

**DINÁMICA DE LA MATERIA ORGÁNICA EN UN ECOSISTEMA  
ACUÁTICO ALTOANDINO.**

**MARGARITA DEL ROSARIO SALAZAR SÁNCHEZ**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN  
MAESTRÍA EN RECURSOS HIDROBIOLÓGICOS CONTINENTALES  
POPAYÁN, ABRIL DE 2013**

**DINÁMICA DE LA MATERIA ORGÁNICA EN UN ECOSISTEMA ACUÁTICO  
ALTOANDINO.**

**MARGARITA DEL ROSARIO SALAZAR SÁNCHEZ**

Trabajo de grado

DIRECTOR.

**APOLINAR FIGUEROA CASAS Ph.D**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA**

**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN**

**MAESTRÍA EN RECURSOS HIDROBIOLÓGICOS CONTINENTALES**

**POPAYÁN, ABRIL DE 2013**

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN .....	1
INTRODUCCION .....	8
1. FORMULACION DEL PROBLEMA .....	10
2. JUSTIFICACION .....	12
3. OBJETIVOS .....	14
4.1 Objetivo general.....	14
4.2 Objetivos específicos .....	14
4. MARCO TEÓRICO.....	15
4.1 Vegetación riparia.....	15
4.2 Materia orgánica particulada.....	15
4.3 Influencia de la geomorfología del cauce sobre la MOP.....	16
5. ANTECEDENTES .....	18
6. METODOLOGIA.....	21
6.1 Area de muestreo .....	21
6.2 Variables hidroclimáticas .....	24
6.3 Muestreo de Materia Orgánica Particulada.....	24
6.3.1 Muestreo de aportes laterales .....	24
6.3.2 Muestreos de aportes verticales .....	25
6.3.3 Muestreos de deriva de materia orgánica.....	26
6.3.4 Muestreos de almacenamiento en el lecho de MOPG y MOPF .....	26
6.4 Cuantificación de Materia Orgánica Particulada .....	27
6.5 Muestreos de vegetación.....	27
6.6 ANÁLISIS DE DATOS .....	28
7. RESULTADOS Y DISCUSION.....	29
7.1 Variables climáticas caudal y precipitación.....	29
7.2 Entradas de MOP .....	30
7.3 Transporte de MOP .....	36
7.4 Relación MOPG/MOPF transportada.....	38
8. CONCLUSIONES.....	40
9. RECOMENDACIONES .....	41
10. BIBLIOGRAFIA .....	42

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ubicación de la Quebrada Arrayanales .....	22
<b>Figura 2.</b> Ubicación de los puntos de muestreo.....	22
<b>Figura 3.</b> (A) Caudal promedio por fechas de muestreo (M1 = muestreo 1, M2 = muestreo 2, etc.). (B) Precipitación promedio por fechas de muestreo en la Quebrada Arrayanales. ....	30
<b>Figura 4.</b> Entradas de MOP en términos de gramos de peso seco libre de cenizas por día ( $\text{g PSLC.d}^{-1}$ ) durante los meses de muestreo (A. Entradas Vertical; B. Entrada Lateral). Los círculos representan la magnitud promedio de las entradas de MOP y las líneas acotadas desviación estándar. (M1 = muestreo 1, M2 = muestreo 2, etc.).....	31
<b>Figura 5.</b> Transporte de MOP en términos de gramos de peso seco libre de cenizas por día ( $\text{g PSLC.m}^{-3}$ ) durante los meses de muestreo (A. MOPG; B. MOPF; C. MOPT). Los círculos representan la magnitud promedio de los transportes de MOP y las líneas acotadas desviación estándar. (M1 = muestreo 1, M2 = muestreo 2, etc.). ....	37

## INDICE DE FOTOS

<b>Foto 1.</b> Trampa de captura de materia orgánica lateral .....	25
<b>Foto 2.</b> Trampa de captura de materia orgánica vertical .....	25
<b>Foto 3.</b> Red de captura de Materia orgánica bentónica (Red Surber) .....	26

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Caudal y precipitación reportados para cada mes de muestreo. ....	29
<b>Tabla 2.</b> Estudios realizados en Colombia.....	32
<b>Tabla 3.</b> Inventario de especies vegetales riparias colectadas en la quebrada Arrayanales .....	34
<b>Tabla 4.</b> Cantidad de MOP reportada para cada mes de muestreo.....	36

## RESUMEN

Se determinó la dinámica temporal de la materia orgánica particulada en la quebrada Arrayanales, teniendo en cuenta los eventos de precipitación y su efecto sobre la cantidad de materia orgánica particulada fina (MOPF) y gruesa (MOPG), que ingresa y es transportada aguas abajo de la Quebrada. Se plantearon como objetivos establecer la cantidad y la variación de las entradas laterales, verticales y el transporte de materia orgánica particulada alóctona (MOP), teniendo en cuenta la precipitación y el caudal como variables hidroclimáticas. Para ello, se seleccionó un tramo de 800m de la Quebrada, para la ubicación de 16 trampas de colecta de aportes del material orgánico lateral y vertical. Los resultados demuestran que la Quebrada Arrayanales, es un ecosistema con tendencia al transporte de grandes cantidades de MOPG, con un bajo potencial de almacenamiento y mecanismos para el ingreso orgánico alóctono, que dependen del régimen de precipitaciones. Las altas precipitaciones se relacionaron mayormente con el transporte de MOPG, que con la MOPF. Los aportes verticales y laterales fueron dominados por la MOPG, con promedios totales de 10.858 g PSLC m<sup>-2</sup> y 6.053 g PSLC m<sup>-2</sup> respectivamente. El transporte de MOP fue superior fue mayor en los muestreos del cuarto y sexto mes, que fueron los periodos de altas precipitaciones, las cuales no presentaron variación respecto a los registros históricos de precipitación en la zona, mientras que en el resto de muestreos (del primer, segundo, tercer y quinto mes) se presentaron bajas precipitaciones. 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 gm<sup>-3</sup> MOPF.

En este sentido, la importancia de este trabajo radicó en que la materia orgánica alóctona como recurso esencial en la estructuración y dinámica de las comunidades bióticas y de las condiciones ecofisiológicas de la quebrada Arrayanales era incierta; por ello el presente estudio se constituye en el primer esfuerzo por conocer el proceso dinámico en cuanto a aportes de materia orgánica particulada que se presenta a lo largo de este ecosistema Altoandino.

**Palabras clave.** Materia orgánica, Transporte, Retención, Aporte.

## INTRODUCCION

La materia orgánica particulada alóctona (MOPa) que reciben los pequeños ríos representados por quebradas de primer orden, como la quebrada Arrayanales, proviene de la vegetación riparia y es considerada como la mayor fuente de energía para sus comunidades acuáticas (Anderson & Sedell 1979, Cummins & Klug 1979, Bianchi, Wysocki *et al.*, 2007); 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 (Cummins & Merrit 1996).

La importancia de la entrada del detrito alóctono y su influencia en la estructura de la comunidad bentónica ha sido descrita en los trabajos de Vanotte y colaboradores (1980). Es así como el concepto de río continuo, la materia orgánica proveniente de la vegetación ribereña que es atrapada en zonas de rápidos, especialmente las hojas, es un recurso energético rápidamente explotado por las comunidades bentónicas (Roldán y Ramírez, 2000).

Teniendo en cuenta lo anterior, la quebrada Arrayanales, recibe la materia orgánica particulada alóctona (MOPa) proveniente de la vegetación riparia, con este estudio se espera generar una base metodológica y conceptual de una herramienta de evaluación de 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 ha planteó establecer cuál es la dinámica de materia orgánica particulada alóctona en la quebrada Arrayanales durante un periodo 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 (MOPa) 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 magnitud de la precipitación y el caudal, sobre las entradas y el transporte de MOPa. Las entradas verticales de MOPa gruesa (MOPG vertical) y laterales de MOPG (MOPG lateral) y MOPa fina (MOPF lateral) correspondientes a los seis meses de muestreo fueron tomadas como  $\text{g.m}^{-1}$  de peso seco libre de cenizas (PSLC) respectivamente.

Debido a la importancia de la materia orgánica particulada, esta propuesta se configura en el primer trabajo sobre el proceso dinámico de los aportes de materia orgánica particulada de este ecosistema acuático altoandino.

Esta propuesta se encuentra entre los proyectos financiados por Colciencias y la Vicerrectoría de investigaciones de la Universidad del Cauca "*Optimización del esquema de negocios de la empresa de acueducto y alcantarillado de*

*Popayán SA-ESP mediante el desarrollo de un modelo de gestión integral del recurso hídrico para la competitividad con corresponsabilidad social” e “Influencia de la actividad antrópica sobre una comunidad de Amphipodos en un ecosistema altoandino, río Las Piedras – Cauca”.*

## 1. FORMULACION DEL PROBLEMA

El funcionamiento de las quebradas depende del grado de interacción entre el paisaje circundante y el ecosistema hídrico (Minshall, 1988; Rodríguez-Barrios, Ospina-Torres *et al.*, 2008). Siendo la vegetación ribereña una importante fuente de energía para las diferentes comunidades acuáticas (Vannote, Minshall *et al.*, 1980), en donde la cantidad y calidad del aporte como materia orgánica particulada alóctona, hojas, troncos, cortezas, entre otros, van a determinar una estructura biológica particular en la comunidad de macroinvertebrados bentónicos que se consideran como buenos indicadores biológicos de calidad del agua (Fernández & Dominguez, 2001; Boulton *et al.*, 2008).

En la región tropical, el estudio de mecanismos y procesos que integran la estructura y la función con relación a la teoría ecosistémica en ambientes fluviales ha sido escasamente abordados (Lindeman, 1942; Bianchi, Wysocki *et al.*, 2007; Greathouse & Pringle, 2006; Rodríguez-Barrios, Ospina-Torres *et al.*, 2008), con lo que se genera una problemática a la hora de hacer generalizaciones conceptuales, así como en la utilización de estos elementos para el estudio de impactos antrópicos y procesos de restauración en estos ecosistemas.

