4) Se removió la paleta y se vació el frasco

5) Se colocó la paleta en el frasco vacío y se transportó en una nevera con hielo hasta colocarlas en la incubadora portátil marca HHD a 37°C por 24 horas

Para corroborar la temperatura dentro de la incubadora se utilizó un termómetro “armored” (código 1066) *LaMotte* (Jusino, 2019).

Al finalizar el procedimiento, se dispuso de las paletas de agar de la siguiente manera: se añadió 40 mL de Hipoclorito de Sodio (cloro doméstico) a cada una de las paletas, por 15 minutos de contacto. Luego, se retiró la paleta y se desechó la solución, se colocó la paleta en el frasco y se descartó, según recomendado por el fabricante.

Para seguridad y protección personal se utilizaron guantes de nitrilo para realizar la contabilización de unidades formadoras de colonias (UFC) en los *BioPaddles*®. Se utilizó una lupa y una linterna (*Craftzman Recargable Wor Light*) para facilitar la observación y contabilización de las UFC. También se utilizó la tabla de enumeración *BioPaddles*® (Figura 7).

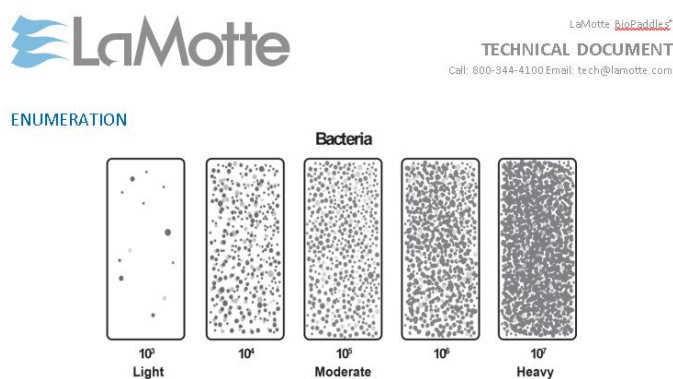


Figura 7. Clave para la enumeración de bacterias en los *BioPaddles* (Imagen tomada de documento técnico Lamotte, 2020)

También, se realizó un conteo de unidades formadoras de colonias (UFC) en los agares Mac Conkey y TTN (Nutriente). Se contabilizaron las colonias con una lupa y la lámpara para facilitar el conteo. En adición, se utilizó una conversión de número de colonias por 100 mL en aquellas muestras que, a simple vista, se pudo hacer conteo de unidades formadoras de colonias. La cantidad de colonias contadas en 40 mL se multiplicó por 2.5 para obtener un estimado de UFC en 100 mL. Los datos se compararon de manera cuantitativa, de UFC en aquellas muestras donde se pudo hacer el conteo visual. Se utilizó como referencia el Reglamento de Estándares de Calidad de Agua de Puerto Rico (JCA, 2014).

RESULTADOS Y DISCUSION

En la presente sección presentaremos los resultados de los parámetros de calidad de agua obtenidos en cada una de las estaciones monitoreadas y haremos una comparación entre estas. Para cada estación se determinó el porcentaje de cumplimiento o de incumplimiento con el Reglamento de Estándares de Calidad de Agua de Puerto Rico, según aprobado por el Departamento de Estado de Puerto Rico, Reglamento número 9079 del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA, 2019 b).

Estación E1 (Caño Maní)

La Tabla 1 contiene los valores de los parámetros fisicoquímicos medidos para la estación E1 (Caño Maní). El porcentaje de cumplimiento de la descarga de escorrentía con los estándares de calidad de agua según el Reglamento del 2019 (DRNA) fue de un 100% para los parámetros de temperatura, nitratos, fosfatos y salinidad. Para los demás parámetros, el 78.3% de las muestras no cumplieron con el estándar para pH, el 34.79% de las muestras no cumplieron para turbidez, y todas las muestras tuvieron oxígeno disuelto y cloro total por encima de lo recomendado en los estándares de calidad de agua para aguas SB.

Estación E5 (Pabellón)

La Tabla 2 contiene los valores de los parámetros fisicoquímicos medidos para la estación E5 (Pabellón). El porcentaje de cumplimiento de la descarga con los estándares de calidad de agua según Reglamento del 2019 (DRNA) fue de un 100% para los parámetros de temperatura, pH, salinidad y nitratos. Para los demás parámetros, el porcentaje de muestras que cumplieron con los estándares de calidad de agua para aguas SB

fue de: OD (33%), fosfato (89.90 %) y cloro (0%).

Tabla 1. Resultados de parámetros fisicoquímicos determinados en la estación E1 (Caño Maní)

MUESTREO	FECHA	(OD) Oxígeno Disuelto (≥ 5mg/L)	Temp. (≤ 30 °C)	pH (7.3-8.5)	Turbidez (≤ 10NTU)	Salinidad (0-35ppt)	Nitratos (≤ 5ppm)	Fosfatos (≤ 1ppm)	Aceite Si/No	Cloro (≤ .0075 mg/L)	Flotantes A/P/N
1	10/10/2020	0.29	26.65	7.93	14.90	1.00	0.00	1.00	NO	> 4.00	A,P
2	10/16/2020	2.97	26.90	7.83	11.35	3.50	0.00	1.00	NO	> 4.00	A,P
3	10/23/2020	3.16	29.40	7.42	5.56	21.00	0.00	1.00	SI	0.23	A,P
4	10/30/2020	0.64	27.85	6.96	39.13	4.50	0.00	1.00	NO	> 4.00	A,P
5	11/6/2020	0.22	28.25	7.01	10.87	5.00	0.00	1.00	NO	0.15	A,P
6	11/12/2020	0.26	27.65	7.61	15.51	2.00	0.00	1.00	NO	> 4.00	A,P
7	11/20/2020	0.72	28.25	7.40	30.23	2.50	0.00	1.00	NO	0.28	A,P
8	11/26/2020	0.67	25.70	7.16	9.76	4.00	0.00	1.00	NO	0.23	A,P
9	12/4/2020	1.41	24.25	7.48	8.02	3.50	0.00	1.00	NO	0.12	A,P
10	12/11/2020	0.34	25.10	8.59	6.91	5.00	0.00	1.00	NO	> 4.00	A,P
11	12/19/2020	1.12	28.30	7.49	13.60	3.50	0.00	1.00	NO	0.31	A,P
12	1/8/2021	2.48	25.80	7.50	7.80	6.00	0.00	0.00	NO	0.12	A,P
13	1/15/2021	2.25	25.10	8.91	4.24	6.00	0.00	0.00	NO	0.02	A,P
14	1/22/2021	1.64	24.25	7.76	4.41	5.00	0.00	1.00	NO	> 4.00	A,P
15	1/29/2021	1.39	24.00	7.50	5.60	0.50	0.00	N/D	NO	0.36	A,P
16	2/5/2021	1.22	27.05	7.49	16.80	0.00	N/D	N/D	NO	0.07	A,P
17	2/12/2021	2.02	23.70	7.62	22.70	0.00	0.00	0.50	NO	0.06	A,P
18	2/19/2021	0.54	24.90	7.38	10.66	3.50	0.00	0.50	NO	0.03	A,P
19	2/26/2021	1.12	23.65	7.56	13.95	4.50	0.00	0.00	NO	0.17	A,P
20	3/5/2021	0.89	22.45	7.61	13.30	5.00	0.00	0.00	NO	0.03	A,P
21	3/12/2021	0.74	24.65	7.58	14.95	0.00	0.00	0.00	NO	> 4.00	A,P
22	3/19/2021	1.65	28.00	7.71	17.40	1.00	0.00	0.50	NO	0.02	A,P
23	3/26/2021	0.30	25.90	7.41	14.35	1.00	0.00	1.00	No	0.04	A,P

