

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO
DE RECURSOS HÍDRICOS



22/11 evento
23/11 100% online
24/11 e gratuito

EVALUACIÓN DE LA VARIABILIDAD ESTACIONAL DE PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA EN DOS PUNTOS DE MONITOREO: AGUAS ARRIBA Y AGUAS ABAJO DE LA REPRESA DE RINCÓN DEL BONETE (UY)

Martha Toscano Parodi,
Universidad Tecnológica del Uruguay, martha.toscano@estudiantes.utec.edu.uy
Agustina Elizabeth Ramirez de Leon,
Universidad Tecnológica del Uruguay, agustina.ramirez@estudiantes.utec.edu.uy
Fernando Pasini,
Universidad Tecnológica del Uruguay, fernando.pasini@utec.edu.uy

Resumen

Este trabajo busca identificar por medio del análisis de la variabilidad de ocho parámetros de calidad de agua la influencia de la estacionalidad natural y de una represa en dos puntos de monitoreo de calidad de agua. El área de estudio es la represa Dr. Gabriel Terra, Rincón del Bonete, Uruguay. Los puntos de toma de muestras están ubicados, un dentro del embalse y otro aguas abajo de la represa. El análisis consistió en el pre procesamiento de los datos obtenidos en el sitio web del Observatorio Ambiental Nacional (2009 - 2022) y en la generación de box-plots de los parámetros: Temperatura, DBO5, Clorofila α , pH, Conductividad, Oxígeno Disuelto, Coliformes Termotolerantes y Nitrógeno Total. Se verificó que los parámetros Temperatura y Oxígeno disuelto presentan pronunciada variación estacional inversa, que los parámetros DBO5, Conductividad, Coliformes Termotolerantes y Nitrógeno Total aunque presenten influencia del sitio de toma de muestras y estacionalidad están sobre todo influenciados por la dinámica de la cuenca. El pH se presenta variando en general entre 7 y 8, y la Clorofila α una tendencia de aumento en verano, aunque también es registrada en las demás estaciones.

Palabras clave: Clorofila α , Gestión de Cuencas, Recursos Hídricos, Impacto de Represas.

1. Introducción

Debido a la disponibilidad de recurso hídricos, Uruguay ha desarrollado una base energética consolidada en la energía hidroeléctrica. La cuenca nacional más explotada para tal finalidad es la del Río Negro, la cual vierte el más largo y caudaloso curso de agua nacional. El Río Negro nace en Brasil y cruza Uruguay de Este a Oeste, hasta tornarse afluente del Río Uruguay, posee una longitud total de 850 km, de los cuales 700 km corresponden al territorio uruguayo. En el cauce de este río, se han establecido las tres mayores centrales hidroeléctricas nacionales: Rincón del Bonete, Baygorria y Palmar (Paz et.al., 2023).

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS 2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

22/11 evento
23/11 100% online
24/11 e gratuito

La construcción y operación de estas represas hidroeléctricas han sido y continúan siendo objeto de intensos debates y controversias. A pesar de las ventajas que presentan, que van desde la generación de energía sostenible hasta la regulación de caudales y la prevención de inundaciones, no se puede olvidar las desventajas significativas asociadas, como la alteración en los parámetros de calidad de agua, en las áreas del lago reservatorio, la quiebra de la conectividad del curso de agua con otros ecosistemas acuáticos circundantes y alteraciones en la fauna y flora acuática local (Freeman et al., 2003).

La afirmación de que las represas pueden influir en los parámetros de calidad del agua ha sido respaldada por diversos autores, por ejemplo, Prenda et al. (2002), sostienen que las represas a menudo conducen al estancamiento del agua, lo que puede resultar en cambios significativos en la temperatura, la concentración de oxígeno disuelto y en la composición química del agua. Otros autores argumentan que este tipo de obra de intervención simplifica la estructura física de los ríos al reducir la velocidad de la corriente y alterar la profundidad de la columna de agua (Baigún et al., 2011). Como resultado, las represas pueden bloquear las rutas de migración de los peces, lo que podría tener un impacto negativo en las poblaciones de peces y en la pesca local. No obstante, es importante señalar que el grado de impacto de las represas puede variar significativamente según el ciclo de vida de cada especie migratoria y su estructura poblacional (Baigún et al., 2011).

