

# Condiciones químicas y biológicas del ecosistema acuático que influyen en la dinámica de descomposición de la hojarasca de *Cecropia peltata*, río Blanco, Bagaces (Costa Rica): una experiencia en el ejercicio académico

## Chemical and biological conditions of the aquatic ecosystem that have an impact on the decomposition dynamics of *Cecropia peltata* leaf litter, Blanco river, Bagaces: An experience in the academic practice

Johanna Rojas Conejo<sup>1</sup>  
Magally Rosales Dinarte<sup>2</sup>  
Katherine Sánchez Jiménez<sup>3</sup>  
Natalia Barahona Picado<sup>4</sup>  
Nathalie Flores Matarrita<sup>5</sup>

Breysi Calvo Siles<sup>6</sup>  
Tamara Cabalceta Gutiérrez<sup>7</sup>  
Sharon Arce Rodríguez<sup>8</sup>  
Jéssica Madrigal Cortés<sup>9</sup>  
Andrea Suárez Serrano<sup>10</sup>

DOI: 10.22458/rb.v35i2.5605

Recibido – Received: 19 / 03/ 2024 / Corregido – Revised: 14 / 10/ 2024 / Aceptado – Accepted: 11/ 11/ 2024

1 Universidad Nacional. Liberia, Costa Rica. Centro de Recursos Hídricos para Centroamérica y el Caribe.  
[johanna.rojas.conejo@una.ac.cr](mailto:johanna.rojas.conejo@una.ac.cr)

**ID:** <https://orcid.org/0000-0002-9001-3694>

2 Universidad Nacional. Liberia, Costa Rica. [magalyrosalesd@gmail.com](mailto:magalyrosalesd@gmail.com)

**ID:** <https://orcid.org/0000-0002-9195-2722>

3 Universidad Nacional. Liberia, Costa Rica. [sanchezjkatherine@gmail.com](mailto:sanchezjkatherine@gmail.com)

**ID:** <https://orcid.org/0000-0001-8767-1955>

4 Universidad Nacional. Liberia, Costa Rica. [natalia.barahona.picado@est.una.ac.cr](mailto:natalia.barahona.picado@est.una.ac.cr)

**ID:** <https://orcid.org/0000-0002-9236-5378>

5 Universidad Nacional. Liberia, Costa Rica. [natyflores0598@gmail.com](mailto:natyflores0598@gmail.com)

**ID:** <https://orcid.org/0000-0001-5248-2273>

6 Universidad Nacional. Liberia, Costa Rica. [calvo.breisy@gmail.com](mailto:calvo.breisy@gmail.com)

**ID:** <https://orcid.org/0000-0002-2334-9956>

7 Universidad Nacional. Liberia, Costa Rica. [tamy\\_cgu98@hotmail.com](mailto:tamy_cgu98@hotmail.com)

**ID:** <https://orcid.org/0000-0001-9156-0131>

8 Universidad Nacional. Liberia, Costa Rica. [sharon.arce2496@hotmail.com](mailto:sharon.arce2496@hotmail.com)

**ID:** <https://orcid.org/0000-0002-6154-754X>

9 Colegio Técnico Profesional Fortuna de Bagaces. Bagaces, Costa Rica. [mcjessica85@gmail.com](mailto:mcjessica85@gmail.com)

**ID:** <https://orcid.org/0000-0003-4670-4313>

10 Universidad Nacional. Liberia, Costa Rica. Centro de Recursos Hídricos para Centroamérica y el Caribe.

[andrea.suarez.serrano@una.cr](mailto:andrea.suarez.serrano@una.cr)

**ID:** <https://orcid.org/0000-0002-1930-3381>

## RESUMEN

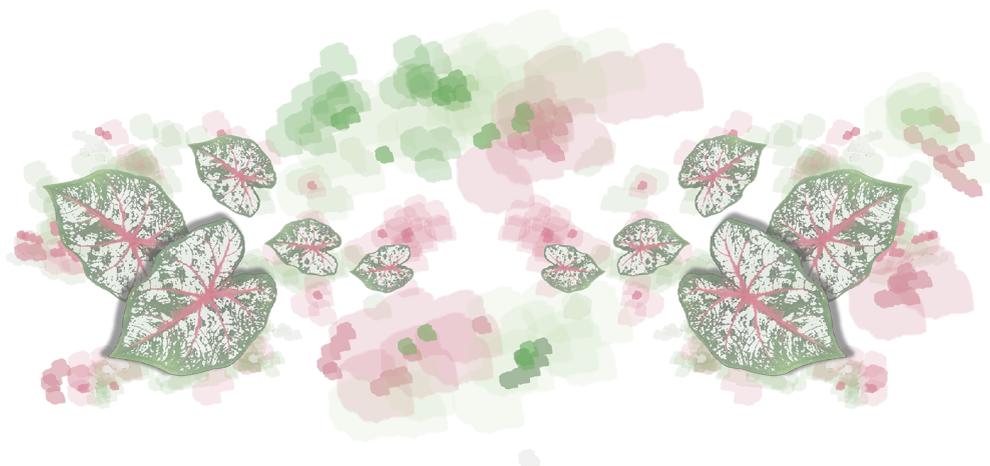
El color opalino del río Blanco es una característica que atrae la atención de los visitantes de la zona de Fortuna de Bagaces, especialmente durante la época seca. La química del agua del río no solo es responsable de su distintivo color, sino también de importantes procesos ecológicos que ocurren en su ecosistema acuático. El objetivo de la investigación fue analizar las condiciones químicas y biológicas que influyen en la descomposición de la hojarasca de *Cecropia peltata* (guarumo) en el río Blanco. Estudiantes del curso de Ecología de Ecosistemas Fluviales de la Universidad Nacional, junto con el programa de Turismo Ecológico del Colegio Técnico Profesional de Fortuna de Bagaces, realizaron un experimento para medir el tiempo de descomposición de la hojarasca, influenciado por los fluidos del Volcán Miravalles. Se instalaron cuatro grupos de mallas con hojas secas y se recolectaron muestras semanales para calcular la tasa de descomposición y la masa remanente. También se analizaron la diversidad y la abundancia de insectos acuáticos en las muestras. En los años 2018 y 2024, se realizaron mediciones puntuales de parámetros físicoquímicos del agua y análisis de los componentes químicos del gel pardo presente en el lecho del río. Los resultados mostraron que la hojarasca de *Cecropia peltata* podría degradarse completamente en 68 días, con una pérdida de 30% en los primeros 20 días, asociada a las condiciones del agua y sedimento que contienen altos niveles de silicio, aluminio, azufre, hierro y calcio.

**Palabras claves:** parámetros; acuático; experimento; sedimentos; hojarasca.

## ABSTRACT

The opaline color of the Blanco River is a feature that attracts the attention of visitors to the Fortuna de Bagaces area, especially during the dry season. The Blanco River water chemical characteristics are not only responsible for its distinctive color but also for important ecological processes that occur in its aquatic ecosystem. This research aimed to analyze the chemical and biological conditions that influence the decomposition of the "guarumo" (trumpet tree – *Cecropia peltata*) in the Blanco River. Students from the Fluvial Ecosystems Ecology course at the National University, along with the Ecotourism program of the Fortuna de Bagaces Technical Professional College, conducted an experiment to measure the decomposition time of the leaf litter, under the influence of fluids from the Miravalles Volcano. Four groups of mesh bags with dry leaves were installed, and weekly samples were collected to calculate the decomposition rate and remaining mass. The diversity and abundance of aquatic insects in the samples were also analyzed. In 2018 and 2024, point measurements of physical-chemical parameters of the water and analysis of the chemical components of the brown gel present in the riverbed were carried out. The results showed that the trumpet tree leaf litter could completely degrade in 68 days, with a 30 % loss in the first 20 days, associated with water and sediment conditions containing high levels of silicon, aluminum, sulfur, iron, and calcium.

