

## TRANSPORTE DE MATERIA ORGANICA PARTICULADA EN UNA CORRIENTE ALTOANDINA: QUEBRADA ARRAYANALES (CAUCA – COLOMBIA)

## TRANSPORT OF PARTICULATE ORGANIC MATTER IN AN ANDEAN MOUNTAIN STREAM: CREEK ARRAYANALES (CAUCA – COLOMBIA).

## TRANSPORTE DE PARTÍCULAS ORGÂNICAS EM UM FLUXO ALTO ANDINA: ARRAYANALES QUEBRADO (CAUCÁ - COLÔMBIA)

Margarita del Rosario Salazar-Sánchez<sup>1</sup>, Monica Patricia Valencia-Rojas<sup>1</sup>, Apolinar Figueroa-Casas<sup>2</sup>

### RESUMEN

*Se determinó la dinámica temporal de la materia orgánica particulada en la quebrada Arrayanales (Cauca), teniendo en cuenta los eventos de precipitación y su efecto sobre la cantidad de materia orgánica particulada fina (MOPF), gruesa (MOPG) y total (MOPT) que ingresa y es transportada aguas abajo de la Quebrada. Se planteó como objetivo establecer la cantidad y la variación de las entradas laterales, verticales y el transporte de materia orgánica particulada alóctona (MOP), contando a la precipitación y el caudal como variables hidroclimáticas para ello se determinó el peso seco libre en cenizas (PSLC) de MOP vertical, lateral capturada y transportada. Los resultados demuestran que la Quebrada Arrayanales, es un ecosistema con tendencia al transporte de grandes cantidades de MOPG, con bajo potencial de almacenamiento y mecanismos para el ingreso de materia orgánica alóctona, que dependen del régimen de precipitaciones. Las precipitaciones se relacionaron mayormente con el transporte de MOPG, que con la MOPF. Los aportes verticales y laterales fueron dominados por MOPG, con promedios totales de 10,86 g PSLC m<sup>-2</sup> y 6,05 g PSLC m<sup>-2</sup> respectivamente. El transporte en el tramo de estudio fue de 37,83 g m<sup>-3</sup> MOPT, 32,88 g m<sup>-3</sup> MOPG y 4,94 g m<sup>-3</sup> MOPF.*

**Recibido para evaluación:** 11 de septiembre de 2013. **Aprobado para publicación:** 27 de marzo de 2014

1 Universidad del Cauca, Grupo de Estudios Ambientales (GEA). M.Sc. Bióloga. Popayán, Colombia.

2 Universidad del Cauca, Director del Doctorado en Ciencias Ambientales, Director del Grupo de Estudios Ambientales (GEA). Ph.D.. Popayán, Colombia.

**Correspondencia:** margaritasalaz@gmail

## ABSTRACT

*The temporal dynamics of particulate in the Arrayanales Creek (Cauca), organic matter was determined taking into account the events of rainfall and its effect on the amount of fine particulate organic matter (FPOM), coarse (CPOM), and total (TPOM) which input and is transported downstream from the Creek. It was raised as a aims to establish the amount and variation of lateral, vertical inputs and the transport of organic matter particulate (MOP), counting the precipitation and flow as hydroclimatic variables for this purpose ash-free dry weight (AFDW) in vertical, lateral MOP captured and transported was determined. The results show that the Arrayanales Creek is an ecosystem with a tendency towards the transport of large quantities of MOPG, with low storage and potential mechanisms for input of organic matter replanted, depending on rainfall. Precipitation mostly related to the transport of MOPG, than with MOPF. Vertical and lateral contributions were dominated by MOPG, with overall averages of 10,86 AFDW  $g\ m^{-2}$  and 6,05  $g\ AFDW\ m^{-2}$  respectively. Transport in the section of study was 37,83  $g\ m^{-3}$  TPOM, 32,88  $g\ m^{-3}$  CPOM and 4,94 FPOM  $g\ m^{-3}$ .*

## RESUMO

*A dinâmica temporal de partículas de matéria orgânica quebrada Arrayanales (Cauca), foi determinada tendo em conta os eventos de precipitação e seu efeito sobre a quantidade de matéria orgânica particulada bem (MPF), espessa (MOPG) e total (MOPT) que entra e é transportada a jusante do quebrada. Surgiu como uma meta estabelecer a quantidade e a variação do lateral, entradas verticais e o transporte de orgânicos importam aloctona partículas (MOP), contando a precipitação e o fluxo como variáveis de hydroclimatic, determinou-se o peso seco sem cinzas (PSSC) na MOP lateral, vertical capturado e transportado. Os resultados mostram que a Quebrada Arrayanales, é um ecossistema com uma tendência para o transporte de grandes quantidades de MOPG, com armazenamento baixo e mecanismos potenciais para a entrada de matéria orgânica aloctona, dependendo das chuvas. Precipitação, principalmente relacionada ao transporte de MOPG, com o MPF. Contribuições verticais e laterais foram dominadas pela MOPG, com média total de 10.86 PSSC  $g\ m^{-2}$  e 6,05  $g\ PSSC\ m^{-2}$ , respectivamente. Transporte na seção de estudo foi 37,83  $g\ m^{-3}$  MOPT, 32,88  $g\ m^{-3}$  MOPG e 4,94 MPF  $g\ m^{-3}$ .*

## INTRODUCCION

Los ambientes acuáticos altoandinos son extremadamente sensibles a la variación estacional climática, debido a que la inmensa mayoría depende de la precipitación y su distribución anual. Los niveles de agua en el río y los caudales de la mayoría de ecosistemas lóticos se vinculan a la precipitación a corto plazo de modo muy directo. La temperatura del aire también condiciona los sistemas acuáticos a través de su influencia directa en la temperatura del agua, que a su vez afecta a los procesos metabólicos y biogeoquímicos que suceden en los ecosistemas acuáticos [1, 2]. Por otra parte, las influencias climáticas indirectas como

## PALABRAS CLAVE:

Dinámica de la materia orgánica, Aportes, Transporte.

