

**UNIVERSIDAD INTERAMERICANA DE PUERTO RICO
RECINTO DE SAN GERMAN
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA, QUIMICA Y CIENCIAS AMBIENTALES
PROGRAMA DE MAESTRIA EN CIENCIA AMBIENTAL**

**NIVELES DE NUTRIENTES EN SUELOS AGRICOLAS ASOCIADOS EN LA
CALIDAD DE AGUA DEL RIO CAÑAS**

**KATHIA M. ROLDAN RUIZ
Diciembre 2023**

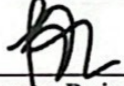
UNIVERSIDAD INTERAMERICANA DE PUERTO RICO
RECINTO DE SAN GERMÁN
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES

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

**NIVELES DE NUTRIENTES EN SUELOS AGRICOLAS
ASOCIADOS EN LA CALIDAD DE AGUA DEL RIO CAÑAS**

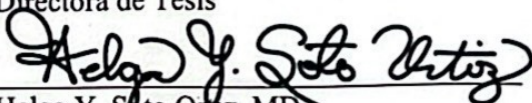
Kathia M. Roldán Ruiz
Diciembre 2023

Miembros del Comité de Tesis:



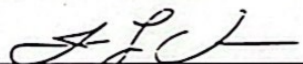
Keyla E. Cáceres Ruiz, M.S.
Directora de Tesis

12/6/2023
Fecha



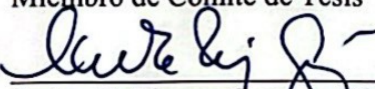
Helga Y. Soto Ortiz, MD.
Miembro de Comité de Tesis

12/06/23
Fecha



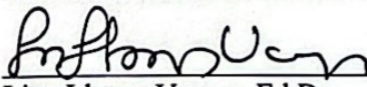
José L. Vera Serrano, Ph.D.
Miembro de Comité de Tesis

12/07/23
Fecha



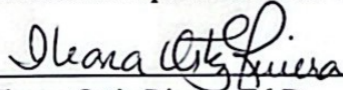
Carlos E. Irizarry Guzman, Ph.D.
Director Estudios Graduados e Investigación

12/07/2023
Fecha



Lina Llanos Vargas, Ed.D.
Directora Departamento de Ciencia y Tecnología

12/07/23
Fecha



Ileana Ortiz Rivera, Ed.D.
Decana Interina de Asuntos Académicos

12/07/23
Fecha

Tabla de Contenido

Título	Página
Resumen.....	4
Justificación	5
Hipótesis	6
Objetivos	7
Revisión de Literatura	
• Calidad y Fertilidad del Suelo	8
• Fertilizantes	8
• Clasificación de fertilizantes	11
• Interpretación del pH en el suelo	12
• Interpretación del nitrógeno en el suelo	13
• Interpretación del fósforo en el suelo	13
• Agua	14
• Calidad del agua	14
• Impacto de las actividades Agrícolas en el Agua	16
• Parámetros de la calidad del agua	16
• Investigaciones previas	18
Marco legal	20
Metodología	21
Resultados	29
Gráficas.....	35
Discusión	38
Conclusión.	40
Imágenes.	42
Referencias	48

Niveles de Nutrientes en Suelos Agrícolas Asociados en la Calidad de Agua del Río Cañas

Resumen

El suelo es un recurso esencial e irremplazable que posee diversas funciones y es de beneficio para los seres humanos. Ahora bien, se necesitan las condiciones necesarias para lograr cumplir con su función principal la cual es el desarrollar plantas. Los agricultores utilizan fertilizantes para lograr mayor rendimiento en los cultivos y así lograr mayor producción de productos. Adicional, en su mayoría usan plaguicidas para proteger los cultivos de insectos o plagas. Los fertilizantes contienen elementos químicos como lo son nitrógeno, fosforo y potasio. La aplicación excesiva de fertilizantes ha causado: eutroficación, toxicidad de las aguas, contaminación de aguas subterráneas, contaminación del aire, degradación del suelo y de los ecosistemas, desequilibrio biológicos y reducción de la biodiversidad. Por lo tanto, el objetivo principal de esta investigación es determinar si existe una fuente de contaminación en el Río Cañas proveniente del exceso de nutrientes de los cultivos cercanos al río. El Río Cañas está localizado en el Municipio de Aguada y hace desembocadura al Río Culebrinas, se recolectarán muestras de suelo y agua para cuantificar las concentraciones de los siguientes nutrientes: nitrógeno, fósforo y potasio. Se medirá variables físico-químicas como los son: pH, oxígeno disuelto y temperatura. Se recolectarán muestras de agosto a octubre de 2023.

Justificación

La utilización de suelos para motivos agrícolas requiere de técnicas tales como; adición de agua, materia orgánica y fertilizantes. Los fertilizantes son sustancias que contienen nutrientes que optimizan la calidad del suelo. Entre sus ventajas, mejoran el rendimiento y producción agrícola. Sin embargo, el uso excesivo puede causar problemas ambientales y afectar la calidad de los cuerpos de agua que estén cerca de los suelos agrícolas. Los fertilizantes impactan la calidad del agua por: lixiviación y eutroficación de aguas subterráneas y superficiales. La lixiviación es el proceso mediante el cual un compuesto o elementos contaminantes son liberados de una fase sólida a una fase acuosa (López, M., Pérez, A. 2018). La lixiviación de nitratos contribuye a infiltración de aguas subterráneas y superficiales. El nitrógeno es uno de los elementos principales que aporta a la nutrición del suelo ya que contiene, enzimas, proteínas, ADN y clorofila. Sin embargo, causa acidificación, toxicidad y eutroficación. Los suelos y sistemas de agua dulce se pueden acidificar por captación y asimilación de elementos químicos por las raíces de las plantas. La contaminación por fertilizantes ocurre cuando se utiliza una cantidad excesiva o cuando se eliminan por acción del agua antes que puedan ser absorbidos por el suelo. Esta sobrecarga de nutrientes lleva a contaminación de cuerpos de agua cercanos a los cultivos. El problema ambiental que presentan los fosfatos es el mismo que presentan los nitratos, la eutrofización del agua. Los fosfatos son la mayor fuente de contaminación de los lagos y las corrientes superficiales, generando con sus altos niveles, el crecimiento de algas y malezas (Ávila, et. al. s.f.). Los cloruros de potasio ayudan al proceso de fotosíntesis y la absorción de agua, pero su exceso puede ocasionar salinidad y lixiviación. Sin embargo, cuando demasiado nitrógeno y fósforo ingresan a un medio,

generalmente provenientes de diversas actividades humanas, el aire y el agua pueden contaminarse. La contaminación por nutrientes ha afectado muchos arroyos, ríos, lagos, bahías y aguas costeras durante varias décadas. Esto ha causado problemas ambientales y problemas para la salud humana graves y consecuentemente un impacto en la economía. El exceso de nitrógeno y fósforo en el agua hace que el alga crezca tan rápido que los ecosistemas no pueden lidiar con esa cantidad (Us Epa, O. A. (2022)).

Esta investigación está dirigida a determinar si hay un efecto en la calidad del agua por el exceso de nutrientes en el suelo agrícolas. Adicional, podemos determinar las consecuencias ambientales que esto genera. Al finalizar la investigación se pretende determinar el impacto ambiental y si hay presencia de nutrientes el Río Cañas.

Hipótesis

Las altas concentraciones de los nutrientes Nitrógeno, Fósforo y Potasio en los terrenos agrícolas provenientes de fertilizantes causan efectos en la calidad del agua del Río Cañas.

Objetivo General

- Evaluar el efecto de la presencia de nitrógeno, fósforo y potasio en suelos agrícolas en la calidad del agua del Río Cañas.

Objetivo Especifico

- Determinar la calidad del agua a partir de parámetros fisicoquímicos del Río Cañas.
- Comparar resultados obtenidos de los análisis realizados de los diferentes puntos de muestreo del Río Cañas.
- Determinar la cantidad por medio de análisis químico de nitrógeno, fosforo y potasio en el suelo.
- Realizar una comparativa con los resultados obtenido del suelo con el agua.
- Determinar si existe contaminación en el Río Cañas y si la misma es ocasionada directamente con los usos de fertilizantes por suelos agrícolas.

Revisión de Literatura

Calidad y Fertilidad del Suelo

La calidad del suelo, definida por el Comité de la Sociedad de la Ciencia del Suelo Americana, es la capacidad funcional de un tipo de suelo para sustentar la productividad animal o vegetal, mantener o mejorar la calidad del agua y aire, y sostener el asentamiento y salud en humanos, con límites ecosistémicos naturales o determinados por el manejo. Esto incluye los conceptos de fertilidad y productividad del suelo, que suponen que este debe: a) captar, mantener y liberar nutrientes y otros compuestos químicos; b) captar, mantener y liberar agua a las plantas y recargar las capas freáticas; y c) mantener un ambiente edáfico adecuado para la actividad biológica. Como menciona Navarro 2014, la calidad del suelo no es estable y puede cambiar en un corto plazo de tiempo y depende fundamentalmente de su uso y de las prácticas culturales.