**Keywords:** parameters; aquatic; experiment; sediments; leaf litter.



## Introducción

La principal fuente de materia orgánica en los ríos proviene de la hojarasca, que es una fuente clave de energía en estos ecosistemas acuáticos. La descomposición de la hojarasca, que implica su reducción a componentes químicos básicos, es influenciada por factores físicos, químicos y biológicos, incluyendo las condiciones ambientales, la composición química de las hojas, la presencia de organismos del suelo y el agua y la química del agua del río (Rivera et al., 2013).

El árbol *Cecropia peltata* (guarumo), común en bosques ribereños y áreas en regeneración, atrae fauna como aves y murciélagos frugívoros (Vargas-Rojas, 2012). Este árbol es una especie abundante en los bosques de galería de la cuenca del río Blanco, especialmente en la finca Los Toledos en Fortuna de Bagaces, donde se llevó a cabo el experimento. Como especie pionera, *Cecropia peltata* tiene una alta tasa de crecimiento y regeneración, lo que ha contribuido a la recuperación del paisaje y los bosques de esta cuenca, creciendo más de 4 metros al año y alcanzando más de 10 metros de altura (Zuchowsky & Forsyth, 2007).

La hojarasca es la base de la energía en los arroyos y su descomposición es un proceso clave a nivel de ecosistema. El proceso integra factores biológicos como la acción de insectos acuáticos y bacterias, y factores fisicoquímicos como la química del agua, su temperatura y su velocidad que promueven la degradación física de las hojas (Graça, 2001; Rosemond et al., 2002; Royer & Minshall, 2003). La descomposición de la hojarasca en bosques ribereños es crucial para el reciclaje de nutrientes en los ríos, permitiendo el crecimiento de algas y beneficiando la diversidad de peces, insectos acuáticos y otros organismos (Palma et al., 2009).

Los insectos acuáticos juegan un papel vital en la degradación de la hojarasca, utilizándola como alimento y refugio. Los fragmentadores se alimentan de las hojas, los recolectores usan las partículas desprendidas y los depredadores encuentran refugio y presas en la hojarasca (Astudillo et al., 2014). La presencia de estos organismos acelera la fragmentación y disolución de compuestos químicos de las hojas, facilitando la colonización por otros microorganismos y la mineralización de la materia orgánica (Graça et al., 2002).

La mineralización de la materia orgánica en el agua se evalúa mediante la conductividad eléctrica y la medición de iones y compuestos químicos disueltos. El proceso bioquímico, realizado por microorganismos del suelo y el agua, convierte grandes moléculas orgánicas en moléculas inorgánicas más pequeñas que se oxidan rápidamente (Monsalve et al., 2017). La química del agua de un río, determinada por los iones presentes, influye en su condición. En el caso del río Blanco, de origen volcánico, su coloración blanca se origina por la unión de las aguas de las quebradas Hornillas y Herrumbre, presentando aguas sulfatadas debido a la degradación de rocas con alto contenido de azufre (Alfayate et al., 2004).

Las tasas de descomposición de las hojas en los ecosistemas acuáticos están controladas principalmente por dos factores, las entradas de hojarasca (calidad de la hojarasca, cantidad y tiempo) y las diferencias bióticas o abióticas entre las corrientes (Leroy & Marks, 2006), por lo que la tasa de descomposición de la hojarasca de *Cecropia peltata* puede variar dependiendo de las condiciones ambientales, la composición química de la hojarasca y la presencia de organismos descomponedores. No hay una tasa única establecida, ya que puede



variar en diferentes entornos (Vargas-Rojas, 2012; Eyes-Escalante et al., 2012; Sánchez et al., 2008 y Sierra-Rozo et al., 2009).

El objetivo de esta investigación es determinar las condiciones químicas y biológicas del ecosistema acuático que influyen en la descomposición de la hojarasca de *Cecropia peltata* en el río Blanco. Este estudio también busca fomentar la participación de estudiantes de secundaria y universidad a través de un experimento sobre la tasa de descomposición de las hojas de *Cecropia peltata* (guarumo).

## Materiales y métodos

La investigación se llevó a cabo en dos etapas en diferentes años. En abril de 2018, durante la temporada seca, se realizó un experimento para medir la tasa de descomposición de la hojarasca de *Cecropia peltata*, identificar los insectos acuáticos presentes en la hojarasca y medir de manera puntual los parámetros fisicoquímicos del agua del río Blanco en ese sitio de estudio donde se localizó el experimento. En marzo de 2024, se llevaron a cabo nuevos muestreos puntuales y análisis fisicoquímicos en el mismo sitio donde se instaló el experimento con la hojarasca en el 2018 y dos nuevos sitios en el río Blanco. Además, se determinó la composición química del gel pardo voluminoso que se forma en el lecho del río Blanco y se realizaron análisis fisicoquímicos en las aguas de las quebradas Herrumbre y Hornillas (que forman el río Blanco) y del río Guayabo (figura 2). Estos análisis adicionales se realizaron para obtener una interpretación más completa de los resultados.

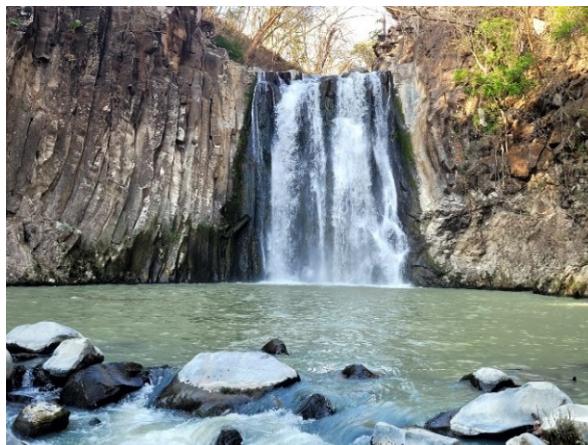
## Área de estudio

El experimento se diseñó como un ejercicio académico que buscaba la participación e integración de estudiantes de secundaria de la especialidad técnica de Turismo

Ecológico y de estudiantes de segundo año del curso Ecología de Ecosistemas Fluviales de Ingeniería Hidrológica de la Universidad Nacional. El sitio de estudio se ubicó en la microcuenca del río Blanco, entre las coordenadas geográficas N 10°40'19.8" y W 85°12'10.2" (CRTM05= N 1180341.026 y W 368406.258), en una sección del río que atraviesa la finca Los Toledos, propiedad del Colegio Técnico Profesional de Fortuna de Bagaces. Este lugar es notable por la exuberante belleza de su catarata (figura 1).