Aunque se disponga de importante riqueza hídrica, Uruguay ha experimentado eventos severos de reducción de la calidad del agua en sus ríos, asociadas a la agricultura, mala gestión de efluentes urbanos y industriales y al estancamiento, en especial tratándose del Río Negro (Chalar et al., 2021).

En territorio nacional se suma otro factor que suele impactar en la calidad de las aguas que es la pronunciada estacionalidad (Vivot et al., 2012). Conocer el comportamiento de la calidad del agua afectada por un embalse, así como las variaciones estacionales es fundamental para poder gestionar el recurso hídrico. Por esta razón, este estudio tiene por objetivo analizar ocho parámetros indicadores de calidad del agua en dos estaciones de monitoreo, una ubicada aguas arriba y otra aguas abajo de la represa Rincón del Bonete, durante un período de aproximadamente 14 años. Al mismo tiempo, se propone investigar cómo las estaciones del año pueden afectar en estos parámetros de calidad del agua.

2. Metodología

El análisis de este trabajo comenzó con la descarga de datos de calidad de agua desde el portal en línea del Observatorio Ambiental Nacional (MA, 2023). Esta plataforma ofrece datos ambientales de forma abierta y gratuita. En particular, se obtuvieron datos de dos puntos de monitoreo en el Río Negro (Figura 1). Uno de estos puntos se ubica antes de la represa Dr. Gabriel Terra (en el embalse), con coordenadas latitud -32.823 y longitud -56.419, mientras

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

22/11 evento
23/11 100% online
24/11 e gratuito

que el otro se encuentra después de la represa, con coordenadas latitud -32.835 y longitud -56.419. Para cada uno de estos dos puntos de interés, se analizaron ocho parámetros: Clorofila α , Coliformes, Oxígeno Disuelto, pH, Conductividad, DBO5, Temperatura y Nitrógeno Total, en un período de tiempo que abarca desde 2009 hasta 2022.