No cumple con los estándares de calidad de agua de Puerto Rico (DRNA, 2019) OD (100 %), pH (21.7 %), Turbidez (65.21 %) y Cloro (100 %) en las muestras

P= plástico

A= aluminio, latas, material vegetativo, etc...

N= ninguno (área limpia)

N/D = no data

Estación E6 (La Mora)

La Tabla 3 contiene los valores de los parámetros fisicoquímicos medidos en la estación E6 (La Mora). El porcentaje de cumplimiento de la descarga con los estándares de calidad de agua según Reglamento del 2019 (DRNA) fue de un 100% para los parámetros de salinidad, nitratos y fosfatos. Para los demás parámetros, el porciento de cumplimiento con los estándares de calidad de agua para aguas SB fue de: OD (17.4%), pH (74%), turbidez (82.60%) y la temperatura que cumplió 100% con el estándar de (JCA, 2016) pero en un 86.96% para el estándar de (DRNA, 2019 b).

Tabla 2 . Resultados de parámetros físicoquímicos determinados en la estación E5 (Pabellón)

MUESTREO	FECHA	(OD) Oxígeno Disuelto	Temp.	pH	Turbidez	Salinidad	Nitratos	Fosfatos	Aceite	Cloro	Flotantes
	Estándar	(≥ 5mg/L)	(≤ 30 ° C)	(7.3-8.5)	≤ 10NTU	(0-35ppt)	(≤ 5ppm)	(≤ 1ppm)	Si/No	(≤ .0075 mg/L)	A/P/N
1	10/10/2020	3.2	29.2	8.3	2.1	3.5	0.0	1.0	SI	> 4.00	P
2	10/16/2020	7.2	29.5	8.0	3.3	30.0	0.0	1.0	NO	> 4.00	P
3	10/23/2020	4.1	27.0	7.9	5.3	34.0	0.0	1.5	NO	> 4.00	A
4	10/30/2020	0.4	26.9	7.7	8.8	0.0	0.0	0.5	NO	0.31	P
5	11/6/2020	3.9	26.7	7.8	26.6	4.0	0.0	1.0	NO	0.02	P
6	11/12/2020	7.8	26.9	8.3	7.3	28.0	0.0	1.0	NO	0.03	A
7	11/20/2020	4.4	28.1	8.1	35.9	9.0	0.0	1.0	NO	0.06	A
8	11/26/2020	2.1	25.6	8.4	9.7	0.0	0.0	1.0	NO	> 4.00	N
9	12/4/2020	NO HUBO PRESENCIA DE ESCORRENTIAS									N
10	12/11/2020	6.9	24.3	8.1	10.4	34.0	0.0	0.5	NO	> 4.00	P
11	12/19/2020	NO HUBO PRESENCIA DE ESCORRENTIAS									A,P
12	1/8/2021										A,P
13	1/15/2021										A,P
14	1/22/2021										A
15	1/29/2021										A
16	2/5/2021										A
17	2/12/2021										A
18	2/19/2021										A
19	2/26/2021										A,P
20	3/5/2021										A,P
21	3/12/2021										A,P
22	3/19/2021										P
23	3/23/2021										A

No cumple con los estándares de calidad de agua de Puerto Rico (DRNA,2019) OD (67%), Turbidez (33.3 %) y Cloro (100%) en las muestras

A= aluminio, latas, material vegetativo, etc...

N= ninguno (área limpia)

N/D = no data

COMPARACION DE LAS TRES ESTACIONES MONITOREADAS

Las 3 estaciones estudiadas se diferencian entre sí por su localidad y alrededores.

Las estaciones E1(Caño Maní) y E5 (Pabellón) quedan cerca de la carretera principal 64 y la E6 (la Mora) es la más distante en un lugar más apartado con más vegetación a su alrededor. La estación E5 (Pabellón) se mantuvo, aproximadamente el 50% del tiempo, sin descargas de aguas de escorrentías, coincidiendo con la época seca en Puerto Rico (enero, febrero, marzo y diciembre) (Figura 5). También, coincidiendo con entrevista realizada al Dr. Gustavo Martínez, Catedrático de la Universidad de Puerto Rico en el Recinto de Mayagüez en el Departamento de Ciencias Agrícolas, el 12 de abril de 2023, quien afirma que no se espera recibir aguas receptoras en los desagües en época seca.

Tabla 3. Resultados de parámetros físicoquímicos determinados en la estación E6 (La Mora)

Muestreo	FECHA	(OD) Oxígeno Disuelto	Temp.	pH	Turbidez	Salinidad	Nitratos	Fosfatos	Aceite	Cloro	Flotantes
	Estándar	(≥ 5mg/L)	(≤ 30 °C)	(7.3-8.5)	(≤ 10NTU)	(0-35ppt)	(≤ 5ppm)	(≤ 1ppm)	Si/No	(≤ .0075 mg/L)	A/P/N
1	10/10/2020	0.92	26.85	7.55	9.99	1.50	0.00	1.00	NO	> 4.00	N
2	10/16/2020	3.26	32.00	7.17	10.65	11.00	0.00	1.00	NO	> 4.00	N
3	10/23/2020	4.51	31.85	7.34	8.79	13.50	0.00	1.00	NO	0.02	N
4	10/30/2020	1.07	30.60	7.18	14.69	7.50	0.00	1.00	NO	0.11	N
5	11/6/2020	1.60	26.00	7.25	9.52	4.00	0.00	1.00	NO	0.28	N
6	11/12/2020	0.78	26.30	7.58	7.44	2.50	0.00	1.00	NO	0.03	N
7	11/20/2020	1.68	25.40	7.29	11.53	1.50	0.00	1.00	NO	> 4.00	N
8	11/26/2020	2.15	28.15	7.30	3.65	4.00	0.00	1.00	NO	0.16	N
9	12/4/2020	0.89	26.60	7.34	8.68	12.50	0.00	1.00	NO	> 4.00	N
10	12/11/2020	3.08	28.15	8.54	8.01	9.00	0.00	1.00	NO	0.34	N
11	12/19/2020	1.43	28.00	7.53	4.35	13.00	0.00	0.00	NO	> 4.00	N
12	1/8/2021	7.91	27.70	10.58	3.84	11.00	0.00	0.00	SI	0.14	N
13	1/15/2021	2.89	27.90	8.31	1.86	16.50	0.00	0.00	NO	0.00	N
14	1/22/2021	4.88	26.35	10.52	1.76	17.00	0.00	0.50	NO	> 4.00	N
15	1/29/2021	5.20	26.00	7.54	1.32	13.00	0.00	0.50	NO	> 4.00	N
16	2/5/2021	5.71	27.00	7.55	3.53	9.00	N/D	N/D	NO	> 4.00	N
17	2/12/2021	1.77	24.60	7.21	3.50	10.50	0.00	0.50	SI	0.03	N
18	2/19/2021	4.37	25.30	7.42	1.54	10.50	0.00	1.00	NO	0.04	N
19	2/26/2021	4.37	24.85	7.54	1.84	10.50	0.00	0.00	NO	0.06	N
20	3/5/2021	4.07	25.95	7.57	2.01	13.00	0.00	0.00	NO	0.03	N
21	3/12/2021	4.61	27.20	7.55	1.51	10.00	0.00	1.00	NO	> 4.00	N
22	3/19/2021	7.14	29.50	7.59	1.97	16.00	0.00	1.00	NO	0.07	A
23	3/26/2021	3.58	29.55	7.27	11.98	6.50	0.00	1.00	No	0.05	N