**Figura 1**

*Catarata del río Blanco, finca Los Toledos, CTP Fortuna de Bagaces, 2024*

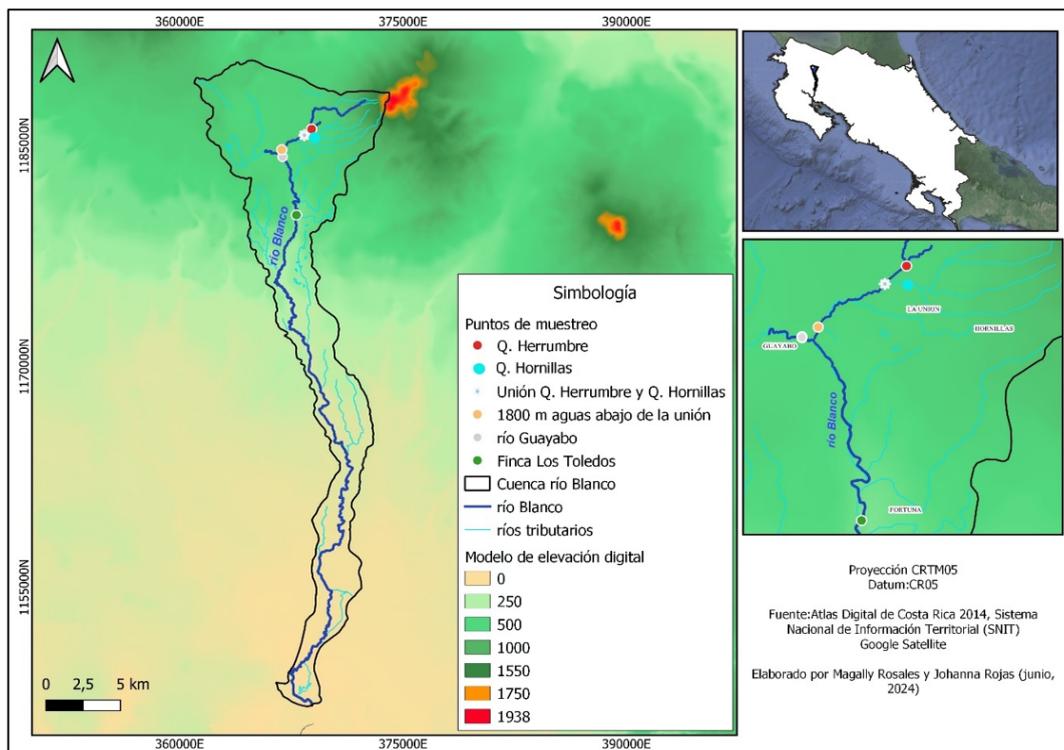


*Nota.* Fotografía de Rojas-Conejo, Finca Los Toledos, CTP Fortuna de Bagaces, marzo 2024.

La microcuenca del río Blanco abarca aproximadamente 344,05 km<sup>2</sup> en los distritos de Fortuna y Mogote, pertenecientes al cantón de Bagaces. El río Blanco es afluente del río Bebedero, que a su vez desemboca en el río Tempisque, en la provincia de Guanacaste (figura 2). El cantón de Bagaces se destaca por su belleza paisajística y por el desarrollo de actividades relacionadas con la recreación, la ganadería, la agricultura y la explotación de energías renovables (Mora et al., 2013).

**Figura 2**

Localización de los puntos donde se realiza la instalación del experimento, el muestreo de aguas en el año 2018 y la ubicación de los nuevos puntos del nuevo muestreo de aguas en el año 2024, en la cuenca del río Blanco, Fortuna de Bagaces, Guanacaste



Nota. Elaboración propia.

### Experimento: tasa de descomposición de la hojarasca de *Cecropia peltata*

Se siguió la metodología propuesta por Graça et al. (2005) para estimar el tiempo aproximado que tomaría la descomposición de las hojas de *Cecropia peltata*. Inicialmente, las profesoras de ambos cursos recolectaron hojas de *Cecropia peltata* en la zona de estudio, evitando aquellas que estuvieran verdes, secas o en proceso de degradación. Luego, en el laboratorio, estudiantes de la UNA seleccionaron estas hojas, las pesaron (peso promedio de entre 16 y 18 gramos, figura 3), y las colocaron en mallas plásticas con poros de 0,5 cm, las etiquetaron adecuadamente y las aseguraron con cuerdas (figura 4). Estas

mallas con muestras de hojas fueron llevadas al río y distribuidas en diferentes puntos del cauce en el sitio de estudio.

**Figura 3**

Pesaje de hojarasca de *Cecropia peltata*



Nota. Fotografía de Johanna Rojas, Laboratorio Físicoquímico de Aguas de HIDROCEC-UNA, abril 2018.

**Figura 4**

*Mallas con grupos de muestras de hojarasca*



*Nota.* Fotografía de Rojas-Conejo, Laboratorio Físicoquímico de Aguas de HIDROCEC-UNA, abril 2018.

Los grupos de estudiantes eligieron un tramo de 200 metros aguas abajo en el río Blanco (figura 5), donde colocaron cuatro estacas metálicas a una distancia aproximada de 50 metros entre sí. Las estacas se ubicaron en áreas donde el agua fluía lentamente dentro del tramo seleccionado del río. En cada estaca se fijaron tres mallas con las muestras de hojas de *Cecropia peltata*, estableciendo así cuatro puntos de muestreo. En el primer punto se instalaron las muestras G1, G2 y G3; en el segundo punto, las G4, G5 y G6; en el tercer punto, las G7, G8 y G9; y en el último punto, las muestras G10, G11 y G12.



**Figura 5**

*Colocación de muestras de hojarasca de Cecropia peltata en el río Blanco*



*Nota.* Fotografía de Johanna Rojas, río Blanco, finca Los Toledos, CTP Fortuna de Bagaces, abril 2018.

En el tramo seleccionado, también se tomaron medidas del caudal del río (figura 6). Al mismo tiempo, se registraron varios parámetros físicoquímicos como la temperatura, el pH, la conductividad y la turbidez del agua. Además, se recolectaron muestras para su análisis en laboratorio, incluyendo iones y nutrientes.

**Figura 6**

*Estudiantes realizando la medición de caudal en el tramo seleccionado en el río Blanco*



*Nota.* Fotografía de Johanna Rojas, río Blanco, Finca Los Toledos, CTP Fortuna de Bagaces, abril 2018.

Después de 24 horas de haber colocado las muestras en el río (en la semana 0), los estudiantes de secundaria recolectaron las primeras muestras (G1, G2, G3). Las muestras (G4, G5, G6), (G7, G8, G9) y (G10, G11, G12) fueron recolectadas en el siguiente orden, respectivamente: durante la semana 1 (7 días después de la primera recolección), semana 2 (14 días después de la primera recolección) y semana 3 (21 días después de la primera recolección). En cada recolección, las muestras se guardaron en bolsas con un poco de agua y se transportaron en una hielera con hielo al laboratorio, donde se colocaron en un refrigerador ( $<4^{\circ}\text{C}$ ) hasta su procesamiento. Además, se registró la temperatura del agua durante cada recolección.

En el laboratorio, los estudiantes de la UNA procesaron las bolsas con muestras usando recipientes y tamices (de 180 y 63 micrómetros, respectivamente) para limpiar las hojas con abundante agua del grifo (figura 7). Posteriormente, el agua acumulada en los recipientes y los residuos de los tamices se examinaron cuidadosamente con una lupa para separar los insectos acuáticos de la hojarasca. Los insectos acuáticos encontrados se conservaron en alcohol al 70% para su identificación posterior.