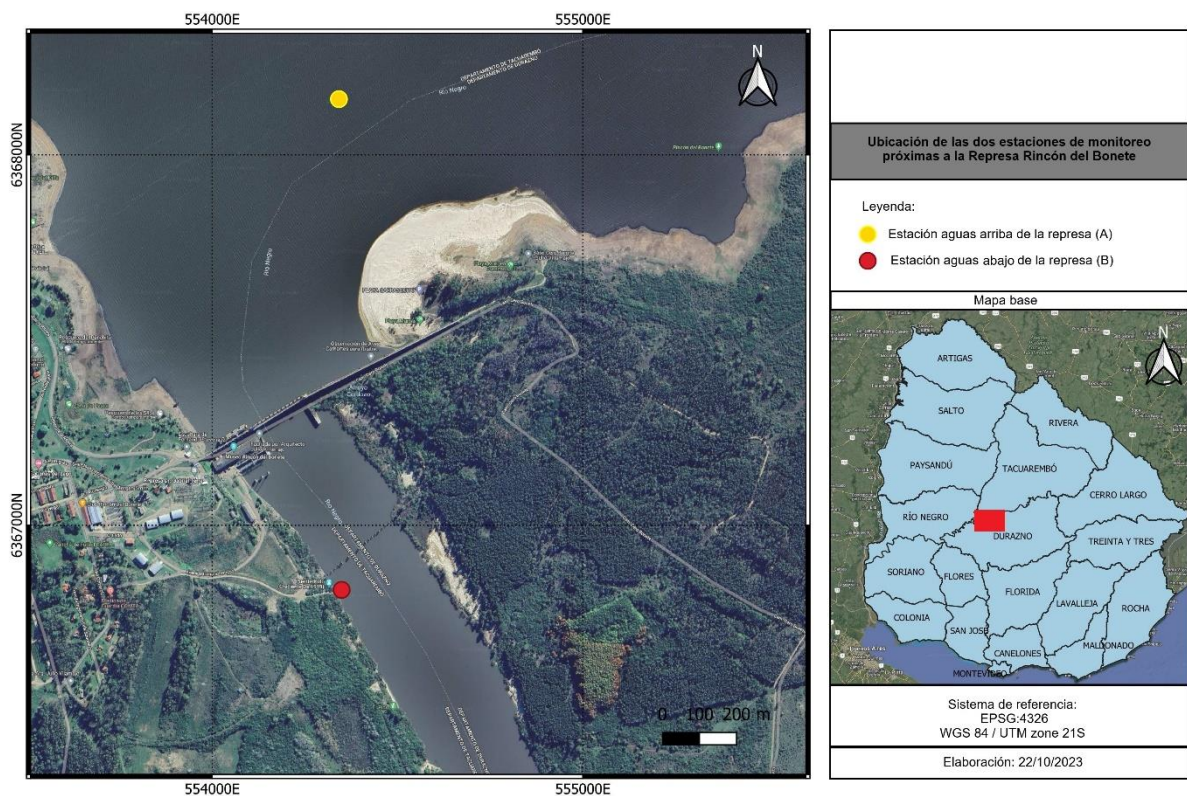


Figura 1. Mapa de ubicación de los puntos de toma de muestras utilizados para análisis, aguas arriba y abajo de la represa Dr. Gabriel Terra, Rincón del Bonete, Uruguay.

Dado que el enfoque del estudio implica analizar cómo los parámetros de calidad del agua varían en las distintas estaciones del año, es decir, en verano, otoño, invierno y primavera, todos los datos fueron cargados en Kaggle, una plataforma que permite escribir y ejecutar código. En este caso, se utilizó el lenguaje de programación R. Con esta herramienta, se desarrolló un código que, en una primera etapa, proporcionó una visualización general de cada uno de los parámetros y posteriormente, se procedió a clasificar los datos según la estación del año y a diferenciar si correspondían al punto de monitoreo antes de la represa (A) o después de la represa

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

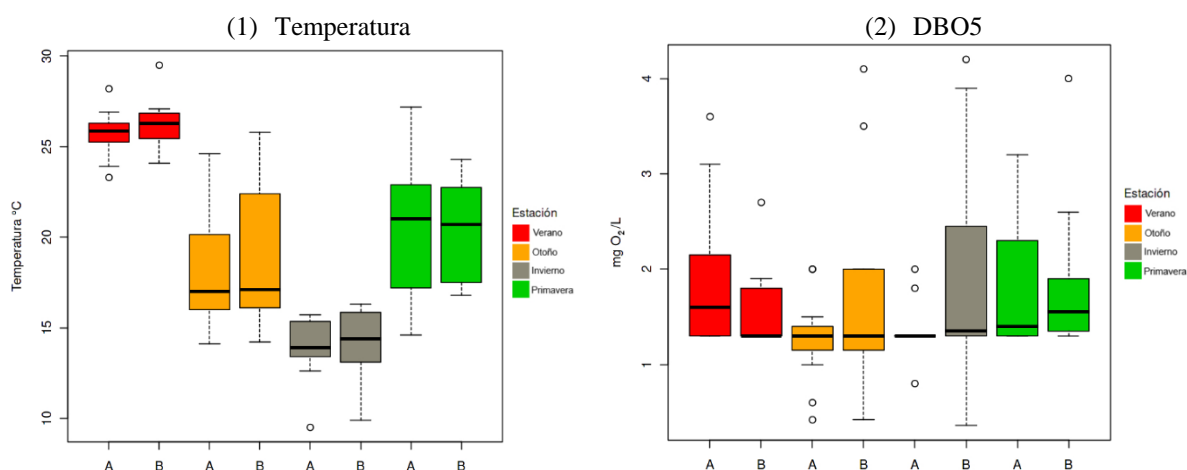
22/11 evento
23/11 100% online
24/11 e gratuito

(B). Considerando que los datos ya han pasado por un control de calidad antes de ser publicados, todos los datos disponibles fueran considerados válidos y ninguna información fue suprimida.

Con el fin de lograr una visualización más efectiva de los parámetros de calidad del agua, se generaron gráficos de caja (boxplots). Estos gráficos son útiles para resumir las características clave de los datos, como su posición, dispersión y asimetría, y para identificar valores atípicos. El uso de boxplots permitió llevar a cabo un análisis detallado para determinar si existían diferencias significativas en los parámetros de calidad del agua entre las zonas aguas arriba y aguas abajo de la represa.

4. Resultados

A continuación, se presenta una gráfica (Figura 2) por parámetro obtenidas en R y la representación de la variación estacional de la represa Rincón del Bonete, tanto aguas arriba (A) como aguas abajo (B). En los diagramas de caja, se presenta la mediana, debido a que es un estadístico más robusto que la media, ya que no se ve influenciado por valores atípico.