No cumple con los estándares de calidad de agua de Puert Rico (DRNA,2019) OD (82.6%), pH (26 %), Turbidez (17.3%) y Cloro (100%) en las muestras

Temperatura en cumplimiento reglamento JCA, 2016

P= plástico

A= aluminio, latas, material vegetativo,etc...

N= ninguno (área limpia)

N/D = no data

Sin embargo, las estaciones E6 (La Mora) y E1 (Caño Maní), estuvieron recibiendo aguas de escorrentías durante ambas épocas, seca y lluviosa (Tablas 1, 2, y 3, respectivamente).

El oxígeno disuelto en la descarga de escorrentías no cumplió en la mayoría de las muestras con los estándares regulados para la calidad del agua en aguas tipo SB (estuarinas), en general manteniéndose los valores por debajo del estándar regulado (5 mg/L) en las 3 estaciones monitoreadas, apoyando la información que brinda el MS4 del pueblo de Mayagüez, sobre las posibles causas de no cumplimiento ambiental de las escorrentías (Figura 8 y 9). En la estación E1 (Caño Maní) ninguna de las muestras cumplió para época de lluvia y época seca, en la estación E5 (Pabellón) sólo 3 de las muestras

cumplieron en época de lluvia y para la estación E6 (La Mora) sólo 4 de las muestras cumplieron para la época de seca.

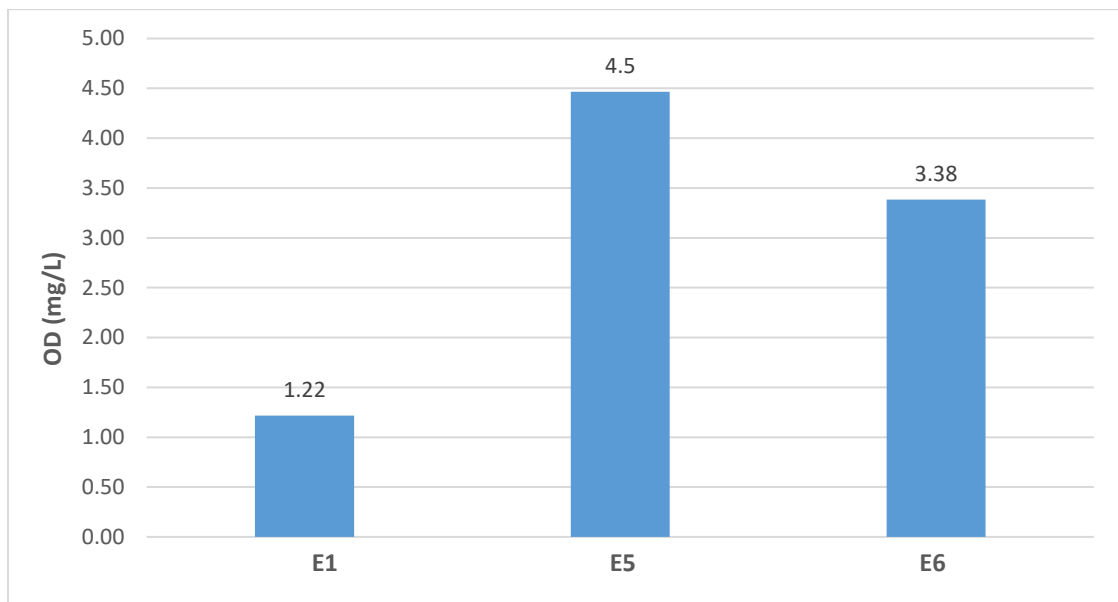


Figura 8. Promedio de oxígeno disuelto (OD) para cada estación

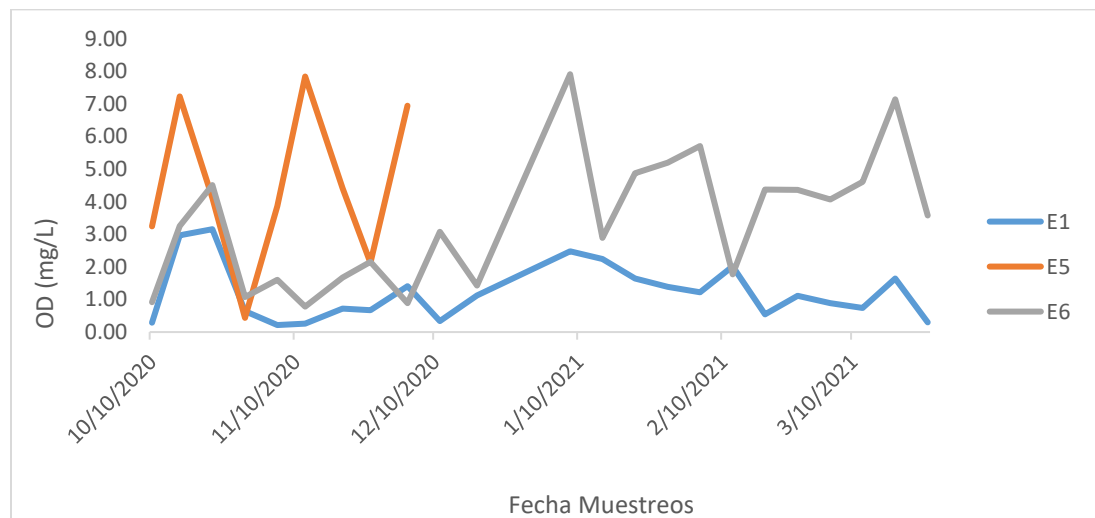


Figura 9. Datos de oxígeno disuelto (OD) para las 3 estaciones E1, E5, E6

El promedio de OD (Figura 8) en las 3 estaciones en la mayoría de las muestras estuvo por debajo de 5 mg/L, por lo que las aguas de escorrentías que llegan a la RNCB no

cumplen con el OD adecuado para mantener los procesos metabólicos básicos de la mayoría de las plantas y animales que habitan en el sistema estuarino y para la salud del ecosistema. Una reducción de oxígeno disuelto es una situación que puede ocurrir como resultado de contaminación de nutrientes y producción excesiva de fitoplancton (Navarro, A.J., 2017). Estos resultados coinciden con los resultados encontrados en la calidad de agua de Caño Maní, Caño Boquilla y Caño La Puente obtuvieron valores de 1.5 a 8 mg/L para el oxígeno disuelto (Jusino,2019). También, coinciden con el estudio realizado a las aguas pluviales urbanas en Juliaca, Perú que obtuvieron resultados de 2.76 a 3.83 mg/L.