### Figura 7

*Estudiantes de la UNA realizando la limpieza de las muestras de hojarasca colectadas en la semana 2 en el río Blanco*



*Nota.* Fotografía de Johanna Rojas, Laboratorio Físicoquímico de Aguas de HIDROCEC-UNA, abril 2018.

Los estudiantes de la UNA fabricaron bandejas de aluminio para secar las muestras de hojarasca limpia. Estas muestras se secaron en un horno a  $60^{\circ}\text{C}$  para determinar su peso seco. Una vez completamente secas, las hojas fueron parcialmente trituradas, luego colocadas en cápsulas de aluminio y finalmente calcinadas en una mufla a una temperatura de  $560^{\circ}\text{C}$  (figura 8).



**Figura 8**

Muestras de hojarasca secas y colocadas en mufla para la calcinación



*Nota.* Fotografía de Johanna Rojas, Laboratorio Físicoquímico de Aguas de HIDROCEC-UNA, abril 2018

La tasa de descomposición acuática de la hojarasca se determinó utilizando la ecuación del modelo exponencial negativo propuesto por Petersen y Cummins en 1974:

$$M_t = M_i \cdot e^{-kt}$$

Donde:

$M_t$ : es la masa remanente en el tiempo.

$M_i$ : es la masa inicial.

$k$ : es el coeficiente exponencial de descomposición (pendiente de la curva:  $\ln\%PSL_{Cr}$  vs el tiempo en días).

$t$ : periodo de tiempo del experimento.

Las condiciones fisicoquímicas del río Blanco, así como la composición, estructura y la función trófica alimenticia (GFA) de la comunidad de insectos acuáticos, fueron relacionadas con la tasa de descomposición acuática de la hojarasca.

## Identificación de insectos acuáticos en la hojarasca

La variación, la composición y la abundancia de insectos acuáticos que colonizaron y se establecieron en la hojarasca en descomposición durante el experimento fueron determinadas mediante la identificación de las familias a las que pertenecían. Para esto, se utilizaron las claves taxonómicas de Merrit y Cummins (1996), la guía del Índice BMWP modificada para Costa Rica (Decreto N.º 33903-MINAE-S, 2007) y la experiencia de especialistas en ecología de la Universidad Nacional Costa Rica.

La asignación de los grupos funcionales alimenticios (GFA) de las familias de insectos acuáticos se llevó a cabo siguiendo la clasificación propuesta por Tomanova et al. (2006) y Chará-Serna et al. (2010). Estos grupos funcionales incluyeron: depredadores (d), colectores filtradores (cf), colectores recolectores (cr), raspadores (r) y trituradores (t).

## Análisis químicos

En abril del 2018, las muestras de agua del río Blanco fueron recolectadas en botellas plásticas al inicio del experimento (semana 0) de la hojarasca, y analizadas por los estudiantes de la UNA en el laboratorio Físico Químico del HIDROCEC-Universidad Nacional. Para los análisis de sulfato ( $SO_4^{2-}$ ), calcio ( $Ca^{2+}$ ), nitrato ( $NO_3^-$ ) y amonio ( $NH_4^+$ ) se emplearon métodos químicos de referencia del libro de métodos estándar (American Public Health Association-APHA, 2017). El análisis de sulfato se llevó a cabo a través de la técnica analítica de sulfato de bario por turbidez (4500- $SO_4^{2-}$  - E) y los análisis de iones y nutrientes se realizaron por potenciometría con electrodo selectivo de iones (ISE). En el caso de los parámetros de pH, conductividad eléctrica y temperatura, fueron registrados *in situ* con una sonda multiparámetros (Thermo Scientific).

Posteriormente, en marzo de 2024, se realizaron nuevos muestreos puntuales y análisis de las aguas del río Blanco, la quebrada Herrumbre (origen del río Blanco), la quebrada Hornillas y el río Guayabo. Las muestras de agua fueron colectadas en botellas de vidrio color ámbar, con el objetivo de determinar las concentraciones de iones como sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), sodio ( $\text{Na}^+$ ), potasio ( $\text{K}^+$ ), magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y cloruro ( $\text{Cl}^-$ ), metales como el hierro y la turbiedad, y así comparar la condición físicoquímica actual del río con los resultados del estudio realizado en 2018. Estos análisis también se llevaron a cabo en el Laboratorio Físicoquímico de Aguas del HIDROCEC, UNA. Los análisis de iones y cationes en muestras de agua se realizaron con un cromatógrafo iónico (Metrohm) según el método 4110.B cromatografía iónica con supresión química de la conductividad del eluyente (APHA, 2017), el análisis de hierro se realizó utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica (Analytik Jena, modelo ZEE nit 700 P) con la técnica de llama y la turbiedad se determinó utilizando una sonda EXO 1 (YSI). Los parámetros de pH y conductividad eléctrica también fueron registrados en el laboratorio con una sonda multiparámetros (Hanna Instruments). Durante el muestreo del 2024, utilizando una cuchara plástica y bolsas ziploc, también se tomó una muestra del gel voluminoso que cubría el lecho del río Blanco. Esta muestra fue secada a temperatura ambiente, triturada y analizada en el equipo Malvern Panalytical, tipo EDXRF modelo Epsilon 1, perteneciente al Laboratorio de Química de Alimentos de la Sede Guanacaste de la UCR, utilizando la técnica de Fluorescencia de Rayos X de energía dispersiva. Con este análisis se determinó el contenido porcentual de los principales componentes químicos que componen el gel.

## Resultados y discusión

### Composición de la hojarasca de *Cecropia peltata*

El árbol de *Cecropia peltata* tiene hojas grandes, que pueden medir aproximadamente de 20 a 40 cm de largo. Son palmeadas, coriáceas y presentan una nervadura prominente en el envés. Su superficie superior parece áspera al tacto y tiene una glándula en la parte inferior, compuesta por numerosos pelos cortos, donde se producen los cuerpos mullerianos. Estos cuerpos mullerianos son una fuente de glucógeno para las hormigas que se alimentan de ellos (Vargas-Rojas, 2012).

La descomposición de estas hojas y su pérdida de peso dependen de procesos físicos, biológicos y de sus propios compuestos. La hoja de *Cecropia peltata* está compuesta principalmente por macromoléculas de celulosa y lignina, que les dan soporte estructural a los tejidos vegetales. Además, contiene una variedad de compuestos bioquímicos como cardenólidos, bufadienólidos, flavonoides, leucoantocianinas, taninos, polifenoles, aceites esenciales y ácidos grasos (Dudgeon & Wu, 1999).

Las concentraciones de lignina en la hojarasca pueden afectar la palatabilidad de las hojas para los insectos acuáticos trituradores. Los taninos, por otro lado, tienen una función defensiva contra los herbívoros y pueden inhibir la función detritívora de muchos insectos acuáticos (Troisi et al., 2014). Las saponinas, que también se encuentran en la hojarasca, tienen propiedades tensoactivas y se consideran parte del sistema de defensa de las plantas contra patógenos y herbívoros, debido a su sabor amargo (Troisi et al., 2014).