SUSTENTARE & WIPIS2023

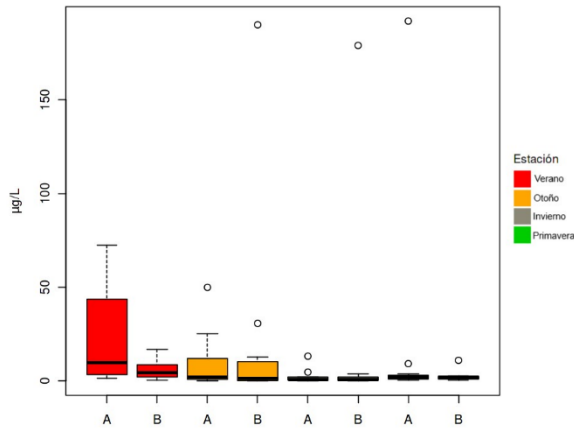
WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

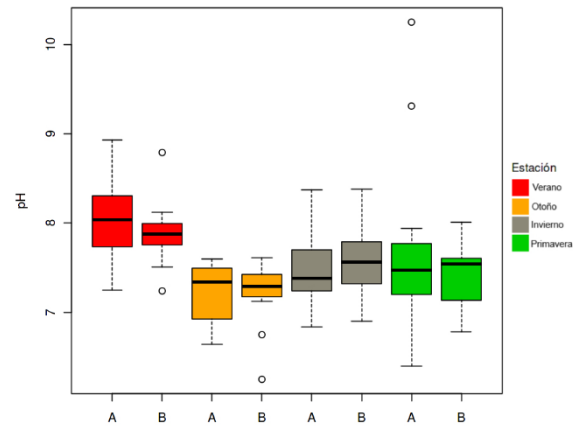


22/11 evento
23/11 100% online
24/11 e gratuito

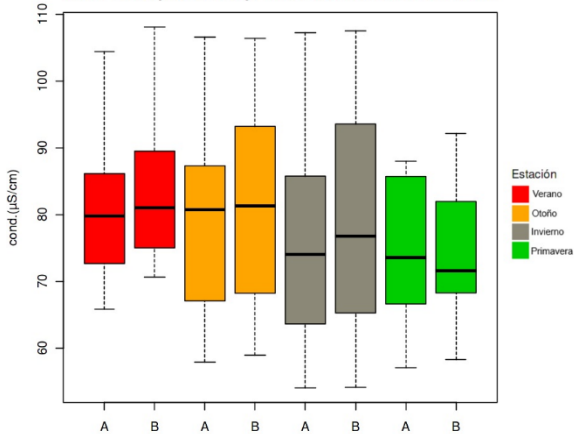
(3) Clorofila



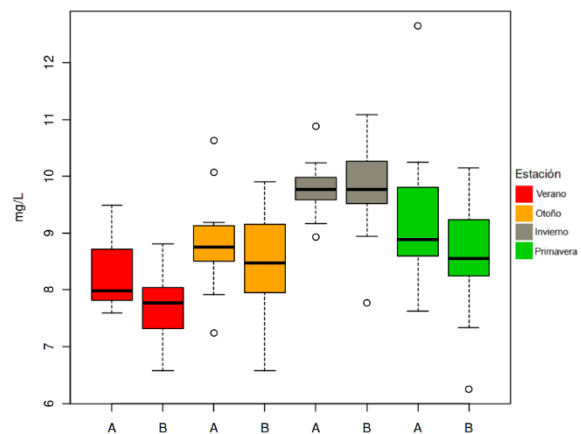
(4) Potencial de Hidrógeno (pH)



