

Evaluación de la calidad del agua a través de variables físicas – químicas e indicadores de eutrofización en el Embalse Hidroeléctrico Apanás - Asturias, (RAMSAR No. 1137), Jinotega

Evaluation of water quality through physical – chemical variables and eutrophication indicators in the Apanás – Asturias Hydroelectric Reservoir, (RAMSAR, No. 1137), Jinotega

Caballero Arbizú, Yader Santiago

 Yader Santiago Caballero Arbizú

yadercaballero@cira.unan.edu.ni

Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA). Laboratorio de Radioquímica Ambiental. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua, Nicaragua

Revista Torreón Universitario

Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua-Managua, Nicaragua

ISSN: 2410-5708

ISSN-e: 2313-7215

Periodicidad: Cuatrimestral

vol. 12, núm. 33, 2023

revis.torreon.faremc@unan.edu.ni

Recepción: 08 Febrero 2022

Aprobación: 29 Noviembre 2022

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/387/3873792013/>

DOI: <https://doi.org/10.5377/rtu.v12i33.15897>

Financiamiento

Fuente: Este proyecto fue cofinanciado por los Fondos para Proyectos de Investigación (FPI) de la UNAN-Managua y el Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua) y diferentes entidades públicas y privadas, las cuales formaron parte esencial en el desarrollo de la presente investigación (ENEL, GRUPO MASLAGO y RIKOLTO). Desarrollado en el periodo 2018–2021 bajo la línea de investigación: Calidad de los recursos marino–costeros.

Nº de contrato: 41201804

Beneficiario: Yader Santiago Caballero Arbizú

El autor o los autores de los artículos, ensayos o investigaciones conceden a la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua (UNAN-Managua) los derechos de edición (copyright) del trabajo enviado, por consiguiente la Universidad cuenta con el derecho exclusivo para publicar el artículo durante el periodo completo de los derechos de autor.



Resumen: Los embalses construidos para las hidroeléctricas además de proveer energía, también son reservorios de agua para consumo humano, animal y riego en cultivos agrícolas, por tal motivo es importante evaluar la calidad de estas aguas periódicamente. En este estudio se evaluó la calidad de agua del embalse Apanás-Asturias usando parámetros físicos, químicos, microbiológicos y nutrientes indicadores de eutrofización. Se tomaron muestras en tres puntos del embalse: PTAR-Las Flores, Punto Central y Conexión Apanás-Asturias en Sep-19 y Sep-20. Los resultados obtenidos a partir de los análisis físicos – químicos mostraron que el agua del embalse es de buena calidad, a excepción de la turbidez, color verdadero y el hierro. Las concentraciones de oxígeno disuelto en los tres puntos muestreados en el Embalse Apanás-Asturias se encontraron por encima del límite establecido por la Norma Técnica Nicaragüense para clasificación de los Recursos Hídricos (NTON, 2000) para aguas destinadas a la navegación y generación de energía eléctrica ($> 3.0 \text{ mg.l}^{-1}$). El Fe en todos los sitios muestreados se encontró por encima del valor máximo admisible por las Normas Canadienses para Protección del medio Ambiente ($0,3 \text{ mg.l}^{-1}$) y por encima de las Normas para irrigación (5 mg.l^{-1}). Por otro lado, los resultados microbiológicos evidenciaron elevadas concentraciones de los indicadores de contaminación de origen fecal en Sept-2019, especialmente en el Punto PTAR-Las Flores en el embalse Apanás-Asturias. El estado trófico de las aguas del embalse Apanás-Asturias en los sitios PTAR-Las Flores y Punto Central es eutrófico en Sep-19 y Sep-20, mientras en el sitio Conexión Apanás – Asturias el estado trófico es Mesotrófico en base a la Clorofila y a fósforo total.

Palabras clave: generación hidroeléctrica, normas, eutrofización, estado trófico.

Abstract: The reservoirs built for hydroelectric plants, in addition to providing energy, are also reservoirs of water

Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](#).

for human and animal consumption, and irrigation in crops, for this reason, it is important to evaluate the quality of these waters periodically. In this study, the water quality of the Apanás-Asturias reservoir was evaluated using physical, chemical, and microbiological parameters and nutrients that indicate eutrophication. Samples were taken at three points of the reservoir: WWTP-Las Flores, Central Point, and Apanás-Asturias Connection on Sep-19 and Sep-20. The results obtained from the physical-chemical analyses showed that the water of the reservoir is of good quality, except for turbidity, true color, and iron. The concentrations of dissolved oxygen at the three points sampled in the Apanás-Asturias Reservoir were above the limit established by the Nicaraguan Technical Standard for the classification of Water Resources (NTON, 2000) for waters intended for navigation and electricity generation ($> 3.0 \text{ mg.l}^{-1}$). Fe at all sampled sites were found above the maximum allowable value under the Canadian Environmental Protection Standards (0.3 mg.l^{-1}) and above the Irrigation Standards (5 mg.l^{-1}). On the other hand, the microbiological results showed high concentrations of fecal contamination indicators in Sept-2019, especially at the WWTP-Las Flores Point in the Apanás-Asturias reservoir. The trophic state of the waters of the Apanás-Asturias reservoir in the WWTP-Las Flores and Punto Central sites is eutrophic in Sep-19 and Sep-20, while in the Apanás-Asturias connection site the trophic state is Mesotrophic based on chlorophyll a and total phosphorus.

Keywords: hydroelectric generation, norms, eutrophication, trophic status.

1. INTRODUCCIÓN

La calidad de los recursos hídricos en Nicaragua está siendo deteriorada por el incremento de las actividades antropogénicas que arriesga la disponibilidad futura de agua para usos vitales de la población. Estos recursos hídricos como lagos, lagunas, ríos y embalses se encuentran en áreas de escasez hídrica por la distribución irregular y estacional de las lluvias, en zonas de mayor densidad poblacional y donde se realiza la mayor actividad agrícola e industrial del país. Entre los principales usos del agua para satisfacer las necesidades de la población y el medio ambiente destacan para consumo humano, agricultura, recreación y generación de energía eléctrica. Las actividades agropecuarias y el aumento de la población, como en muchas partes del mundo, ha provocado cierto grado de deterioro en los recursos hídricos, que se traduce en sobreexplotación y contaminación en algunos casos (Castillo, Calderón, Delgado, Flores, & Salvatierra, 2006).