## KEY WORDS:

Organic matter dynamics, Inputs, Transport.

## PALAVRAS-CHAVE:

Dinâmica da matéria orgânica, Insumos, Transporte.

el viento, radiación solar son muy importantes en los ambientes acuáticos continentales de montaña, ya que éstos resultan dependientes de la dinámica de la cuenca hidrográfica, por tanto, los efectos del cambio climático sobre los suelos y la vegetación de aquella tendrán también unos efectos adicionales sobre los ambientes acuáticos [2, 3, 4], también sobre las comunidades biológicas como macroinvertebrados, bacterias, perifiton y fitoplancton.

En quebradas de primer orden, como la quebrada Arrayanales, la materia orgánica particulada alóctona (MOP) que recibe proviene de la vegetación riparia y es considerada como la mayor fuente de energía para sus comunidades acuáticas [5, 6, 7]; y como fuente de energía en los sistemas acuáticos incluye: i) a la materia orgánica particulada gruesa (MOPG), hojas, troncos, flores y otros materiales en descomposición (hojarasca), y ii) a la Materia Orgánica Particulada Fina (MOPF), como material vegetal que ya ha sido descompuesto, cuya descomposición provee de iones al sistema [8]. La importancia de la entrada del detrito alóctono y su influencia en la estructura de la comunidad bentónica [9], es así como en el concepto de Río Continuo, la materia orgánica proveniente de la vegetación ribereña, que es transportada en la corriente de agua, se convierte en un recurso energético que es explotado por las comunidades acuáticas [10].

Teniendo en cuenta lo anterior, la quebrada Arrayanales, recibe la materia orgánica particulada (MOP) proveniente de la vegetación riparia, con este estudio se espera generar una base conceptual y metodológica de una herramienta de evaluación para la función en este tipo de ecosistemas fluviales, con mediciones de parámetros funcionales, complementarios a las variables físicas, químicas y biológicas, utilizados tradicionalmente como criterios para evaluar el estado de conservación de sistemas fluviales. Es por ello que se planteó conocer la dinámica de materia orgánica particulada alóctona en la quebrada Arrayanales durante un período de seis meses que se logró con el desarrollo de los objetivos de este proyecto donde se propuso determinar la cantidad y la variación de las entradas laterales, verticales y el transporte de materia orgánica particulada alóctona (MOP) en un tramo de la quebrada alto andina "Arrayanales", sobre el flanco occidental de la cordillera Central – Colombia, haciendo énfasis en el efecto de la variabilidad climática como magnitud de la precipitación y el caudal, sobre las entradas de MOP. Las entradas verticales de MOP gruesa (MOPG vertical) y laterales de MOP gruesa (MOPG lateral) y

MOP fina (MOPF lateral) correspondientes a los seis meses de muestreo fueron tomadas como  $g.m^{-1}$  de peso seco libre de cenizas (PSLC) respectivamente.

## MÉTODO

### Área de estudio

La quebrada Arrayanales, está ubicada en el noreste del municipio de Popayán, sobre el flanco occidental de la cordillera Central, en el Departamento del Cauca (Colombia). Hace parte de la subcuenca alta del Río Las Piedras, las coordenadas de tramo de estudio en la Quebrada Arrayanales son: Longitud  $02^{\circ}41'71,45''$ , Latitud  $76^{\circ}09'47'',37$  - Longitud  $02^{\circ}89'61,47''$ , latitud  $76^{\circ}19'31'',93$ . La subcuenca de la Quebrada Arrayanales limita al norte con la cuenca del Río Palacé, al sur con las cuencas de los ríos San Francisco y Vinagre, al oriente con los cerros de Pusná y Cargachiquillo, y al occidente con el Río Cauca. Abarca un total de aproximadamente 605,42 Ha, con un perímetro de cuenca de 70,02 km [11].

La zona de estudio se encuentra a una altura aproximada de 2600 msnm. Los rangos promedio anual de temperatura, precipitación, humedad relativa, brillo solar, tensión de vapor y nubosidad son  $18,4^{\circ}C$ , 172,9 mm, 84 mm, 123 horas, 17,5 Mbar y 5,8 horas [12] y se encuentra dentro del bosque pluvial montano alto (bp-MA) y corresponde a Selva Andina [13].

En cuanto a geomorfología, presenta relieve montañoso; en la parte alta y media presenta pendientes fuertes, largas y rectilíneas; en la parte baja hay pendientes suaves y cóncavas. Los suelos están formados principalmente por cenizas volcánicas; presentan textura media franco-arcillosa poco estructurada y bien drenada; poseen acidez baja con pH entre 5,0 y 5,9 unidades, saturación de aluminio y bajas cantidades de calcio, magnesio y fósforo; son suelos con buenas propiedades físicas y limitadas propiedades químicas que influyen negativamente en la fertilidad [14].

