

# DINÁMICA ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA ESTRUCTURA TÉRMICA DEL EMBALSE PEÑOL – GUATAPÉ

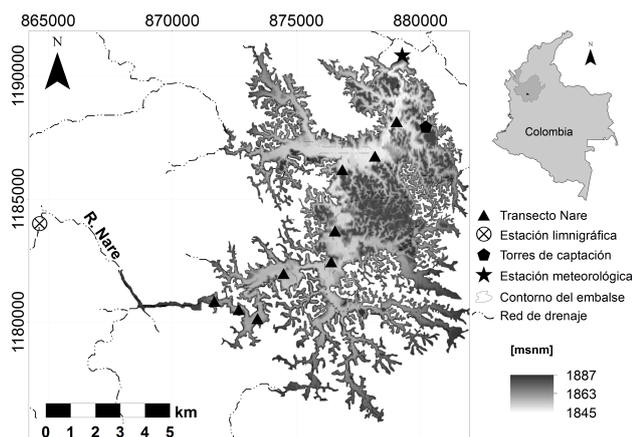
Claudia Milena Bedoya Cardona, Mauricio Toro-Botero y Andrés Gómez-Giraldo

Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Facultad de Minas, Colombia.  
E-mail: cmbedoyac@unal.edu.co, fmtoro@unal.edu.co, eagomezgi@unal.edu.co

## Introducción

La estructura térmica de un embalse afecta de manera determinante los procesos físicos, químicos y biológicos que finalmente se relacionan con la calidad del agua (Margalef, 1983). Estos procesos, a su vez, dependen del comportamiento de los forzantes ambientales. La acción del viento, los flujos de calor atmosféricos, los afluentes y efluentes naturales y antrópicos, energizan procesos físicos que influyen en la dinámica de la estructura térmica y en la calidad del agua: intercambio, transporte y mezcla de nutrientes a través de la columna del agua (Imberger & Patterson, 1989).

El embalse Peñol – Guatapé, localizado en Colombia (Figura 1) lleva en operación más de 30 años y son pocos los estudios realizados allí en los cuales se analicen, además de las características biológicas y químicas, las características físicas; por lo tanto, en esta investigación se realizaron mediciones en campo, para identificar y describir la variación espacial y temporal de la estructura térmica del embalse, dada la importancia de la temperatura en el comportamiento hidrodinámico y en la calidad del cuerpo de agua (Ji, 2008). El embalse de forma dendrítica posee como principal tributario el río Nare, tiene una profundidad máxima de 45 m y una longitud de 7.25 km.



**Figura 1.-** Localización y batimetría del embalse Peñol – Guatapé. Ubicación de las estaciones de medición de los parámetros fisicoquímicos y de las variables hidrológicas y meteorológicas.

## Metodología

En el embalse Peñol – Guatapé, con un eje mayor correspondiente al antiguo cauce del río Nare (Roldán, 1992), las relaciones ecológicas están estrechamente ligadas a la hidrodinámica del tributario principal (Björk & Gelin, 1980), por lo tanto, para este análisis, se hace énfasis en la dinámica de dicho afluente al interior del cuerpo de agua, realizando transectos longitudinales sobre su eje, midiendo variables fisicoquímicas, tales como temperatura, turbiedad y oxígeno disuelto, mediante un perfilador CTD.

La información se recolectó en campañas de campo entre los años 2014 y 2015, abarcando diferentes condiciones

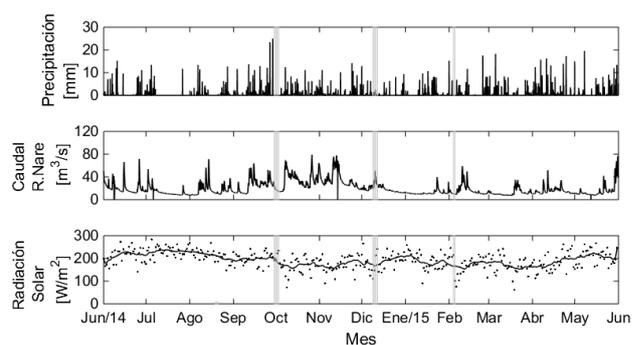
hidrológicas (Figura 2). En octubre, el período de medición fue seco, aunque los días anteriores a éste, se caracterizaron por el aumento en los caudales afluentes. En diciembre, se presentaron lluvias, con disminución de la radiación solar; este período se consideró como la transición de caudales altos a bajos. La campaña realizada en febrero correspondió a condiciones secas, con influencia en la disminución del caudal del río Nare.