Fertilizantes

La agricultura representa la mayor proporción de uso de la tierra por el hombre. La agricultura afecta también a la base de su propio futuro a través de la degradación de la tierra, la salinización, el exceso de extracción de agua y la reducción de la diversidad genética agropecuaria. Sin embargo, las consecuencias a largo plazo de estos procesos son difíciles de cuantificar. La contaminación por fertilizantes se produce cuando éstos se utilizan en mayor cantidad de la que pueden absorber los cultivos, o cuando se eliminan por acción del agua o del viento de la superficie del suelo antes de que puedan ser absorbidos. Los excesos de nitrógeno y fosfatos pueden infiltrarse en las aguas subterráneas o ser arrastrados a cursos de agua. El exceso de nutrientes ya

sea nitrógeno o fosfato en el agua ocasiona eutroficación, el exceso de algas deteriora la calidad del agua y reduce la cantidad de oxígeno el cual es necesario para que los peces y especies acuáticas puedan sobrevivir (*Contaminación por nutrientes* | *US EPA*, 2023).

Los fertilizantes químicos han contribuido al rendimiento de los cultivos, produciendo un aumento en la producción de alimentos en el mundo. Los principales impactos negativos de los fertilizantes sobre el agua son: lixiviación, aguas subterráneas y superficiales. En el caso del suelo los impactos negativos son: variación del pH, deterioro de la estructura del suelo y deterioro microfauna. El consumo de fertilizantes a nivel mundial fue de 181.9 millones de toneladas (t) en el periodo 2014/2015, correspondiente a 102.5 millones de t de nitrógeno; 45.9 millones de t de fósforo y 33.5 millones de t de Potasio (Gonzalez, 2019).

Los principales nutrientes son el nitrógeno (N), el fósforo (P) y el potasio (K), y sirven para el desarrollo vegetativo de todas las partes aéreas de la planta en el caso del nitrógeno, el refuerzo de la resistencia y el desarrollo radicular en el caso del fósforo, y el favorecimiento de la floración y desarrollo de los frutos en el caso del potasio, así como la asimilación de los demás nutrientes (ICEX, s.f.).

Samboya, 2021 hace referencia a un estudio previo de Ringuelet y Gil, 2005 que los fertilizantes, si no son manejados de manera correcta, pueden producir efectos perjudiciales:

- Contaminación del agua, por ejemplo, la eutrofización de lagos.
- Alteración de ciclos naturales de nutrientes de los suelos.
- Introducción de elementos nocivos al suelo (metales pesados, como impurezas)
- Aceleración de la acidificación del suelo

- Inhibición en la absorción de la raíz de algún nutriente esencial; promoción de efectos tóxicos en las raíces de plantas.

Las plantas tienen la capacidad de absorber fertilizantes de un 30 a 50% el restante es absorbido por el suelo. La eutroficación es el proceso más importante de contaminación en el agua de ríos, lagos y embalses el cual es provocado por el exceso de nutrientes en el agua principalmente nitrógeno y fósforo (Algae, 2022). Las principales causas de eutrofización es el uso excesivo de fertilizantes, que genera una contaminación del agua fundamentalmente mediante el aporte de nitrógeno (en forma de sales de nitrato y amonio) y fósforo (como fosfato). (Rapal, 2010).

Para determinar la disponibilidad de nitrógeno en un suelo se suele analizar para contenido NO_3^- o NO_2^- después de incubar la muestra a temperatura y humedad apropiadas, llevando como control otra muestra sin incubar. Para evaluar el potasio disponible se determina el potasio de cambio, mediante extracción con acetato amónico 1N o $\text{C}_1\text{H}_4\text{O}_2$ y 1N. El fósforo se determina por extracción acuosa o por extracción con una resina de cambio iónico. La riqueza de los fertilizantes se expresa por sus tres nutrientes principales en la forma N, P_2O_5 y K_2O . En algunos países existe actualmente la tendencia a expresarla en forma más homogénea, por sus elementos simples: N, P y K. (Carbonera, s.f.).

Los fertilizantes son productos orgánicos o inorgánicos que contienen al menos uno o más nutrientes que las plantas necesitan para su desarrollo. Los fertilizantes son de beneficio ya que les brindan a las plantas un crecimiento acelerado y una producción óptima. El uso de fertilizantes está relacionando con el aumento en producción provocando de plantas sea triple de lo esperado permiten absorción acelerada de todas las propiedades del suelo (Santiago, 2023).

Las plantas sólo pueden absorber una cierta cantidad de nutrientes. Así que, si aplica en exceso un fertilizante químico, no todos los nutrientes sintéticos del fertilizante contribuirán a la salud y al crecimiento de la planta. Por el contrario, el fertilizante que no será utilizado por las plantas, se filtrará en el suelo y podría desplazarse con la lluvia y a través de los diques hasta los arroyos, ríos, lagos, embalses y océanos. Los compuestos químicos de los fertilizantes pueden contaminar los suministros de agua potable y alterar los ecosistemas (Sacsá, 2015).

Clasificación de los fertilizantes

Según su origen los fertilizantes se clasifican en:

- **Minerales o químicos:** son productos inorgánicos obtenidos mediante procesos químicos, elaborados en laboratorios o fábricas.
- **Orgánicos:** son los que se producen de la descomposición de restos de materiales vegetales y animales muertos.

Según el contenido de uno o varios elementos principales, los fertilizantes se clasifican en:

1. **Simples:** contienen solamente uno de los tres elementos primarios en su composición. Estos a su vez pueden ser:

- a) **Nitrogenados:** contienen nitrógeno.
- b) **Fosfatados:** contienen fósforo.
- c) **Potásicos:** contienen potasio.

2. **Compuestos:** contienen más de un elemento en su composición.

Estos pueden ser: a) **Binarios:** contienen dos elementos en su composición, ejemplo el DAP(18-46-00).

b) **Ternarios:** contienen tres elementos en su composición, ejemplo la fórmula 12-24-12 (Agropino, 2022).

Interpretación del pH en el suelo

Rango	Intepretación
< 4.4	Extremadamente ácido
4.5 -5.0	Muy fuertemente ácido
5.1-5.5	Fuertemente ácido
5.6-6.0	Moderadamente ácido
6.1-6.5	Ligeramente ácido
6.6-7.3	Neutro
7.4-8.0	Medianamente

Interpretación:

pH > 8.0, fuertemente alcalinos, con estos valores el calcio y el magnesio pueden estar poco disponibles, el sodio puede ser muy alto y tóxico.

pH 7.4 - 8.0, medianamente alcalino, alto para fines agronómicos. Pueden presentarse algunas deficiencias de fósforo, también se incrementa la posibilidad de deficiencias de cobre, hierro, manganeso y zinc.

pH 5.5 - 7.0, en este rango, la mayoría de los cultivos tiene un buen desarrollo, dado la alta disponibilidad de los nutrientes. Algunos cultivos no se adaptan a un rango inferior. pH < 5.5, posible fitotoxicidad por aluminio y manganeso. Limitada disponibilidad de nutrientes para las plantas. (Arvalo, G. , Castellano, M. , 2009)

Interpretación del contenido de Nitrógeno en el Suelo

El % de nitrógeno se estima en un 5% de la materia orgánica que haya en el suelo

Rango	Interpretación
< 0.2%	Bajo
0.2-0.5%	Adecuado
>0.5%	Alto

(Arvalo, G. , Castellano, M. , 2009)

Interpretación del contenido de fosforo en el suelo

De acuerdo con el método utilizado en el laboratorio para determinar el contenido de fósforo en el suelo se presenta la siguiente table:

Interpretación	Rango de acuerdo al método de análisis (mg/kg)	
	Método Olsen	Método Bray-2
Bajo	<15	<15
Adecuado	15-50	15-30
Alto	>50	>30

(Arvalo, G. , Castellano, M. , 2009)

Agua

El agua es un recurso indispensable y fundamental para los seres vivos, en especial para los humanos, constituyendo así el líquido más abundante y el recurso más importante en la tierra. El agua, presente en diferentes formas y usada con diversos propósitos, ocupa una alta proporción en relación con la superficie de tierra. Está presente en los mares y océanos, en aguas superficiales y en aguas subterráneas y puede ser empleada entre otras cosas, para tareas domésticas, industriales y agrícolas. La principal fuente de abasto en Puerto Rico utilizada para consumo proviene de aguas superficiales. El informe “305b” sobre la calidad de aguas superficiales en Puerto Rico realizado en el 2020 emitido por la Agencia de Protección Ambiental Federal (USEPA) indica que la mayoría de los ríos, quebradas y estuarios no cumplen con las normas federales por contacto humano (*Calidad-de-las-Aguas-en-Puerto Rico*, s. f.).

Calidad del agua

Según el artículo (*Calidad del agua | Decenio Internacional para la Acción «El agua, fuente de vida»*, s. f.) indica que sin la acción humana, la calidad del agua vendría determinada por la erosión del substrato mineral, los procesos atmosféricos de evapotranspiración y sedimentación de lodos y sales, la lixiviación natural de la materia orgánica y los nutrientes del suelo por los factores hidrológicos, y los procesos biológicos en el medio acuático que pueden alterar la composición física y química del agua. Por lo general, la calidad del agua se determina comparando las características físicas y químicas de una muestra de agua con unas directrices de calidad del agua o estándares. En el caso del agua potable, estas normas se establecen para asegurar un suministro de agua limpia y saludable para el consumo humano y, de este modo, proteger la salud de las

personas. Estas normas se basan normalmente en unos niveles de toxicidad científicamente aceptables tanto para los humanos como para los organismos acuáticos.