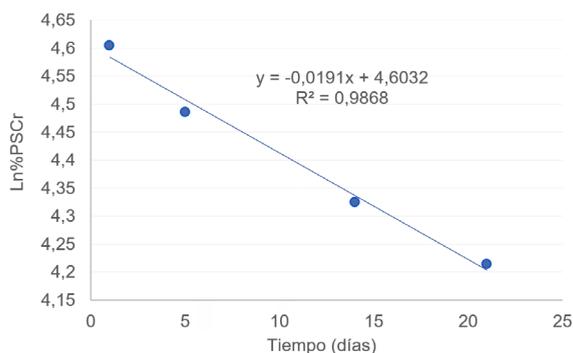
## Tasa de descomposición de la hojarasca de *Cecropia peltata*

En la figura 9 y la figura 10 se presentan los resultados correspondientes a la tasa de descomposición de la hojarasca durante cuatro semanas de experimento.

En la figura 9 se muestra la correlación de la masa remanente a través del tiempo en días, mediante el modelo exponencial negativo propuesto por Petersen y Cummins (1974), dando como resultado una tasa de descomposición diaria (k) igual a 0,0191.

**Figura 9**

Tasa de descomposición de la hojarasca de *Cecropia peltata* en el tiempo



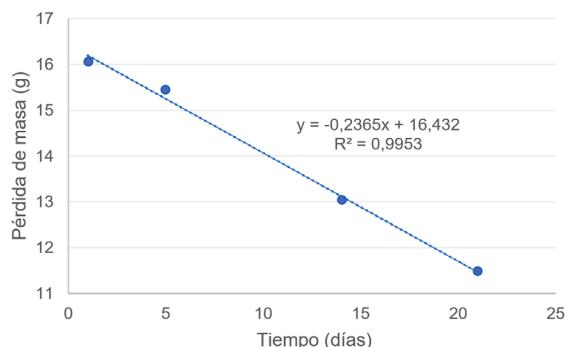
Nota. Elaboración propia con base en la información obtenida.

En la figura 10 se muestra la degradación de las hojas de *Cecropia peltata* a través del tiempo. Se encontró que en un periodo de aproximadamente 68 días todo el material vegetal en estudio podría ser degradado.



**Figura 10**

Pérdida de masa (masa remanente en el tiempo, gramos) o coeficiente de descomposición acuática de la hojarasca



Nota. Elaboración propia con base en la información obtenida.

Utilizando el modelo lineal decreciente (figura 9), se determinó que el coeficiente o tasa de descomposición de la hojarasca es de -0,019, con un coeficiente de correlación  $R^2$  de 0,98 para cada una de las constantes estimadas. Este experimento se realizó en la época seca (abril-2018) en Guanacaste, y los resultados muestran patrones característicos de la primera fase de descomposición, con una pérdida de peso constante. Esto podría relacionarse con el tiempo de permanencia de las hojas en el río, ya que solo habían pasado siete días desde la instalación de las mallas en el río, y se observó una desaceleración de la descomposición hacia el final del experimento.

Según Sánchez et al. (2008), la mayor parte de la pérdida de peso ocurre durante los primeros 30 días del experimento, y luego el proceso se vuelve más lento. La descomposición se mide comúnmente como la pérdida de peso a lo largo del tiempo, y factores como la influencia de la remoción y trituración por parte de los insectos acuáticos del río pueden afectarla (Villavicencio-Enríquez, 2012).

El modelo lineal para describir la masa remanente a lo largo del tiempo fue el siguiente:  $y = -0,2365x + 16,432$ , donde  $x$  es la masa remanente, con un  $R^2$  de 0,99 para todas las constantes estimadas (figura 10). Según esta fórmula, cuando “ $y$ ” es igual a 0, el valor de  $x$  es igual a 69,48, lo que indica que el experimento podría haber durado dos meses y ocho días hasta que la hojarasca se descompusiera por completo. Después de 21 días de la prueba, la hojarasca de la especie *Cecropia peltata* se había descompuesto solo en un 32%, lo que confirma que el experimento podría haberse extendido durante el tiempo indicado anteriormente.

Durante el proceso, las hojas permanecieron en las mallas y estuvieron en contacto directo con el agua, lo que se relaciona con el estado de humedad predominante. La pérdida inicial de biomasa está asociada con el

lavado inmediato del material orgánico soluble (Sierra-Rozo et al., 2009).

Finalmente, la tasa de descomposición de la hojarasca puede estar relacionada con factores mecánicos como la velocidad de la corriente, que es uno de los principales factores para la descomposición de la hojarasca. Este proceso está vinculado con la fragmentación y el deterioro físico que experimentan las hojas durante el experimento (Eyes-Escalante et al., 2012).

### Insectos acuáticos en la hojarasca

En las muestras de hojarasca se recolectaron 46 ejemplares de insectos acuáticos distribuidos en ocho órdenes y nueve familias. La familia Chironominae fue la más abundante con un total de 23 individuos que representan 50% de los individuos colectados (cuadro 1).

**Cuadro 1**

*Distribución de la abundancia de macroinvertebrados asociados a hojarasca de Cecropia peltata (abril, 2018)*

Muestra	Orden	Familia	GFA	Abundancia
Semana 1 G4, G5, G6	Odonata	Coenagrionidae	Depredador2	1
		Libellulidae	Depredador1	2
	Díptera	Chironomidae	Recolector1	17
		Ceratopogonidae	Depredador1	3
	Coleóptera	Elmidae	Recolector2	3
	Epheméroptera	Leptohyphidae	Recolector1	4
	Copépoda	Harpacticoida	Recolector3	1
Ostrácoda	Cyprididae	Recolector3	1	
Semana 2 G7, G8, G9	Díptera	Chironomidae	Recolector1	4
	Megaloptera	Corydalidae	Depredador1	1
	Trichoptera	Polycentropadidae	Depredador1	2
	Ephemeroptera	Leptohyphidae	Recolector1	2
	Odonata	Coenagrionidae	Depredador2	1
Coleóptera	Elmidae	Recolector2	1	
Semana 3 G10,G11, G12	Díptera	Chironomidae	Recolector1	2
	Trichoptera	Polycentropadidae	Depredador1	1
	Coleóptera	Elmidae	Recolector2	1
Total				46

**Nota.** Adaptado de la clasificación de Villada-Bedoya et al. (2017), Motta et al. (2016), y Ambrioso (2014).

La suma de los puntos asignados según el BMWP-CR en el cuadro 2 permite clasificar el nivel de calidad biológica del río Blanco como aguas de calidad mala y contaminadas.

### Cuadro 2

Valores del índice Biological monitoring working party modificado para Costa Rica (BMWP-CR) durante el periodo de estudio (abril, 2018)

Orden	Familia	Puntaje BMWP- CR
Odonata	Coenagrionidae	4
	Libellulidae	6
Diptera	Chironomidae	2
	Ceratopogonidae	4
Coleoptera	Elmidae	5
Ephemeroptera	Leptohyphidae	5
Copepoda	Harpacticoida	5
Ostracoda	Cyprididae	5
Megaloptera	Corydalidae	6
Trichoptera	Polycentropodidae	6
Total	10	44

*Nota.* Elaboración a partir del índice BMWP adaptado para Costa Rica (Decreto N.º 33903-MINAE-S, 2007)

En relación con los muestreos en el tramo seleccionado, se observa una secuencia marcada por los recolectores al inicio del estudio, con un aumento progresivo hasta alcanzar su predominio en la semana final. En el periodo intermedio, los depredadores dominan (cuadro 1). Según Hanson et al. (2010), los depredadores tienen adaptaciones morfológicas específicas para capturar presas, como las patas raptorales en chinches y el labio extensible en Odonata (libélulas y caballitos del diablo) que les permiten habitar en el fondo del río o en la vegetación sumergida. La hoja de *Cecropia peltata* proporciona un hábitat adecuado para estas familias, favorece su refugio, caza y la acumulación de precipitados de gel pardo.