Para identificar el comportamiento de la precipitación y de la radiación solar, se obtuvo el registro de la estación Santa Rita (Figura 1) entre junio de 2014 y junio de 2015 con una resolución temporal de 15 minutos. Los caudales afluentes del río Nare fueron medidos en la estación limnigráfica Río Abajo (Figura 1). La información fue suministrada por EPM – Empresas Públicas de Medellín, operador del embalse.

## Resultados

Las observaciones revelan que el embalse Peñol – Guatapé presenta características típicas de un cuerpo de agua estratificado, con temperaturas más altas en la superficie y disminución progresiva hacia el fondo.

En la Figura 3 se puede observar la profundización gradual de sur a norte de la isoterma que define la termoclina. En el brazo del río Nare, la capa de mezcla superficial estuvo entre los 5 m y 9 m de profundidad, mientras en la zona norte, que es la zona más abierta del embalse, alcanzó los 12 m.

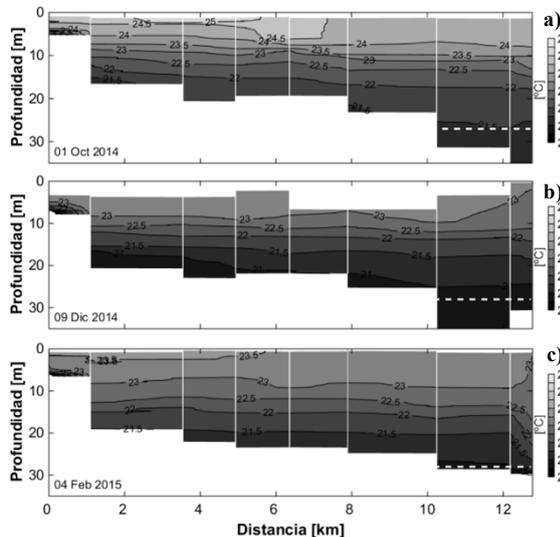


**Figura 2.-** Comportamiento de las variables hidrológicas y meteorológicas. Las líneas verticales grises representan el momento en el cual se realizaron las campañas de campo. Los puntos son los valores medios diarios y la línea continua es la media móvil de 15 días.

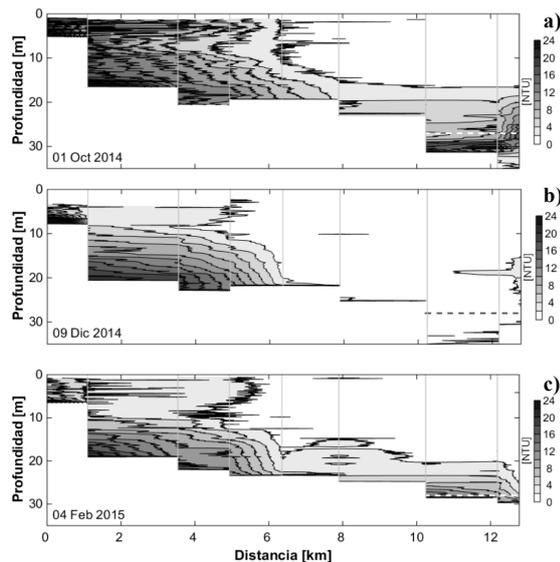
Durante la campaña realizada en octubre (Figura 3a), los días fueron secos, incidiendo en el aumento de la temperatura de la capa superficial en alrededor de 1°C con respecto a los demás períodos de medición. En febrero (Figura 3c), los perfiles de temperatura resultaron 0.5°C mayor que la medida en diciembre (Figura 3b) y exhibieron gradientes débiles, lo cual no permite diferenciar claramente la profundidad de la termoclina; así mismo, para esta campaña, al final del transecto, se puede observar la profundización de las isotermas por debajo de los 12 m, debido al efecto de la captación que genera mezcla y cambios en la forma de la estructura térmica del embalse.

Así como la temperatura, variables como la turbiedad y el oxígeno disuelto sugieren que el embalse Peñol – Guatapé presenta estratificación permanente y que los cambios

espaciales están asociadas con los caudales afluentes. La señal de turbiedad indica que la pluma del río Nare avanzó como una corriente de fondo en los tres periodos analizados, por debajo de los 10 m de profundidad (Figura 4) y su efecto disminuyó en su recorrido hacia las torres de captación. Especialmente se observa que en las estaciones más cercanas del ingreso del río al embalse, los principales cambios verticales son generados por los procesos de mezcla. La turbiedad fue mayor debido al transporte de sedimentos desde la cuenca, así mismo, aumentaron las concentraciones de oxígeno disuelto (Figura 5) aportadas tanto por el río como por la actividad fotosintética.