Los constituyentes empleados por el Índice de Calidad del Agua son determinados tomando en cuenta la clasificación del agua para un uso en particular. En el Informe Integrado de Calidad de Agua 305(b)/303(d) del 2004 escrito por la Junta de Calidad Ambiental (PREQB, 2022), se enumeran los usos estipulados para todas las aguas en Puerto Rico como:

- Protección y propagación de peces, mariscos, y fauna
- Recreación
- Fuente cruda para abastecimiento de agua potable

La Junta de Calidad Ambiental (JCA) ha subdividido las aguas en diferentes clases conforme al uso que se le hayan destinado. Específicamente en la CLASE SD, la JCA ha designado a las aguas superficiales para el abasto potable, la preservación y propagación de especies y para la recreación de contacto primario y secundario (PREQB, 2022).

Los ríos y lagos se consideran como aguas superficiales que pueden ser incluidos como fuentes de abasto crudo para agua potable. La evaluación de la calidad del agua potable para uso SD está basada en el monitoreo de los contaminantes contenidos en el Reglamento de Estándares de Calidad de Agua para Puerto Rico cuyos datos se obtienen del Programa de Evaluación de Fuentes de Agua (PREQB, 2022).

Impacto de las actividades Agrícolas en el Agua

Según hace referencia en su investigación Ferat 2018, la contaminación del agua a el sector agrícola está asociada al uso inadecuado de fertilizantes y pesticidas en la agricultura; y a la producción de estiércol en la ganadería intensiva. Las cuales se consideran importantes fuentes de contaminación difusa.

Parámetros de Calidad del Agua

Los parámetros químicos para determinar la calidad del agua según citado en Saboya 2021 son:

pH: El pH es una medida de la concentración de iones de hidrógeno en el agua. El rango normal del agua es de 6 a 9 y pueden ser dañinas para la vida acuática (por debajo de 7 son ácidas y por encima de 7 son alcalinas). Estos niveles de pH pueden causar perturbaciones celulares y la eventual destrucción de la flora y fauna acuática (Aconsa, 2021).

Alcalinidad: Es una medida de la cantidad de iones que se encuentran presentes en el agua, los cuales reaccionan para neutralizar los iones del hidrogeno. La alcalinidad se puede interpretar como la habilidad del agua para neutralizar los ácidos.

Los efectos más notorios de la alcalinidad en el agua son el sabor amargo en el agua y las reacciones con algunos cationes del agua que ocasiona obstrucciones en tuberías.

Nitratos: El nitrógeno es uno de los elementos más abundantes. Es también uno de los dos nutrientes más importantes (el otro es el fosforo) para el crecimiento de algas y plantas acuáticas. Las reacciones de los nitratos (NO_3) en el agua dulce pueden causar el agotamiento del oxígeno

En tal caso, los organismos acuáticos que dependen del suministro de oxígeno en el curso de agua morirían (samboya, 2021).

Fosfatos: El fosforo es uno de los elementos clave necesarios para el crecimiento de plantas y animales, y en forma elemental es muy toxico. Los fosfatos (PO_4), se forman a partir de este elemento. Su presencia puede provenir de la separación de pesticidas orgánicos que contienen fosfatos. Puede existir en solución, como partículas, como fragmentos sueltos, o en los cuerpos de organismos acuáticos (Samboya, 2021).

Temperatura: La temperatura es un parámetro muy importante en la vida del cuerpo del agua, pues la existencia de la biota depende directamente de la temperatura. La biota tiene rangos de tolerancia para diferentes factores: acidez, cantidad de nutrientes, porcentaje de humedad y temperatura. Así mismo, la temperatura tiene efectos directos o indirectos sobre la mayoría de las reacciones químicas y bioquímicas que ocurren el agua y la solubilidad de los gases en el agua. El efecto de un cambio en la temperatura se manifiesta en un cambio en la cantidad de nutrientes, así como gases solubles, de los cuales el más importante es el oxígeno. Si la temperatura aumenta, se aceleran las reacciones que envuelven la disolución de sólidos, pero decrece la solubilidad de los gases, por lo que no se oxidan los elementos orgánicos (Samboya, 2021).

Oxígeno Disuelto. El oxígeno disuelto (OD) es la cantidad de oxígeno gaseoso que esta disuelto en el agua. El oxígeno libre es fundamental para la vida de los peces, plantas, algas, y otros organismos; por eso, desde siempre, se ha considerado como un indicador de la capacidad de un río para mantener la vida acuática (Gunther, 2023).

Investigaciones Previas

- 1) Según Saboya, 2021 en su investigación concluyó que los fertilizantes más utilizados son aluminio, potasio, foliares y que los agricultores desconocen de la contaminación de cuerpos de agua. La contaminación de la quebrada Shatona está relacionada a la contaminación de fertilizantes que utilizan. Se concluye además que los fertilizantes utilizados por los agricultores inciden en el 100% de parámetros analizados por lo cual tienen una incidencia alta en la calidad del agua de la quebrada.
- 2) Según Piccardo 2014 mediante su estudio concluyó que el manejo del cultivo de caña de azúcar esta influyendo en la calidad del agua del arroyo Lenguazo. Se encontraron concentraciones altas de fósforo, lo que contribuye a floraciones altas en dicho embalse.
- 3) Según Jaime 2015 concluyó en su investigación que en la identificación de los contaminantes químicos de aguas superficiales, los resultados del laboratorio indican que el LMP de acuerdo a la norma: TULSMA Tomo a Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico que únicamente requieren tratamiento convencional, aquí se puede ver que el resultado obtenido es <0.01000 , el Paraquat presenta valores de <0.1 y el glifosato así mismo presenta valores de <0.001 , lo que indica que las aguas del río Montalvo todavía no presentan una contaminación alta. Adicional, Al determinar los fertilizantes químicos que usan los agricultores, y frecuencia de aplicación, se indica que los productores de maíz si tienen conocimiento de las bondades de fertilizantes orgánicos en los cultivos, pero utilizan siempre para la fertilización del maíz fertilizantes químicos, a pesar de conocer la peligrosidad que significa el uso de estos.
- 4) La investigación previa por Ferat, Galaviz y Partida 2019 concluyen que el ingreso de nitrógeno y fósforo total a la cuenca del río Usumacinta proviene de los sitios de muestreo ubicados en

parcelas agrícolas y pastizales. Las escorrentías de zonas ganaderas son las de mayor aporte de nutrientes a la cuenca baja del río Usumacinta. Se encontró una relación entre el uso de suelo y las concentraciones de nitrógeno y fósforo total por agroecosistema. Las concentraciones de nutrientes encontrados en las aguas de escorrentía exceden los límites máximos permisibles de la normativa nacional y extranjera, por tanto; existe un riesgo ambiental y posibles efectos en el mantenimiento de la vida acuática en zonas costeras.

Marco Legal

El suelo es un recurso importante y una de las leyes que está a cargo de proteger y preservar el suelo es la Ley Num. 211 de 26 de marzo de 1946 según enmendada, Ley de Distritos de Conservación de Suelos de Puerto Rico.

Actualmente, existen leyes que protegen los recursos naturales ya sea el agua y suelo. Entre las leyes que protegen el agua son las siguientes:

- Ley para la Conservación, el Desarrollo y el Uso de Recurso de Agua de Puerto Rico – Ley Num. 136 de 3 de junio de 1976, según enmendada el propósito principal de esta ley es mantener el nivel de pureza de las aguas de Puerto Rico que requiera el bienestar, la seguridad y el desarrollo del país.

La agencia responsable de hacer cumplir lo estipulado por la ley y proteger los recursos existentes es el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales bajo el reglamento de #6213 del 2000. Existen varias leyes locales y federales que son parte del uso, manejo y conservación de las aguas en la Isla. Otras agencias existentes que también son parte de conservar la calidad del agua son: La Junta de Calidad Ambiental (JCA), el Departamento de Salud (DS) y la Autoridad de Energía Eléctrica (AEE) han sido asignadas responsabilidades legales en el manejo de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas (JCA); la calidad del agua potable (DS); y el uso y manejo de aguas utilizadas para riego y generación hidroeléctrica (AEE). La Agencia de Protección Ambiental Federal (EPA) es responsable de la Ley Federal de Agua Limpia (CWA, 1970) en el manejo de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas en Puerto Rico. Otras agencias como el Servicio de Pesca y Vida Silvestre Federal (USFWS), el Servicio Forestal Federal (USFS) y el Servicio Nacional de Pesquerías Marinas (NMFS) también intervienen indirectamente en el

manejo del agua en PR. En reservas federales como El Yunque, el USFS reglamenta el uso del agua (*Leyes-y-Reglamentos*, s. f.).

Metodología

Área de estudio

Se realizará el estudio en los terrenos agrícolas que poseen siembras de plátanos los mismos quedan cerca del Valle de Coloso en Aguada y se analizará el agua del Río Cañas.