Actualmente, muchos de los conflictos están relacionados con el agua y las dificultades con respecto a la calidad, protección de las fuentes y el uso racional, asociado a la necesidad de suplir a la sociedad con un recurso adecuado de agua, lo que hace necesario el diseño e implementación de sistemas acuáticos artificiales como son los embalses.

Los embalses son reservorios de agua importantes para la vida y desarrollo de los asentamientos humanos a su alrededor, porque son utilizados principalmente para generación de energía eléctrica, abastecimiento de agua para consumo humano, animal y riego, regular el caudal de un río o arroyo (almacenando el agua de los períodos húmedos para utilizarlo durante los períodos más secos), uso industrial y la atenuación de crecientes,

la provisión de hábitat para una gran cantidad de especies animales y vegetales (Sriwongsitanon, Surakit, & Thianpopirug, 2011) . Según (Casamor, 1992) , como toda gran obra hidráulica, un embalse también incide notablemente en su entorno natural y genera una larga lista de problemas de diversa índole entre los que destaca la acumulación de sedimentos en el propio embalse, un proceso denominado aterramiento.

Entre la problemática actual del embalse Apanás–Asturias está la sedimentación ocasionada por el mal uso y manejo de los suelos provocando pérdidas de suelos por erosión. Los ríos en la cuenca del embalse no solo aportan agua, sino también transportan partículas de diferentes tamaños que se originan del material erosionado aumentando la sedimentación hacia el embalse. Según (ENEL, 2013), los sedimentos transportados desde la cuenca por escorrentías superficiales y los ríos deterioran la calidad del agua y podrían disminuir el volumen de almacenamiento de agua en el embalse Apanás - Asturias, por la acumulación progresiva de los mismos, afectando su vida útil.

En este proyecto de investigación se generó información sobre la calidad del agua para los usos consumo humano, recreación, irrigación y generación hidroeléctrica a través de la medición de variables Física – Química y nutrientes indicadores de eutrofización en el Embalse de Apanás-Asturias, que permita a las organizaciones tomar acciones correctivas, para el aprovechamiento sostenible y de gestión integral del humedal.

2. METODOLOGÍA

La cuenca del embalse Apanás-Asturias comprende una superficie total de 641.90 km²; 38.39 km² pertenecen al espejo de agua del embalse, pudiendo llegar a los 52 km² debido a la fluctuación del nivel del agua (ENEL, 2013). El mayor aporte del embalse Apanás-Asturias proviene de los ríos Cuyalí, Jigüina, Santa Clara, Jinotega, San Gabriel, San Antonio, Sisle, Mancotal, Cimarrona, Pedernales, El Porvenir y El Limón, además del trasvase de las aguas del pequeño lago de Asturias. Las muestras de agua fueron colectadas en el Embalse Apanás-Asturias en los meses de Septiembre-2019 (Sep-19) y Septiembre-2020 (Sep-20) en tres sitios de muestreo: PTAR-Las Flores, Punto Central y Conexión Apanás-Asturias (Fig. 1). Se realizó la toma de muestra de agua por medio de una botella Van Dorn para análisis físico-químico y Clorofila a y se midieron las variables de campo con equipos portátiles de temperatura, pH, conductividad eléctrica (CE) ORION STAR A 325, oxígeno disuelto (OD) y profundidad de Disco Secchi (transparencia del agua).

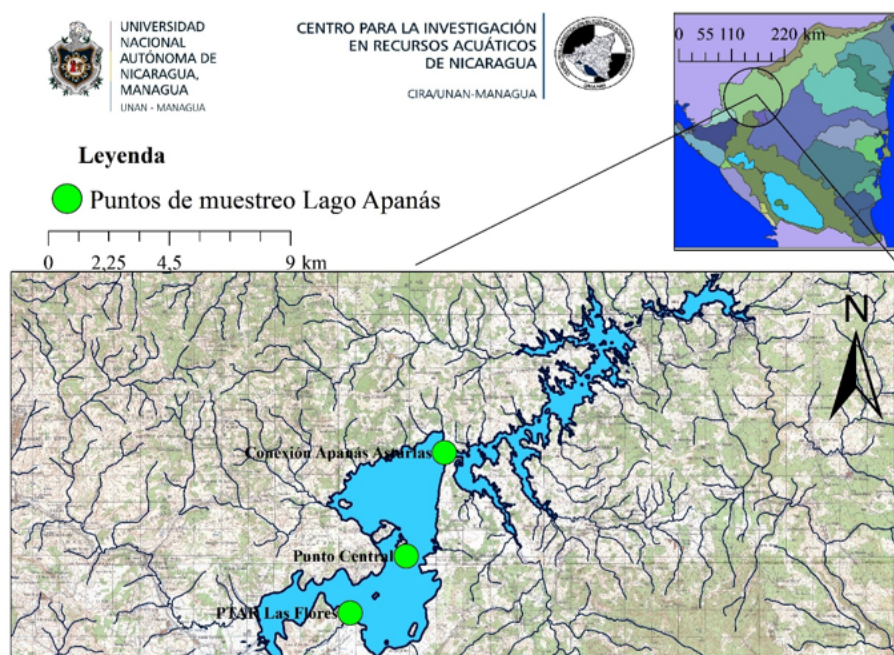


FIGURA 1.

Localización de los puntos de muestreo en el embalse Apanás-Asturias en Sep-19 y Sep-20).

Las muestras de agua fueron colectadas y preservadas siguiendo los procedimientos de campo por técnicos y especialistas del CIRA/UNAN-Managua y personal técnico de ENEL, posteriormente fueron transportadas para ser analizadas siguiendo los Procedimientos Operativos Normalizados (PON) del laboratorio de Aguas Naturales e hidrobiología del CIRA/UNAN-Managua de acuerdo al Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22 nd Edition (Tabla 1).