### Variables hidroclimáticas

Las variables hidroclimáticas incluidas en el estudio fueron el caudal y la precipitación, datos que fueron tomados cada muestreo con un molinete y por la estación hidroclimática ubicada en la Quebrada Arrayanales por la Fundación Pro-Cuenca Río las Piedras.

## Muestreo de Materia Orgánica Particulada

Para lograr los objetivos propuestos se realizaron muestreos, sobre el cauce principal de la quebrada Arrayanales, de los aportes verticales, laterales de materia orgánica particulada alóctona y los aportes por deriva sobre el cauce, cada 30 días durante seis meses de muestreo (julio (M1), agosto (M2), septiembre (M3), octubre (M4), noviembre (M5) y diciembre (M6) de 2012), durante 24 horas, en un tramo que tengan similares características geomorfológicas que comprendan zonas de rápidos y remansos [15].

Las entradas laterales también consideradas como indirectas de material alóctono se muestrearon mediante ocho trampas laterales de malla con poro de 1 mm ubicadas en pares a cada orilla de la quebrada, separadas 50 m una de la otra, las trampas se anclaron mediante estacas, orientadas hacia al ambiente terrestre.

Para los aportes verticales se dispusieron ocho trampas de malla de 0,25 m<sup>2</sup> de captación y malla de 1 mm de poro, ubicadas en cada orilla de la quebrada, separadas 50 m una trampa de la otra, se realizó distinción del material colectado como MOPG y MOPF, para lo cual se consideró como materia orgánica particulada gruesa con diámetro mayor a 1000  $\mu\text{m}$  y fina como aquella con diámetro entre 1000  $\mu\text{m}$  y 1  $\mu\text{m}$ .

Para los aportes en el tramo muestreado por deriva se utilizó una estructura de filtración a través de un muestreo discreto de transporte de MOPG y MOPF utilizando tres redes Surber (ojo de malla de 250  $\mu\text{m}$ ), se dispuso una en cada sitio de muestreo, siguiendo la metodología propuesta por [15, 16, 17], la trampa se colocó una dentro del cauce del río, se midió el caudal en la entrada de la trampa, y se dejaron las trampas instaladas para la colecta de fracciones de MOPF y MOPG durante 24 horas para cada muestreo.

## Análisis estadístico

Para el análisis de la información obtenida sobre los aportes de materia orgánica particulada, se calculó la homogeneidad de varianza y normalidad, por lo que se utilizó el programas estadístico SPSS 11.5, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de confianza del 95% ( $p \leq 0,05$ ), y un análisis de coeficiente de correlación de Spearman ( $r^2$ ).

## RESULTADOS

### Variables climáticas caudal y precipitación

Los muestreos desarrollados durante M4 y M6 (Octubre y Diciembre 2012) mostraron un valor de precipitación promedio significativamente mayor en comparación con el período de bajas precipitaciones correspondiente a M1, M2, M3 y M5 (Julio, Agosto Septiembre y Noviembre 2012) ( $K-W=22,87$ ,  $p=0,0004$ ,  $n=48$ ), aunque en términos generales se presentó un régimen de precipitación constante con valores bajos (cuadro 1).

Se presentó una diferencia significativa entre el período de alto caudal correspondiente a M5 y M6 (valor promedio de 2,25 L.s<sup>-1</sup>) y el período de bajo caudal (M1, M2, M3 y M4), que mostró un valor promedio de 1,69 L.s<sup>-1</sup> ( $K-W=44,77$ ,  $p=0,0000$ ,  $n=48$ ), aunque en términos generales el régimen de descarga fue constante (Cuadro 1).

### Entradas de MOP

Un aspecto importante de la ecología de ríos es evaluar la importancia relativa de los recursos alóctonos para la biota del río. Todos los niveles tróficos involucrados en las comunidades acuáticas, dependen de la explotación

**Cuadro 1.** Caudal y precipitación reportados para cada mes de muestreo.

VARIABLE	MUESTREO											
	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
	$\bar{X}$	$\pm SD$										
<b>Caudal</b> (L.s <sup>-1</sup> )	8,35	0,14	9,80	0,30	9,57	0,14	7,53	0,24	12,45	0,26	14,46	0,21
<b>Precipitación</b> (mm.d <sup>-1</sup> )	1,25	3,54	0,00	0,00	0,00	0,00	9,50	6,26	7,50	7,01	13,00	10,09

$\bar{X}$ : Promedio;  $\pm SD$ : Desviación Estándar. Fuente: Fundación Pro-Cuenca Río las Piedras.

de los recursos disponibles, y de la eficiencia con que estos recursos son transformados en nueva biomasa [18]. Ya que, la entrada de los detritos en ríos y arroyos, constituye una de las fuentes de carbono orgánico más importante para las comunidades acuáticas [10, 19] teniendo en cuenta que la hojarasca representa el componente principal de entrada en la Quebrada. Las cantidades acumuladas de MOPTG vertical y MOPTG lateral correspondiente al tiempo de muestreo fueron 574,87 g PSLC m<sup>-2</sup> y 256,23 g PSLC m<sup>-2</sup> respectivamente, con valores promedio de entradas por muestreo de 1,57 g PSLC m<sup>-2</sup>, y 0,70 g PSLC m<sup>-2</sup> respectivamente.