(5) Condutividade



(6) Oxígeno Disuelto



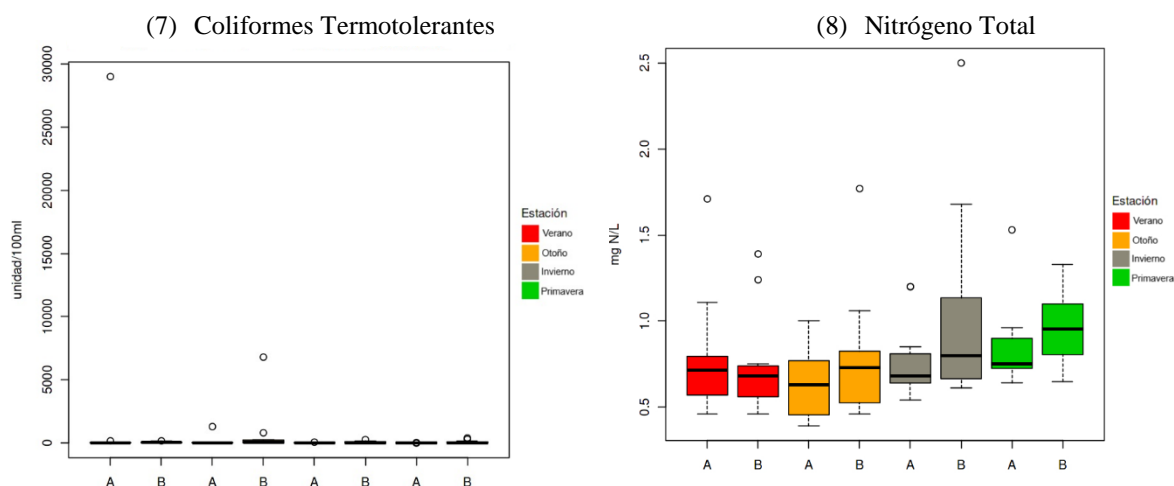


Figura 2. Gráficas de los parámetros de calidad de Agua analizados en una estación Aguas Arriba (A) y otra Aguas Abajo (B) de la represa Dr. Gabriel Terra, Rincón del Bonete, Uruguay. (1) Temperatura, (2) DBO5, (3) Clorofila_a, (4) pH, (5) Conductividad, (6) Oxígeno Disuelto, (7) Coliformes Termotolerantes, (8) Nitrógeno Total.

En lo que respecta al parámetro de temperatura del agua, se registró una amplitud que oscila entre 9.5 °C y 29.5 °C, este rango es similar en ambos puntos de muestreo (A y B). La variación de la temperatura muestra diferencias estacionales, como ya se esperaba para un país ubicado en la región subtropical, con promedios de 25.7 °C en el punto A y 25.5 °C en el punto B en verano, 18.3 °C y 18.5 °C en otoño, 14 °C y 14.2 °C en invierno, y 20.3 °C y 19.7 °C en primavera, para A y B respectivamente.

De la temperatura es importante mencionar, la variabilidad del parámetro dentro de los meses que componen las estaciones. Exceptuando la primavera, en todas las estaciones, la estación aguas abajo presenta mayor variabilidad, la cual puede ser verificada visualmente por el tamaño de las cajas gráficas. Aún, en verano e invierno se verifican las menores variabilidad en los datos, en comparación con otoño y primavera. Los resultados son coherentes con la naturaleza de agua estancada (A) y de agua fluyendo en (B). Los datos son corroborados por Chalar et al., (2021) que define haber grande influencia de la estacionalidad en los datos del embalse.

En relación al parámetro DBO5, se puede verificar una gran variabilidad entre los puntos de muestreo y las estaciones del año. Se espera que, en verano, aguas arriba, se registraría los mayores valores, lo que no pasa efectivamente. La variabilidad en los datos presume que además del efecto del represamiento y acúmulo de materia orgánica en el embalse, además de que en veranos los microorganismos descomponedores suelen estar metabólicamente más activos, este parámetro se ve más influenciado sobre todo por la dinámica de la cuenca.

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS 2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

22/11 evento
23/11 100% online
24/11 e gratuito

En lo que respecta a la Clorofila α , las medianas se mantienen bastante similares en ambos puntos de muestreo durante las cuatro estaciones del año, nunca mayores a 20 $\mu\text{g/L}$. No obstante, en el punto A durante el verano, se observa una natural variabilidad de valores, variabilidad que va disminuyendo en otoño, invierno y primavera, tal cual se espera, ya que en esta región se han verificado frecuentes floraciones de algas y de cianobacterias, que alcanzan su pico máximo de desarrollo cuando las aguas están más calientes, en el verano y van disminuyendo en los períodos más fríos, aunque también se registra su presencia en estas estaciones.

Es importante destacar que en las estaciones de otoño, primavera e invierno se verifican datos atípicos con concentraciones mayores a 150 $\mu\text{g/L}$, aunque estos datos parezcan raros, Chalar et al., (2021) al analizar datos del embalse de Bonete de los años de 2011 a 2015 encontró datos variando de 0 a 160 $\mu\text{g/L}$, por lo tanto, no puede ser descartada la hipótesis de que sean datos reales.