TABLA 1
Métodos utilizados en los análisis físicos - químicos y biológicos en el agua del embalse Apanás - Asturias.

Parámetros físico-químicos y biológicos.	Métodos SMWW usados
Turbidez	2130 B. ¹ Método Nefelométrico
pH	4500.HB. ¹ Método Electrométrico
Conductividad Eléctrica	2510 B. ¹ Método de laboratorio
Sólidos Totales Disueltos	1030 E. ¹
Color Verdadero	2120 B. ¹ Método de comparación visual
Hierro Total	3500-Fe B. ¹ Método Fenantrolina
Nitrógeno Total	Segunda Derivada ²
Fósforo Total	4500-P.B.E ¹ Método de Ácido Ascórbico
Fósforo Total Disuelto	4500-P.E ¹ Método de Ácido Ascórbico
Clorofila a	4500-P.E ¹ Método de Ácido Ascórbico

¹ American Public Health Association (APHA) (2012). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22 nd Edition. Washington APHA.

² Crumpton W G., TM. Isenhart & P.D Mitchell. (1982). Nitrate an Organic N analysis with second derivate spectroscopy. *Limnology & Oceanography* 37-907-913.

3. RESULTADOS

3.1. Temperatura

La temperatura del agua en el embalse Apanás-Asturias se comportó, en un rango de 19,9 °C a 27,2 °C en Sep-19 y entre 25,5 °C a 25,8 °C en Sep-20, observándose en ambos meses muestreados el valor más alto en el Punto Central. Esto puede ser debido a que este punto está ubicado en el centro del embalse, donde recibe una mayor radiación solar y no hay una gran movilidad de estas aguas. Estos niveles no representan valores importantes de contaminación térmica, pero si ideales para el crecimiento de microorganismos que pueden resultar peligrosos para seres humanos y animales. La temperatura en el embalse Apanás-Asturias se encuentra entre los valores normales para aguas naturales (18 a 30 °C).

3.2. pH

El pH encontrado en los tres puntos muestreados en el agua del embalse Apanás-Asturias no presentó variaciones marcadas en Sep-19 y Sep-20, encontrándose en ambos meses muestreados el valor más alto en el Punto Central (Fig. 2). El comportamiento del pH registró valores cercanos a 8,00 unidades de pH en la mayoría de los sitios muestreados a excepción del sitio Conexión Apanás-Asturias en Sep-20 que presentó el valor más bajo con 7,39 unidades de pH. Los valores obtenidos de pH en este estudio podría deberse a varias explicaciones, una sería principalmente debido a las condiciones meteorológicas, teniendo en cuenta que Septiembre es uno de los meses que presenta mayor lluvia en el año; es posible que desde las partes altas de las cuencas que drenan a la parte central del embalse se desprendieran minerales con una alta concentración de carbonatos, lo que hace que el pH se eleve. Otra, puede ser el consumo de CO₂ en la fotosíntesis de plantas o algas acuáticas, lo cual eleva la concentración de carbonatos y bicarbonatos. Según (Deborah, 1996), muchos factores naturales pueden influir sobre el pH, pero su valor depende fundamentalmente del balance entre el dióxido de carbono, bicarbonato y carbonato. Otra variación en el pH posiblemente ocurre por la descomposición de la materia orgánica ubicada en la superficie del agua que prevalecen en el cuerpo de agua en estudios y de forma adicional al grado de eutrofización que presenta el agua del embalse (García, 2016) .

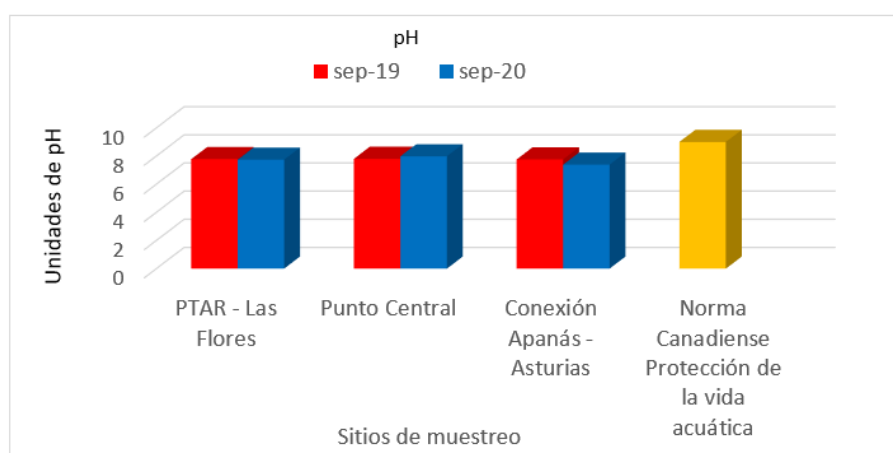


FIGURA 2.

Comportamiento del pH en el Embalse Apanás-Asturias en Sep-19 y Sep-20.

El pH en los tres puntos estudiados se encuentra entre los valores establecidos por Roldan (2008), para aguas naturales (6,0 y 9,0 unidades de pH) y entre los valores normales para protección del ambiente según las Normas Canadienses EQGs que establecen un pH entre 6,5 y 9,0 unidades de pH, para aguas dulces. Las aguas del embalse Apanás-Asturias no representan una amenaza para la vida acuática porque los peces soportan valores de pH entre 5,0 y 9,5 unidades (Custodio & Llamas, 2001).