Los estudios que tradicionalmente son realizados en los ambientes lóticos hacen énfasis en aspectos como la descripción de algunos elementos estructurales y sus relaciones, como los parámetros físicos y químicos del agua y su relación con las comunidades bióticas (Anderson & Sedell, 1979; Cummins & Klug, 1979; Naiman *et al.*, 1982; Vargas, 2003). Estos estudios son basados en el concepto que considera a las corrientes de agua como sistemas complejos de transformación de materia y energía, donde se relaciona a sus elementos estructurales de manera dinámica y genera una función general en su ecosistema (Vannote, Minshall *et al.*, 1980; Margalef, 1980; Minshall *et al.*, 1988). Este enfoque ha sido complementado con otros estudios sobre la valoración y medición de aspectos relacionados con la función del ecosistema acuático, en donde los descriptores funcionales como el transporte y acumulación de materiales orgánicos (Petersen *et al.*, 1989; Campbell *et al.*, 1992; Sttuter, 2013), la actividad metabólica de las diferentes comunidades bióticas o la productividad de ellas, son el resultado final de las interacciones de los elementos estructurales y por lo tanto brindan una visión más completa del estado del ecosistema y de los procesos que se desarrollan al interior del río (Anderson, 1979; Breschta, 1979; Bernal & Figueroa, 1980; Arenas, 1988; Bianchi, 2007; Gurnell, 2013).

En Colombia la mayoría de estudios se han orientado principalmente a la calidad física y química del agua y a la estructura de las comunidades biológicas, con inferencias sobre la calidad de las corrientes y se deja a un lado los elementos funcionales como la productividad, el transporte y la

transformación de la materia orgánica, que suministran información concreta acerca del estado de estos ecosistemas y sirve a su vez como insumo importante en la toma de decisiones sobre el manejo y la conservación de éste recurso vital (Jacobsen, 2008). Con respecto a la entradas, almacenamiento y transporte de materia orgánica son escasos los estudios que reporten cuantitativamente estos aportes (Rodríguez, Ospina *et al.*, 2006, Rodríguez & Ospina, 2007, Rodríguez, Ospina *et al.*, 2008; Gutiérrez, 2006)

En este sentido, la importancia de la materia orgánica alóctona como recurso esencial en la estructuración y dinámica de las comunidades bióticas y de las condiciones ecofisiológicas de la quebrada Arrayanales es incierta; por ello el presente estudio se constituye en el primer esfuerzo por conocer el proceso dinámico en cuanto a aportes de materia orgánica particulada que se presenta a lo largo de este ecosistema altoandino. Esta investigación se realizó bajo el marco del siguiente interrogante: ¿Cuál es la dinámica de materia orgánica particulada alóctona en la quebrada Arrayanales durante un periodo de seis meses?

## 2. JUSTIFICACION

La importancia de los ecosistemas acuáticos altoandinos está siendo reconocida (Jacobsen, 2008), gracias a los servicios ecológicos que brinda, como mitigación del flujo, la cantidad y calidad del agua, recarga de acuíferos, retención de sedimentos, reciclaje de nutrientes, proporcionamiento de hábitat para la biota y el aprovisionamiento de fuentes de alimento para las comunidades ecológicas y para poblaciones humanas (Jacobsen, 2008; Villamarín *et al.*, 2013), parte de estos servicios proviene de la entrada, retención y transporte de materia orgánica particulada (Stuart, 2002 En: Kaiser & Schubert, Carsten, 2003; Boulton *et al.*, 2008).

Cuando la MOPa entra a las quebradas, una fracción es fragmentada o degradada y otra es transportada aguas abajo (Webster, Moore *et al.*, 1999). El transporte de materiales en forma de detrito, depende del tamaño y la densidad de las partículas que son movilizadas, y de las características físicas de la quebrada, como la morfología y heterogeneidad del canal (la profundidad, la presencia de estructuras retentivas y la intensidad del caudal) (Webster, Moore *et al.*, 1999), la magnitud y variabilidad de la descarga (Pearson *et al.*, 2002; Rios Touma 2008), que se ven reflejando los caudales producto de las altas o bajas precipitaciones que aumentan o disminuyen el movimiento o redistribución de la MOPa en la quebrada (Rios-Touma, 2008)

El transporte de materia orgánica particulada alóctona conlleva grandes cantidades de carbono, nitrógeno y fósforo (Vargas, 2003), estos nutrientes están relacionados directamente con el metabolismo microbiano y la fotodegradación de materia orgánica disuelta, comportándose como agente absorbente de luz cuando se considera como materia orgánica particulada fina y gruesa (MOPF - MOPG), ya que la falta de penetración de luz disminuye la proliferación de las comunidades productoras primarias, afectando otras funciones en los ecosistemas acuáticos (Ramírez, 2000; Stutter *et al.*, 2013).

Debido a que las fuentes de la materia orgánica particulada en los ecosistemas lóticos son usualmente dominadas por entradas de material vegetal (Cummins & Klug 1979), las concentraciones y flujos de MOPa son afectados por las propiedades del sustrato, las condiciones hidrológicas, factores bióticos y uso del suelo de la cuenca (Jutras *et al.*, 2011).

Muchos estudios nacionales, sobre materia orgánica particulada se han enfocado en el carbono orgánico disuelto (Vargas, 2003; Gutiérrez, 2006) y algunos sobre retención de materia orgánica particulada se han enfocado a las comunidades bénticas asociadas a ésta (Bernal, García *et al.*, 2006; Gutiérrez 2006; Rodríguez *et al.*, 2006, 2007, 2008); sin embargo, esta investigación se planteó con el objetivo de determinar la dinámica de la materia orgánica particulada en la quebrada Arrayanales dada su importancia como ecosistema altoandino, ya que es esencial conocer estos aportes evaluando el porcentaje de transporte y retención durante seis meses, que incluyeron periodos de

precipitaciones altas y de precipitaciones bajas, con el fin de poder realizar la comparación en el tiempo con variables hidroclimáticas, sirviendo de base para estudios sobre la influencia de las condiciones del flujo en diferentes periodos hidroclimáticos sobre la dinámica de la MOP, teniendo en cuenta la importancia de la MOPa, resulta interesante este estudio como preliminar para otros, en relación al manejo de los corredores ribereños y en los procesos de mitigación o de restauración en la subcuenca Las Piedras, debido a su importancia ambiental y socioeconómica.

### **3. OBJETIVOS**

#### **4.1 Objetivo general**

Determinar en la quebrada Arrayanales la dinámica de materia orgánica particulada alóctona (MOPa), comprendida por el porcentaje de transporte y retención, durante un periodo de seis meses.

#### **4.2 Objetivos específicos**

- Cuantificar los aportes de materia orgánica particulada alóctona (MOPa) sobre la quebrada Arrayanales.
- Estimar cual es el potencial de almacenamiento y transporte de materia orgánica particulada alóctona y sus variaciones espaciales y temporales en la quebrada.

## 4. MARCO TEÓRICO

### 4.1 Vegetación riparia

La vegetación ribereña constituye un ecotono entre los hábitats terrestre y acuático, con características bióticas y físicas únicas que aportan un conjunto de funciones ecosistémicas (Osborne & Kovacic, 1993; Lyon & Gross 2005). No obstante, su importancia ha sido ignorada y generalmente, esta franja se encuentra altamente degradada debido al desarrollo de diversas actividades antrópicas (Rios-Touma, 2008).

Algunos estudios demuestran que la cobertura vegetal y uso de la tierra actúan en una escala intermedia e influyen en los sedimentos y el aporte de nutrientes a los ríos (Richards & Host, 1994; Richards *et al.*,1996; Chará, 2010). A escala local, la vegetación de las orillas influye directamente en los procesos críticos tales como la provisión de materia orgánica, la sombra en los arroyos, y la estabilidad ribereña (Osborne & Kovacic 1993); Maloney, Feminella *et al.*, 2008). Y estas contribuciones de material vegetal se han determinado como materia orgánica particulada (Gurnell, 2013).

### 4.2 Materia orgánica particulada

En las aguas naturales existe una amplia gama de material de suspensión; entre sus principales constituyentes se encuentran: el carbono orgánico, nitrógeno orgánico, fósforo total, pigmentos y carbohidratos de los cuales conforman los elementos básicos en la estructura y en la actividad metabólica de los organismos (Findlay,2009). El material suspendido se puede repartir en las categorías de autóctono y alóctono. La primera contiene una elevada proporción de restos de organismos del plancton y mudas de los crustáceos (fragmentos de excrementos y cadáveres, y partículas desintegradas por acción de bacterias). El material alóctono, cuyo lugar de origen es más alejado del lugar donde luego se encuentra, en aguas continentales tiene una relación Carbono: Nitrógeno (C:N) de 12:1 aproximadamente (Margalef 1980; Roldán, & Ramírez, 2008; Masi *et al.*,2009; Jutras, 2011).

La materia orgánica particulada alóctona es el recurso de mayor energía en los ríos y arroyos de las áreas boscosas dado que muchos invertebrados acuáticos ingieren este tipo de detrito (Anderson & Sedell, 1979; Danger & Robson, 2004; Greathouse & Pringle, 2006; Mollá *et al.*,2006). La retención de la hojarasca es un factor determinante de la abundancia de desmenuzadores, y la protección y la estabilización de las riberas pueden aumentar la proporción de áreas someras marginales con un impacto positivo sobre la retención de la hojarasca (Flory & Milner, 1999; Chará *et al.*,2010). Este y otros estudios ponen en evidencia la función de la vegetación ribereña en el mantenimiento de la heterogeneidad espacial en la escala de hábitat. Por otro lado, la heterogeneidad física, incluyendo el tipo de sustrato y la velocidad de la corriente, son variables que tienen una influencia marcada en la retención y la

distribución de la materia orgánica (Rodríguez *et al.*,2006, 2007, 2008; Elosegui *et al.*,2009).

Entre las escalas espaciales de influencia, la zona ribereña tiene una gran importancia en el funcionamiento de las aguas a causa de sus efectos inmediatos sobre el transporte de agua, nutrientes y sedimentos, ya que actúa como un filtro natural que reduce la carga orgánica, nutrimentos y material particulado que llega a la corriente (Osborne & Kovacic, 1993; Lorion & Kennedy 2009). En las cabeceras de los ecosistemas lóticos, la vegetación ribereña es la principal fuente de energía para el ecosistema de agua que proporciona una gran cantidad de detritus alóctono a través de desprendimiento de las hojas (Vannote, Minshall *et al.*,1980). Asimismo, se restringe la penetración de la luz de las corrientes y reduce la fluctuación de la temperatura (Chará, 2010), y contribuye a la diversidad del hábitat que proporciona elementos que definen el hábitat corriente, tales como restos de madera y la protección del litoral (Richards *et al.*,1996). Debido a estos factores, la manipulación de las franjas de protección ribereña es una herramienta común en la restauración del río y los ecosistemas fluviales (Osborne & Kovacic 1993; Lorion & Kennedy 2009).