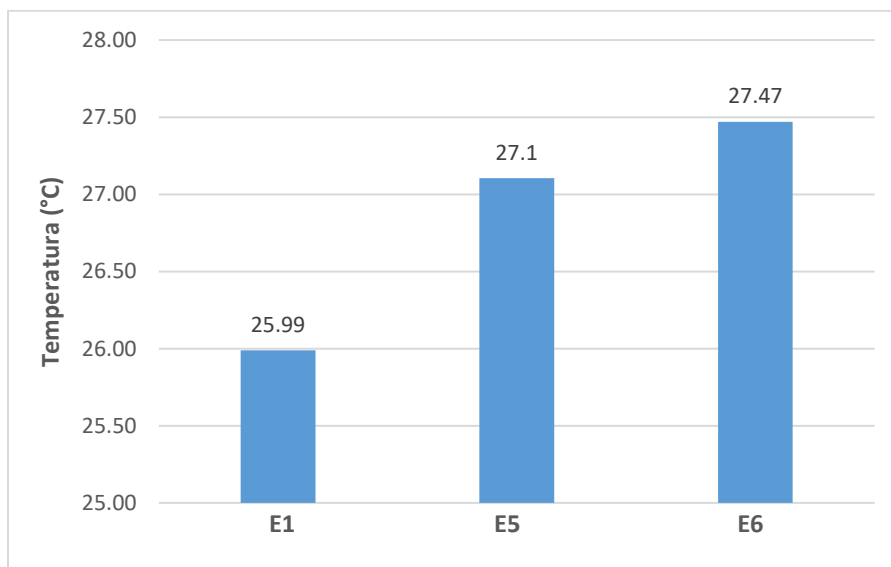


Figura 10. Promedio de temperatura para cada estación

El promedio para la temperatura en las 3 estaciones fue de 25.99, 27.1 y 27.47 ° C respectivamente (Figura 10), cumpliendo con lo establecido en la reglamentación, lo que nos indica que la temperatura de las escorrentías que llegan a la RNCB favorece la fotosíntesis, la reproducción, y el buen metabolismo para organismos acuáticos. La estación E1 (Caño Maní) fue la que registro el menor valor de temperatura para la época de seca y la estación E6 (La Mora) fue la estación que mayor temperatura registró en la

época lluviosa. No se evidenció que haya descargas de aguas calientes o frías en los desagües pluviales. Estos resultados son similares a los resultados encontrados en la calidad de agua de Caño Maní, Caño Boquilla y Caño La Puente obtuvieron valores de 22 a 30 °C (Jusino,2019). Estos resultados no se pueden comparar con los resultados obtenidos para la temperatura de 11.4 a 20.3 °C en Juliaca, Perú (Alfaro y Apolo, 2011) y para el estudio realizado por (Smith, 2001) a los desagües al Rio Trinity en Dallas, Texas donde encontró que la temperatura fluctuó de 11°C a 32 °C ambos estudios fueron realizados en zonas templadas, debido a la ubicación geográfica de cada lugar de muestreo no se puede comparar con este trabajo de investigación, sin embargo ellos concluyen que la temperatura del agua de escorrentías simula la temperatura ambiental. También, los resultados obtenidos en este estudio para la temperatura están dentro de la temperatura ambiental que fluctuó de 22.89 a 28.17 °C para Mayagüez durante el periodo de muestreo (Urb. Paseo Los Robles- IMAYAG4, 2023).

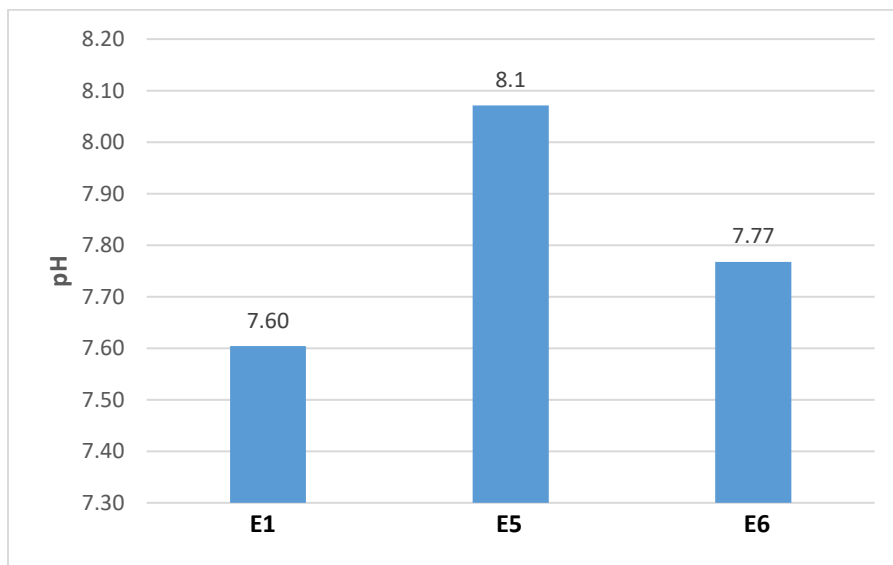


Figura 11. Promedio de pH para cada estación

En nuestro estudio se encontró que el pH en las tres estaciones estudiadas obtuvo un promedio de 7.6, 7.7, 8.1, cumpliendo con los estándares establecidos (DRNA, 2019 b) y siendo este un pH alcalino, fue uno de los parámetros que menos fluctuaciones observamos durante el periodo de estudio para la época de lluvia y época de seca (Figura 11). Estos resultados coinciden con los resultados de un pH alcalino en la calidad de las aguas pluviales en Juliaca, Perú (Alfaro y Apolo, 2011). Al igual para estudio realizado en Suecia por (H. Galfi et al. 2016) obtuvieron valores de pH 6.9 a 8.2. En estudio realizado a los desagües pluviales que descargan al Río Trinity en Dallas, Texas encontraron valores de 6.21 a 8.64 similares a los encontrados en nuestro estudio (Smith, 2001). También, estos resultados coinciden con los resultados obtenidos en la calidad de agua de Caño Maní, Caño Boquilla y Caño La Puente obtuvieron valores de 7 a 9.0 (Jusino, 2019).