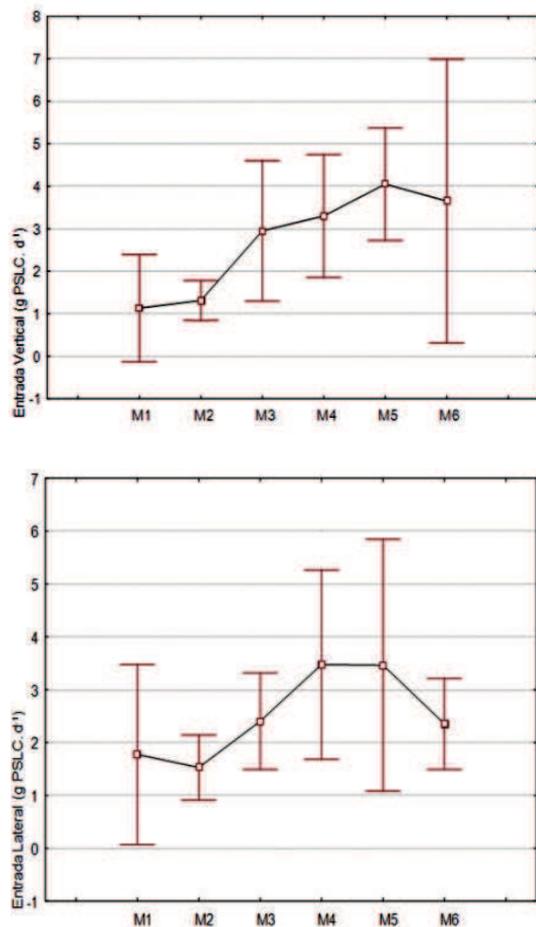
La entrada de MOPG vertical para el período de baja precipitación fue de 0,78 ( $\pm 0,33$ ) g PSLC m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> y para el período de lluvias fue de 1,59 ( $\pm 0,89$ ) g PSLC m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>. La cantidad promedio de MOPG lateral para el período de baja precipitación fue de 0,57 ( $\pm 0,32$ ) g PSLC m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> y para el período de lluvias fue de 0,54 ( $\pm 0,16$ ) g PSLC m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>.

En cuanto a las entradas de MOPG vertical mostraron su mayor registro en M6 con un valor de 2,22 g PSLC m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> y una diferencia significativa en estos aportes con respecto al resto de muestreos que correspondieron a menores intensidades de precipitación ( $K-W=23,91$ ,  $p=0,0002$ ,  $n=48$ ). En términos descriptivos, la Figura 1a muestra que el pico máximo de entrada de esta materia se presentó en M6, correspondiente al período de mayor intensidad de la precipitación, la asociación entre éstas es significativa ( $r_s = 0,29$ ,  $p=0,04$ ,  $n=48$ ). Para el período de Agosto se muestra una tendencia al incremento en la MOPG vertical como sucede con las otras entradas de MOP.

Las entradas de MOP laterales presentaron su mayor valor en M5 (0,97 g PSLC m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>) mostrando diferencias significativas con los otros muestreos y con la intensidad de la precipitación ( $K-W=13,68$ ,  $p=0,017$ ,  $n=48$ ). No se presentaron diferencias entre los incrementos de estos aportes autóctonos de MOPG y la intensidad de la precipitación, lo cual es sustentado por una correlación no significativa ( $r_s = 0,14$ ,  $p=0,33$ ,  $n=48$ ).

En términos generales, en la Quebrada Arrayanales, se presentaron picos de incremento en los aportes de MOP vertical y lateral en los meses de septiembre y diciembre, correspondiente a M3 y M6, generados por umbrales de precipitación. Estos registros guardan relación con estudios desarrollados en el trópico con un patrón similar [20, 21]. Se destacan los trabajos desarrollados en la Ciudad de Bogotá por [16, 21,

**Figura 1.** Entradas de MOP en g PSLC.d<sup>-1</sup> (A. Entradas Vertical; B. Entrada Lateral).



22, 23, 24] quienes encontraron una asociación entre la producción de hojarasca en términos de peso seco con la precipitación para la Quebrada La Vieja (Bogotá).

Comparando este estudio con los trabajos que se han realizado en Colombia (cuadro 2) se encuentran que los mayores aportes están representados por los aportes verticales de MOPG como aporte vertical que lateral a excepción de lo reportado en el río Gaira (Santa Marta) donde se presentó un mayor aporte lateral debido que la zona de muestreo se vio afectada por precipitaciones constantes; este estudio presentó similares aportes a los evidenciados en la quebrada la Vieja (Bogotá), con cambios en los aportes debidas a la variabilidad y cambio climático en la zona.

Y teniendo en cuenta que la variación temporal en los aportes de MOPG autóctona se ha descrito a escala de paisaje [25, 26] debido a la variabilidad de los par-

**Cuadro 2.** Estudios realizados en Colombia.

*MOPG		Lugar
Vertical	Lateral	
**1300 g m <sup>-2</sup> año <sup>-1</sup>		Quebrada La Vieja (Bogotá) [20]
**920 g m <sup>-2</sup> año <sup>-1</sup>		Robledales y Bosque Altoandino de la Sabana de Bogotá [17]
450,8 g m <sup>-2</sup>	191 g m <sup>-2</sup>	Quebrada la Vieja (Bogotá) [18]
718,3 g m <sup>-2</sup>	2197,4 g m <sup>-2</sup>	Río Gaira (Santa Marta) [16]
574,87 g m <sup>-2</sup>	256,23 g m <sup>-2</sup>	Quebrada Arrayanales (Cauca) [Presente estudio]

\*Valor expresado como Peso Seco Libre de Cenizas (PSLC). \*\*No especifica tipo del aporte.

ches o mosaicos que forman la vegetación riparia, la fenología de la vegetación y el efecto de las lluvias y la sequía [27]. En el presente estudio se pudo encontrar que el aporte de materiales fue más o menos constante durante los seis meses de muestreo, aunque la MOPG vertical se incrementó en período de lluvias y se puede deducir que existen diferencias en las cantidades de los aportes de MOP para eventos de alta y baja precipitación. Además se presentan umbrales de precipitación que se traducen en incrementos significativos de MOPG vertical.