#### **4.3 Influencia de la geomorfología del cauce sobre la MOP**

La zona de cabecera de las cuencas hidrográficas garantiza la captación inicial de las aguas y el suministro de las mismas a las zonas inferiores durante todo el año. Los procesos en las partes altas de la cuenca invariablemente tienen repercusiones en la parte baja dado el flujo unidireccional del agua, y por lo tanto toda la cuenca se debe manejar de manera integral, como una sola unidad (Vannote, Minshall *et al.*,1980). Al interior de la cuenca, el agua funciona como distribuidor de insumos primarios (nutrientes, materia orgánica, sedimentos) producidos por la actividad sistémica de los recursos. Este proceso modela el relieve e influye en la formación y distribución de los suelos en las laderas, y por ende en la distribución de la vegetación y del uso de la tierra, el sistema hídrico también refleja un comportamiento de acuerdo a como se están manejando los recursos agua, suelo y bosque, así como que actividades o infraestructuras afectan su funcionamiento (Lorion & Kennedy, 2009), por lo cual el aporte de materia orgánica tiene gran influencia en el flujo de nutrientes aguas abajo, constituyéndose en una fuente alimenticia durante el cauce.

En los ecosistemas loticos se pueden diferenciar dos tipos de hábitat: los rápidos y los remansos. Los rápidos son áreas de erosión turbulentas, oxigenadas y heterogéneas (Brussock & Brown, 1991), mientras que los remansos son lugares en donde el agua fluye de forma lenta, de deposición de materiales y con una profundidad mayor de 35 cm. En estudios llevados a cabo en ríos colombianos, Gutiérrez (2006) y Rodríguez (2007, 2008) encontraron que la distribución de la materia orgánica particulada gruesa (MOPG) y fina (MOPF) difería entre estos tipos de hábitat, lo que impactaba sobre las comunidades de invertebrados, que era el enfoque de su trabajo.

Estudios experimentales de transporte y retención de MOPG (Hojas) en canales de 10x35 cm han demostrado que, en condiciones de flujo normal, el porcentaje de retención varía de acuerdo al tamaño de las fracciones, especies de hojas, el incremento de substratos emergentes (obstáculos) y la velocidad del flujo (Webster *et al.*,1999). La retención de las quebradas es un aspecto que se ve reflejado en procesos de restauración, como lo demuestra Muotka y Laasonen (2002), quienes encontraron que en un período de varios años el porcentaje de retención fue bajo debido a la influencia del grado de restauración en quebradas de Finlandia, que inicialmente habían sido canalizadas. De acuerdo a Bretschko y Moser (1993), cuencas conservadas presentan una alta retención de MOPG. De tal forma que esta MOPG sufre procesos de fragmentación y degradación a partículas más finas que posteriormente son transportadas en mayor proporción que las cantidades de MOPG (Webster *et al.*,1999). La tasa de retención de MOPG se ve afectada negativamente durante eventos de crecientes y la estacionalidad de esta descarga, demostrando la importancia del caudal en procesos de almacenamiento y transporte. La cantidad de MOPG exportada y retenida durante un período anual, se correlaciona con el área de la cuenca a escala de mosaicos de paisaje (Mulholland, 1997). La mayor parte de la MOPG retenida es procesada por las comunidades de organismos heterótrofos y autótrofos. Así, la retención de MOPG cumple el rol de mayor importancia en la estructura y función de los ecosistemas acuáticos (Gutiérrez, 2006).

La importancia ecológica de la materia orgánica sobre un ecosistema acuático está influenciada por las características del sustrato, incluyendo su estructura física, contenido orgánico y estabilidad, ya que son a menudo estos factores los que afectan la distribución y abundancia de los macroinvertebrados bentónicos (Jutras, 2011), por ende le dan propiedades especiales a los cuerpos de agua, en cuanto a diversidad, abundancia biótica y composición fisicoquímica de nutrientes.

## 5. ANTECEDENTES

La entrada de materia orgánica alóctona en forma de hojarasca constituye la principal fuente de energía y nutrientes en los ríos de cabecera (Gosz *et al.*,1972; Anderson & Sedell 1979; Wallace *et al.*,1997; Graça *et al.*,2001; Rodríguez *et al.*,2008).

Desde 1940 hasta hoy, se han realizado muchos estudios sobre diferentes aspectos de materia orgánica en ecosistemas lóticos a nivel internacional como: la determinación de los aspectos ecológicos de la dinámica trófica (Lindeman, 1942), que conllevó a realizar la evaluación de la productividad primaria y estructura trófica en corrientes de agua (Odum 1956, Odum 1957); Después en la década de los 70's se empezó a determinar el flujo de energía por influencia o presencia de materia orgánica en ecosistemas lóticos, evaluando el destino del material vegetal en corrientes de agua (Cummins & Klug 1979), de donde se introdujo el concepto de "*River Continuum*" (Vannote, Minshall *et al.*,1980), en donde se le dio relevancia a la presencia de materia orgánica particulada como fuente de alimento para las comunidades acuáticas y estudios sobre los efectos hidráulicos sobre la disponibilidad de la MOP se encuentran los realizados por Danger (2004), Bianchi (2007) y Everest (2007), y otros estudios recientes que han incluido el componente biótico relacionándolo con la distribución de la materia orgánica en los cuerpos de agua como los realizados en el río Yeguaré en Honduras por López y colaboradores (2010), en ríos de la Patagonia Argentina por Masi y Misenrendino (2009).

Ríos-Touma (2008), en su tesis doctoral, registra que las entradas de materia orgánica al río Oyacachi (Ecuador) fueron constantes, y su relación con el régimen de lluvias no fue clara aunque la mayor entrada se produjo en meses en que las lluvias fueron menos intensas y viceversa, y en cuanto a los macroinvertebrados acuáticos asociados a la materia orgánica acumulada tuvo relación con la riqueza, diversidad, densidad total y grupos funcionales alimenticios, especialmente en la época de lluvias cuando ese recurso fue más escaso, y por otro lado cuando la materia orgánica acumulada fue mayormente acumulada en el río se presentó un incremento en la densidad de todos los grupos funcionales alimenticios.

En Colombia estudios sobre aportes de materia orgánica particulada a corrientes se registran las investigaciones realizadas por Gutiérrez (2006) sobre oferta de materia orgánica para macroinvertebrados en la quebrada la Vieja (Bogotá) encontró que la variación de MOG/MOF es controlada por los aportes alóctonos de MOG y la estabilidad mecánica de los sustratos que evaluó (hojarasca, epilíton, sustrato de grava y arena, musgos y hepática y sedimento fino).

En la misma quebrada Rodríguez y colaboradores (2008) encontraron que el balance de entradas y salidas de materia orgánica particulada dominó en

entradas y retención la gruesa (MOPG) y en salidas o perdidas la fina (MOPF) por transporte de aguas abajo.

En cuanto la importancia que tiene el transporte y retención de la materia orgánica sobre la deriva de macroinvertebrados acuáticos ya que es fuente de energía y hábitat para estos organismos, Rodríguez y colaboradores (2007) reportaron la variación en la densidad macroinvertebrados y su aporte de materia orgánica en términos de biomasa de diferentes estados inmaduros e imagos, en un tramo de una quebrada tropical de montaña ubicada en los cerros orientales de Bogotá – Colombia y durante eventos de altas y bajas precipitaciones, en donde la densidad de deriva al igual que el aporte de biomasa de los macroinvertebrados acuáticos, fue mayor durante el período de bajas precipitaciones. Debido a que el estudio evaluó los aportes de materia orgánica durante 24 horas, en esa escala de tiempo no se presentaron diferencias en la densidad y la biomasa en la deriva entre el día y la noche, que pudieran haberse presentado si se hubiera realizado la evaluación a mayor escala de tiempo, ya que la deriva depende de los cambios en los periodos hidrométricos

En la Cuenca del río Otún sobre la quebrada Paloblanco, Bernal y colaboradores (2006), realizaron muestreos sobre diferentes fracciones de materia orgánica particulada gruesa en tres tramos teniendo en cuenta diferentes morfotipos como: hojarasca, epilíton, grava o sustrato, musgo, encontraron que la deforestación de la zona aledaña al punto bajo, lo que disminuye drásticamente la vegetación riparia, así como la densidad del dosel, reduciendo de igual manera el aporte de MOG a manera de hojarasca y aumentando en gran medida la cantidad de luz que entra al río en ese punto, también encontraron que el aporte antrópico de MOF a partir de residuos fue proveniente de las viviendas aledañas al río en el punto bajo, lo que permite inferir que los aportes de materia orgánica varían debido a la cobertura vegetal de la ribera y por influencia antrópica en la zona.

Estudios más recientes como el de Rodríguez (2011) en referencia a la dinámica de la materia orgánica particulada en un ecosistema lótico de Santa Marta, se reporta que el material particulado fino ingreso de manera significativa al río comparada con la fracción gruesa, inverso a lo que ocurrió con el transporte de estos materiales en el río, los tramos evaluados (alto y bajo) se caracterizaron por percibir el mayor aporte de MOPG, a comparación del tramo medio que se caracterizó por el ingreso importante de MOPF, y los grupos funcionales alimenticios (GFAs) de macroinvertebrados acuáticos fueron dominados principalmente por fragmentadores, seguido por depredadores, colectores y raspadores. Este estudio presento un fuerte componente biótico, el cual fue asociado con la materia orgánica bentónica.

Este estudio se propuso para abarcar en primera instancia la determinación de los aportes de materia orgánica durante 24h cada treinta días durante seis meses, que incluye eventos de baja y alta pluviosidad, a diferencia del estudio realizado por Rodríguez (2011) que evaluó los aportes durante aproximadamente un mes, los muestreos se tomaron teniendo en cuenta cambio hidroclimático de la zona.

En el ámbito local, las investigaciones realizadas sobre la Subcuenca Rio las Piedras han generado avances importantes sobre el conocimiento de este ecosistema (Ruiz, 2010; Casanova, 2012), sin embargo la mayor parte de estas investigaciones se han centrado en calidad del agua y/o en grupos taxonómicos puntuales y es necesario entender mejor las relaciones entre el paisaje terrestre y los ecosistemas fluviales, así como sus posibles implicaciones en términos de manejo y conservación de la subcuenca.