3.3. Turbidez y Color Verdadero

La turbidez del agua en el embalse Apanás-Asturias en los tres sitios muestreados presentó intervalos entre 7,15 UNT a 47,20 UNT en Sep-19 y 16,25 UNT a 48,50 UNT en Sept-20 encontrándose el valor más alto en el punto PTAR-Las Flores en ambas épocas de muestreo (Fig. 3). Los resultados encontrados en el Punto PTAR-Las Flores en ambas épocas de muestreo mostraron influencia de los aportes de las aguas residuales provenientes de la PTAR de la ciudad de Jinotega. Las descargas directas al cuerpo de agua por la escorrentía urbana son factores que pueden incrementar la turbiedad en el ecosistema (Gautier, 2003). Por otro lado, el arrastre de sedimentos por escorrentías superficiales y los ríos hacia el embalse producidos por procesos erosivos en la cuenca, los cuales son transportados durante el movimiento del agua en el embalse desde la parte de arriba hasta la parte de abajo en la obra de tomas aumentan la turbidez en el Punto PTAR-Las Flores. Según (Glasstone, 1979), la mayor cantidad de partículas y sólidos disueltos producto de la erosión y la resuspensión de los lechos por parte de la actividad fluvial del ecosistema.

Es importante señalar que los sedimentos aumentan la turbidez en el agua del embalse probablemente por la presencia de materia suspendida como la arcilla, arena, materia orgánica finamente dividida, algas microscópicas y otros organismos microscópicos generada por la deforestación en la cuenca que provoca pérdidas de suelos por erosión. Según (Ramírez & Viña, 1998), la principal causa de la turbidez la constituyen los procesos erosivos y extractivos y su efecto sobre los ecosistemas acuáticos se manifiesta en la reducción de la penetración de luz y con ello, el impedimento de la fotosíntesis, provocando que el oxígeno no se libere, el cual es necesario para los organismos aeróbicos.

En esta investigación el color mostró un comportamiento similar a la turbidez, obteniéndose en el Punto PTAR-Las Flores los valores más altos en ambos meses muestreados (Fig. 3). El color en el agua del embalse posiblemente se debe a partículas en suspensión y disueltas que son transportadas por las escorrentías superficiales desde la cuenca, a sustancias húmicas y hojas (color café amarillento o pardo), Fitoplancton (color verde, rojiza, pardo amarillo) y material orgánico (Negro). Según (Mackenzie & Susan, 2005), el color

de un agua se debe a sustancias coloreadas existentes en suspensión o disueltas en ella: materias orgánicas procedentes de la descomposición de vegetales, así como de diversos productos y metabolitos orgánicos que habitualmente se encuentran en ellas (coloraciones amarillentas). Es importante destacar que la coloración del agua de amarillento a pardo en los tres puntos muestreados podría ser debido a la presencia de minerales de hierro y manganeso. La presencia de sales solubles de Fe y Mn en aguas subterráneas y superficiales poco oxigenadas también produce un cierto color en el agua (APHA, 2012) .

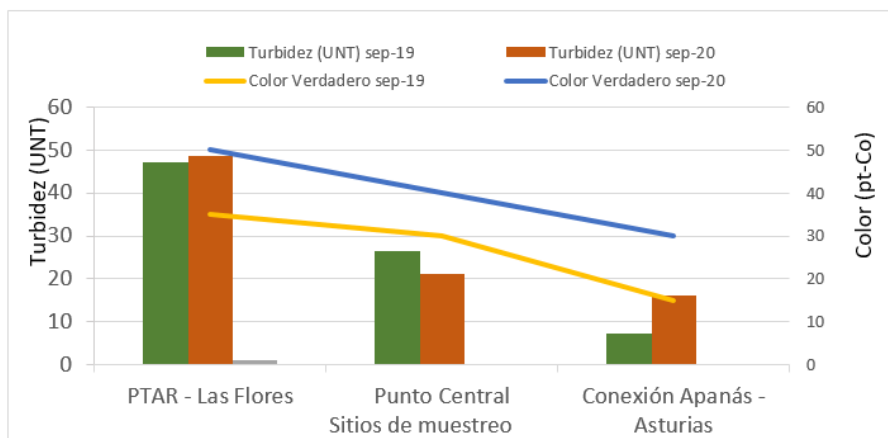


FIGURA 5.

Comportamiento de la turbidez Vs Color Verdadero en el Embalse Apanás-Asturias en Sep-19 y Sep-20.

3.4. Sólidos suspensos y Disco Secchi

El Punto PTAR-Las Flores presentó la mayor cantidad de sólidos suspensos en Sep-20 (Fig. 4). La distribución de los sólidos suspensos en Sep-20 refleja el transporte de partículas en suspensión por el flujo de agua desde la parte alta hasta parte baja en el embalse en la obra de toma y por la influencia de las aguas residuales de la PTAR-Las Flores de la ciudad de Jinotega. Las partículas en suspensión, especialmente de tamaño coloidal, como las arcillas, algas, óxidos de hierro y manganeso y las aguas residuales que contienen ligninas, taninos, tintes y otros químicos orgánicos e inorgánicos causan color en el agua (APHA, 2012).

Por otra parte, es importante mencionar la relación entre la profundidad del disco secchi y los sólidos suspensos en este estudio. En ambos parámetros se puede observar la diferencia de los resultados obtenidos en los tres sitios y en ambas épocas muestreadas; El sitio PTAR-Las Flores registró la menor profundidad medida con el disco secchi en ambos meses muestreados y la mayor concentración de sólidos suspensos en Sep-20 (Fig. 4).