En las Figuras 12 y 13 se presenta los valores de turbidez en las 3 estaciones, para cada muestreo, donde se observa que, en la época de lluvia como la época seca, la mayoría de las muestras excedieron lo establecido en la reglamentación (DRNA, 2019 b).

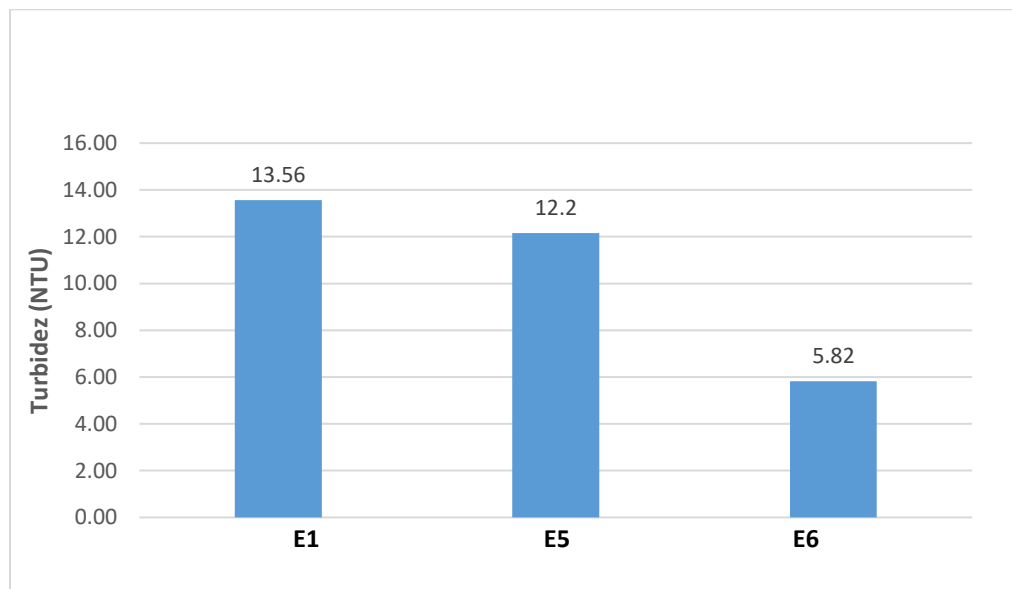


Figura. 12 Promedio de turbidez para cada estación

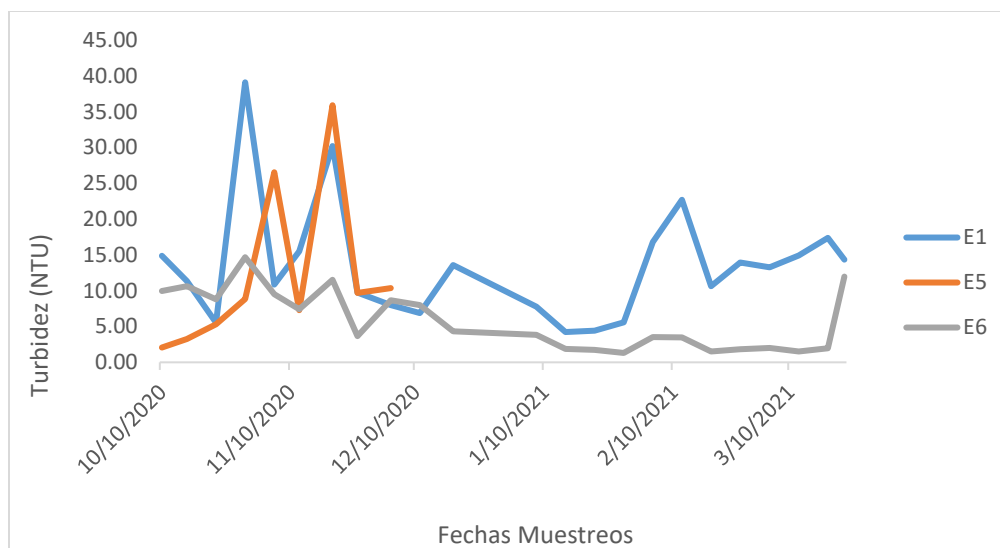


Figura 13. Datos de turbidez para las 3 estaciones E1, E5, E6

Observándose que la escorrentía proveniente de los desagües pluviales durante su recorrido recoge partículas de sedimentación causando erosión. Esto puede afectar la fotosíntesis en el ecosistema ya que limita el paso de la luz solar. También, disminuye los niveles de oxígeno en el agua y puede afectarse la vida acuática en el ecosistema del estuario. Estos resultados se salieron del estándar al igual que los resultados obtenidos en Juliaca, Perú. (Apolo y Alfaro, 2011). También coinciden con los resultados obtenidos en el estudio a desagües pluviales de 4 cuencas en Suecia donde los valores fluctuaron entre 4 a 735 NTU (Galfi et al, 2016).

Los valores de salinidad para las 3 estaciones estudiadas cumplieron con lo establecido en la reglamentación del DRNA (2019) (Figura 14). Sin embargo, en la Estación E5 (Pabellón) se registró mayor salinidad durante los muestreos realizados en comparación con la estación E1 (Caño Maní) y la estación E6 (La Mora). Esto se debe a que este desagüe pluvial recibió agua salina cuando la marea subía ya que su localización queda frente a la costa. Estos resultados coinciden con los resultados encontrados en el

estudio de calidad de agua a los Caños Maní, Caño Boquilla y Caño la Puente que fluctuaron de 0 a 30 ppt (Jusino, 2019).