Dado que estos aportes de material alóctono como MOPG juegan un papel relevante en términos de energía para comunidades acuáticas, como sucede en épocas de primavera en regiones holárticas, donde existe una mayor proporción de flores que caen al lecho de las Quebradas, las cuales ofrecen un mayor aporte energético a comunidades bióticas en comparación con las hojas [28] y palizadas [29]; en los estudios realizados en Colombia, los aportes de la vegetación riparia encontraron valores máximos de MOPG por la caída de hojarasca en relación con el período de lluvias, con especies como: *Clusia multiflora*, *Vaccinium sp.* y *Weinmania tomentosa* como las especies dominantes en el aporte de MOPG al mantillo del suelo ripario [16, 20]; debido a que las entradas de hojas de los árboles riparios son, por lo general, la mayor fuente de energía para los organismos heterotróficos [29].

En la quebrada Arrayanales se presentó un aporte relevante en la producción alóctona por el bosque ripario, en especial de la fracción gruesa (hojarasca, semillas, flores, y pequeños troncos) de las familias de Melastomataceae, Fagaceae, Polygonaceae y Asteraceae, siendo las especies vegetales riparias más abundantes en el tramo estudiado: *Coraria Ruscifolia*, *Rubus adenotrichos*, *Desmodium adscendens*, *Erato vulcanica*, *Bidens sp.*, *Chromolaena odorata*, *Piper lacunosum*, *Danthonia secundiflora*, *Bomarea sp.*, *Croscomia x*

*crocsmiflora*, *Cleome arborea*, *Palicourea abgustifolia*, *Solanun ovalifolium*, *Wedelia sp.*, *Ageratia tinifolia*, *Plantago sp.*, *Euphorbia laurifolia*, *Meriania splendens*, *Tibouchina mollis*, *Salvia scutellarioides*, *Oxalis sp.*, *Equisetum bogotensis*, *Psammisia graebneriana*.

Con lo anterior, el incremento de MOP en la Quebrada presenta un patrón similar reportado en los trabajos de [21, 22, 23, 29] en donde los incrementos en la MOP alóctona tiene una relación significativa con eventos hidroclimáticos extremos como las tormentas sobre Quebradas de Norteamérica.

Otros trabajos que demuestran como la interacción bosque-río en las cabeceras de las montañas se da por la relación directa entre la densidad del bosque ripario y el efecto o cambio hidroclimático [16]. Entonces, en la Quebrada Arrayanales los cambios en el caudal se producen como respuesta a los incrementos en la intensidad de la precipitación, mientras que la respuesta en las entradas y el transporte de MOP en la Quebrada Arrayanales, son el reflejo de un sistema conservado que presenta una buena cobertura vegetal riparia.

### Transporte de MOP

El transporte promedio de MOPG, MOPF y MOP total (MOPT = MOPG + MOPF) en el tramo de estudio fue de 37,83 g m<sup>-3</sup>, 32,88 g m<sup>-3</sup> y 4,94 g m<sup>-3</sup> respectivamente. Los valores de pérdidas por transporte de MOPF para el período de bajo caudal fue de 4,36 (±0,71) g m<sup>-3</sup> y para el período alto caudal fue 5,71 (±2,59) g m<sup>-3</sup>. La cantidad promedio de MOPG transportada aguas abajo para el período de bajos caudales fue de 30,56 (±3,23) g m<sup>-3</sup> y para el período de altas precipitaciones fue de 37,54 (±3,03) g m<sup>-3</sup>. Finalmente los valores encontrados para la MOPT, correspondientes a la sumatoria de la MOPG y la MOPF transportada durante el período de sequía fue de 34,93 (±6,21) g m<sup>-3</sup>, y para el período de lluvias fue de 43,66 (±3,43) g m<sup>-3</sup>. (Cuadro 3).

La MOPG transportada presentó el mayor registro con un valor promedio de  $140.5 \text{ g PSLC m}^{-3}$ , simultáneo al período de mayor precipitación correspondiente al mes de diciembre (M6); este incremento se debe al aumento del caudal. No se presentó una variación en el transporte de MOPG en relación con el resto de muestreos representados por una regular intensidad del caudal ( $K-W= 5,18$ ,  $p=0,39$ ,  $n=48$ ).

La asociación entre el caudal y el transporte de MOPG, fue muy baja y poco significativa ( $r_s = 0,25$ ,  $p=0,07$ ,  $n=48$ ). Cabe resaltar que la menor cantidad de MOPG transportada se presentó durante los muestreos M1, M2, M4 y M5 (figura 2a).