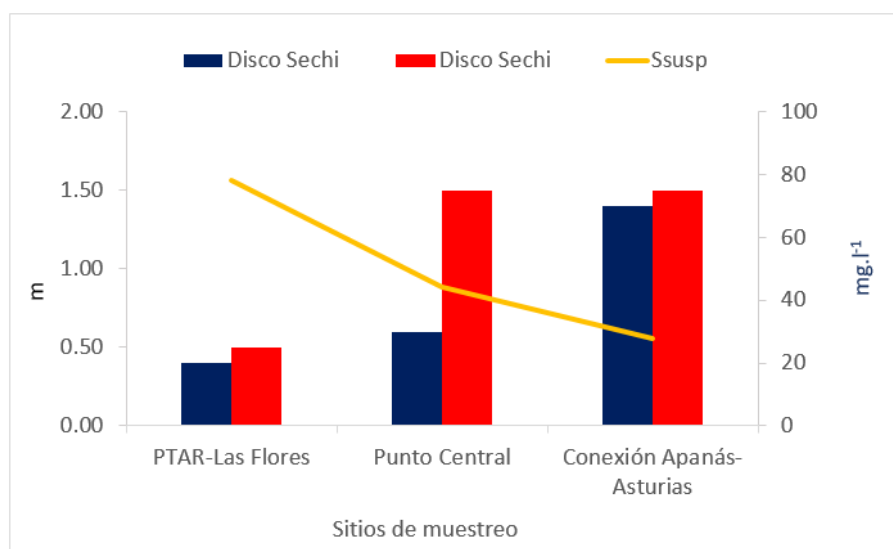


FIGURA 4.
Comportamiento de la transparencia en el embalse Apanas – Asturias en Sep-19 y Sep-20 y Sólidos Suspensos en Sep-20.

De acuerdo a los resultados obtenidos del disco Secchi la menor transparencia del agua en el embalse Apanás-Asturias se obtuvo en el punto PTAR-Las Flores en Sep-19 y Sep-20 con 0,50 m y 0,60 m de profundidad respectivamente (Fig. 5). Esta situación posiblemente se debe a la turbidez causada por la materia suspendida en el agua, que es lo opuesto a la claridad. Según (Gholizadeh, Melesse, & Reddi, 2016), la transparencia y la turbidez en el agua, están directamente relacionados.

3.5. Conductividad y Sólidos totales disueltos

Los resultados de CE en el agua del embalse Apanás-Asturias variaron entre 105,70 $\mu\text{s.cm}^{-1}$ a 112,60 $\mu\text{s.cm}^{-1}$ en Sep-19 y 102,00 $\mu\text{s.cm}^{-1}$ a 117,20 $\mu\text{s.cm}^{-1}$ en Sep-20, encontrándose el valor más alto en el Punto PTAR-Las Flores en ambas épocas muestreadas (Fig. 5). Con respecto a los sólidos totales disueltos (STD), en este estudio variaron entre 67,73 a 76,08 mg.l^{-1} en Sep-19 encontrándose el valor más alto en el Punto Central y entre 58,00 a 90,00 mg.l^{-1} , en Sep-20 encontrándose el valor más alto en el Punto PTAR-Las Flores.

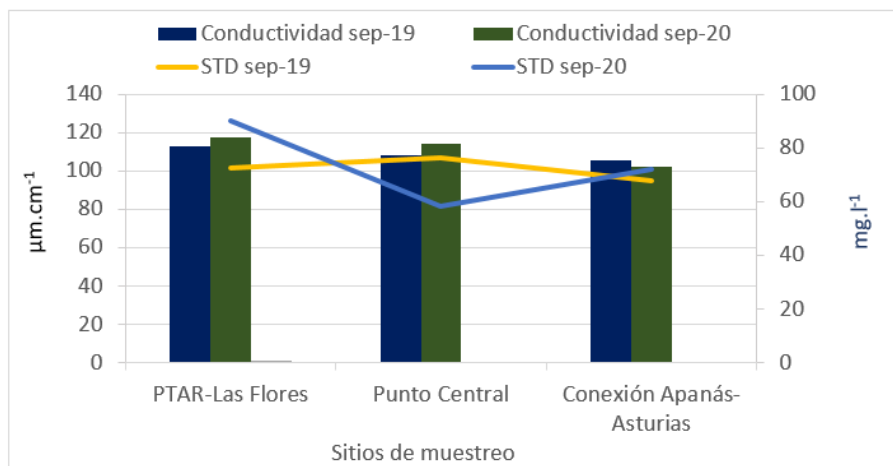


FIGURA 5.
Valores de la conductividad eléctrica vs Sólidos totales disueltos en el Embalse Apanás-Asturias en Sep-19 y Sep-20.

Los valores de STD encontrados en el embalse mostraron relación con la conductividad eléctrica encontrada en la mayoría de los sitios muestreados, a excepción del Punto Central que presentó el mayor valor en Sep-19 con 76,08 mg.l⁻¹ y menor valor en Sep-20 con 58,00 mg.l⁻¹ (Fig. 5). La conductividad está relacionada con la concentración total de sólidos disueltos y los iones mayores (Custodio & Llamas, 2001), y es muy sensible a la variación de los sólidos disueltos especialmente las sales minerales (Ramírez & Viña, 1998).

3.6. Oxígeno disuelto

Las concentraciones de oxígeno disuelto en el agua del embalse Apanás-Asturias variaron entre 6,76 mg.l⁻¹ a 8,49 mg.l⁻¹ en Sep-19 y 5,56 mg.l⁻¹ a 7,27 mg.l⁻¹ en Sep-20, encontrándose en ambas épocas de muestreo el valor más alto en el Punto Central (Fig. 6).

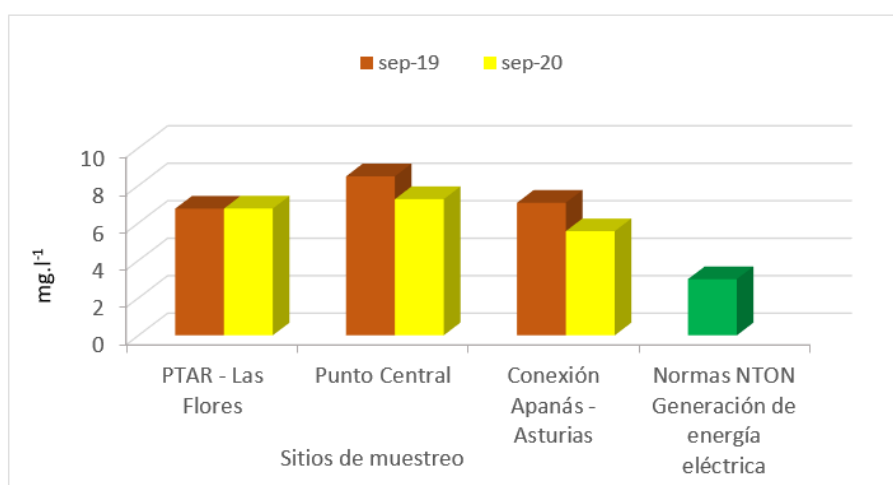


FIGURA 6.
Comportamiento del Oxígeno disuelto Valores en el Embalse Apanás-Asturias en Sep-19 y Sept-20.