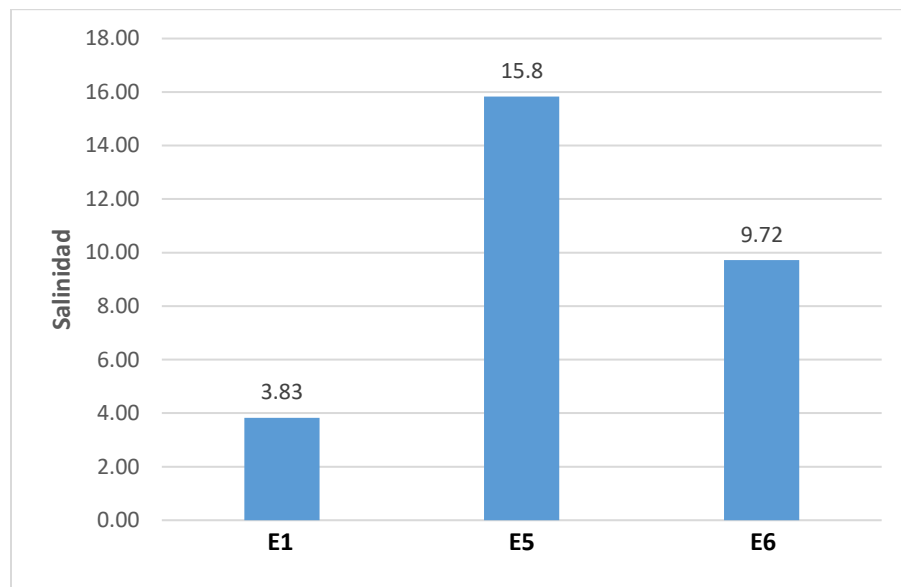


Figura 14. Promedio de salinidad para cada estación

Para los fosfatos en las Estaciones E1(Caño Maní) y E6 (La Mora) hubo un 100% de cumplimiento con el estándar establecido en la reglamentación (DRNA, 2019 b). Para la E5 (Pabellón) sólo una de las muestras no cumplió con la reglamentación (Tabla 2). Estos resultados difieren de obtenidos por Jusino (2019) en el Caño Maní, Caño Boquilla y Caño La Puente donde observo un 75% de cumplimiento para los fosfatos. Estos resultados coinciden con los resultados en Juliaca, Perú, donde obtuvieron valores de 0.231 a 3.836 mg/L (Apolo y Alfaro, 2011).

Los nitratos en las 3 estaciones cumplieron 100% con el Reglamento del DRNA (Tablas 1,2 y 3, respectivamente), muy similar a los observado por Jusino (2019), donde hubo un 95% de cumplimiento. Estos resultados difieren de los estudios de Smith (2001), donde encontró valores de 5 a 6 mg/L en el Río Trinity en Dallas, Texas, y de los de Apolo y Alfaro (2011) en Perú, reportando valores de 12.30 mg/L.

ACEITES

Para el mes de octubre, en plena época de lluvia, se observó una capa de aceite en la superficie del agua en las Estaciones E1(Caño Maní) y E5 (Pabellón) (Tabla 1 y Tabla 2). En la Estación E6 (La Mora) se observó una capa de aceite sobre la superficie del agua en la época de lluvia (Tabla 3). El RECA establece que las aguas de Puerto Rico deben estar sustancialmente libres de aceites (DRNA, 2019 b).

FLOTANTES (BASURA)

Durante los muestreos se observó material flotante (aluminio y plástico) en todas las estaciones, mayormente en la Estación E1 (Caño Maní) y la Estación E5 (Pabellón) las cuales se encuentran cerca de áreas residenciales y comerciales. La Estación E6 (La Mora) se encontró limpia la mayor parte del tiempo. Dicha estación es la más alejada de la costa y hay poco desarrollo residencial en el área. El hecho que en todos los muestreos se encontraron flotantes (basura) es de preocupación ya que las aguas de escorrentías pueden arrastrar estos hacia la RNCB y el mar.

CLORO TOTAL

El cloro total estuvo por encima de los estándares de calidad de agua para los cuerpos de agua estuarinos (SB) en las tres estaciones, tanto en la época de lluvia como en la época seca (DRNA, 2019 b) Tabla 1, 2 y 3 (respectivamente). (Figura 15). El contenido total de cloro sobrepaso en muchas ocasiones el límite de detección del instrumento (0.0075 mg/L), lo cual indica que las aguas de escorrentías que están llegando al ecosistema de la RNCB tienen altos contenido de cloro, un contaminante muy preocupante. En el documento del MS4 para el Municipio de Mayagüez no se menciona el cloro total como un posible contaminante en dichos desagües pluviales.

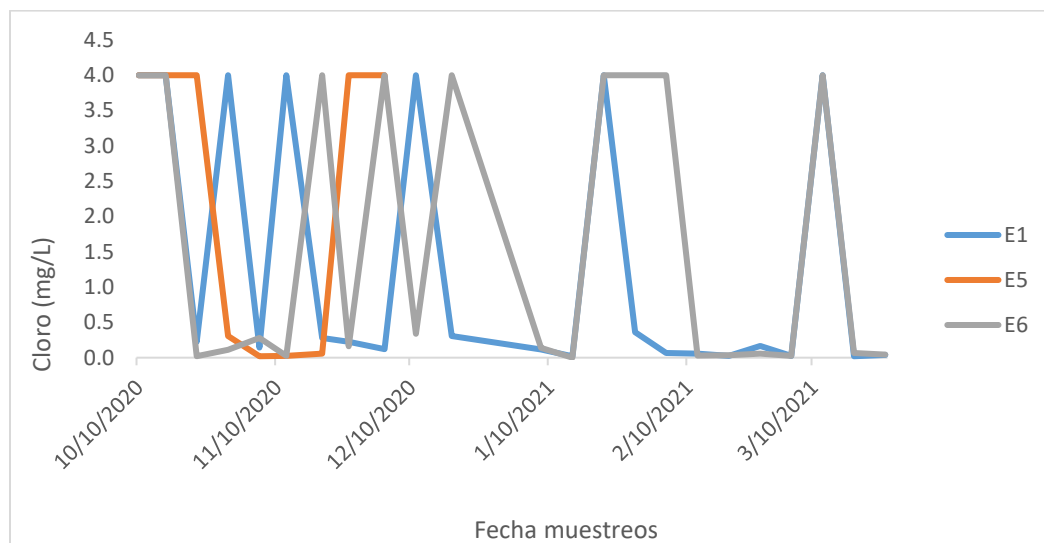


Figura 15. Datos de cloro total para las 3 estaciones E1, E5, E6

Los resultados obtenidos demuestran que en el 100% de los muestreos, tanto para época de lluvia, como para época seca, el cloro total estuvo por encima de los estándares establecidos. Estos resultados coinciden con los resultados obtenidos en los desagües de aguas pluviales en Edmonton, Alberta Canadá, para la época de lluvia y para la época de seca, quienes reportaron cloro total presente en todas las muestras (Zhang, et. al., 2018). El cloro es un químico inorgánico que afecta la vida acuática, y debe ser tratado antes de descargarse al ambiente. Algunos posibles orígenes de cloro total en las aguas de escorrentías pueden ser las descargas domésticas, piscinas y/o el uso del desinfectante cloro en los procesos industriales.

PARAMETROS BACTERIOLOGICOS

Tanto los contajes de coliformes patogénicos (MAC), como coliformes totales (NUC), en las tres estaciones, estuvieron en cumplimiento con la reglamentación vigente (DRNA,2019 b). En las estaciones E1 (Caño Maní) y E6 (La Mora) en una sola ocasión,

los valores estuvieron por encima del estándar, indicando cumplimiento con la reglamentación en un 95.70 % en la estación E1 (Tabla 4), en un 100% en la estación E5 (Tabla 5) y en un 95.70 % en la estación E6 (Tabla 6).