Valverde (1996), en su estudio sobre el flujo de nutrientes aportados por el material circulante en la microcuenca Arrayanales, tributario del río las Piedras, encontró diferencias significativas entre el aporte del material alóctono de las épocas de verano e invierno, siendo mayor en los meses de alta pluviosidad, El autor reporta 10.90Ton/Ha/año como la cantidad de material circulante aportado por el relictus de bosque estudiado.

En este sentido el Grupo de Estudios Ambientales, en el marco del Monitoreo Ambiental para el Cambio Climático en Ecosistemas Altoandinos –MACACEA, en las investigaciones realizadas sobre la cuenca en donde está ubicada la quebrada Arrayanales, reportan que la zona alta de la Cuenca del rio Las Piedras presenta las mejores condiciones que favorecen la diversidad y calidad del agua, y que algunos parámetros fisicoquímicos como DQO, Fosfatos y Conductividad presentan altas concentraciones durante la época de sequía, beneficiando temporalmente la presencia de algunas especies de macroinvertebrados acuáticos bentónicos y a su vez estos denotan aguas oligotróficas como indicadores de procesos de intervención antrópica, debido a que el estado trófico del sistema acuático y los niveles de productividad no son altos (GEA – Unicauca & COLCIENCIAS, 2010, 2012)

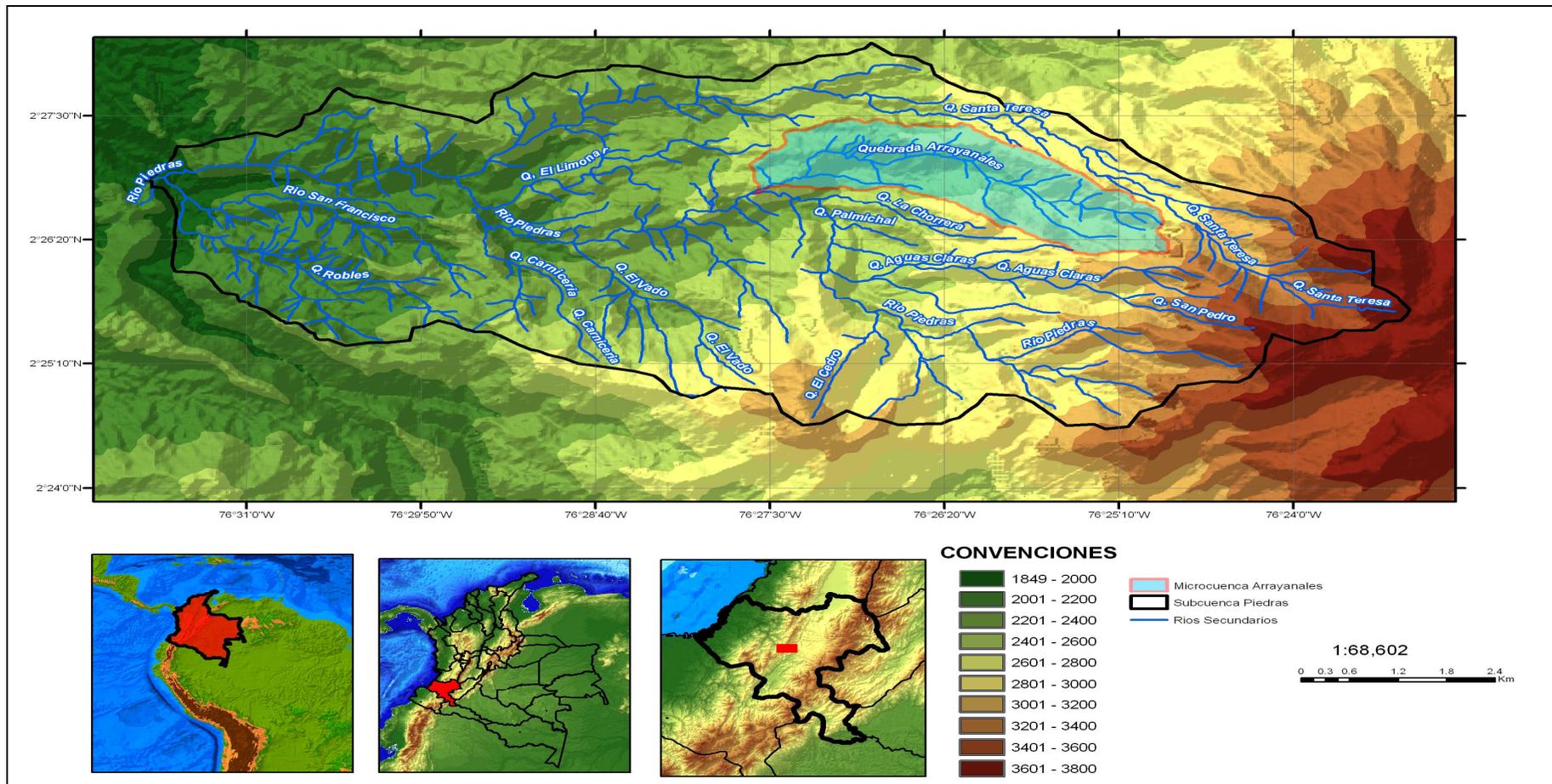
## 6. METODOLOGIA

**6.1 Area de muestreo:** La microcuenca Arrayanales, está ubicada en el noreste del municipio de Popayán, sobre el flanco occidental de la cordillera Central (Figura 1). Hace parte de la subcuenca alta del río Las Piedras, las coordenadas de nacimiento y desembocadura de la quebrada Arrayanales son: Longitud 107°41'71,45", Latitud 76°09'47",37 - Longitud 106°89'61,47", latitud 76°19'31",93, respectivamente. 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 70.02km (Recaman, 2006).

La zona de estudio se encuentra a una altura aproximada de 2.600msnm. Los rangos promedio anual de temperatura, precipitación, humedad relativa, brillo solar, tensión de vapor y nubosidad son 18,4°C, 172,9mm, 84mm, 123 horas, 17,5 M bares y 5.8 horas (CRC, 2006) y se encuentra dentro del bosque pluvial montano alto (bp-MA); según el sistema propuesto por Cuatrecasas (1958) corresponde a Selva Andina.

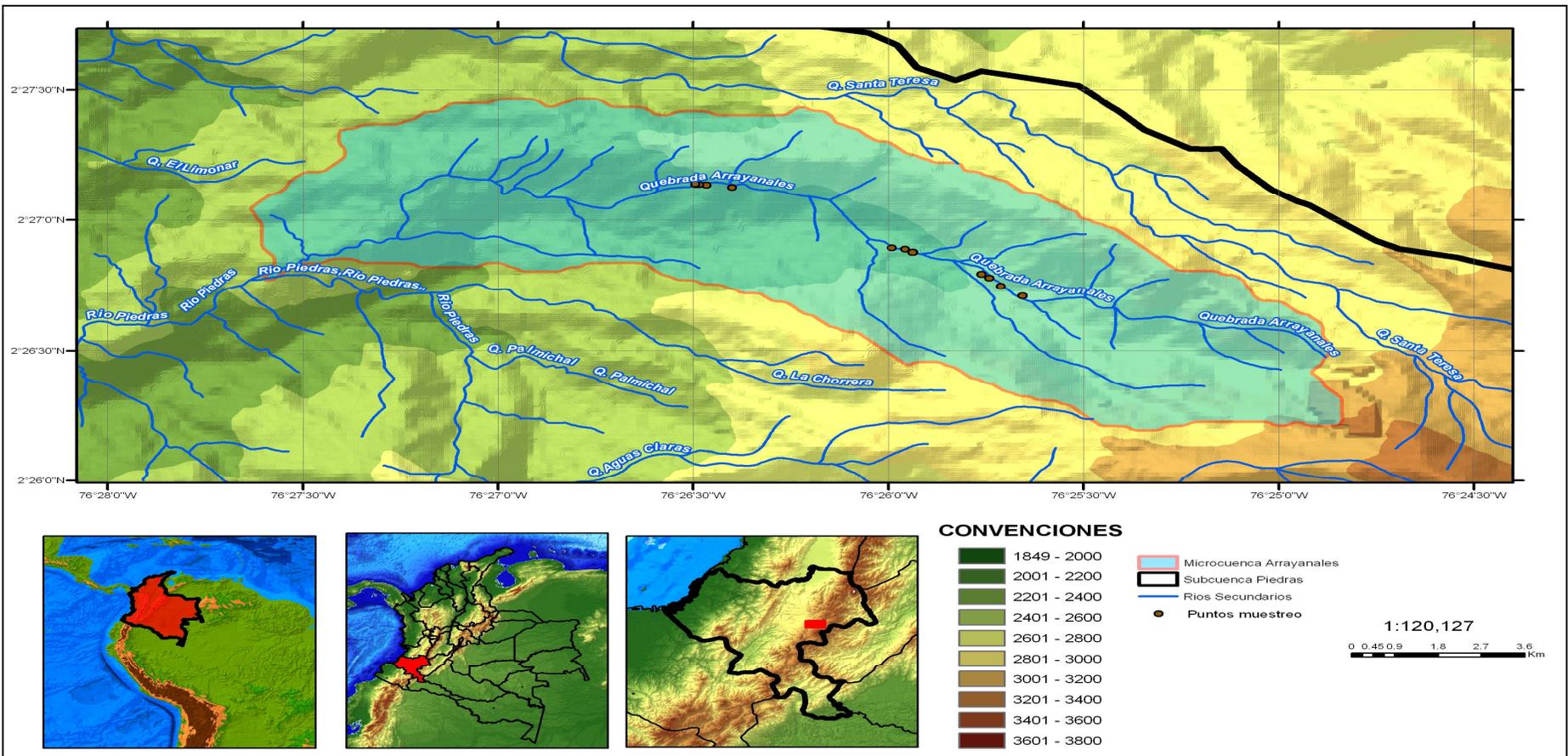
En cuanto a geomorfología, presenta relieve montañoso; en la parte alta y media presenta pendientes fuertes, largas y rectilíneas; en la parte baja hay pendientes suaves y cóncavas. Los suelos están formados principalmente por cenizas volcánicas; presentan textura media franco-arcillosa poco estructurada y bien drenados; poseen acidez baja con pH entre 5 y 5.9, 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 (CRC, 2006).