Los resultados de OD tuvieron variabilidad en las dos épocas de muestreo. El comportamiento del OD en el Punto PTAR-Las Flores podría deberse al aporte de aguas residuales de la planta de tratamiento de la ciudad de Jinotega, mientras en el sitio Conexión Apanás-Asturias en Sep-20 podría deberse al aporte de nutrientes por escorrentías superficiales y los tributarios desde la cuenca. Según (Likens, 1972), en los embalses la concentración de OD varía en dependencia del incremento de la productividad biológica como resultado de la entrada de nutrientes y de materia orgánica, del patrón de distribución térmica, de su estado trófico, así como de su ubicación geográfica, morfometría y condiciones meteorológicas.

Las concentraciones de OD en los tres puntos muestreados en el Embalse Apanás-Asturias se encuentran entre el límite establecido por la Norma Técnica Nicaragüense para Clasificación de los Recursos Hídricos (NTON, 2000) para aguas destinadas a la navegación y generación de energía eléctrica ($> 3.0 \text{ mg.l}^{-1}$).

3.7. Nutrientes

3.7.1 Nitrógeno

Las concentraciones de Nitrógeno Total (NT) en los tres sitios muestreados en el embalse Apanás-Asturias variaron entre $0,325 \text{ mg.l}^{-1}$ a $0,925 \text{ mg.l}^{-1}$ en Sep-19 y $0,436 \text{ mg.l}^{-1}$ a $0,750 \text{ mg.l}^{-1}$ en Sep-20, observándose en ambas épocas de muestreo el valor más alto en el sitio PTAR-Las Flores (Fig. 7).

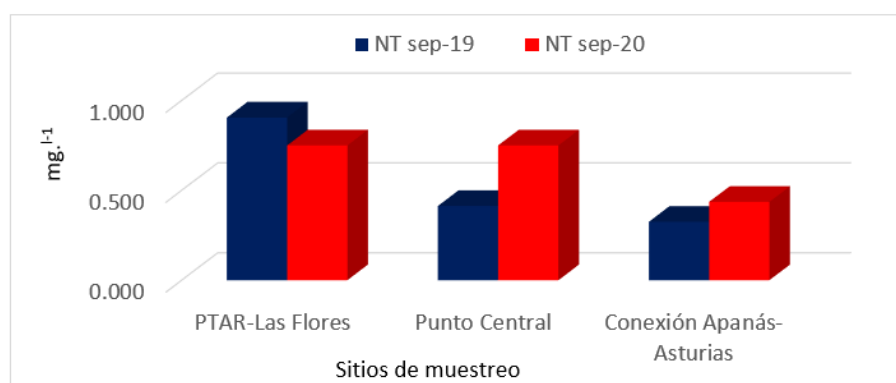


FIGURA 7.

Distribución del Nitrógeno total en el Embalse Apanás-Asturias en Sep-19 y Sep-20.

Las concentraciones de NT aumentaron en los sitios ubicados en el Punto Central y el Punto Conexión Apanás-Asturias en Sept-2020, disminuyendo en el Punto PTAR-Las Flores. Este comportamiento del NT en el área de estudio y especialmente en el Punto PTAR-Las Flores posiblemente se debe a influencia de las descargas urbanas procedentes de la ciudad de Jinotega y las escorrentías de áreas deforestadas en la cuenca. Las formas orgánicas están presentes en la excreta de los organismos y en el detritus; fundamentalmente como polipéptidos y grupos aminos (Lampert & Sommer, 2007).

3.7.2. Fósforo

Las concentraciones de Fósforo Total (FT) en el agua del embalse Apanás-Asturias variaron entre $0,051 \text{ mg.l}^{-1}$ a $0,144 \text{ mg.l}^{-1}$ en Sep-19 y $0,040 \text{ mg.l}^{-1}$ a $0,123 \text{ mg.l}^{-1}$ en Sep-20, encontrándose el valor más alto en el Punto PTAR-Las Flores en ambas épocas muestreadas (Fig. 8).

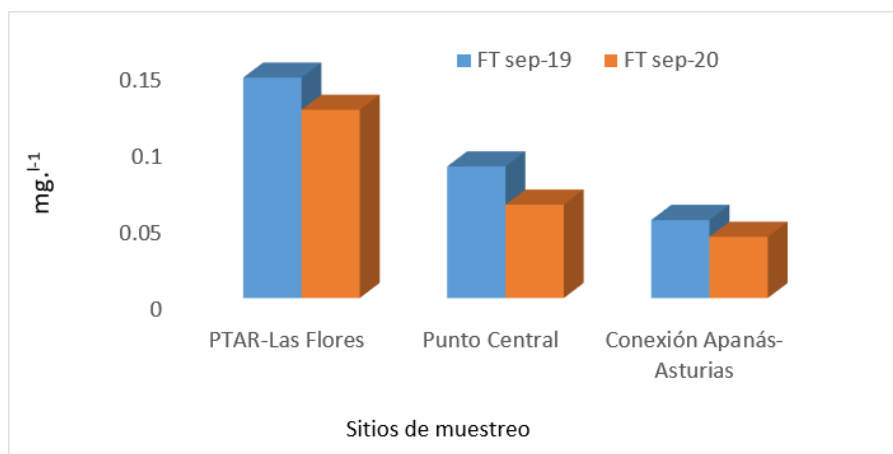


FIGURA 8. Distribución del Fósforo Total en el Embalse Apanás-Asturias en Sep-19 y Sep-2

El PT encontrado en el Punto PTAR–Las Flores posiblemente se debe a influencia de las descargas de aguas residuales de las plantas de tratamiento de la ciudad de Jinotega y por sedimentos, los cuales son transportados por escorrentía superficial y los ríos desde la cuenca. Las principales fuentes de fósforo son la descomposición de los productores primarios en la columna de agua y en los sustratos, la descomposición de los restos de animales y plantas, el vertido de residuales domésticos e industriales, el lavado de suelos fertilizados (Wetzel, 1983) y el lavado de apatita, vivianita y fosforita entre otros.