Tabla 4. Coliformes totales (NUT) y patogénicos (MAC) en la estación E1 (Caño Maní)

MUESTREO		Contaje (MAC)	Contaje (MAC)	Contaje (NUT)	Contaje (NUT)
	Estándar	(200 col/100 mL)	(L,M,H,N)		(L,M,H,N)
	FECHA	(UFC)		(UFC)	
1	11-Oct-20	73	M	93	M
2	17-Oct-20	138	M	63	M
3	24-Oct-20	46	M	101	M
4	31-Oct-20	0	N	0	N
5	7-Nov-20	46	M	0	N
6	13-Nov-20	0	N	0	N
7	21-Nov-20	80	M	110	M
8	27-Nov-20	54	M	65	M
9	5-Dec-20	106	M	60	M
10	12-Dec-20	106	M	91	M
11	20-Dec-20	25	M	163	M
12	9-Jan-21	86	M	55	M
13	16-Jan-21	108	M	151	M
14	23-Jan-21	40	M	186	M
15	31-Jan-21	95	M	148	M
16	6-Feb-21	0	N	0	N
17	13-Feb-21	0	N	0	N
18	20-Feb-21	134	M	106	M
19	27-Feb-21	219	M	153	M
20	7-Mar-21	133	M	310	M
21	13-Mar-21	0	N	0	N
22	20-Mar-21	185	M	78	M
23	27-Mar-21	200	M	250	M

No cumple con los estándares de calidad de agua de Puerto Rico (JCA, 2014)

L Light
M Moderate
H Heavy
N None

Las posibles causas de incumplimiento por la presencia de estos organismos pudieron deberse a la fauna encontrada alrededor de las estaciones, ya que habitan muchas iguanas, perros y gatos, entre otros. Otras posibles fuentes de estos organismos pueden ser descargas ilícitas de las comunidades cercanas, aunque esto no se evidenció en este estudio. La turbidez y los flotantes también pueden arrastrar y ayudar a aumentar estos organismos en las aguas de escorrentías. En las Estaciones E1 y E6 se encontraron más coliformes en aquellos muestreos donde los valores de turbidez fueron altos, no así en la Estación E5.

Tabla 5. Coliformes totales (NUT) y patógenos (MAC) en la estación E5 (Pabellón)

MUESTREOS	Estándar	Contaje (MAC)	Contaje (MAC)	Contaje (NUT)	Contaje (NUT)
		(200 col/100 mL)	(L,M,H,N)		(L,M,H,N)
	FECHA	(UFC)		(UFC)	
1	11-Oct-20	104	M	64	M
2	17-Oct-20	18	M	19	M
3	24-Oct-20	85	M	89	M
4	31-Oct-20	0	N	0	N
5	7-Nov-20	29	M	0	N
6	13-Nov-20	95	M	161	M
7	21-Nov-20	80	M	125	M
8	27-Nov-20	0	N	0	N
9	5-Dec-20	NO HUBO PRESENCIA DE ESCORRENTIAS			
10	12-Dec-20	100	M	131	M
11	20-Dec-20	NO HUBO PRESENCIA DE ESCORRENTIAS			
12	9-Jan-21				
13	16-Jan-21				
14	23-Jan-21				
15	31-Jan-21				
16	6-Feb-21				
17	13-Feb-21				
18	20-Feb-21				
19	27-Feb-21				
20	7-Mar-21				
21	13-Mar-21				
22	20-Mar-21				
23	27-Mar-21				

No cumple con los estándares de calidad de agua de Puerto Rico (JCA, 2014)

L Light
M Moderate
H Heavy
N None

Estos resultados coinciden con los estudios de Jusino (2019) y difieren con los resultados encontrados en los desagües pluviales en Suecia donde reportaron coliformes totales con valores de 80,000 UFC/100 mL (Galfi et al, 2016).

Tabla 6. Coliformes totales (NUT) y patogénicos (MAC) en la estación E6 (La Mora)

Muestras	Estándar	Contaje (MAC)	Contaje (MAC)	Contaje (NUT)	Contaje (NUT)
		(200 col/100 mL)	(L,M,H,N)		(L,M,H,N)
		(UFC)		(UFC)	
1	11-Oct-20	74	M	73	M
2	17-Oct-20	126	M	110	M
3	24-Oct-20	106	M	104	M
4	31-Oct-20	216	M	190	M
5	7-Nov-20	181	M	123	M
6	13-Nov-20	0	N	100	M
7	21-Nov-20	90	M	29	M
8	27-Nov-20	128	M	45	M
9	5-Dec-20	64	M	46	M
10	12-Dec-20	59	M	79	M
11	20-Dec-20	43	M	69	M
12	9-Jan-21	25	M	90	M
13	16-Jan-21	3	L	36	M
14	23-Jan-21	1	L	33	M
15	31-Jan-21	18	M	6	L
16	6-Feb-21	4	L	14	L
17	13-Feb-21	1	L	35	M
18	20-Feb-21	1	L	25	M
19	27-Feb-21	6	L	48	M
20	7-Mar-21	23	M	15	M
21	13-Mar-21	3	M	33	M
22	20-Mar-21	34	M	31	M
23	27-Mar-21	101	M	0	N

No cumple con los estándares de calidad de agua de Puerto Rico (JCA, 2014)

L Light
M Moderate
H Heavy

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizó la prueba estadística ANOVA para determinar si existía diferencia significativa en los parámetros de OD, pH, salinidad, temperatura y turbidez en las tres estaciones estudiadas (áreas de descargas de escorrentías). Los valores de varianza reflejaron diferencias significativas en todos los parámetros, excepto el pH (Tabla.7). Los valores F describen la varianza de los resultados obtenidos y los valores P la significancia de estos valores. Se esperaría que las estaciones obtuvieran valores diferentes para cada parámetro debido a su localización, ya que reciben escorrentías de diferentes áreas. Dado que las estaciones tienen diferentes entornos es posible observar la diferencia significativa que hubo en los parámetros fisicoquímicos de oxígeno disuelto, temperatura, turbidez y salinidad.

Parámetro analizado	Valor F (varianza)	Valor P (significancia)	Diferencia significativa
OD	14.969	7.33e-06	< 0.05
Salinidad	64	.000	< 0.05
Temperatura	3.534	.036	< 0.05
Turbidez	6.546	.002	< 0.05
pH	1.554	.220	

Tabla 7. Valores F y Valores P del ANOVA de los principales parámetros fisicoquímicos determinados en las descargas de escorrentías de las 3 estaciones monitoreadas E1, E5, E6

CONCLUSIÓN

Los resultados de este trabajo de investigación brindan una evaluación de referencia de la calidad de agua de las descargas de escorrentías que llegan a las aguas estuarinas y costeras de la Reserva Natural Caño Boquilla (RNCB). Además, es la primera vez que se monitorea el contenido de cloro total en las aguas de escorrentías que llegan a la reserva.

La temperatura, la salinidad, los nitratos y los fosfatos se encontraron dentro de los estándares establecidos para aguas estuarinas. Mientras que el oxígeno disuelto y el cloro total se encuentran en incumplimiento con los estándares de RECA.

Estadísticamente se encontraron diferencias significativas para el oxígeno disuelto, la temperatura, la turbidez y la salinidad en los tres desagües pluviales estudiados. Sin embargo, no hubo diferencias significativas en el pH en las tres estaciones.