**Figura 1.** Ubicación de la Quebrada Arrayanales



Fuente: GEA, 2011.

**Figura 2.** Ubicación de los puntos de muestreo.



Fuente: GEA, 2011.

La quebrada Arrayanales tiene una longitud de cauce de 6.220km y una pendiente de 14.33% (Valverde, 1996). Los caudales máximos promedios multianuales para toda serie varían desde 70L/s en Julio. La variación en el caudal medio mes a mes según los registros oscila entre 1 y 2 m<sup>3</sup>/s siendo el caudal medio multianual de 2.44 m<sup>3</sup>/s. los caudales mínimos promedios multianuales fluctúan entre 0.530 m<sup>3</sup>/s y 0.820 m<sup>3</sup>/s, siendo el valor medio multianual de 0.6 m<sup>3</sup>/s (CRC, 2006).

La ocupación más representativa es la vegetación productiva cuya estructura son bosques plantados, pastos naturales asociados a pastos altos y bajos con un área de 253.45 Ha equivalentes al 44.4 % del área de la microcuenca, predominando los usos pecuarios, silvopastoril, agrícola y productor protector. La vegetación natural está representada en una estructura de bosque natural abierto asociado a pastos naturales, rastrojos y subpáramo con un área de 242.06 Ha equivalente a 40% del área total de la microcuenca (Recaman, 2006).

**6.2 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.

**6.3 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, agosto, septiembre octubre, noviembre y diciembre de 2012), durante 24 horas, en un tramo que tengan similares características geomorfológicas que comprendan zonas de rápidos y remansos, siguiendo estas características destacadas en la metodología propuesta por Elosegí y colaboradores (2009).

La siguiente metodología se propuso teniendo en cuenta que la quebrada Arrayanales puede considerarse como un afluente de primer orden (Valverde, 1996), y puede recibir varios aportes de materia orgánica particulada gruesa (MOPG) por metro cuadrado desde la vegetación riparia, tanto de vía indirecta (verticalmente desde la vegetación), como indirecta (lateralmente desde los materiales depositados en el suelo), se realizaron los siguientes muestreos:

**6.3.1 Muestreo de aportes laterales:** esta entrada indirecta de material alóctono se muestreó mediante ocho trampas laterales de malla con poro de 1mm (Foto 1) ubicadas en pares a cada orilla de la quebrada, separadas 50m una de la otra, las trampas se anclaron mediante estacas, orientadas hacia al ambiente terrestre.



**Foto 1.** Trampa de captura de materia orgánica lateral

**6.3.2 Muestreos de aportes verticales:** se dispusieron ocho trampas verticales de malla de  $0,25\text{m}^2$  de captación y malla de  $1\text{mm}$  de poro (Foto 3), a modo de cestos elevados del suelo por medio de cuerdas atadas a árboles, ubicadas en cada orilla de la quebrada, separadas  $50\text{m}$  una trampa de la otra, se realizó distinción del material colectado como MOPG y MOPF, por cernido, 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  $1\ \mu\text{m}$ .



**Foto 2.** Trampa de captura de materia orgánica vertical

**6.3.3 Muestreos de deriva de materia orgánica:** 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 $\mu$ m), se dispuso una en cada sitio de muestreo (Foto 4), siguiendo la metodología propuesta por Elosegí y colaboradores (2009), Gutiérrez (2006) y modificada por Rodríguez (2008), 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. En el presente estudio se consideró como MOPG aquella materia orgánica particulada con diámetro mayor a 1000  $\mu$ m y MOPF como aquella con diámetro entre 1000  $\mu$ m y 1  $\mu$ m, para evitar que la trampa se mueva fue atada con lasos a los árboles que estaban ubicados en la ribera.



**Foto 3.** Red de captura de Materia orgánica bentónica (Red Surber)

**6.3.4 Muestreos de almacenamiento en el lecho de MOPG y MOPF.** En el tramo se seleccionó un tramo de 800m de muestreo que incluía los diferentes parámetros geomorfológicos del cauce (rápidos y remansos) el inicio del tramo fue en la parte alta de la quebrada y termino iniciando la parte baja, para utilizar un cilindro o corazonador. Posteriormente se pasó el residuo orgánico en diferentes tamices (1mm para MOPG y 0.25mm para MOPF). El muestreo se realizó de forma mensual durante los seis meses de muestreo.

El material colectado en los cuatro procedimientos fue colocado en tarros y fue refrigerado con para su posterior procesamiento y cuantificación en el laboratorio.

Es de aclarar que el aspecto que no pudo tenerse en cuenta fue el aporte de palizadas por caídas de árboles hacia el cauce de la quebrada, debido a que es difícil cuantificar esta categoría de MOP debido a los limitantes que muestran los métodos tradicionales para la cuantificación de la cosecha de MOPG (Richardson *et al.*,2005). En relación con esto Campbell y colaboradores (1992), encontraron que la biomasa de palizadas que ingresa y es transportada, puede ser mayor a la que cae al bosque ripario y que por lo general es subestimada debido a la dificultad de su muestreo en las quebradas.

#### **6.4 Cuantificación de Materia Orgánica Particulada**

Se consideró como MOPG aquella MOP con diámetro mayor a 1000  $\mu\text{m}$  y MOPF como aquella MOP con diámetro entre 1  $\mu\text{m}$  y 1000  $\mu\text{m}$  de acuerdo a los procedimientos desarrollados por Vannote y colaboradores (1980).

En el laboratorio, la MOPG fue cuantificada mediante el método de calcinación en una mufla a 550  $^{\circ}\text{C}$ , de acuerdo a los procedimientos sugeridos por APHA (1985). La MOPF fue filtrada con la ayuda de una bomba de vacío y retenida en un filtro de microfibra de vidrio (Whatman GF/C). La MOPF retenida en el filtro fue secada a 110  $^{\circ}\text{C}$  y luego calcinada a 550  $^{\circ}\text{C}$ , de acuerdo a los procedimientos sugeridos por Goodman (1964), Gratteau & Dick (1968) y APHA (1985).

#### **6.5 Muestreos de vegetación**

Debido a que la mayoría de materia orgánica particulada capturada es de origen vegetal, se realizó un inventario preliminar de la vegetación sobre la ribera a 20m de distancia, como parte de esta investigación, de la siguiente forma:

Para los muestreos de vegetación se dispuso de un formato guía para realizar una caracterización aproximada del sitio de muestreo y recopilar datos que son importantes en la identificación del material vegetal colectado (Joaqui, 2005).

Se colectaron diferentes especies vegetales atendiendo la metodología de colecta libre (Ramírez, 1995); se tomaron tres muestras fértiles del material vegetal encontrado y se preservarán en campo utilizando alcohol al 70% (Anexo 1).

Para la identificación del material vegetal colectado se usaron claves taxonómicas de Mendoza (2002), Gentry (1993) información bibliográfica disponible en el herbario de la Universidad del Cauca (CAUP), bases de datos publicadas en internet, como la del Missouri Botanical Garden, New York

Botanical Garden, Igualmente la colaboración del profesor Bernardo Ramírez, Director del herbario Universidad del Cauca y Diego Macías, docente de botánica de la Universidad del Cauca.

## **6.6 ANÁLISIS DE DATOS**

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 (Gotelli & Colwell 2001) y Statistics (Guisande *et al.*,2006), con el cual se obtuvo una ANOVA de Kruskal-Wallis para establecer las diferencias entre los meses de muestreo y los aportes de materia orgánica, los cuales también se realizó un análisis de coeficiente de correlación de Spearman ( $r_2$ ) entre las variables hidroclimáticas y el tipo de material colectado, y se estableció la similaridad y correlación entre los tramos muestreados, los periodos hidroclimáticos y el tipo de aporte.

## 7. RESULTADOS Y DISCUSION

### 7.1 Variables climáticas caudal y precipitación

Los muestreos desarrollados durante M4 y M6 mostraron un valor de precipitación promedio significativamente mayor en comparación con el período de bajas precipitaciones correspondiente a M1, M2, M3 y M5 (K-W=22.87, p=0.0004, n=48), aunque en términos generales se presentó un régimen de precipitación constante con valores bajos (Tabla 1).

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

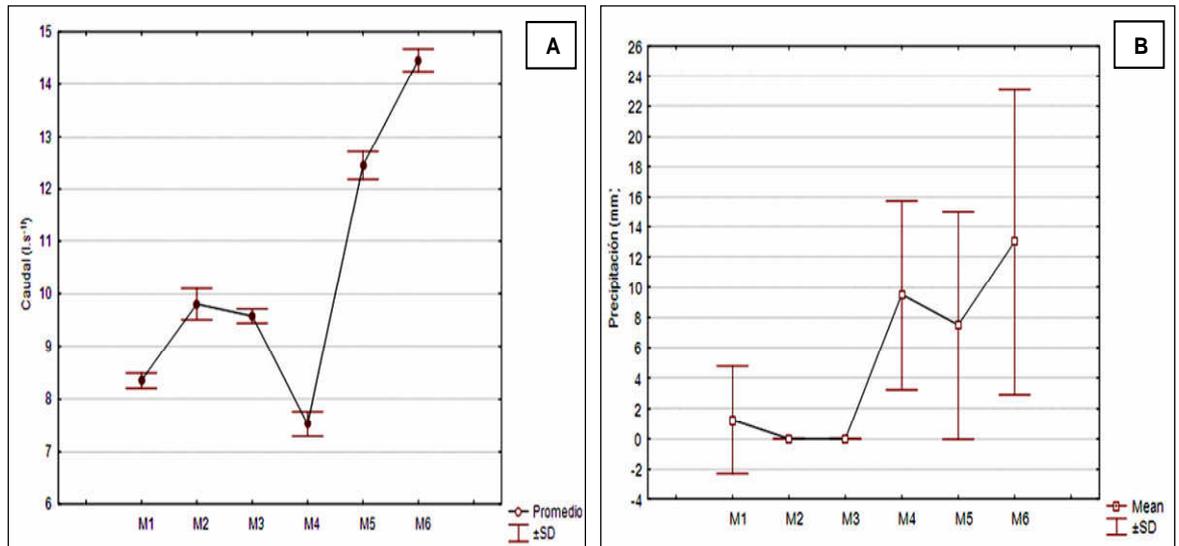
VARIABLE	MUESTREO											
	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
	$\bar{X}$	$\pm$ SD										
<b>Caudal</b> (l.s <sup>-1</sup> )	8,35	0,14	9,80	0,30	9,57	0,14	7,53	0,24	12,45	0,26	14,46	0,21
<b>Precipitación</b> (mm.d <sup>-1</sup> )	1,25	3,54	0,00	0,00	0,00	0,00	9,50	6,26	7,50	7,01	13,00	10,09

$\bar{X}$ : Promedio;  $\pm$ SD: Desviación Estándar.