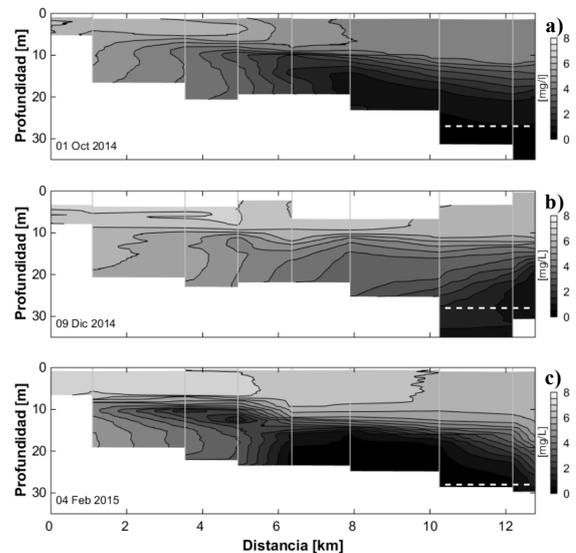
**Figura 3.-** Transectos longitudinales de temperatura en a) octubre/2014, b) diciembre/2014 y c) febrero/2015. Las líneas verticales blancas indican el lugar de las mediciones. La línea horizontal discontinua indica la profundidad de la captación.



**Figura 4.-** Transectos longitudinales de turbiedad en a) octubre/2014, b) diciembre/2014 y c) febrero/2015. Las líneas verticales blancas indican el lugar de las mediciones. La línea horizontal discontinua indica la profundidad de la captación.

La Figura 4a muestra que durante el período de caudales altos, un aumento de la turbiedad se identifica en las tres estaciones finales del transecto, por debajo de los 20 m, asociada posiblemente con una corriente de densidad proveniente de los afluentes que ingresan por el extremo Noroccidental. Al parecer el oxígeno transportado por las plumas es consumido antes de alcanzar la zona norte, presentado el embalse anoxia en las

capas profundas (Figura 5a). En el período de transición de caudales altos a bajos (Figura 4b), la turbiedad se reduce con respecto a la campaña anterior y se puede observar una señal al final del transecto entre los 15 m y 20 m de profundidad asociada con la pluma de los afluentes que ingresan por la zona norte. En condición de caudales bajos (Figura 4c) la concentración de oxígeno se reduce, sin embargo, al final del transecto nuevamente se da un aumento en su concentración, debido a la mezcla generada al nivel de la captación.



**Figura 5.-** Transectos longitudinales de oxígeno disuelto en a) octubre/2014, b) diciembre/2014 y c) febrero/2015. Las líneas verticales blancas indican el lugar de las mediciones. La línea horizontal discontinua indica la profundidad de la captación.

## Conclusiones

El embalse Peñol-Guatapé muestra estratificación térmica a lo largo de todo el transecto analizado, con una capa de mezcla superficial que varía entre los 5 m de profundidad en las cercanías a la entrada del río Nare al embalse y los 12 m en la zona de las torres de captación. Horizontalmente la calidad del agua del embalse, está influenciada por los caudales afluentes, aunque su efecto se reduce progresivamente en su avance hacia la zona norte. En el brazo del río Nare, se presenta mayor turbiedad generada por los sedimentos transportados desde la cuenca y se encuentran las mayores concentraciones de oxígeno, tanto por el aporte de agua oxigenada del río como por los procesos de fotosíntesis. En la zona norte, las características fisicoquímicas dejan de ser dominadas por el río, lo cual se refleja en la reducción del oxígeno que alcanza niveles anóxicos en el fondo, indicando que la estructura térmica inhibe su transporte hacia las capas inferiores. Así mismo, se encontró que en los períodos hidrológicos analizados, la pluma del río Nare ingresó y avanzó como una corriente de fondo, cambiando las características fisicoquímicas del agua del embalse por debajo de los 15 m de profundidad.

## Referencias bibliográficas

- Björk, S., & Gelin, C.** (1980). "Limnological function and management on the El Peñol reservoir Colombia". (U. of Lund, Ed.). Sweden.
- Imberger, J., & Patterson, J. C.** (1989). *Physical Limnology. Advances in Applied Mechanics* (Vol. 27). [https://doi.org/10.1016/S0065-2156\(08\)70199-6](https://doi.org/10.1016/S0065-2156(08)70199-6)
- Ji, Z.-G.** (2008). *Hydrodynamics and water quality - modeling rivers, lakes, and estuaries*.
- Margalef, R.** (1983). *Limnología* (Editorial). Barcelona.
- Roldán, G.** (1992). *Fundamentos de limnología neotropical*. Medellín (Colombia).