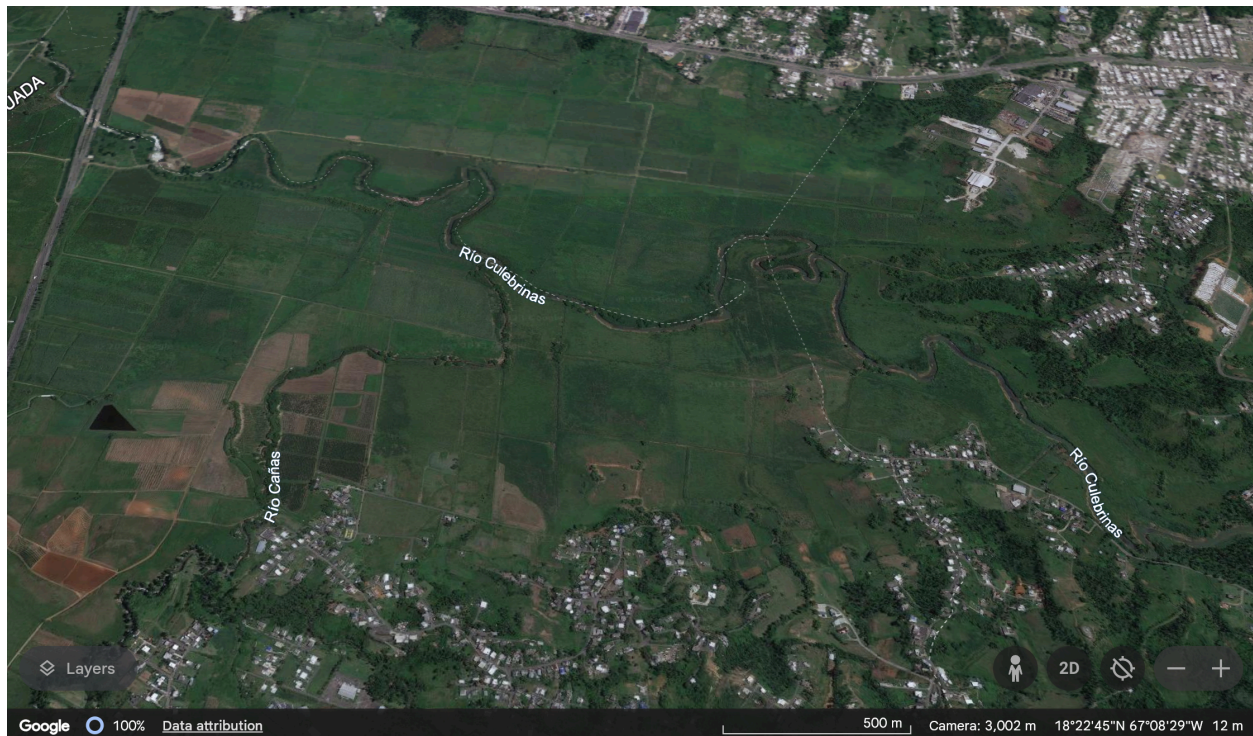


Figura 1. Mapa a través de google earth del área de estudio



Figura 2. Mapa a través de Google earth del área de muestreo

Leyenda:

- Lugar de muestreo de agua
- Lugar de muestreo de suelo

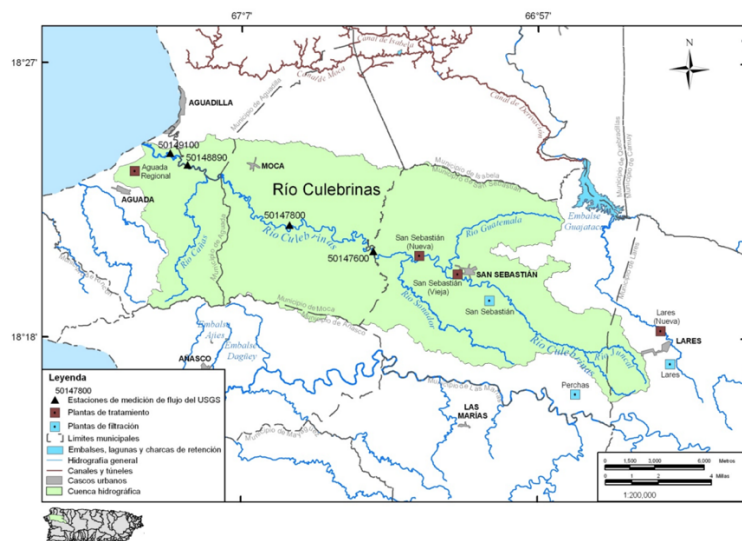


Figura 3. Mapa de la ubicación del Río Cañas (Imagen tomada de la página oficial del Departamento de Recursos Naturales).

Río Cañas

El Río Cañas es un río localizado en Aguada, Puerto Rico el mismo conecta con la Cuenca del Río Culebrinas. Las coordenadas del área de estudio son latitud 18°22'05''(N) y longitud 67°09'35''(W). Los suelos principales en la cuenca incluyen las series de Colinas, Voladoras y Consumo de bajo valor agrícola en las zonas calizas, pero de gran fertilidad en los valles como el Valle de Coloso en Aguada formados por el Río Culebrinas y sus tributarios. El uso principal de los terrenos en la cuenca agrícola (61% del área), mayormente dedicada al cultivo de frutas y pastos. Los bosques y los pastos no mejorados representan el 24% del área, mientras que las zonas urbanas ocupan el 8% de los terrenos.

Muestreo

Se colectarán las muestras de suelo y agua desde agosto a octubre de 2023, se analizará días de lluvias y días sin lluvias.

Suelo

Lugares de monitoreo se elegirán con la finalidad de analizar el suelo. Las muestras se tomarán de suelos cerca del río y se tomarán los siguientes criterios de selección:

- Tipos de suelo y proporción
- Zonas bajas y áreas de fácil acceso
- Puntos cercanos al río

Las muestras de suelo se recolectarán en un envase boca ancha con tapa capacidad de 1L con la nomenclatura asignada. Se realizará una profundidad de 15 cm aproximadamente al suelo para tomar la muestra. Se tomarán tres muestras del área designada de muestreo.

El equipo que se utilizará para realizar las pruebas es “Soil Test Kit”, marca “luster leaf” el cual cumple con los estándares necesarios para monitorear y evaluar los nutrientes del suelo y es de alta calidad, se analizarán pH, N, P y K.

Agua

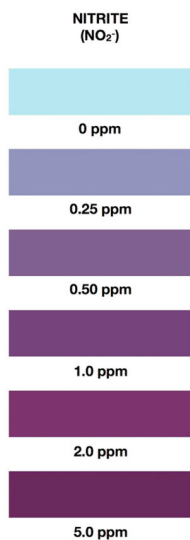
Las muestras de agua se tomarán cerca de los terrenos agrícolas en la región de Aguada, se elegirán tres puntos de muestreo. La recolección de las muestras de agua el recipiente se sumergirá en forma inclinada en un ángulo de 30° y a una altura 20 cm de profundidad aproximadamente, dirigiendo la boca del frasco en sentido contrario a la corriente natural. Luego, se etiquetará y acondicionará adecuadamente a temperatura de 4 C°, en cajas térmicas (Coolers) y luego transportadas para sus análisis dentro de las 24 horas. El equipo que se utilizará para realizar análisis químico de pH N, P y K es el “Kit API” el cual cumple con los estándares de calidad necesarios para analizar los parámetros establecidos.

Determinación de pH en suelo y agua

El pH del suelo se relaciona a la disponibilidad de nutrientes que tienen un suelo o con la toxicidad que pueden producir algunos elementos. Se utilizará el método colorimétrico del pH basado en los conceptos ácidos débiles y bases débiles, el cual los colores cambian de las formas disociadas o no disociadas. Depende del color es la cantidad de pH del suelo.

Procedimiento de determinación de Nitrógeno en agua

1. Llenar tubo de ensayo limpio con 5 ml de agua.
2. Añadir 5 gotas de la solución de Nitrato (NO_2^-).
3. Comparar resultados obtenidos con la carta de color.



Procedimiento de determinación de Potasio (KH) en agua

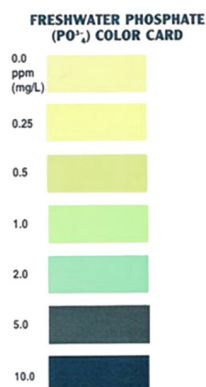
1. Llenar tubo de ensayo limpio con 5 ml de agua del Río Cañas.
2. Añadir gota a gota de la solución de KH hasta que el agua cambie a color amarillo.
3. El valor de KH es determinado por el número de gotas que son añadidos hasta que el agua se torne amarillo brillante.
4. Verificar resultados según la cantidad de gotas añadidas hasta que se cambió de color la muestra.

GH & KH CONVERSION CHART

# of Drops	°dKH	ppm GH/KH
1	1	17.9
2	2	35.8
3	3	53.7
4	4	71.6
5	5	89.5
6	6	107.4
7	7	125.3
8	8	143.2
9	9	161.1
10	10	179
11	11	196.9
12	12	214.8

Procedimiento para determinar fosforo en agua

1. Añadir 6 gotas de la solución de fosfato #1.
2. Agitar
3. Añadir 6 gotas de la solución de fosfato #2.
4. Esperar 3 minutos y comparar resultados con la carta de color.



Determinación de oxígeno disuelto en el agua

1. Se utilizará el kit de la marca Monitor, lote 23072 que tiene un rango desde 0 a 15 ppm.
2. Se colocará una muestra de agua en un tubo de ensayo se añadirá tres gotas del reagente #1 , luego tres gotas del reagente #2.
3. Cerrar el tubo de ensayo y agitar hasta que se torne un precipitado marrón.
4. Luego esperar 2 minutos.
5. Añadir 3 gotas del reagente #3, cerrar el tubo de ensayo y esperar que el precipitado desaparezca.