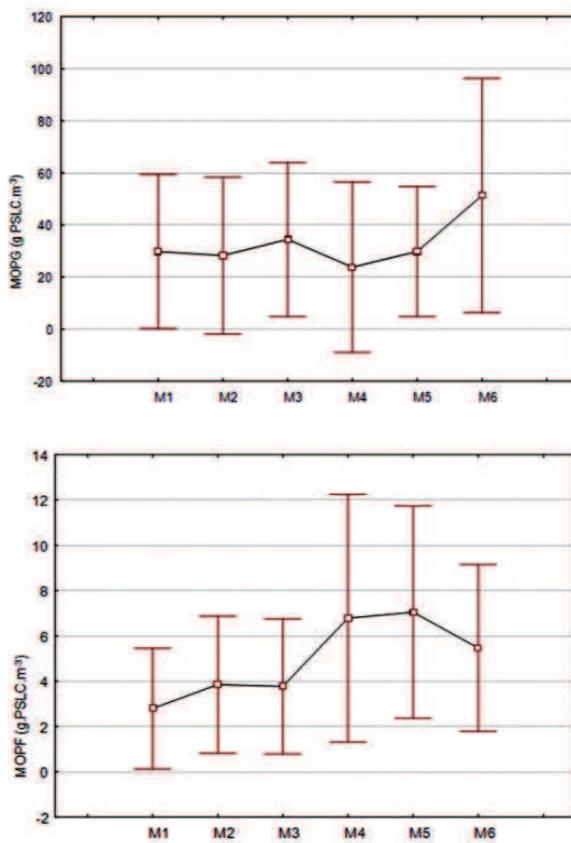
Se presentó un valor máximo de  $15,36 \text{ g PSLCm}^{-3}$  en el mes de noviembre (M5), correspondiente al período de bajo caudal, aunque su incremento fue más prolongado que lo mostrado por la MOPG, ya que permaneció desde M3 hasta M5 (figura 2b). No se presentaron diferencias en estos aportes de MOPF con respecto al resto de muestreos correspondientes a bajos caudales ( $K-W= 5,88$ ,  $p=0,31$ ,  $n=48$ ). La asociación entre esta variable y la magnitud del caudal fue muy alta ( $r_s = 0,14$ ,  $p=0,34$ ,  $n=48$ ), debido a los datos se presentaron valores casi constantes.

Las pérdidas totales de MOP fueron expresadas en términos de la MOPT transportada aguas abajo (MOPG+MOPF). Se presentó una alta asociación entre la MOPT y el transporte de MOPF ( $r_s = 0,35$ ,  $p=0,01$ ,  $n=48$ ) pero fue mayor la correlación entre MOPT y el transporte de MOPG ( $r_s = 0,90$ ,  $p=0,00$ ,  $n=48$ ) debido a que la MOPG aportó casi la totalidad de la MOP en deriva (MOPT).

De acuerdo a los resultados obtenidos, no se presentaron diferencias estadísticas en la cantidad de MOPT transportada en el tramo a escala temporal.

La MOPG aportó en su mayoría la totalidad de la materia orgánica particulada total comparando con el aporte de la MOPF que fue menor; Según [5], tramos de cabecera

**Figura 2.** Transporte de MOP en  $\text{g PSLC.m}^{-3}$  (A. MOPG; B. MOPF; C. MOPT).



presentan una relación MOPG/MOPF  $> 1$ . Es muy probable que grandes cantidades de MOPG sean retenidas por el lecho de la Quebrada, a diferencia de la MOPF, la cual tiende a ser movilizada aguas abajo en mayores cantidades, como sucedió en el tramo de la Quebrada Arrayanales.

Esto se sustenta como una relación altamente positiva, entre la descarga y el transporte de MOPT. [16] encontraron en quebradas en la Quebrada la Vieja, el exporte de MOP estuvo relacionado con patrones de descarga, particularmente relacionados con periodos de lluvias posteriores a periodos de baja precipitación.

**Cuadro 3.** Cantidad de MOP reportada para cada mes de muestreo.

Transporte	Unidad	Muestreo					
		M1	M2	M3	M4	M5	M6
MOPF	$\text{g PSLC.m}^{-3}$	2,79	3,85	3,77	6,78	7,05	5,47
MOPG	$\text{g PSLC.m}^{-3}$	29,78	28,24	34,44	23,78	29,80	51,31
MOPT	$\text{g PSLC.m}^{-3}$	32,56	32,09	38,21	30,55	36,85	56,77

### Relación MOPG/MOPF transportada

La heterogeneidad que presentó el tramo de la Quebrada Arrayanales (debido a las características geomorfológicas del cauce como la presencia de parches de palizadas, piedras de grande tamaño, presencia de rápidos y remansos) pudo haber influenciado para la poca movilidad de la MOPF. [25] mencionan que estos factores son relevantes en la dinámica de las entradas, retención y pérdidas por transporte de MOP en quebradas [16].

El balance de entradas y salida de MOPG/MOPF en la Quebrada, demuestra un dominio en las entradas y retención de MOPG, que también dominó en las salidas o pérdidas por transporte aguas abajo. Este balance de materiales se destaca si se quieren desarrollar aproximaciones en cuanto al flujo de MOP en la interacción bosque-río [30], estudios aplicativos en restauración de quebradas de cabecera, efecto hidroclimático en la dinámica de la MOP y comparaciones con teorías desarrolladas en sistemas lóticos [9], y los cambios que ocurren a nivel de la vegetación ribereña van a afectar significativamente la estructura y funcionamiento de las comunidades de los macroinvertebrados bentónicos, ya que no solo la utilizan como fuente de energía sino también como refugio o para la construcción de sus habitáculos [30].