3.7.3. Hierro

Los valores del hierro mostraron grandes variaciones en este estudio; fluctuaron entre 0,27 a 1,70 mg.l⁻¹ en Sep-19 y entre 1,18 a 2,15 mg.l⁻¹ en Sep-21 (Fig. 9). Las concentraciones de hierro son más altas en Sep-20, reflejando un deterioro de la calidad del agua en el embalse; fundamentalmente en el Punto PTAR-Las Flores.

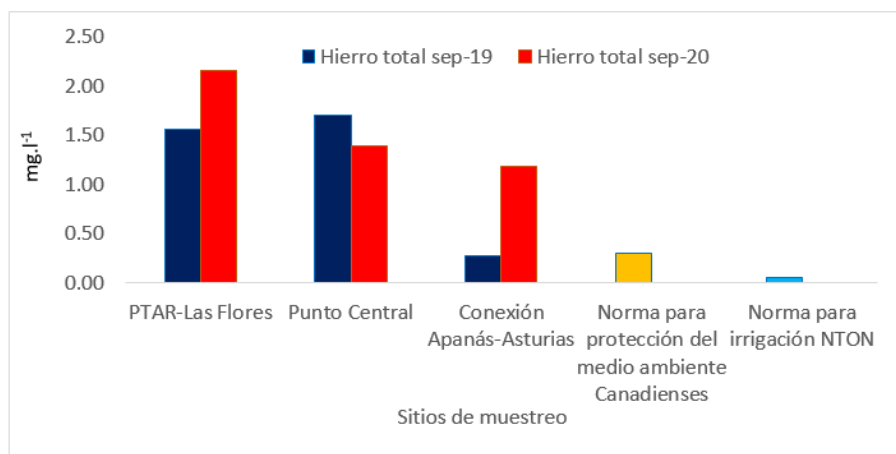


FIGURA 9. Comportamiento del hierro en el Embalse Apanás-Asturias en Sep-19 y Sep-20

El hierro encontrado en todos los sitios muestreados en el embalse Apanás-Asturias en Sep-19 y Sep-20 podría ser por disolución de las rocas compuestas por feldespatos ricas en hierro (Custodio & Llamas, 2001) y que son características de la geología de la zona de estudio, los cuales son transportadas por las escorrentías y los tributarios al embalse Apanás-Asturias. La erosión de los suelos en el área de estudio tiende a aumentar

la concentración del hierro total en el agua durante la época lluviosa porque se encuentran adheridas a las partículas de suelo, además el hierro precipita cuando el agua se oxigena, formando el $\text{Fe}(\text{OH})_3$ y provoca un color rojizo que se observa comúnmente en los ríos (González, 2004).

Las concentraciones del Fe en todos los sitios muestreados se encontraron por encima del valor máximo admisible por las Normas Canadienses para Protección del medio Ambiente ($0,3 \text{ mg.l}^{-1}$) y por encima del valor permitido por la NTON para irrigación ($0,05 \text{ mg.l}^{-1}$).

3.8. Clorofila a

Los resultados obtenidos de la Clorofila a en el embalse Apanás – Asturias variaron en Sep-19 entre $7,10 \mu\text{g.l}^{-1}$ a $11,84 \mu\text{g.l}^{-1}$, obteniéndose el valor más alto en el Sitio PTAR-Las Flores, mientras en Sep-20 variaron entre $12,43 \mu\text{g.l}^{-1}$ a $15,39 \mu\text{g.l}^{-1}$, observándose el valor más alto en el Punto Central (Fig. 10).

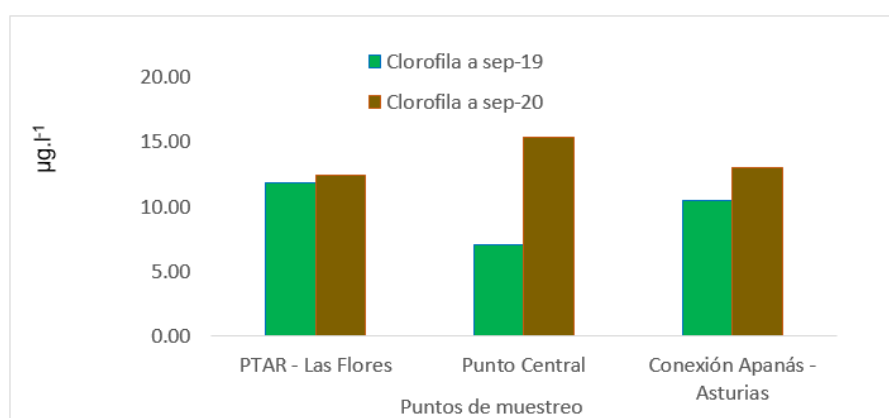


FIGURA 10.

Distribución de la Clorofila a en el Embalse Apanás-Asturias en Sep-19 y Sep-20.

Se puede visualizar en la Figura 13 que los resultados de Clorofila a fueron mayores en Sep-20 al compararlo con los obtenidos en Sep-19 en el Embalse Apanás - Asturias. Es importante mencionar que en el sitio PTAR-Las Flores los resultados de la Clorofila a fueron similares a diferencia del Punto Central y Conexión Apanás – Asturias que mostraron valores diferentes en Sep-19 a Sep-20. Estos valores de Clorofila a obtenidos en este estudio se consideran altos y evidencian un proceso de eutrofización en el ecosistema, acelerados por la actividades antropogénicas presentes en la cuenca.