*Fuente: Datos de Precipitación de Pro-Cuenca Rio Las Piedras y datos de Caudal propios.*

Se presentó una diferencia significativa entre el período de alto caudal correspondiente a M4 y M6 (valor promedio de 2.25 l.s<sup>-1</sup>) y el período de bajo caudal (M1, M2, M3 y M6), que mostró un valor promedio de 1.69 l.s<sup>-1</sup> (K-W=44.77, p=0000, n=48), aunque en términos generales el régimen de descarga fue constante y de bajos valores (Figura 2).

**Figura 3.** (A) Caudal promedio por fechas de muestreo (M1 = muestreo 1, M2 = muestreo 2, etc.). (B) Precipitación promedio por fechas de muestreo en la Quebrada Arrayanales.



Fuente: Elaboración Propia

## 7.2 Entradas de MOP

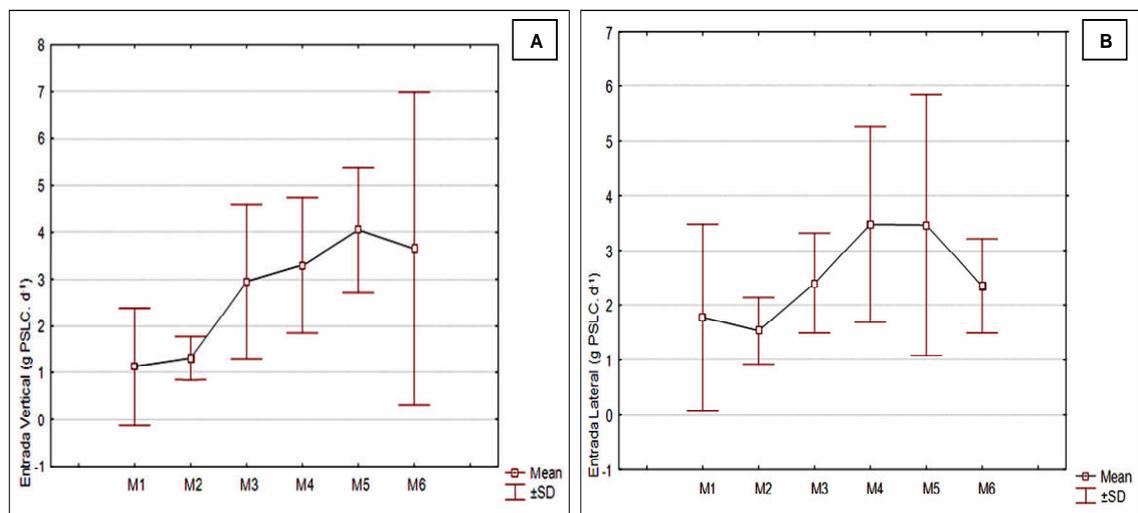
Un aspecto importante de la ecología de ríos es evaluar la importancia relativa de los recursos alóctonos para la biota del río. Todos los niveles tróficos involucrados en las comunidades acuáticas, dependen de la explotación de los recursos disponibles, y de la eficiencia con que estos recursos son transformados en nueva biomasa (Abelho & Graça, 1996). 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 (Fisher & Likens 1973; Roldán & Ramirez, 2000) teniendo en cuenta que la hojarasca representa el componente principal de entrada en la Quebrada.

Las cantidades 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 (±0.33) g PSLC m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> y para el período de lluvias fue de 1.59 (±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 (±0.32) g PSLC m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> y para el período de lluvias fue de 0.54 (±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 altamente 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 3a 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.

**Figura 4.** Entradas de MOP en términos de gramos de peso seco libre de cenizas por día (g PSLC.d<sup>-1</sup>) durante los meses de muestreo (A. Entradas Vertical; B. Entrada Lateral). Los círculos representan la magnitud promedio de las entradas de MOP y las líneas acotadas desviación estándar. (M1 = muestreo 1, M2 = muestreo 2, etc.).



Fuente: Elaboración Propia

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 alóctonos 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 (McClain & Richey, 1996; Rodríguez-Barrios, Ospina *et al.*, 2011). Se destacan los trabajos desarrollados en la Ciudad de Bogotá por León & Quiroga (1982), Arenas (1988), Hernández & Murcia (1994), Vargas *et al.*, (2003) y Rodríguez *et al.*, (2008) 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 (Tabla 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 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).

**Tabla 2.** Estudios realizados en Colombia.

*MOPG		Lugar	Autor
Vertical	Lateral		
**1300 g.m <sup>-2</sup> año <sup>-1</sup>		Quebrada La Vieja (Bogotá)	Vargas (2003)
**920 g.m <sup>-2</sup> año <sup>-1</sup>		Robledales y Bosque Altoandino de la Sabana de Bogotá	León & Quiroga (1982)
450.8 g.m <sup>-2</sup>	191 g.m <sup>-2</sup>	Quebrada la Vieja (Bogotá)	Rodríguez <i>et al.</i> , (2008)
718.3 g.m <sup>-2</sup>	2197.4 g.m <sup>-2</sup>	Río Gaira (Santa Marta)	Rodríguez (2011)
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 es específico si el aporte es de origen vertical u horizontal.

Y teniendo en cuenta que la variación temporal en los aportes de MOPG alóctona se ha descrito a escala de paisaje (Naiman, 1982; Negishi & Richardson, 2005) debido a la variabilidad de los parches o mosaicos que forman la vegetación riparia, la fenología de la vegetación y el efecto de las lluvias y la sequía (Larned, 2000). 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

(Fittkau, 1964 y Winterbourn, 1976 En: Abellho & Graça, 1998) y palizadas (Webster *et al.*,1999); 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 *Clusia multiflora*, *Vaccinum sp.* y *Weinmania tomentosa* como las especies dominantes en el aporte de MOPG al mantillo del suelo ripario (Vargas, 2003; Rodríguez, 2011); debido a que las entradas de hojas de los árboles riparios son, por lo general, la mayor fuente de energía para los organismos heterotróficos (Webster *et al.*,1999).

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 Melostomataceae, Fagaceae, Polygonaceae y Asteraceae (Tabla 3), siendo las especies vegetales riparias más abundantes en el tramo estudiado: *Coraria Ruscifolia*, *Rubus adenotrichos*, *Desmodium adscendens*, *Erato vulcanica*, *Bidens sp.*, *Chromalaena odorata*, *Piper lacunosum*, *Danthonia secundiflora*, *Bomarea sp.*, *Croscomia x crocosmiflora*, *Cleome arborea*, *Palicourea abgustifolia*, *Solanum ovalifolium*, *Wedelia sp.*, *Ageratia tinifolia*, *Plantago sp.*, *Euphorbia laurifolia*, *Meriania splendens*, *Tibouchina mollis*, *Salvia scutellarioides*, *Oxalis sp.*, *Equisetum bogotensis*, *Psammisia graebneriana* (Anexo 1).

**Tabla 3.** Inventario de especies vegetales riparias colectadas en la quebrada Arrayanales

Familia	Especie
Acanthaceae	<i>Aphelandra acanthus</i> Nees
Actinidiaceae	<i>Saurauia scabra</i> (Kunth) D. Dietr.
Alstroemeriaceae	<i>Bomarea</i> sp.
Anacardiaceae	<i>Mauria simplicifolia</i> Kunth
Araceae	<i>Anthurium</i> sp.
Asteraceae	<i>Ageratina tinifolia</i> (Kunth) R.M. King & H. Rob.
	<i>Barnadesia spinosa</i> L. f.
	<i>Bidens rubifolia</i> Kunth
	<i>Bidens</i> sp.
	<i>Chromolaena</i> sp.
	<i>Chromolaena odorata</i> (L.) R.M. King & H. Rob.
	<i>Erato vulcanica</i> (Klatt) H. Rob.
	<i>Wedelia</i> sp.
Bartramiaceae	<i>Breutelia</i> sp
Bignoniaceae	<i>Amphilophium paniculatum</i> (L.) Kunth
	<i>Delostoma integrifolium</i> D. Don
Boraginaceae	<i>Cordia</i> sp.
Bryaceae	<i>Rhodobryum procerum</i> (Besch.) Paris
Campylaceae	<i>Campyliadelphus</i> sp.
Capparaceae	<i>Cleome arborea</i> L.
Chloranthaceae	<i>Chloranthaceae</i> sp.
Coriariaceae	<i>Coriaria ruscifolia</i> L.
Cyperaceae	<i>Bulbostylis capillaris</i> (L.) C.B. Clarke
Dryopteridaceae	<i>Dryopteris</i> sp.
Equisetaceae	<i>Equisetum bogotense</i> Humb., Bonpl. & Kunth
	<i>Cavendishia angustifolia</i> Mansf.
Ericaceae	<i>Psammisia graebneriana</i> Hoerold
	<i>Psammisia</i> sp.
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia laurifolia</i> Juss. ex Lam.
	<i>Phyllanthus salviifolius</i> Kunth
Fabaceae	<i>Desmodium adscendens</i> (Sw.) DC.
Iridaceae	<i>Crocasmia x crocosmiiflora</i> (Lemoine ex E. Morren) N.E. Br.
	<i>Lamiaceae</i> sp.
Lamiaceae	<i>Salvia rubescens</i> Kunth
	<i>Salvia scutellarioides</i> Kunth
Loasaceae	<i>Nasa</i> sp.
Lobariaceae	<i>Sticta damaecornis</i> (Sw.) Ach.
Melastomataceae	<i>Melastomataceae</i>
	<i>Meriania splendens</i> Triana
	<i>Monochaetum bonplandii</i> (Humb. & Bonpl.) Naudin
	<i>Tibouchina mollis</i> (Bonpl.) Cogn.
Meteoriaceae	<i>Papillaria imponderosa</i> (Taylor) Broth.
	<i>Squamidium nigricans</i> (Hook.) Broth.
Mniaceae	<i>Plagiomnium rhynchophorum</i> (Hook.) T.J. Kop.
Monimiaceae	<i>Siparuna echinata</i> Kunth