6. Dividir la muestra en dos tubo de ensayo y elegir uno de los tubos para agregar el reagente

#T gota a gota hasta que de color amarillo cambio a sin color.

7. Anotar la cantidad de gotas totales para calcular la cantidad de Oxígeno Disuelto Total.

Total Drops A	DO Value (ppm)	Total Drops A	DO Value (ppm)	Total Drops A	DO Value (ppm)
1	0.5	11	5.5	21	10.5
2	1	12	6	22	11
3	1.5	13	6.5	23	11.5
4	2	14	7	24	12
5	2.5	15	7.5	25	12.5
6	3	16	8	26	13
7	3.5	17	8.5	27	13.5
8	4	18	9	28	14
9	4.5	19	9.5	29	14.5
10	5	20	10	30	15

Determinación de Nitrógeno en suelo

1. Tomar una muestra de suelo.
2. Colocar la muestra en un tubo de ensayo hasta donde indica 1 ml.
3. Añadir solución N1 hasta la marca de 2.5ml.
4. Filtrar la muestra y colocarla en un tubo de ensayo nuevo.
5. Añadir una cucharada polvo N2.

6. Agitar 10 segundos.
7. Esperar 5 minutos.
8. Comparar resultados con la carta de color.

Determinación de Fósforo en suelo

1. Tomar una muestra de suelo.
2. Colocar la muestra en un tubo de ensayo hasta donde indica 0.5ml.
3. Añadir solución P1 hasta la marca de 2.0 ml.
4. Filtrar la muestra y colocarla en un tubo de ensayo nuevo.
5. Añadir una cucharada de polvo P2.
6. Agitar 5 segundos.
7. Comparar resultados con la carta de color.

Determinación de Potasio en suelo

1. Tomar una muestra de suelo.
2. Colocar la muestra en un tubo de ensayo hasta donde indica 0.5ml.
3. Añadir solución K1 hasta la marca de 2.0 ml.
4. Filtrar la muestra y colocarla en un tubo de ensayo nuevo.
5. Añadir 0.5ml de polvo K2
6. Agitar 5 segundos.
7. Esperar 5 minutos.
8. La solución va a tener un grado de nubosidad y ahí se determinará la cantidad de potasio que posee la solución.

Resultados de Análisis de Suelo

Fecha: 9 de agosto de 2023

# de	Temperatura	*Parámetros			
Muestra	°C	pH	[N]	[P]	[K]
			mg/L	mg/L	mg/L
1	21.7	7.5	0	3	0
2	21.7	7.5	0	2	0
3	21.7	7.5	0	2	1
Promedio	21.7	7.5	0	2.33	0.33
Varianza	0	0	0	0.33	0.67
Desviación Estandar	0	0	0	0.57	0.82

Fecha: 23 de agosto de 2023

# de	Temperatura°C	*Parámetros			
Muestra		pH	[N]	[P]	[K]
			mg/L	mg/L	mg/L
1	20.9	7.0	1	3	1
2	20.9	7.0	0	3	1
3	20.9	7.0	0	3	1
Promedio	20.9	7.0	0.33	3	1
Varianza	0	0	0.33	0	0
Desviación Estándar	0	0	0.57	0	0

* Se utilizó el “Soil Test Kit” marca luster leaf para realizar los análisis

Fecha: 6 de septiembre de 2023

# de	Temperatura		*Parámetros		
Muestra	°C	pH	[N]	[P]	[K]
			mg/L	mg/L	mg/L
1	20.8	7.0	0	3	0
2	20.8	7.0	0	3	0
3	20.8	7.0	0	3	0
Promedio	20.8	7.0	0	3	0
Varianza	0	0	0	0	0
Desviación Estándar	0	0	0	0	0

Fecha: 20 de septiembre de 2023

# de	Temperatura		*Parámetros		
Muestra	°C	pH	[N]	[P]	[K]
			mg/L	mg/L	Mg/L
1	20.6	7.5	2	4	1
2	20.6	7.5	2	3	1
3	20.6	7.5	2	3	1
Promedio	20.6	7.5	2	3.33	1
Varianza	0	0	0	0.33	0
Desviación Estándar	0	0	0	0.57	0

* Se utilizó el “Soil Test Kit” marca luster leaf para realizar los análisis

Fecha: 7 de octubre de 2023

# de	Temperatura	*Parámetros			
Muestra	°C	pH	[N]	[P]	[K]
			mg/L	mg/L	mg/L
1	20.8	7.5	0	3	0
2	20.8	7.5	0	3	0
3	20.8	7.5	0	3	0
Promedio	20.8	7.5	0	3	0
Varianza	0	0	0	0	0
Desviación Estándar	0	0	0	0	0

Fecha: 17 de octubre de 2023

# de	Temperatura	*Parámetros			
Muestra	°C	pH	[N]	[P]	[K]
			mg/L	mg/L	mg/L
1	20.9	7.5	0	2	1
2	20.9	7.5	0	2	1
3	20.9	7.5	0	2	1
Promedio	0	7.5	0	2	1
Varianza	0	0	0	0	0
Desviación Estándar	0	0	0	0	0

* Se utilizó el “Soil Test Kit” marca luster leaf para realizar los análisis

Resultados de los Análisis de Agua

Fecha: 9 de agosto de 2023

# de Muestra	Temperatura °C	* pH	[N] mg/L	[P] mg/L	[K] mg/L	Oxígeno Disuelto (ppm)
1	25.7	7.6	0	0	107.4	6
2	25.7	7.6	0	0	107.4	6
3	25.7	7.6	0	0	107.4	6
Promedio	25.7	7.5	0	2	1	6
Varianza	0	0	0	0	0	0
Desviación Estándar	0	0	0	0	0	0

Fecha: 23 de agosto de 2023

# de Muestra	Temperatura °C	*pH	[N] mg/L	[P] mg/L	[K] mg/L	OD (ppm)
1	25.6	7.6	0	0.25	125.3	6
2	25.6	7.6	0	0.25	125.3	6
3	25.6	7.6	0.25	0.50	125.3	6
Promedio	25.6	7.6	0	0.33	125.3	6
Varianza	0	0	0	0.021	0	0
Desviación Estándar	0	0	0	0.14	0	0

* Datos obtenidos utilizando las pruebas marca API para pH, N, P y K. Pruebas de análisis de oxígeno disuelto (OD) marca Monitor.

Fecha: 6 de septiembre de 2023

# de	Temperatura	*pH	[N]	[P]	[K]	OD
Muestra	°C		mg/L	mg/L	mg/L	ppm
1	25.6	7.2	0.25	0.50	89.5	6
2	25.6	7.2	0	0.50	89.5	6
3	25.6	7.2	0	0.50	107.4	6
Promedio	25.6	7.2	0.25	0.50	95.5	6
Varianza	0	0	0.0625	0	106.80	0
Desviación	0	0	0.25	0	10.33	0
Estándar						

Fecha: 20 de septiembre de 2023

# de	Temperatura	*pH	[N]	[P]	[K]	OD
Muestra	°C		mg/L	mg/L	mg/L	ppm
1	24.3	7.6	0.25	0.50	125.3	11
2	24.3	7.6	0	0.25	125.3	11
3	24.3	7.6	0	0.50	107.4	11
Promedio	24.3	7.6	0.08	0.33	119.3	11
Varianza	0	0	0.021	0.021	106.81	0
Desviación	0	0	0.14	0.14	10.33	0
Estándar						

* Datos obtenidos utilizando las pruebas marca API para pH, N, P y K. Pruebas de análisis de oxígeno disuelto (OD) marca Monitor.

Fecha: 7 de octubre de 2023

# de Muestra	Temperatura °C	*pH	[N] mg/L	[P] mg/L	[K] mg/L	OD ppm
1	24.9	7.6	0	0.25	143.2	11
2	24.9	7.6	0	1.0	143.2	11
3	24.9	7.6	0	0.25	143.2	11
Promedio	24.9	7.6	0	1.5	143.2	11
Varianza	0	0	0	1.68	0	0
Desviación Estándar	0	0	0	1.29	0	0

Fecha: 17 de octubre de 2023

# de Muestra	Temperatura °C	*pH	[N] mg/L	[P] mg/L	[K] mg/L	OD ppm
1	25.1	7.6	0	0.25	143.2	11
2	25.1	7.6	0	0.25	143.2	11
3	25.1	7.6	0	0.25	143.2	11
Promedio	25.1	7.6	0	0.25	143.2	11
Varianza	0	0	0	0	0	0
Desviación Estándar	0	0	0	0	0	0

* Datos obtenidos utilizando las pruebas marca API para pH, N, P y K. Pruebas de análisis de oxígeno disuelto (OD) marca Monitor.