La familia Chironomidae, por su alta tolerancia, se encuentra comúnmente en diversos tipos de ríos, lo que sugiere una posible contaminación orgánica en el río, relacionada más con las concentraciones de nutrientes que con la descomposición de la hojarasca. Según Hanson et al. (2010), estos insectos pueden alimentarse tanto externa como internamente, actuando como minadores de tallos u hojas.

El sitio del experimento se encuentra aguas abajo de la comunidad de Fortuna de Bagaces, donde las descargas de alcantarillas y las aguas residuales de la actividad ganadera son frecuentes. Los análisis muestran que la calidad biológica del agua del río Blanco posiblemente se ve afectada por estas y otras actividades (cuadro 2).

Según Sánchez et al. (2008), la tasa de descomposición de la hojarasca puede vincularse con la calidad del material orgánico. En ambientes acuáticos, la calidad de la hojarasca depende de la disponibilidad energética para los organismos descomponedores. La alta salinidad del agua puede afectar la composición de la biota acuática, limitando la presencia de especies según su tolerancia a estas condiciones (González et al., 2015). Las altas concentraciones de sulfatos en el agua del río Blanco podrían explicar la escasa presencia de organismos en las muestras de hojarasca y su tasa de descomposición.

### Condición física y química de las aguas del río Blanco

El cuadro 3 muestra los resultados de los análisis fisicoquímicos realizados en marzo de 2024 en varias ubicaciones de la cuenca estudiada (figura 2), incluyendo la quebrada Herrumbre (origen del río Blanco) y la quebrada Hornillas (después de cruzar por Thermomanía), entre otros puntos. Se observa que el pH del agua del río Blanco aumenta al mezclarse con las aguas de las quebradas, que tienen diferentes niveles de pH (la quebrada Herrumbre es ácida y la quebrada Hornillas es neutra).

#### Cuadro 3

*Parámetros fisicoquímicos medidos en aguas de la quebrada Herrumbre, la quebrada Hornillas, el río Blanco 600 m aguas abajo de la unión de las quebradas y el río Guayabo, marzo, 2024*

Sitio	pH	CE (us/cm)	Turbiedad (NTU)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	Fe total (mg/l)	Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)
Quebrada Herrumbre	4,11	1328	15,6	566,716	3,790	129,154	85,137
Quebrada Hornillas	7,10	387	3,93	40,144	1,089	35,197	16,083
Río Blanco, 1800 m aguas abajo de la unión de las quebradas	4,44	976	54,2	354,994	2,792	93,007	63,647
Río Guayabo	7,06	341	2,94	66,796	0,211	26,290	20,390

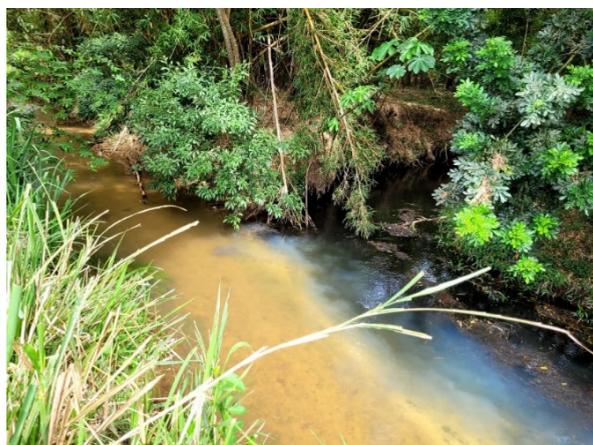
*Nota.* Elaboración propia con base en la información obtenida.

Los estudios de Vega-Zúñiga et al. (2005) señalan que el río Blanco recibe agua de una fuente termal subterránea, lo que podría explicar las altas concentraciones de sulfato, ya que los minerales disueltos viajan como iones desde esta fuente de origen volcánico (Pardo-Carrasco et al., 2009). Según estudios de Giggenbach y Soto (1992), quienes interpretaron datos geoquímicos de Guanacaste para desarrollar un modelo hidrológico de la región, el sistema de Miravalles descarga aguas sulfatadas-cloruradas, vapor de alta temperatura (Las Hornillas) y fluidos clorurados neutrales, asociados a estructuras tectónicas.

El color blanquecino del río Blanco se forma por la unión de las aguas de la quebrada Herrumbre (su origen) y la quebrada Hornillas (figura 11). Según los datos de pH en el cuadro 3, la quebrada Herrumbre tiene un pH ácido y la quebrada Hornillas, neutro. A 1800 metros de esta unión, el pH del río Blanco aumenta ligeramente debido a la mezcla de estas aguas, lo que da lugar a una nueva composición química del río. Además, se observa la formación de precipitados de gel pardo en el lecho del río y un aumento en la turbidez, asociado a sólidos en suspensión (cuadro 3).

**Figura 11**

*Formación del color blanco del río Blanco a través de la unión de las aguas de la quebrada Herrumbre (izquierda) y la quebrada Hornillas (derecha), 2024*



*Nota.* Fotografía de Johanna Rojas, río Blanco, marzo 2024.

El experimento con la hojarasca de *Cecropia peltata* se llevó a cabo en la finca Los Toledos del CTP Fortuna de Bagaces, ubicada aproximadamente a 8 km de la unión de las quebradas Herrumbre y Hornillas. En este lugar, se registró un aumento significativo del pH del agua del río Blanco, así como la presencia de altas concentraciones de calcio y sulfato ( $Ca^{2+}$  y  $SO_4^{2-}$ ) en sus aguas, lo que indica que se trata de un tipo de agua con sulfatado cálcico (cuadro 4).

El cuadro 4 muestra los resultados de los parámetros medidos en las aguas del río Blanco en el sector de la finca Los Toledos del CTP de Fortuna (figura 2) durante la instalación del experimento con la hojarasca de *Cecropia peltata* en abril de 2018, así como los resultados de los nuevos análisis realizados en el mismo sitio en marzo de 2024, para efectos de comparación. Se destaca que los valores registrados en 2024 muestran un aumento significativo en la conductividad del agua.

**Cuadro 4**

*Parámetros fisicoquímicos medidos en el agua de río Blanco (finca Los Toledos) durante la instalación del experimento en la semana 0 (abril, 2018) y en marzo, 2024*

Fecha	T (°C)	CE ( $\mu S/cm$ )	pH	Turbiedad (NTU)	SO4-2 (mg/L)	Ca+2	NO3-	Fe (total)	NH4+	K+	Na+	Cl-	Mg+2
04-abr 2018	27,5	581,85	6,27	30,3	278,0	31,3	1,58	*	0,303	*	*	*	*
29-mar 2024	*	894,2	7,14	28,57	257,64	73,61	4,188	1,385	ND	9,65	33,22	49,47	25,50

**Notas.** El signo \* se refiere a los análisis que no se realizaron. CE se refiere a conductividad eléctrica. ND se refiere a que se realiza el análisis, pero no se detectan valores. Elaboración propia con base en la información obtenida.