Los coliformes totales y patogénicos cumplieron con el estándar para aguas estuarinas (SB) según el RECA.

La presencia de flotantes en casi todos los muestreos y las estaciones es preocupante, y muestra la necesidad de un programa de manejo eficiente de la basura para continuar protegiendo el ecosistema y utilizándolo para actividades recreativas, educativas y deportivas, como hasta el presente.

RECOMENDACIONES FUTURAS INVESTIGACIONES

Dada la importancia de la Reserva Natural Caño Boquilla para el área oeste de Puerto Rico, se recomienda continuar investigaciones para caracterizar y describir esta área, produciendo información que permita su conservación. Recomendamos las siguientes investigaciones:

- Determinar la presencia de bacterias anaeróbicas y metales pesados en las descargas pluviales hacia la RNCB
- Estimar el volumen/peso (cuantificar) del material flotante arrastrado por la escorrentía pluvial que llega a la RNCB
- Diseñar e implementar infraestructura verde en los alcantarillados (desagües) pluviales para evaluar mejoras en la calidad del agua y minimizar los contaminantes que llegan a la RNCB
- Determinar las escorrentías en época lluviosa y época seca en la RNCB utilizando datos de caudal y precipitación
- Determinar los sedimentos acumulados en los drenajes de agua pluvial que llegan a la RNCB
- Estudiar los surfactantes de las escorrentías pluviales que llegan a la RNCB

BIBLIOGRAFÍA

- Almazán, M; Almazán, A; Carreto, B; Hernández, E; Damián, A; & Almazán, C. (2016). Calidad y Clasificación de usos del agua en la cuenca baja del río Papagayo Guerrero, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 3(9), 293-305.
- Alfaro, R; & Apolo, J. (2011). Contaminación de las aguas pluviales urbanas: efectos en los cuerpos receptores, caso Juliaca, Perú. Congreso Nacional del Agua Perú. 36-43
- Clesceri, L.S., Greenberg, A.E., y Eaton, A.D. (1998) Chlorine (Wastewater) 4-500-Selection of Method. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 20th Edition (pp. 4-53,4-54). American Public Health Association, NW: Washington, DC
- DRNA. (2019 a). *Fuentes dispersas de Contaminación* obtenido el 14 de marzo de 2023 del web site [https://www.drna.pr.gov/wp-content/uploads/2019/02/Fuentes dispersas_amenazas.pdf](https://www.drna.pr.gov/wp-content/uploads/2019/02/Fuentes_dispersas_amenazas.pdf)
- DRNA. (2019 b). *Reglamento de Estándares de Calidad de Agua de Puerto Rico*. Obtenido el 11 de junio de 2021, <https://www.drna.pr.gov>
- DRNA. (2016). *Reglamento de Estándares de Calidad de Agua de Puerto Rico*. Obtenido el 11 de junio de 2021, <https://bibliotecalegalambiental.files.wordpress.com>
- DRNA. (2000). *Plan para el Control de las Fuentes Dispersas de contaminación en la zona Costanera de Puerto Rico*.
- EPA. (2022). *Introducción a la Ley de Agua Limpia*. Obtenido el 26 agosto 26 de 2022 https://cfpub.epa.gov/watertrain/pdf/modules/Introduccion_a_la_Ley_de_Aqua_Limpia.p
- EPA. (2020). *NOI Mayagüez NPDES Permits for Phase 2 Stormwater Program in Puerto Rico*. Obtenido el 26 de junio 26 de 2020, <https://www.epa.gov/npdes/permits/npdes-permits-phase-2-stormwater-program-puerto-rico>

Galfi, H; Osterlund, H; Marsalek, J; Viklander, M. (2016, Mayo) Indicator bacteria and associated water quality constituents in snowmelt from four urban catchments. *Journal of Hydrology*.539,125-141. Retrieved November 28, 2022, from Elsevier database.

Google Earth. (2020), Google Earth. Obtenido el 11 de diciembre de 2020.
[https:// earth.google.com/web](https://earth.google.com/web)

Google Maps. (2022). Coordinadas Aeropuerto Eugenio María de Hostos en Mayagüez. Obtenido el 25 de noviembre de 2022
<https://www.google.com/maps/place/@18.2542173,67.150149,744m/data=!3m1!1e3!4m14!1m8!3m7!1s0x0:0x247255ff200f4cd!2zMTJCsDE1JzE5LjQiTiA2N8KwMDgnNTQuNCJX!3b1!7e2!8>.

Google. (2022). Obtenida el 18 de noviembre de 2022
http://www.weather.gov/images/sju/Interactive_Map/Mayaguez_Airport.png

Junta de Calidad Ambiental de Puerto Rico (A). (2016). Plans and Special Projects Division.Water Quality Area. Reporte Integrado de Puerto Rico 305(b)/303 (d).

Junta de Calidad Ambiental de Puerto Rico (B). (2014). Reglamento de Estándares de Calidad de Puerto Rico. Obtenido el 19 de septiembre de 2022.
<https://bibliotecalegalambiental.files.wordpress.com/2013/11/nuevo-reglamento-para-mejorar-agua-biblioteca-regal-ambiental.pdf>

Junta de Calidad Ambiental de Puerto Rico (C). (2010). Reglamento de Estándares de Calidad de Agua de Puerto Rico. Obtenido el 7 de octubre de 2022.
<http://app.estado.gobierno.pr/ReglamentosOnLine/Reglamentos/7837.pdf>

Jusino, E. (2019). Comparación de la calidad de agua y cambios geomorfológicos de los estuarios de la Reserva Natural Caño Boquilla en Mayagüez-Añasco, p.1-115. Tesis de Maestría en Ciencias Ambientales de la Universidad Interamericana de Puerto Rico, Recinto de San Germán.

LaMotte Company. (2020) (B.-(T.5553, Productor) Obtenido el 16 de septiembre de 2022<https://lamotte.com/biopaddlesr-nutrient-tcc-agar-nut-ttc-macconkey-agar-mac-5553>

LaMotte Company, & Earth Force. (2020). Obtenido el 16 de septiembre de 2020.
<https://lamotte.com/earth-forcer-low-cost-estuary-marine-monitoring-kit-5911>

Mayagüezanos por la Salud y el Ambiente. (2013). Reserva Natural Caño Boquilla.
Obtenido el 18 de noviembre de 2020, <http://granreservaboquilla.wordpress.com>

Navarro Rodríguez, A.J. (2017) *Manual de Calidad del Agua*. UPRM-Sea Grant College Program, Puerto Rico.

Pérez Porto. J. Gardey, A. Definición de Surfactante- Que es, significado y concepto.
Obtenido el 1 de marzo de 2023, <http://definicion.de/surfactante/>

Urb. Paseo Los Robles- IMAYAG4. (2023). Temperatura ambiental en Mayagüez.
Obtenido el 12 de mayo de 2023. <https://www.wunderground.com/dashboard/pws//IMAYAG4>.