Gráficas de los resultados obtenidos del muestreo

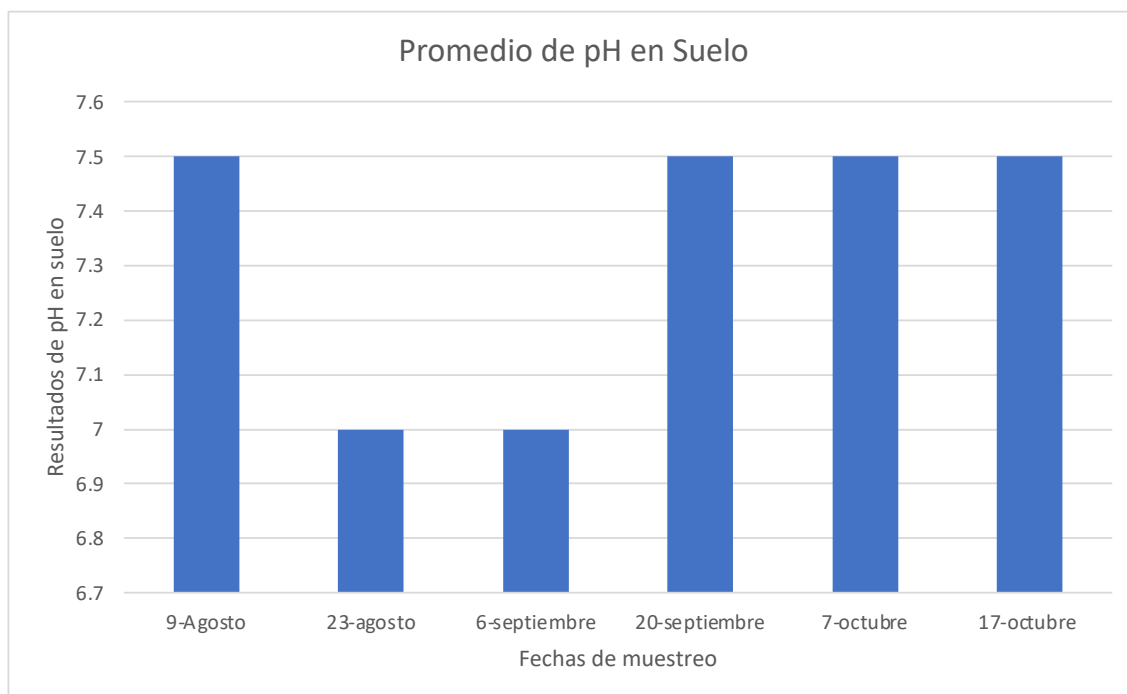


Figura 4. Gráfica representativa del promedio por fecha de pH.

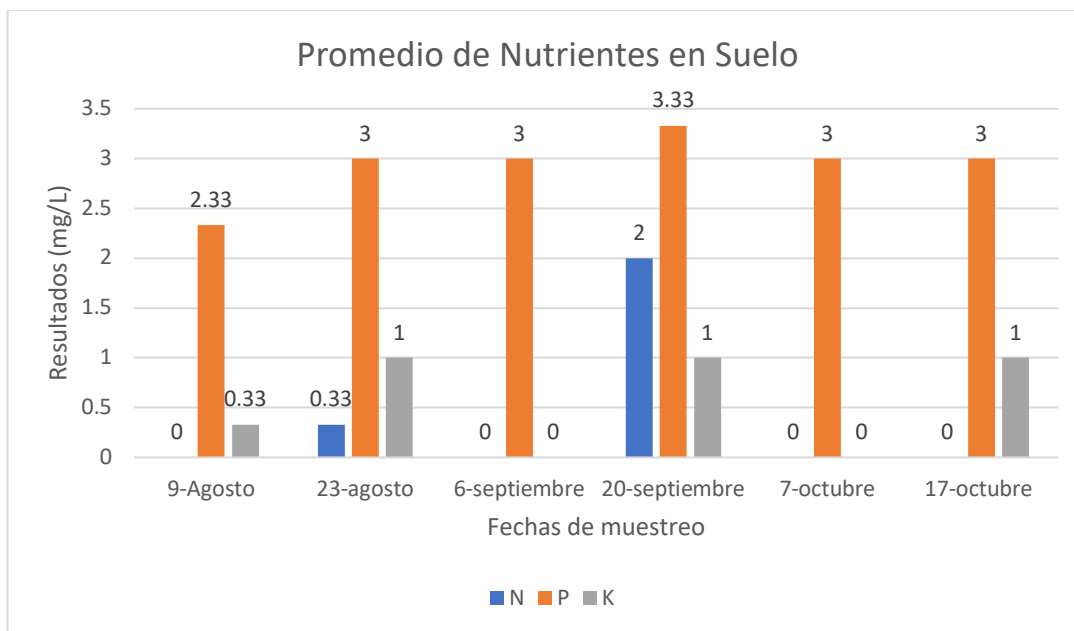


Figura 5. Gráfica representativa del promedio por fecha de N , P y K en muestras de suelo

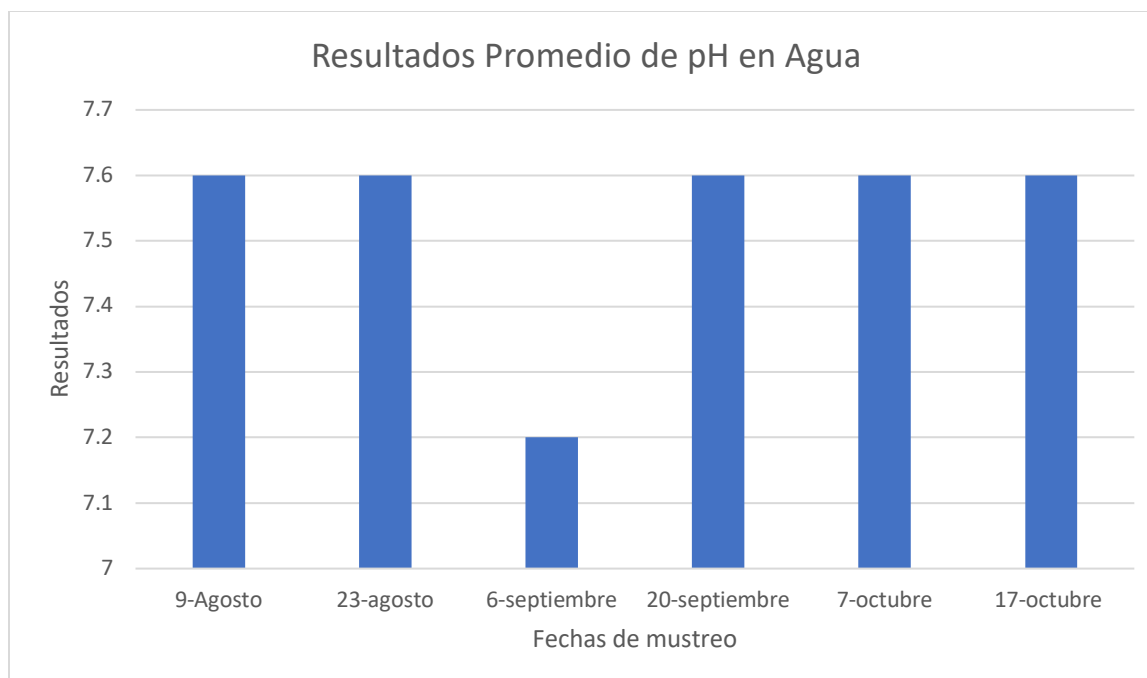


Figura 6. Gráfica representativa del promedio por fecha de pH en muestras de agua.

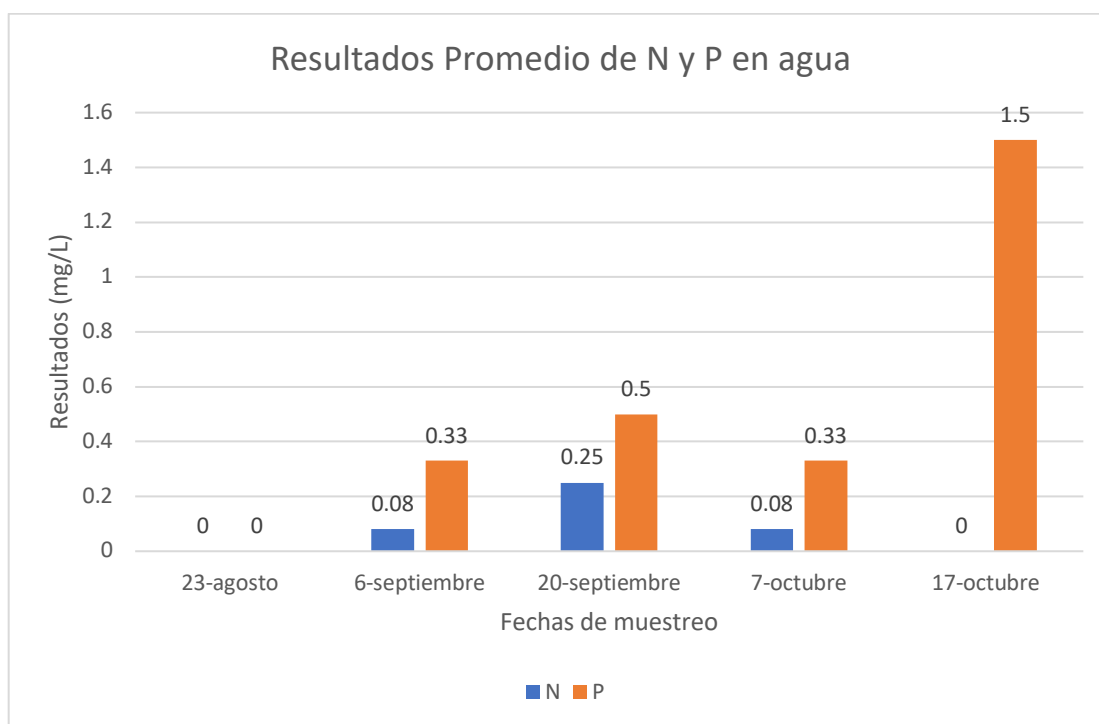


Figura 7. Gráfica representativa del promedio por fecha de N y P en muestras de agua