Otro parámetro de importancia para el monitoreo de la calidad del agua es el pH, que se mantiene dentro del rango de 6.4 a 8.6, con un promedio anual de 7.4. Durante el verano, se registran los valores más elevados, indicando que el agua tiende a ser más alcalina en esta estación.

En cuanto al parámetro de conductividad eléctrica, se observa que varía entre 10 y 110 $\mu\text{S/cm}$, lo que es normal para aguas dulces. Tal cual la DBO5 no es posible observar significativas diferencias entre las estaciones y los puntos de monitores, lo que puede indicar la influencia de la dinámica de la cuenca e este parámetro, que varía mucho de acuerdo a los vertidos y a la escorrentía que eventualmente lleguen al curso de agua. Chalar et al., (2021) reporta promedios de conductividad de 82 $\mu\text{S/cm}$ para este mismo sitio de estudio, lo que es coherente con los datos registrados en verano y otoño.

Por su parte, el parámetro del oxígeno disuelto, vital para el mantenimiento de la vida acuática, presenta una relación inversa con la Temperatura, presentando los mayores valores en invierno y los menores en verano, tal cual se espera y es descrito en la bibliografía, ya que la disolución del Gas Oxígeno es influenciada por la temperatura (Méndez, 2020). La mediana se mantiene relativamente constante en las estaciones de verano e invierno y varían más en primavera y otoño.

Es importante destacar que el boxplot de oxígeno disuelto también presenta datos atípicos, mayor a 12 mg/L y menor de 7 mg/L en la primavera, aguas arriba y aguas abajo, respectivamente, datos estos que no son coherentes con lo esperado para este curso de agua, aún que Chalar et al., (2021) ha reportado datos variando en el rango de 7,6 mg/L a 12,6 mg/L en el embalse de Bonete.

Los Coliformes Termotolerantes son parámetros estrechamente vinculados con vertidos de efluentes y con el acceso del ganado (ya que la región es importante productora nacional de

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS 2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

22/11 evento
23/11 100% online
24/11 e gratuito

carne vacuna) a la orilla del curso de agua. Los datos presentan niveles generalmente bajos en las cuatro estaciones, con excepción de dos casos: en febrero de 2016, en el punto antes de la represa (A), se registró un valor máximo de 29000 ufc/100ml, mientras que, en noviembre de 2011, en la estación después de la represa (B), se presentó un valor atípico de 6800 ufc/100ml. Posiblemente estos datos atípicos están relacionados a eventos puntuales de vertido de efluentes.

En lo que respecta al parámetro de Nitrógeno Total, la concentración más alta se observa en primavera, especialmente en el punto aguas abajo de la represa. Este aumento de concentración puede atribuirse a la acumulación de nutrientes provenientes de las aguas de drenaje, que fluyen hacia el embalse y se concentran en el agua atrapada. Uno de los problemas de los embalses asociados a disminución de la calidad de agua por eutrofización esta asociada al potencial de actuar como sumideros temporales de nutrientes. La llegada de estos nutrientes puede estar relacionados a distintas características de la cueca, sea por el vertido regular de efluentes por industrias y áreas urbanas, o períodos de incorporación de nutrientes al suelo para plantío asociado a lluvias. Los datos verificados son coherentes con los encontrados por Chalar et al., (2021) que reporta concentraciones variando entre 0,41 y 3,27 mg/L en este mismo embalse estudiado.

3. Conclusiones

El análisis de la calidad del agua en dos puntos de monitoreo a lo largo del río Negro ha revelado varios aspectos clave de cómo la presencia de la represa Dr. Gabriel Terra, Rincón del Bonete asociado a la estacionalidad natural de Uruguay influyen en los parámetros de calidad del agua.

- Fue posible observar una pronunciada variación estacional en la temperatura del agua, siendo más alta en verano y más baja en el invierno, y una relación inversa con el Oxígeno Disuelto.
- En cuanto a la DBO5, la Conductividad, los Coliformes Termotolerantes y el Nitrógeno Total, no se verificó visualmente diferencias significativas, lo que hace creer que sufren más influencia de la dinámica de la cuenca que de la ubicación del punto de monitoreo o la estacionalidad.
- El pH presenta una condición natural de alcalinidad, variando sus medianas entre 7 y 8.
- La Clorofila α es un parámetro complejo de analizar, sobretudo en esta región que ha presentado eventos de floración de cianobacterias, sobre todo en el verano, período en que las aguas están más calientes. Esta tendencia es evidenciada en la gráfica de que presenta esta estación monitoreada aguas arriba de la represa.