**Continuación Tabla 3.** Inventario de especies vegetales riparias colectadas en la quebrada Arrayanales

Familia	Especie
Myrtaceae	<i>Myrcianthes sp.</i>
Neckeraceae	<i>Neckera scabridens</i> Müll. Hal.
Onagraceae	<i>Fuchsia</i>
Oxalidaceae	<i>Oxalis sp<sub>1</sub>.</i>
	<i>Oxalis sp<sub>2</sub>.</i>
	<i>Oxalis sp<sub>3</sub>.</i>
Parmeliaceae	<i>Everniastrum catawbiense</i> (Degel.) Hale ex Sipm.
Passifloraceae	<i>Passiflora mixta</i> L. f.
Piperaceae	<i>Piper barbatum</i> Kunth
Piperaceae	<i>Piper lacunosum</i> Kunth
Plantaginaceae	<i>Plantago australis</i>
Poaceae	<i>Anthoxanthum odoratum</i> L.
	<i>Danthonia secundiflora</i> J. Presl
	<i>Holcus lanatus</i> L.
	<i>Panicum dichotomiflorum</i> Michx.
	<i>Polygonum nepalense</i> Meisn.
Polygonaceae	<i>Campyloneurum</i>
	<i>Pleopeltis sp.</i>
	<i>Polypodiaceae sp.</i>
Pottiaceae	<i>Polytrichum juniperinum</i> Hedw.
	<i>Leptodontium viticulosoides</i> (P. Beauv.) Wijk & Margad.
Prionodontaceae	<i>Prionodon densus</i> (Sw. ex Hedw.) Müll. Hal.
Rosaceae	<i>Duchesnea indica</i> (Andrews) Focke
	<i>Rubus adenotrichos</i> Schldl.
Rubiaceae	<i>Palicourea angustifolia</i> Kunth
	<i>Palicourea thyrsoiflora</i> (Ruiz & Pav.) DC.
Scrophulariaceae	<i>Veronica pérsica</i> Poir.
	<i>Brugmansia aurea</i> Lagerh.
Solanaceae	<i>Solanum asperolanatum</i> Ruiz & Pav.
	<i>Solanum nigrescens</i> M. Martens & Galeotti
Thelypteridaceae	<i>Telypteris sp.</i>
Thuidiaceae	<i>Thuidium peruvianum</i> Mitt.
Urticaceae	<i>Boehmeria phenax</i>
Verbenaceae	<i>Duranta sprucei</i> Cogn.
Vitaceae	<i>Pterisanthes sp.</i>

Fuente: Presente estudio

Con lo anterior, el incremento de MOP en la Quebrada presenta un patrón similar reportado en los trabajos de León & Quiroga (1982), Arenas (1988) y Hernández & Murcia (1994). Webster & Moore (1999) 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 (Rodriguez *et al.*,2008). Entonces, en la Quebrada Arrayanales los cambios en el caudal se producen como respuesta a las condiciones climáticas, 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.

### 7.3 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 gm<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 latas 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>. (Tabla 4).

**Tabla 4.** Cantidad de MOP reportada para cada mes de muestreo.

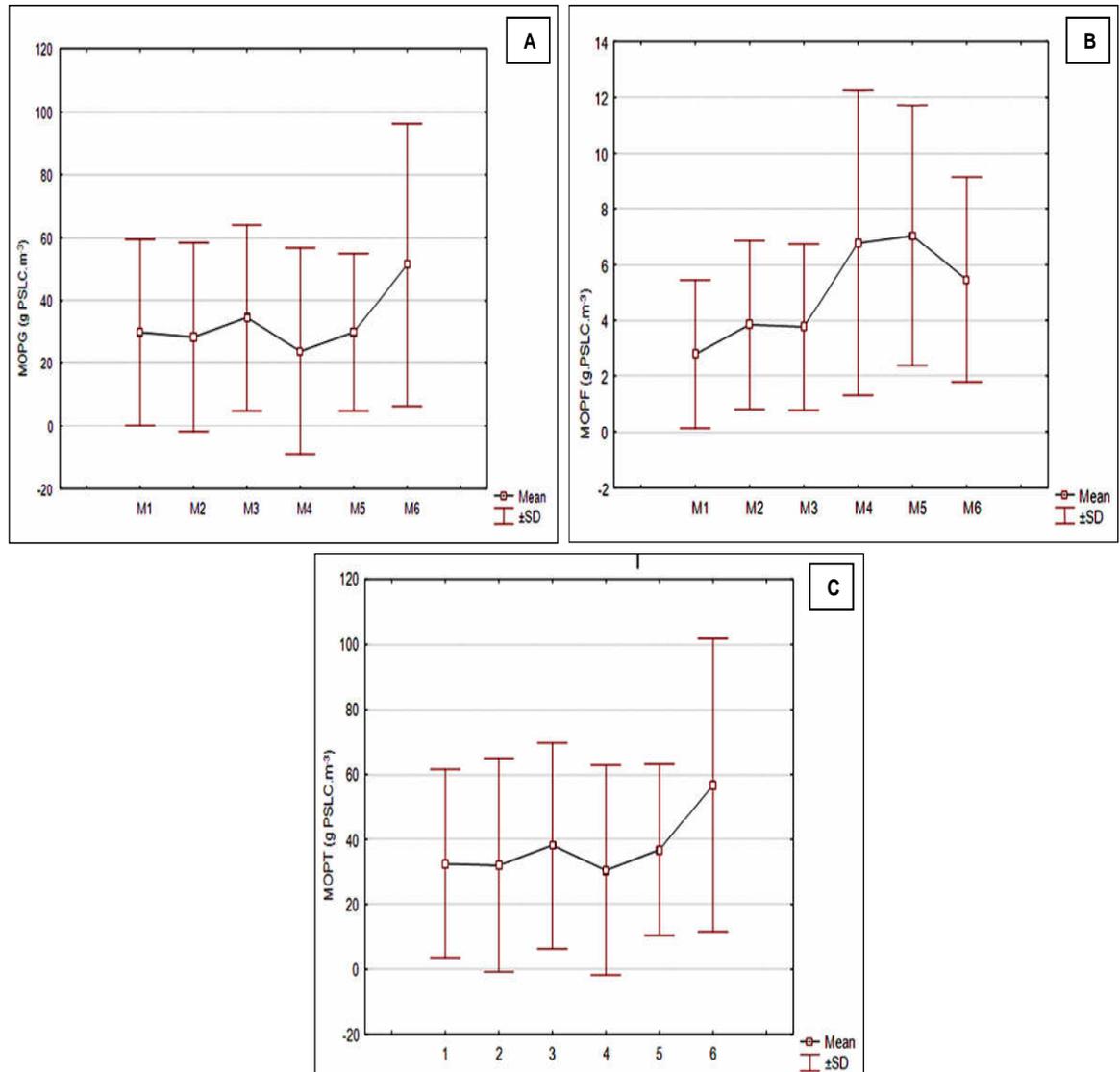
Transporte	Unidad	Muestreo					
		M1	M2	M3	M4	M5	M6
MOPF	g PSLC.m <sup>-3</sup>	2,79	3,85	3,77	6,78	7,05	5,47
MOPG	g PSLC.m <sup>-3</sup>	29,78	28,24	34,44	23,78	29,80	51,31
MOPT	g PSLC.m <sup>-3</sup>	32,56	32,09	38,21	30,55	36,85	56,77

*Fuente: Elaboración Propia*

La MOPG transportada presentó el mayor registro con un valor promedio de 140.5 g PSLC m<sup>-3</sup>, simultáneo al período de mayor precipitación correspondiente al mes de diciembre (M6); este incremento se debe al aumento del caudal (Figura 6). 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<sub>s</sub>= 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 8a).

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 8b). 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 (Figura 4).

**Figura 5.** Transporte de MOP en términos de gramos de peso seco libre de cenizas por día ( $\text{g PSLC.m}^{-3}$ ) durante los meses de muestreo (A. MOPG; B. MOPF; C. MOPT). Los círculos representan la magnitud promedio de los transportes de MOP y las líneas acotadas desviación estándar. (M1 = muestreo 1, M2 = muestreo 2, etc.).



Fuente: Elaboración Propia

Las pérdidas totales de MOP fueron expresadas en términos de la MOPT transportada aguas abajo (MOPG+MOPF), (Figura 7). 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 (Tabla 4); Según Vannote y colaboradores (1980), tramos de cabecera 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.

El aporte de MOPF encontrado, pudo presentarse un barrido masivo de MOP por efecto de los caudales durante el periodo de muestreo, encontrando que los aportes más bajos de MOP gruesa y fina se presentaron en M1, M2 y M3, y para los periodos donde se presentaron las mayores precipitaciones M4, M5 y M6 se presentaron los mayores aportes de MOP (Tabla 4). Esto se sustenta como una relación altamente positiva, entre la descarga y el transporte de MOPT. Rodríguez y colaboradores (2008) 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.

#### **7.4 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 MOPT. Webster y colaboradores (1999) mencionan que estos factores son relevantes en la dinámica de las entradas, retención y pérdidas por transporte de MOP en quebradas (Rodríguez *et al.*, 2008).

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 (Allan, 1999), estudios aplicativos en restauración de quebradas de cabecera, efecto hidroclimático en la dinámica de la MOP y comparaciones con teorías desarrolladas en sistemas lóticos (Vannote, Minshall et al.,1980), 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 hábitáculos (Allan, 1999).

## 8. 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 controlada 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.

En cuanto al 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.

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.

## **9. RECOMENDACIONES**

Sería importante conocer la dinámica de estos ecosistemas y su respuesta ante eventos periódicos en el régimen de descarga para saber, a ciencia cierta, si existe un umbral de esorrentía capaz de ocasionar una respuesta significativa en el incremento del transporte de MOP y cuál sería la velocidad de recuperación de éstas en cuanto a los aportes y almacenamiento de materiales al lecho de la quebrada.

Se deberían continuar con estudios en los que se pueda conocer otros parámetros sobre la dinámica de la materia orgánica en términos de su descomposición de su efecto sobre o de la comunidad biótica como bacterias, macroinvertebrados y vertebrados asociados.

Hay que destacar la importancia del mantenimiento de una estructura vegetativa natural riparia, la cual restringe o soporta la entrada de otras especies bióticas al cauce de la quebrada.