La confluencia del río Guayabo y otras quebradas del sistema tributario del río Blanco permiten que se generen cambios en las condiciones físicas y químicas del río Blanco aguas abajo. De acuerdo con Pringle et al. (1990), en Costa Rica, los iones, nutrientes, la

conductividad y el pH están estrechamente relacionados con la geología de las cuencas, especialmente cuando las quebradas son alimentadas por manantiales que atraviesan zonas calientes profundas de la corteza terrestre.

Durante la instalación del experimento en el río Blanco, en la finca Los Toledos, se observó la presencia de un material marrón, grueso y pegajoso en el lecho del río (figura 12). Este mismo material se encontró en las hojas de *Cecropia peltata*. Las observaciones de campo revelaron que, después de la confluencia de ambas quebradas, se forma este precipitado mencionado, junto con el cambio en el color del río a blanco. El color rojizo de la quebrada Herrumbre (figura 11) indica las altas concentraciones de hierro disueltas debido al pH ácido del agua. Al unirse con la quebrada Hornillas, el pH del agua del río Blanco aumenta. Ford (1984) explica que en presencia de oxígeno y un pH superior a 3,5, el hierro ferroso se oxida a hierro férrico, que precipita como óxido férrico hidratado,

formando el gel pardo en el lecho del río, también conocido como oxihidróxido férrico amorfo (Acevedo-Sandoval et al., 2004).

Los análisis realizados en muestras sólidas del gel pardo del río Blanco revelaron porcentajes significativos de elementos como silicio, aluminio, hierro, calcio y azufre (cuadro 5). En cuanto a la muestra del sólido en suspensión en el agua del río Blanco en el sitio de estudio, se observaron porcentajes más altos de hierro, aluminio, silicio, azufre y calcio (cuadro 5). La formación de un gel pardo voluminoso en los sedimentos del lecho del río tiene un impacto significativo en la calidad del agua y en los procesos biológicos dentro del ecosistema fluvial.

### Cuadro 5

*Concentraciones (%) de metales determinadas en muestra de sedimento de gel pardo encontrado de forma abundante en el lecho del río y en muestras de sólidos en suspensión formados en la columna de agua del río Blanco en el sitio de estudio (marzo, 2024)*

Sitio	Al	Si	Cl	S	K	Ca	Mn	Fe
Gel pardo depositado en el lecho del río Blanco	13,24 %	15,99 %	0,143 %	1,09 %	0,213 %	1,94%	0,908 %	10,76 %
Sólido en suspensión en el agua del río Blanco	0,75 %	0,49 %	167,6 ppm	0,30 %	419,7 ppm	0,12 %	134,5 ppm	2,94 %

**Nota.** Elaboración propia con base en la información obtenida.

El gel pardo presente en el lecho del río Blanco contiene altas concentraciones de hierro, así como compuestos de azufre, calcio, silicio y aluminio. Es probable que las muestras de hojarasca no fueran consumidas de inmediato por los insectos acuáticos debido a las características químicas del río

Blanco. Los precipitados de gel pardo podrían no contribuir al proceso de descomposición de la hojarasca, lo que resulta en que esta quede por debajo de los precipitados (Eyes-Escalante et al., 2012).

**Figura 12**

*Gel pardo voluminoso en el lecho de río Blanco, en el sitio de estudio*



*Nota.* Fotografía de Johanna Rojas, marzo 2024.

## Conclusiones

La composición química del agua en el río Blanco está influenciada principalmente por altas concentraciones de sulfato, calcio, silicio, hierro y aluminio. Estos elementos contribuyen a la formación de un gel pardo en el lecho del río, generado por cambios en el pH del agua. La presencia de estos componentes podría afectar el proceso de descomposición de la hojarasca a través de los insectos acuáticos. Esto puede resultar en una baja tasa de descomposición y una pérdida gradual de masa de hojarasca, lo que podría llevar a una acumulación prolongada de materia orgánica en el lecho del río. Esta situación puede influir en la calidad biológica del río, en contraste con ríos que presentan una composición química diferente.

El trabajo realizado por estudiantes de secundaria y universitarios ha contribuido a fomentar el interés científico y la conciencia sobre la importancia de efectuar observaciones en el campo y utilizar métodos estandarizados de análisis y muestreo. A través del proceso, los estudiantes han desarrollado habilidades técnicas, científicas y profesionales, lo que ha estimulado su pensamiento crítico y analítico durante su formación académica.

## Agradecimientos

Expresamos nuestro agradecimiento a todos los estudiantes de la generación 2018 del curso de Ecología de Ecosistemas Fluviales y su Laboratorio (UNA). También damos gracias a los estudiantes de la especialidad de Turismo Ecológico de la misma generación del Colegio Técnico Profesional de Fortuna de Bagaces, por su valiosa colaboración y participación en los experimentos realizados.

Asimismo, reconocemos la valiosa colaboración brindada en el muestreo y la identificación de nuevos sitios de análisis en el río Blanco para el año 2024 al Ingeniero Alexánder León Campos (ACAT- SINAC). Por último, pero no menos importante, expresar gratitud al químico Elian Watson Sánchez, coordinador del Laboratorio de Química de Alimentos de la Universidad de Costa Rica, Sede de Guanacaste, por su invaluable colaboración en el análisis de sedimentos a través del equipo de Fluorescencia de Rayos X de tipo energía dispersiva. Su contribución ha sido fundamental para el éxito de la investigación.