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS 2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

22/11 evento
23/11 100% online
24/11 e gratuito

Estos resultados son un análisis previo que logro identificar las principales tendencias de comportamiento de estas variables de calidad de agua sometidas a área de embalse y variación estacional. A la continuidad de estudios se pretende profundizar el comportamiento de los datos con análisis más robustas.

4. Referências bibliográficas

Baigún, C.R.M. (2011). Evaluación de riesgos de extinción aplicados a especies de interés pesquero de la baja Cuenca del Plata. p. 37-50. *En*: Cappato, J., V. de la Balze, J. Peteán & J.Liotta (Eds.). Conservación de los peces de la cuenca del Plata en Argentina: enfoques metodológicos para su evaluación y manejo.

Freeman M.C. (2003). *Ecosystem-level consequences of migratory faunal depletion caused by dams*. American Fisheries Society Symposium. Baltimore, Maryland USA. 20-23.

Chalar G; González-Piana, M; Giacomini, S; Cuevas, J. Estado y Evolución de la Calidad de Agua de los Tres Embalses del Río Negro. Período Setiembre 2018 - Marzo 2021. *Informe Técnico*. Sección Limnología, IECA, Facultad de Ciencias, UdelaR Montevideo, Setiembre 2021

Ministério de Ambiente (2023). *Observatório Ambiental Nacional – Datos de Calidad de Agua*. Acceso en 20 de octubre de 2023. Disponible en: <https://www.ambiente.gub.uy/iSIA_OAN/>.

Méndez, R. S. C. (2020) *Sistema de Medición y adquisición de datos del oxígeno disuelto en Biorreactores para microalgas*. Trabajo final de pregrado en Ingeniero en Mecatrónica, Universidad técnica del norte, Ecuador, 2020.

Muñoz Morocho, N. E., & Wambanguito Shariano, J. M. (2022). *Análisis del cumplimiento de la norma ambiental de la calidad del agua y suelo en embalses artificiales de las centrales hidroeléctricas de Celec Sur* (Bachelor's thesis, Universidad del Azuay).

Paz, C., Delgado, S., Ríos, A., Piedra-Cueva, I., & Santoro, P. (2023, September). Modelación numérica del transporte de sustancias en el embalse de Rincón del Bonete, Uruguay. *In XXXIX Congreso Argentino de Mecánica Computacional y I Congreso Argentino Uruguayo de Mecánica Computacional*.

Prenda, P., Clavero, M., BlancoGarrido, F., and Rebollo, A. (2002). Consecuencias ecológicas de la creación de embalses en el ámbito mediterráneo: el caso de los peces. *In III Congreso Ibérico Sobre Gestión y Planificación del Agua*. Num. 3. Sevilla. 2002, p. 497-503. ISBN: 84-699-9558-8.

Puig, A., & Salinas, H. O. (2020) Calidad del agua de cursos fluviales de la Reserva MaB Delta y evidencias de cambios de relevancia ecológica y social en el régimen hidrológico del río Paraná Inferior. El agua. *Estudios interdisciplinarios sobre gestión sostenible multisectorial y*

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS



22/11 evento
23/11 100% online
24/11 e gratuito

ecossistêmica. Editorial: Universidad de Buenos Aires. Facultad de Derecho, ISBN: 978-950-29-1834-1

Soto, G. C. (2006). Impacto y Consecuencias de las Represas. Soto, G.(2005).(ed.), *Manual No seas presa de las represas*. Editorial CIEPAC.

Vivot, E. P., Sanchez, C. I., Kieffer, L. A., Prospero, C. H., Gioco, A. M., Dragan, A. N., Ormaechea, M. V., de la Sierra, P. M., and Guerra, E. W. (2012). Análisis de algunos parámetros físicoquímicos y biológicos del agua en dos estaciones climáticas en el arroyo de la ensenada, diamante, entre ríos. *Revista Científica Agropecuaria*. Octubre, 2022.