### CONCLUSIONES

La dinámica del material orgánico que ingresó, se almacenó y se transportó, se caracterizó por una alta variabilidad temporal a lo largo del tramo de la Quebrada Arrayanales durante los meses de muestreo, en donde se pudo apreciar mediante el coeficiente de variación del almacenamiento, entradas y transporte de MOP, explicado por la distribución de la vegetación riparia y las acumulaciones de material orgánico en el canal, así como por la variabilidad temporal del transporte de estos materiales a causa de los cambios hidroclimáticos, basados en la correlación entre los aportes laterales, verticales y los aumentos de precipitación y caudal.

Se observó una marcada tendencia a la homogeneidad en el caudal, lo cual está relacionado con el régimen de precipitaciones. Esta poca variación en el caudal tiende a producir una mínima variación en la distribución espacial de los substratos, de tal forma que las variaciones en la cobertura vegetal, es con-

trolada por aportes alóctonos puntuales. En cuanto a la correlación entre la materia orgánica y las variables hidroclimáticas en la Quebrada Arrayanales se encontró, en donde las entradas verticales y laterales se incrementaron al inicio de la época de altas precipitaciones por lo tanto de caudales, de igual forma el transporte de MOP.

El transporte de la materia orgánica particulada, la gruesa fue la que aportó en mayor proporción al porcentaje de materia orgánica total, mientras que el transporte de la fracción fina mantuvo un comportamiento más estable durante el periodo de muestreo y el balance de entradas y salida de MOPG/MOPF en la Quebrada, mostró un dominio en las entradas y transporte de MOPG, este balance de materiales se destaca ya que los aportes y cambios que ocurren a nivel de la vegetación riparia que pueden llegar a afectar significativamente la estructura y funcionamiento de las comunidades bentónicas, ya que no solo utilizan la MOP como fuente de energía sino también como refugio o para la construcción de su hábitat.

La variabilidad y cambio climático podría generar entre otros efectos en la precipitación y caudal en la Quebrada Arrayanales que incrementa las concentraciones de nutrientes y la calidad del agua, que requiere continuar con investigaciones al respecto, ya que son escasas hasta ahora en ecosistemas altoandinos. Actualmente, ya se conoce que la capacidad de retención de nutrientes y la autodepuración disminuyen con el caudal en ríos en condiciones naturales no obstante, quedan muchos aspectos por discernir sobre la interacción entre caudal, temperatura, carga de nutrientes y usos del territorio en las cuencas hidrográficas hasta obtener una parametrización que permita aplicaciones y predicciones.

### AGRADECIMIENTOS

A COLCIENCIAS por la financiación del Proyecto "Influencia de uso del suelo sobre una comunidad de Amphipodos en un ecosistema Altoandino, río las Piedras- Cauca" (Convocatoria 525/2011-2012 – ID3424) en el marco del programa de Jóvenes Investigadores e Innovadores, a la Vicerrectoría de Investigaciones de La Universidad del Cauca y a la Fundación Pro-Cuenca río las Piedras por el apoyo para la realización del presente trabajo. Igualmente a los revisores anónimos por sus sugerencias y comentarios.

## REFERENCIAS

- [1] ZEIGLER, M.P. Evidence of Recent Climate Change within the Historic Range of Rio Grande Cutthroat Trout: Implications for Management and Future Persistence. *Transactions of The American Fisheries Society*, 141(4), 2012, p. 1045-1059.
- [2] CATALAN, J., PLA-RABÉS, S., WOLFE, A.P., SMOL, J.P., RÜHLAND, K.M., ANDERSON, N.J. and RENBERG, I. Global change revealed by palaeolimnological records from remote lakes: a review. *Journal of Paleolimnology*, 49(3), 2013, p. 1-23.
- [3] SPRINGER, M. Biomonitoring acuático. *Revista de Biología Tropical*, 58, 2010, p. 53-59.
- [4] CARPENTER, S.R., STANLEY, E.H., and VANDER ZANDEN, M.J. State of the world's freshwater ecosystems: physical, chemical, and biological changes. *Annual Review of Environment and Resources*, 36, 2011, p. 75-99.
- [5] BLOOR M.C. Dietary Preference of *Gammarus pulex* and *Asellus aquaticus* during a Laboratory Breeding Programme for Ecotoxicological Studies. *International Journal of Zoology*, 2011, 2011, 5 p.
- [6] CUMMINS, K.W. and KLUG, M.J. Feeding Ecology of Stream Invertebrates. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 10(1), 1979, p. 147-172.
- [7] HUANG, T.H., FU, Y.P., PEI-YI, C. and CHEN-TUNG, A. Fluvial carbon fluxes in tropical rivers. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 4(2), 2012, p.162-169.
- [8] FRAUENDORF, T.C., COLÓN-GAUD, C., WHILES, M.R., BARNUM, T.R., LIPS, K.R., PRINGLE, C.M., and KILHAM, S.S. Energy flow and the trophic basis of macroinvertebrate and amphibian production in a neotropical stream food web. *Freshwater Biology*, 58(7), 2013, p. 1340-1352.
- [9] VANNOTE, R.L., MINSHALL, G.W. CUMMINS, K.W., SEDELL, J.R. and CUSHING, C.E. The River Continuum Concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37, 1980, p. 130-137.
- [10] ROLDÁN-PÉREZ, G. Desarrollo de la limnología en Colombia: cuatro décadas de avances progresivos. *Revista Actualidades Biológicas*, 31(91), 2012, p. 227-237.
- [11] RECAMAN, L. Estudio de oferta y demanda del río Las Piedras [Tesis Maestría en Recursos Hidrobiológicos]. Popayán (Colombia): Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación, 2006, 104 p.
- [12] CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA (CRC). Plan de ordenación y manejo de la subcuenca hidrográfica del río Las Piedras, Cauca. Popayán (Colombia): Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC), 2006, 457 p.
- [13] CUATRECASAS, J. Aspectos de la vegetación natural de Colombia. *Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 10(40), 1958, p. 221-264.
- [14] POZO, J., ELOSEGI, A., DIEZ, J., y MOLINERO J. En: *Conceptos y técnicas en ecología fluvial. Dinámica y relevancia de la materia orgánica*. Barcelona (España): Fundación BBVA, 2009, p. 141-148
- [15] GUTIÉRREZ, J.D. Caracterización del metabolismo y de la oferta de recursos de materia orgánica para la fauna de macroinvertebrados bentónicos en una quebrada de montaña de orden menor. [Tesis de Doctorado en Ciencias Biológicas]. Bogotá (Colombia): Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, 2006, p. 60.
- [16] RODRÍGUEZ-BARRIOS, J., OSPINA-TORRES, R. y GUTIÉRREZ, J.D. Entradas y transporte de materia orgánica en una quebrada tropical de montaña. Bogotá, Colombia. *Caldasia*, 30, 2008, p. 421-440.
- [17] FERREIRA, V., LÍRIO, A.V., ROSA, J., and CANHOTO, C. Annual organic matter dynamics in a small temperate mountain stream. *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology*, 49(1), 2013, p. 13-19.
- [18] FELLMAN, J.B., PETTIT, N.E., KALIC, J., and GRIERSON, P.F. Influence of stream-floodplain biogeochemical linkages on aquatic foodweb structure along a gradient of stream size in a tropical catchment. *Freshwater Science*, 32(1), 2013, p. 217-229.
- [19] ZHOU, W.J., ZHANG, Y.P., SCHAEFER, D.A., SHA, L.Q., DENG, Y., DENG, X.B., and DAI, K.J. The Role of Stream Water Carbon Dynamics and Export in the Carbon Balance of a Tropical Seasonal Rainforest, Southwest China. *PloS one*, 8 (2), 2013, p. 1-9.
- [20] RODRÍGUEZ-BARRIOS, J., OSPINA-TORRES, R. and TURIZO-CORREA, R. Grupos funcionales alimentarios de macroinvertebrados acuáticos en el río Gaira, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 59(4), 2011, p. 1537-1552.
- [21] LEÓN, M. y QUIROGA, R. Producción de materia orgánica en dos bosques circundantes a la Sabana de Bogotá [Tesis de pregrado en Biología]. Bogotá (Colombia): Universidad Nacional de