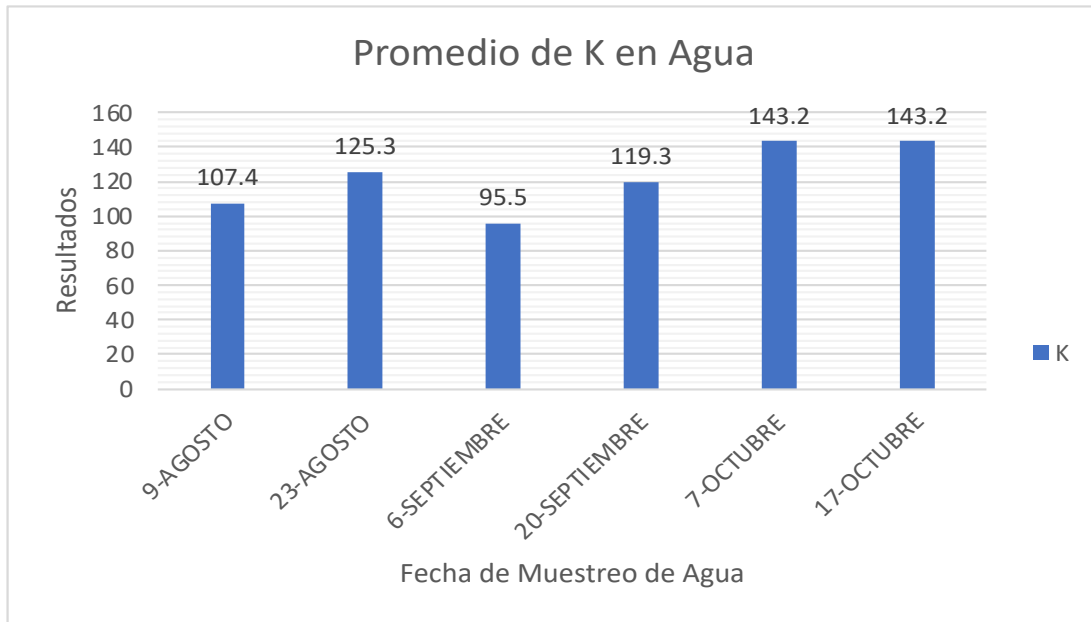


Figura 8. Gráfica representativa del Promedio de K en las muestras de agua

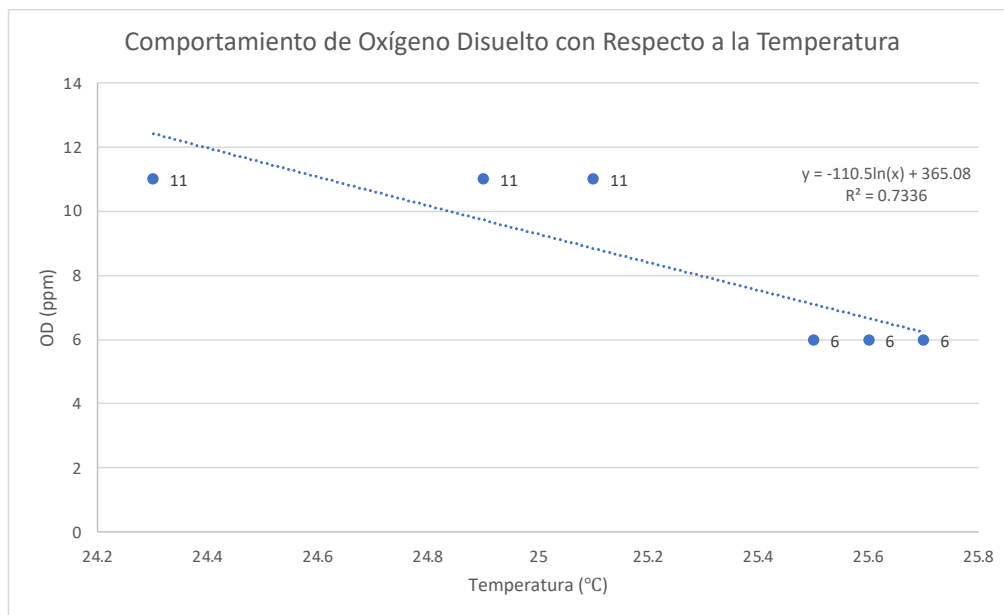


Figura 9. Comportamiento promedio del OD con respecto a la temperatura en muestras de agua.

Discusión

El Río Cañas es un río que desemboca en el Río Culebrinas el cual es uno de los más extensos en el área oeste y es de gran importancia ya que suple la subestación de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillado en Aguada y San Sebastián. Los contaminantes que la Junta Calidad de Calidad ha encontrado en el Río Culebrinas y sus tributarios es bacterias de origen fecal y nutrientes, provenientes de pozos sépticos y actividades agrícolas. Las muestras se tomaron cuando las plantaciones estaban en crecimiento. El promedio del pH fue 7.0-7.5 lo cual indica que el suelo se encuentra bajo un nivel neutral y alcalino y el agua tuvo un promedio de 7.2-7.6 lo cual indica un pH neutral. Sin embargo, pH 7.4 puede ocasionar que ocurran deficiencias en fósforo. Las Concentraciones promedio de Nitrógeno en suelo fueron 0, 0.33, 0, 2, 0 y 0 mg/l. Las concentraciones promedios de Nitrógeno (N) en agua fueron 0, 0.08, 0.25, 0.08, 0 y 0 mg/l. Estas concentraciones de Nitrógeno en suelo y agua indican una concentración baja. Las concentraciones promedio de fósforo (P) en suelo fueron 2.33, 3, 0, 3.33, 3 y 0 mg/l. Las concentraciones promedio de P en agua fueron 0, 0.33, 0.50, 0.33, 1.5 y 0.25 mg/l. El fósforo en el suelo se encuentra en un nivel mediano a alto tanto en suelo como agua. La presencia de fósforo en aguas superficiales ocasiona eutroficación en el río. Las concentraciones promedio de Potasio (K) en suelo 0.33, 1, 0, 1 0 y 1 mg/l. Las concentraciones promedio de K en agua son 107.4, 125.3, 95.5, 119.3, 143.2 y 143.2 mg/l. Los resultados indicaron que el suelo tuvo un bajo nivel de potasio y el agua tuvo un nivel alto de Potasio, pero no ocasiona un efecto en la calidad del agua. Se realizaron pruebas al agua de Oxígeno Disuelto (OD) ya que es el mejor indicador para determinar la calidad del agua. Cuando existen niveles bajos las especies acuáticas no pueden sobrevivir. El OD no se considera un contaminante, pero niveles bajos o altos pueden afectar la calidad del agua. Los resultados

promedio de OD obtenidos fueron 6, 6, 6, 11, 11 y 11 ppm. Existe una relación inversa en temperatura y OD entre más más baja la temperatura mayor oxígeno disuelto. Cuando los niveles están demasiado bajos las especies acuáticas no pueden sobrevivir. Los niveles de OD en Puerto Rico deben exceder los 5ppm.

Conclusión

- Se obtuvo que el pH en el suelo y agua fue neutral y alcalino lo cual nos indica que esta apto el suelo para realizar cultivos y que el mismo no afectó la calidad del agua.
- Los resultados obtenidos sobre la presencia de Nitrógeno son bajos en suelo y en agua. Suelos con bajo nivel de nitrógeno puede ser ocasionado por exceso de riego de agua en el suelo y por lluvias. Aguas superficiales con presencia de nitrógeno indican contaminación.
- El fósforo en suelo y agua se encontró en niveles de moderado a alto. Se realizó muestreo durante un día lluvioso el 20 de septiembre de 2023 y se pudo observar niveles altos de fósforo en las muestras. Esto a largo plazo puede ocasionar eutrofización¹ de las aguas del Río cañas.
- El exceso de potasio en suelo puede ocasionar que las plantas no absorban otros nutrientes que son necesarios para su desarrollo y adicional, ocasionar lixiviación en agua, podemos concluir que los niveles de K en el suelo fueron deficientes y en el agua fue moderado lo cual no afecta la calidad del agua.
- Se realizaron pruebas de Oxígeno Disuelto debido a que cuando existe eutrofización el exceso de algas consume el oxígeno ocasionando contaminación y daño a las especies acuáticas. Se concluyó que las cantidades de OD son estables y logrando así las condiciones favorables para la vida acuática existente en el río.

- Las temperaturas obtenidas en agua fueron desde 24.9 hasta 25.7,°C el estándar de la Junta de Calidad Ambiental es $\leq 32.2^{\circ}\text{C}$, por lo tanto, el Río Cañas posee una temperatura estable dentro de los estándares exigidos por la JCA.
- Podemos concluir que por el momento no existe un impacto mayor del flujo de nutrientes del suelo que afecte la calidad del agua.
- Esta investigación abre puertas a continuar realizando estudios sobre la calidad del agua con parámetros químicos. Adicional, continuar la evaluación de nutrientes para crear data que ayuda a mejorar la calidad del agua y evitar contaminación en los cuerpos de agua de Puerto Rico.