3.9. Estado Trófico

El estado trófico se procedió a determinar utilizando los resultados obtenidos de la concentración de la Clorofila a, fósforo total y la transparencia de la columna de agua aplicando el Índice de Carlson modificado por Toledo en los tres sitios muestreados en el embalse Apanás – Asturias en Sep-19 y Sep-20 (Tabla 2).

TABLA 2.

Resultados del índice del estado trófico del agua del embalse Apanás-Asturias en Sep-19 y Sep-20.

Toledo	Clorofila a	FT	DS (m)	IEMT	Clorofila a	FT	DS (m)	IEMT
Sitios de muestreo	sep-19				sep-20			
PTAR-Las Flores	64.38	62.17	66.82	64.46	64.87	60.60	63.60	63.02
Punto Central	59.25	57.02	60.97	59.08	67.01	53.58	47.75	56.11
Conexión Apanás-Asturias	63.18	51.79	48.75	54.57	65.34	49.36	47.75	54.15

Como se evidencia en la tabla 3, el estado trófico de las aguas del embalse Apanás-Asturias en los sitios PTAR-Las Flores y Punto Central es eutrófico en Sep-19 y Sep-20, mientras en el sitio Conexión Apanás – Asturias el estado trófico es Mesotrófico (Tabla 3).

TABLA 3.

Resultados del índice del estado trófico del agua del embalse Apanás-Asturias en Sep-19 y Sep-20.

Toledo	IEMT	Estado Trófico	IEMT	Estado Trófico
Sitios de muestreo	sep-19		sep-20	
PTAR-Las Flores	64.46	Eutrófico	63.02	Eutrófico
Punto Central	59.08	Eutrófico	56.11	Eutrófico
Conexión Apanás-Asturias	54.57	Mesotrófico	54.15	Mesotrófico

Los resultados obtenidos con el índice de Toledo indican que hay cierto grado de eutrofización en los sitios PTAR-Las Flores y Punto Central, el cual se debe de tomar en cuenta para hacer un mejor manejo de los recursos hídricos y los desechos de las cuencas involucradas en este estudio.

4. CONCLUSIONES

Las aguas superficiales del Embalse Apanás – Asturias son del tipo bicarbonatadas calcicas y no presentan alteraciones severas en relación a su composición física y química, a excepción de la turbidez, color verdadero y el hierro. El sitio ubicado en la parte Central presentó alteraciones en las concentraciones del Fe en Sep-19 y nitrógeno total en Sep-20, por influencia de su ubicación y actividades económicas que se desarrollan alrededor del sitio estudiado. Desde el punto de vista microbiológico se encontró una contaminación de origen fecal en el sitio ubicado frente en la Parte Central del embalse en Sep-19 y Sep-20, lo que implica un deterioro de la calidad del agua y limita su potencial para fines domésticos y recreativos. El estado trófico de las aguas superficiales en el embalse Apanás-Asturias es eutrófico en función de las concentraciones de Fósforo Total y Clorofila - a Sep-19 y Sep-20 y evidencia problemas de eutrofización provocado por las actividades antropogénicas en la cuenca.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN-Managua), a través del Vice Rectorado de Investigación por el apoyo brindado con los Fondos para Proyectos de Investigación (FPI) y al Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua) por cofinanciar esta investigación con número de identificación 41201804 y a las diferentes entidades públicas y privadas, las cuales formaron parte esencial en el desarrollo de la presente investigación. Las entidades participantes fueron: RIKOLTO, GRUPO MASLAGO y la Empresa Nacional de Electricidad (ENEL).

BIBLIOGRAFÍA

- APHA. (2012). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Washington.
- Casamor, J. (1992). *Transporte y sedimentación del material en suspensión en embalses: El embalse de Camarasa*.
- Castillo, E., Calderón, H., Delgado, V., Flores, Y., & Salvatierra, T. (2006). Situación de los recursos hídricos en Nicaragua. *Boletín Geológico y Minero*, 127-146.
- Custodio, E., & Llamas, M. (2001). *Hidrología Subterránea. Tomo I y II*. Barcelona, España : Omega, S. A.
- Deborah, C. (1996). *Water Quality Assessments. A guide to use Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring*. London.
- ENEL. (2013). *Balance hídrico, Flujo de caudales, Erosión, Sedimentación y Batimetría del embalse Apanás - Asturias..*
- García, C. (2016). *Embalse del Guajaro. Diagnóstico Ambiental y Estrategias de Rehabilitación*.
- Gautier, V. (2003). Impact of raw water turbidity fluctuations on drinking water quality in a distribution systems. *Journal of Environmental Engineering and Science*, 281-291.
- Gholizadeh, M., Melesse, A., & Reddi, L. (2016). A Comprehensive Review on Water Quality Parameters Estimation Using Remote Sensing Techniques. *Sensors*, 16.
- Glasstone, S. (1979). *Tratado de Química Física*. Madrid. España.
- González, R. (2004). *Estudio sobre la calidad del agua y peligro de contaminación de los pozos de abastecimiento público, Río Viejo y Grande de Matagalpa en el Valle de Sebaco*. Managua.
- Lampert, W., & Sommer, U. (2007). *Limnoecology. In: Special Feature of aquatic habitats*. New York: Segunda edición. Oxford University Press Inc.
- Likens, G. (1972). Eutrophication and aquatic ecosystems. *Limnol. Oceanog*, 3-13.
- Mackenzie, D., & Susan, M. (2005). *Ingeniería y Ciencias Ambientales*.
- Ramírez, R., & Viña, G. (1998). *Limnología Colombiana aportes a su conocimiento y estadística de análisis*. Bogotá. Colombia.
- Sriwongsitanon, N., Surakit, K., & Thianpopirug, S. (2011). Influence of atmospheric correction and number of sampling points on the accuracy of water clarity assessment using remote sensing application. *Journal of Hydrology*, 203-220.
- Wetzel, R. (1983). *Limnology*. San Diego: Academic Press.