- Colombia, Facultad de Ciencias Exactas y de la Educación, 1987, p. 78.
- [22] ARENAS, H. Producción y descomposición de hojarasca en un bosque nativo y un bosque de Eucaliptus en la región de Monserrate [Tesis de pregrado en Biología]. Bogotá (Colombia): Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Exactas y de la Educación, 1988, p. 112.
- [23] HERNÁNDEZ, M.L. Estimación de la productividad primaria de *Espeletia grandiflora* H and B y *Pinus patula* Schl and Cham en el páramo "el Granizo", Cundinamarca Colombia [Tesis de pregrado en Biología]. Bogotá (Colombia): Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Exactas y de la Educación, 1994, p. 45.
- [24] TORRES, A.M., PEÑA, E.J., ZÚÑIGA E.O., and PEÑA, J.A. Impact assessment of anthropic activities on carbon in plant biomass storage in colombian high sierra andean ecosystems. Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural, 16(1), 2012, p. 132-142.
- [25] FULLER, R.L., DENNISON, J., DOYLE, S., LEVY, L., OWEN, J., SHOPE, E. and DOYLE, M.W. Influence of flood history and hydrology on transport of organic matter in a frequently flooded river. Journal of Freshwater Ecology, 29(1), 2014, p. 37-51.
- [26] FLORES, L., DÍEZ, J.R., LARRAÑAGA, A., PASCOAL, C., and ELOSEGI, A. Effects of retention site on breakdown of organic matter in a mountain stream. Freshwater Biology, 58(6), 2013, p. 1267-1278.
- [27] MACKENZIE, R.A., WIEGNER, T.N., KINSLOW, F., CORMIER, N., and STRAUCH, A.M. Leaf-litter inputs from an invasive nitrogen-fixing tree influence organic-matter dynamics and nitrogen inputs in a Hawaiian river. Freshwater Science, 32(3), 2013, p. 1036-1052.
- [28] JUTRAS, M.F., NASR, M., CASTONGUAY, M., PIT, C., POMEROY, J.H., SMITH, T.P., ZHANG, C.F., RITCHIE, C.D., MENG, F.R., CLAIR, T.A. and ARP, P.A. Dissolved organic carbon concentrations and fluxes in forest catchments and streams: DOC-3 model." Ecological Modeling, 222(14), 2011, p. 2291-2313.
- [29] FREDERIKSEN, J.S., and LIN, H. Tropical-Extratropical Interactions of Intraseasonal Oscillations. Journal of the Atmospheric Sciences, 70(10), 2013, p. 3180-3197.
- [30] LIGEIRO, R., HUGHES, R.M., KAUFMANN, PR., MACEDO, D.R., FIRMIANO, K.R., FERREIRA, W.R. and CALLISTO, M. Defining quantitative stream disturbance gradients and the additive role of habitat variation to explain macroinvertebrate taxa richness. Ecological Indicators, 25, 2013, p. 45-57.