Imágenes



Imagen 1. Soluciones utilizadas para medir los parámetros de agua



Imagen 2. Muestras de agua con fecha del 23 de agosto de 2023



Imagen 3. Muestra tomada

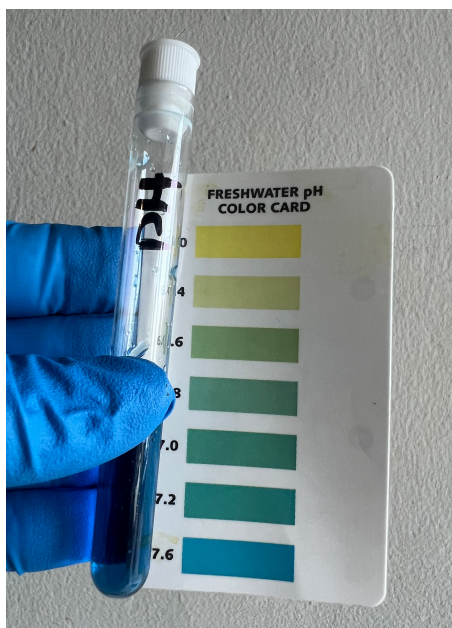
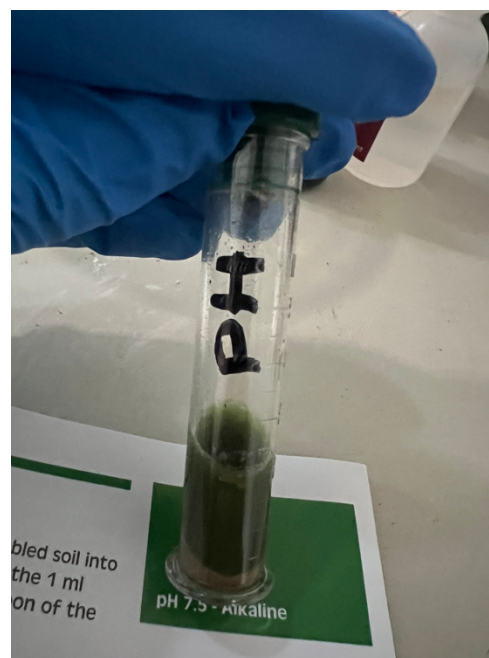


Imagen 4. pH obtenido el 23 de agosto muestras #1 en agua



Imagen 5. Resultados Obtenidos con fecha del 9 de agosto de las muestras #1

Imagen 6. pH obtenido muestras#2 fecha del 9 de agosto en suelo



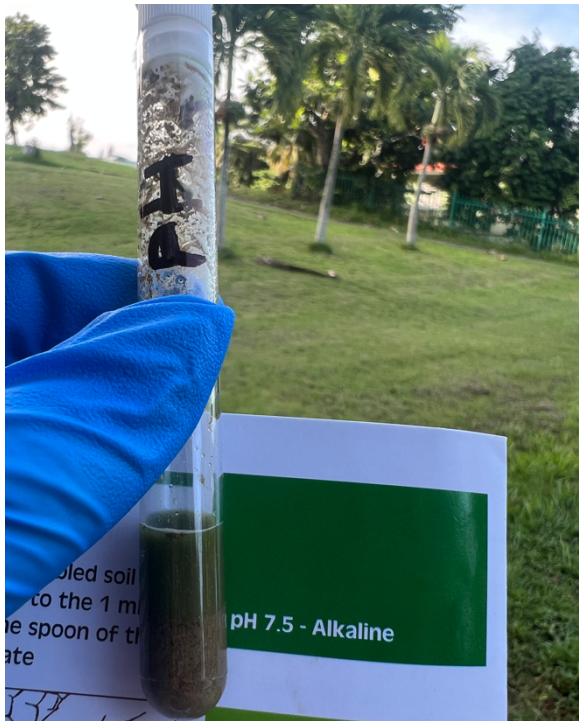


Imagen 7. pH obtenido 20 de septiembre de 2023 en suelo

Imagen 8. Muestreo de suelo





Imagen 9. Río Cañas el 23 de agosto de 2023



Imagen 10. Río Cañas el 23 de agosto de 2023



Imagen 11. Río Cañas el 20 de septiembre de 2023, bajo un día lluvioso.



Imagen 12. Río Cañas el 20 de septiembre de 2023, bajo un día lluvioso.

Referencias

Aconsa, E. (2021, 25 agosto). *Parámetros químicos de calidad del agua: ¿Cuáles incluye la normativa?* - aconsa. Aconsa. <https://aconsa-lab.com/parametros-quimicos-calidad-agua-cuales-incluye-la-normativa/>

Agricultura mundial: hacia los años 2015/2030. (s. f.).

<https://www.fao.org/3/y3557s/y3557s11.htm>

Agropinos. (2022, septiembre 19). Clasificación de los fertilizantes. *Agropinos.*

<https://www.agropinos.com/blog/clasificacion-de-fertilizantes>

Algae, M. (2022, 4 abril). *Eutrofización ¿Por qué se produce la eutrofización y qué soluciones tiene?* <https://es.linkedin.com/pulse/eutrofizaci%C3%B3n-por-qu%C3%A9-se-produce-la-y-soluciones-tiene->

Arevalo, G. , Castellano, M. (2009). *Manual de Fertilizantes y Enmiendas.* Pág. 23-25.

Ávila, Juan, Reinoso, Pola y Zambrano, Sandra. Contaminación difusa producida por actividades agrícolas. s.f. Disponible en: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/30006/1/176-647-1-PB.pdf>

Calidad-de-las-Aguas-en-Puerto Rico. (s. f.). https://www.rekursosaguapuertorico.com/Calidad-de-las-Aguas-en-PR.html?no_redirect=true

Carbonero, P. *Química del Suelo y fertilizantes*. https://oa.upm.es/54493/1/QUIMICA_3.pdf

Decenio Internacional para la Acción “El agua, fuente de vida” 2005-2015. Áreas temáticas: Calidad del agua. (s/f). Recuperado el 29 de noviembre de 2022, de <https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>

Contaminación por nutrientes | US EPA. (2023, 14 junio). US EPA. <https://espanol.epa.gov/espanol/contaminacion-por-nutrientes>

Ferat, M. , Galaviz, I . , Partida, S. (2019). Evaluación de nitrógeno y fósforo total en escorrentías agropecuarias en la cuenca baja del río Usumacinta (Tabasco, México)

Gunther, T. (2023, 14 febrero). *El oxígeno disuelto y la calidad del agua*. LG Sonic. <https://www.lgsonic.com/es/el-oxigeno-disuelto/>

Gonzalez, P. (2019). *Consecuencias ambientales de la aplicación de fertilizantes*. N° SUP: 118.959

ICEX. Fertilizantes en Perú. (s.f.).

Jaime, F. (2015). *Evaluación del Impacto Ambiental por Uso Inadecuado de Fertilizantes Químicos en el Cultivo de Maíz de la Parroquia el Angedado*.

Leyes-y-Reglamentos. (s. f.). <http://www.recursosaguapuertorico.com/leyes-y-reglamentos.html>

López, M., Pérez, A. (2018). Pruebas de Lixviación como evaluación ambiental de materiales. Instituto Mexicano de Transporte. No. 515. Disponible en <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt515.pdf>

Muñoz, B. (2012). Impacto de Fertilizantes y Pesticidas en la calidad del suelo y agua.

Navarro, G., Navarro, S. (2014). Fertilizantes. Química y acción. *Ediciones mundi prensa*. Págs 1-10.
<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=3McUBQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=fertilizantes&ots=4IxT9arr6n&sig=iPvq9SHuqNeHh5fzoSa1dhMOVZY#v=onepage&q=fertilizantes&f=false>

Ocasio, F. (2008). *Evaluación de la calidad del agua y posibles fuentes de contaminación de un segmento del Río Piedras*.

Piccardo, A. (2014). *Potenciales impactos del uso de fertilizantes sobre la calidad del agua del arroyo Lenguazo (Artigas)*.

PREQB, (2022) Puerto Rico Environmental Quality Board, Puerto Rico Water Quality Inventory and List of Impaired Waters, 2004 305(b)/303(d) Final Report

Rapal, U. (2010). *Contaminación y eutrofización del agua*.
https://www.rapaluruguay.org/sitio_1/agrotoxicos/Uruguay/Eutrofizacion.pdf

SACSA. Conozca los efectos ambientales de los fertilizantes químicos. 18 de abril de 2015. Disponible en: <http://www.gruposacsa.com.mx/conozca-los-efectos-ambientales-de-los-fertilizantes-quimicos/>

Samboya, J. (2021). *Incidencia de los fertilizantes del cultivo de arroz en la calidad del agua de la quebrada Shantona de Distrito de Jepelaco*. N° 60510019.

Santiago. (2023, 7 marzo). *Qué son los fertilizantes y para qué sirven*. PQP Profesional.
<https://pqpprofesional.com/que-son-los-fertilizantes-y-para-que-sirven/>

Sawyer, C.N. and McCarty. Chemistry for Environmental Engineering (3rd ed), McGrawHill Book Company, New York, 1978.

Torres, G. (2009). *Desarrollo y aplicación de un índice de calidad de agua para ríos de Puerto Rico*.

Us Epa, O. A. (2022). *Contaminación por nutrientes*.

<https://espanol.epa.gov/espanol/contaminacion-por-nutrientes>