## REFERENCIAS

- Acevedo-Sandoval, O., Ortiz-Hernández, E., Cruz-Sánchez, M. y Cruz-Chávez, E. (2004). El papel de óxidos de hierro en suelos. *Terra Latinoamericana*, 22(4), 485-497.
- Ambrosio, E. S. (2014). *Hábitats y grupos funcionales alimentarios de los macroinvertebrados bentónicos en la costa bonaerense del Río de la Plata: Relación con la contaminación*. <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/33628>.
- Astudillo, M. R., Ramírez, A., Novelo-Gutiérrez, R., y Vázquez, G. (2014). Descomposición de hojarasca en seis arroyos de Bosque Mesófilo de Montaña en la cuenca alta del río La Antigua, Veracruz, México. *Revista de Biología Tropical*, 62, 111. <https://doi.org/10.15517/rbt.v62i0.15782>
- Baird, R., & Bridgewater, L. (Eds.). (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (23rd ed.). American Public Health Association (APHA).
- Chará-Serna, A. M., Chará, J. D., Zúñiga, M. D. C., Pedraza, G. X. y Giraldo, L. P. (2010). Clasificación trófica de insectos acuáticos en ocho quebradas protegidas de la ecorregión cafetera colombiana. *Universitas Scientiarum*, 15 (1), 27. <https://doi.org/10.11144/javeriana.sc15-1.tcoa>
- Decreto Ejecutivo N.º 33903. (2007). Reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales. *La Gaceta*, 178.
- Dudgeon, D., & Wu, K. K. Y. (1999). Leaf litter in a tropical stream: Food or substrate for macroinvertebrates? *Fundamental and Applied Limnology*, 146 (1), 65–82. <https://doi.org/10.1127/archiv-hydrobiol/146/1999/65>
- Eyes-Escalante, M., Rodríguez-Barrios, J., & Gutiérrez-Moreno, L. C. (2012). Descomposición de la hojarasca y su relación con los macroinvertebrados acuáticos del río Gaira (Santa Marta, Colombia). *Acta Biológica Colombiana*, 17 (1), 77-92.
- Ford, I. N. (1984). *Dinámica mineral en el suelo: Algunos puntos de referencia para su estudio*. Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México.
- Giggenbach, W. F., & Soto, R. C. (1992). Isotopic and chemical composition of water and steam discharges from volcanic-magmatic-hydrothermal systems of the Guanacaste Geothermal Province, Costa Rica. *Applied Geochemistry*, 7 (4), 309-332. [https://doi.org/10.1016/0883-2927\(92\)90022-U](https://doi.org/10.1016/0883-2927(92)90022-U)
- González Achem, A. L., Rolandi, M. L., & Fernández, H. R. (2015). Saline waters and macroinvertebrates in subtropical Andean streams. *Ecología Austral*, 25 (1), 26-36.
- Graça, M. A. (2001). The role of invertebrates on leaf litter decomposition in streams – a review. *International Review of Hydrobiology: A Journal Covering all Aspects of Limnology and Marine Biology*, 86 (4-5), 383-393. [https://doi.org/10.1002/1522-2632\(200107\)86:4/5<383::AID-IROH383>3.0.CO;2-D](https://doi.org/10.1002/1522-2632(200107)86:4/5<383::AID-IROH383>3.0.CO;2-D)
- Graça, M. A., Bärlocher, F., & Gessner, M. O. (2005). *Methods to study litter decomposition: A practical guide*. Springer Science & Business Media.
- Graça, M. A., Pozo, J., Canhoto, C., & Elozegi, A. (2002). Effects of Eucalyptus plantations on detritus, decomposers, and detritivores in streams. *Scientific World Journal*, 2, 1173-1185. <https://doi.org/10.1100/tsw.2002.193>
- Hanson, P., Springer, S. y Ramirez, A. (2010). Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos. *Revista de Biología Tropical*, 58 (S4), 3–37. <https://doi.org/10.15517/rbt.v58i4.20080>
- Leroy, C. J., & Marks, J. C. (2006). Litter quality, stream characteristics and litter diversity influence decomposition rates and macroinvertebrates. *Freshwater Biology*, 51(4), 605–617. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2006.01512.x>
- Monsalve Camacho, O. I., Gutiérrez D., J. S., & Cardona, W. A. (2017). Factores que intervienen en el proceso de mineralización de nitrógeno cuando son aplicadas enmiendas orgánicas al suelo: Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 11(1), 200–209. <https://doi.org/10.17584/rch.2017v11i1.5663>
- Mora Abarca, M., Artavia Rodríguez, L. G. 1., & Ramírez Rodríguez, T. (2013). *Propuesta de zonificación ambiental para las microcuencas de los ríos Blanco y Cuipilapa, Bagaces, Costa Rica*. Tesis, San José, Costa Rica..

- Motta Díaz, Á., Ortega Corredor, L., Niño Fernández, Y. y Aranguren Riaño, N. (2016). Grupos funcionales alimenticios de macroinvertebrados acuáticos en un arroyo tropical (Colombia). *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 19 (2), 425-433. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0123-42262016000200019&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262016000200019&lng=en&tlng=es)
- Palma, A., Figueroa, R., & Ruiz, V. H. (2009). Evaluación de ribera y hábitat fluvial a través de los índices QBR e IHF. *Gayana (Concepción)*, 73 (1), 57-63.
- Pardo Carrasco, S. C., Suárez Mahecha, H., & Pertuz Buelvas, V. M. (2009). Interacción de los suelos sulfatados ácidos con el agua y sus efectos en la sobrevivencia del bocachico (*Prochilodus magdalenae*) en cultivo. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 22 (4), 619-631.
- Petersen, R. C., & Cummins, K. W. (1974). Leaf processing in a woodland stream. *Freshwater Biology*, 4 (4), 343-368. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.1974.tb00103.x>
- Pringle, C. M., Triska, F. J., & Browder, G. (1990). Spatial variation in basic chemistry of streams draining a volcanic landscape on Costa Rica's Caribbean slope. *Hydrobiologia*, 206 (1), 73-85.
- Rivera Vázquez, R., Soto Pinto, L., Núñez Colín, C. A., De Jung, B., Hernández Rivera, M., y Ordóñez Díaz, J. A. (2013). Producción y tasa de descomposición de hojarasca en Acahuales de selva caducifolia en Chiapas. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 4 (20), 20-30.
- Rosemond, A. D., Pringle, C. M., Ramírez, A., Paul, M. J., & Meyer, J. L. (2002). Landscape variation in phosphorus concentration and effects on detritus-based tropical streams. *Limnology and Oceanography*, 47 (1), 278-289. <https://doi.org/10.4319/lo.2002.47.1.0278>
- Royer, T. V., & Minshall, G. W. (2003). Controls on leaf processing in streams from spatial-scaling and hierarchical perspectives. *Journal of the North American Benthological Society*, 22 (3), 352-358.
- Sánchez Espinosa, J. A. y Rubiano Sanabria, Y. (2015). Procesos específicos de formación en Andisoles, Alfisoles y Ultisoles en Colombia. *Revista EIA, (SPE2)*, 85-97.
- Sánchez, S., Crespo, G., Hernández, M. y García, Y. (2008). Factores bióticos y abióticos que influyen en la descomposición de la hojarasca en pastizales. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 42 (2). [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0864-03942008000200001](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942008000200001)
- Sierra-Rozo, O., Mancera Pineda, E., & Santos-Martínez, A. (2009). Velocidad de descomposición de la hojarasca en diferentes sustratos de manglar durante la época de lluvias en San Andrés Isla, Caribe Colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR*, 38 (1), 59-84. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0122-97612009000100004](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-97612009000100004)
- Tomanova, S., Goitia, E., & Helešić, J. (2006). Trophic levels and functional feeding groups of macroinvertebrates in neotropical streams. *Hydrobiologia*, 556 (1), 251-264.
- Troisi, J., Di Fiore, R., Pulvento, C., Dandria, R., Vega-Galvez, A., Miranda, M., & Lavini, A. (2014). Saponinas. In *Estado del arte de la quinua en el mundo* (pp. 317-330).
- Vargas-Rojas, A. (2012). *Ecología y conservación de Cecropia peltata en ecosistemas neotropicales*. Editorial Universitaria.
- Vega Zúñiga, E., Rojas Chavarría, L., Barrantes Víquez, M., Molina Zúñiga, F., Hakanson, E. C., & Mora Protti, O. (2005). Geologic model of the Miravalles geothermal field, Costa Rica. En *Proceedings of the World Geothermal Congress* (pp. 1-5).
- Villada-Bedoya, S., Triana-Moreno, L. A. y G-Dias, L. (2017). Grupos funcionales alimentarios de insectos acuáticos en quebradas andinas afectadas por agricultura y minería. *Caldasia*, 39 (2), 370-387.
- Villavicencio-Enríquez, L. (2012). Producción, pérdida de peso y tasas de descomposición de hojarasca en cafetales tradicional y rústico, y selva mediana, en Veracruz, México. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 18 (2), 159-173.