## 10. BIBLIOGRAFIA

Abelho, M. and M. Graça (1996). "Effects of eucalyptus afforestation on leaf litter dynamics and macroinvertebrate community structure of streams in Central Portugal." *Hydrobiologia* 324(3): 195-204.

Allan, D. (1999). *Stream Ecology: structure and function of running waters*, Kluwer Academic Publishers.

Anderson, N. H. and J. R. Sedell (1979). "Detritus Processing by Macroinvertebrates in Stream Ecosystems." *Annual Review of Entomology* 24(1): 351-377.

APHA (1985). *Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water*. Washington, DC, American Public Health Association.

Arenas, H. (1988). Producción y descomposición de hojarasca en un bosque nativo y un bosque de Eucaliptus en la región de Monserrate. Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación. Bogotá, Universidad Nacional de Colombia. *Biología*: 112.

Bernal, C. and I. Figueroa (1980). Estudio ecológico de la entomofauna en un bosque altoandino y un páramo localizado en la región de Monserrate Bogotá. Departamento de Biología, Facultad de Ciencias. Bogotá D.C, Universidad Nacional de Colombia.

Bernal, E., D. García, M. A. Novoa and A. Pinzón (2006). "Caracterización de la comunidad de macroinvertebrados de la quebrada Paloblanco de la cuenca del río Otún (Risaralda, Colombia)." *Acta Biológica Colombiana* 11: 45-59.

Bianchi, T. S., L. A. Wysocki, M. Stewart, T. R. Filley and B. A. McKee (2007). "Temporal variability in terrestrially-derived sources of particulate organic carbon in the lower Mississippi River and its upper tributaries." *Geochimica et Cosmochimica Acta* 71(18): 4425-4437.

Bretschko, G. and H. Moser (1993). "Transport and retention of matter in riparian ecotones." *Hydrobiologia* 251(1): 95-101.

Brussock, P. P. and A. V. Brown (1991). "Riffle-pool geomorphology disrupts longitudinal patterns of stream benthos." *Hydrobiologia* 220(2): 109-117.

Campbell, I. C., K. R. James, B. T. Hart and A. Devereaux (1992). "Allochthonous coarse particulate organic material in forest and pasture reaches of two south-eastern Australian streams." *Freshwater Biology* 27(3): 353-365.

CRC (2006). Plan de ordenacion y manejo de la subcuenca hidrogáfica del río Las Piedras. Cauca. Popayán, Corporacion autónoma regional del Cauca: 457.

Cuatrecasas, J. (1958). "Aspectos de la vegetación natural de Colombia." *Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Fisicas y Naturales* 10(40): 221-264.

Cummins, K. and R. W. Merrit (1996). *Ecology and Distribution of Aquatic Insects*, . Iowa, Kendall-Hunt. Dubuque.

Cummins, K. W. and M. J. Klug (1979). "Feeding Ecology of Stream Invertebrates." *Annual Review of Ecology and Systematics* 10(1): 147-172.

Chará-Serna, A. M., J. D. Chará, M. d. C. Zúñiga, G. X. Pedraza and L. P. Giraldo (2010). "Clasificación trófica de insectos acuáticos en ocho quebradas protegidas de la ecorregión cafetera colombiana." *Universitas Scientiarum* 15: 27-36.

Danger, A. R. and B. J. Robson (2004). "The effects of land use on leaf-litter processing by macroinvertebrates in an Australian temperate coastal stream." *Aquatic Sciences - Research Across Boundaries* 66(3): 296-304.

Everest, F. and G. Reeves (2007). *Riparian and Aquatic habitats of the Pacific Northwest and Southeast Alaska: Ecology, Management History, and Potential Management Strategies*. Portland, OR, Pacific Northwest Research Station.

Fernández, H. and E. Dominguez (2001). *guía para la identificación de los artrópodos bentónicos sudamericanos*. Tucumán - Argentina.

Fisher, S. G. and G. E. Likens (1973). "Energy Flow in Bear Brook, New Hampshire: An Integrative Approach to Stream Ecosystem Metabolism." *Ecological Monographs* 43(4): 421-439.

Flory, E. and A. Milner (1999). "influence of riparian vegetation on invertebrate assemblages in recently formed stream in Glacier Bay National Park, Alaska." *n. Am. Benthol.Soc* 18(2): 261-273.

GEA (2010). *Monitoreo ambiental para el cambio climático en ecosistemas altoandinos - MACACEA - Fase I, Informe Técnico Final*. Universidad del Cauca. Fase I: 225.

GEA (2012). *Informe parcial línea base Ambiental, caracterización Físico, Química y susceptibilidad a la erosión de suelos en el sector Arrayanales y Vereda La laguna (cuenca Las Piedras), Municipio de Popayán, Departamento del Cauca. Optimización del esquema de negocios de la empresa de acueducto y alcantarillado de Popayán SA-ESP mediante el desarrollo de un modelo de gestión integral del recurso hídrico para la competitividad con corresponsabilidad social*. Popayán, Grupo de Estudios Ambientales - Universidad del Cauca: 14.

Goodman, B. (1964). Processing thickened sludge with chemical conditioners. Sludge Concentration, Filtration and Incineration. U. d. M. C. Education. Michigan, Arbor.

Gosz, J. R., G. E. Likens and F. H. Bormann (1972). "Nutrient Content of Litter Fall on the Hubbard Brook Experimental Forest, New Hampshire." *Ecology* 53(5): 770-784.

Gotelli, N. J. and R. K. Colwell (2001). "Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness." *Ecology Letters* 4(4): 379-391.

Graça, M. A. S., R. C. F. Ferreira and C. N. Coimbra (2001). "Litter Processing along a Stream Gradient: The Role of Invertebrates and Decomposers." *Journal of the North American Benthological Society* 20(3): 408-420.

Gratteau, J. and R. Dick (1968). "Activated sludge suspended solids determinations." *Water Sewage Works* 115: 468.

Greathouse, E. A. and C. M. Pringle (2006). "Does the river continuum concept apply on a tropical island? Longitudinal variation in a Puerto Rican stream." *Can. J. Fish. Aquat. Sci* 63: 134-152.

Guisande Gonzalez, C., A. Barreiro Felpeto, I. Maneiro Estraviz, I. Riveiro Alarcón, A. R. Vergara Castaño and A. Vaamonde Liste (2006). *Tratamiento de datos*. España, Ediciones Díaz de Santos: 349.

Gurnell, A. (2013). "Plants as river system engineers." *Earth Surface Processes and Landforms*: n/a-n/a.

Gutiérrez, J. D. (2006). *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. Facultad de Ciencias. Bogotá D.C, Universidad Nacional de Colombia. Ph.D.

Hernández, M. L. (1994). Estimación de la productividad primaria de *Espeletia grandiflora* H & B y *Pinus patula* Schl & Cham en el páramo "el Granizo", Cundinamarca Colombia. Bogotá, DC, Universidad Nacional de Colombia Biología.

Jutras, M.-F., M. Nasr, M. Castonguay, C. Pit, J. H. Pomeroy, T. P. Smith, C.-f. Zhang, C. D. Ritchie, F.-R. Meng, T. A. Clair and P. A. Arp (2011). "Dissolved organic carbon concentrations and fluxes in forest catchments and streams: DOC-3 model." *Ecological Modelling* 222(14): 2291-2313.

Kaiser, E. and C. Schubert (2003). "Aquatic Ecosystems: Interactivity of dissolved organic matter: Stuart E.G. Findlay and Robert L. Sinsabaugh, Academic Press/Elsevier Science, USA, 2002, ISBN 0 12 256371 9 (hardback) 512 pages." *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 293(1): 125-126.

Larned, S. T. (2000). "Dynamics of coarse riparian detritus in a Hawaiian stream ecosystem: a comparison of drought and post-drought conditions." *Journal of the North American Benthological Society* 19(2): 215-234.

León, M. and R. Quiroga (1982). Producción de materia orgánica en dos bosques circundantes a la Sabana de Bogotá. Facultad de Ciencias Exactas y de la Educación. Bogotá, Universidad Nacional de Colombia. Biólogo: 78.

Lindeman, R. L. (1942). "The Trophic-Dynamic Aspect of Ecology." *Ecology* 23(4): 399-417.

Lyon, J. and N. M. Gross (2005). "Patterns of plant diversity and plant-environmental relationships across three riparian corridors." *Forest Ecology and Management* 204(2-3): 267-278.

Margalef, R. (1980). *Ecología*. Barcelona, Casanova.

Masi, C. I. and M. L. Miserendino (2009). "Usos de la tierra y distribución de la materia orgánica particulada béntica en ríos de montaña (Patagonia, Argentina)." *Ecología austral* 19: 185-196.

McClain, M. E. and J. E. Richey (1996). "Regional-scale linkages of terrestrial and lotic ecosystems in the Amazon basin: a conceptual model fro organic matter." *Arch. Hydrobiol. Suppl.* 113: 4.

Minshall, G. W. (1988). "Stream Ecosystem Theory: A Global Perspective." *Journal of the North American Benthological Society* 7(4): 263-288.

Mollá, S., S. Robles and C. Casado (2006). "Seasonal Variability of Particulate Organic Matter in a Mountain Stream in Central Spain." *International Review of Hydrobiology* 91(5): 406-422.

Mulholland, P. J. (1997). "Dissolved Organic Matter Concentration and Flux in Streams." *Journal of the North American Benthological Society* 16(1): 131-141.

Muotka, T. and P. Laasonen (2002). "Ecosystem recovery in restored headwater streams: the role of enhanced leaf retention." *Journal of Applied Ecology* 39(1): 145-156.

Naiman, R. J. (1982). "Characteristics of Sediment and Organic Carbon Export from Pristine Boreal Forest Watersheds." *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 39(12): 1699-1718.

Negishi, J. N. and J. S. Richardson (2003). "Responses of organic matter and macroinvertebrates to placements of boulder clusters in a small stream of

southwestern British Columbia, Canada." *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 60(3): 247-258.

Odum, H. T. (1956). "Primary Production in Flowing Waters." *Limnology and Oceanography* 1(2): 102-117.

Odum, H. T. (1957). "Trophic Structure and Productivity of Silver Springs, Florida." *Ecological Monographs* 27(1): 55-112.

Petersen, R. C., Jr., K. W. Cummins and G. M. Ward (1989). "Microbial and Animal Processing of Detritus in a Woodland Stream." *Ecological Monographs* 59(1): 21-39.

Ramírez, B. (1995). Principios y métodos en ecología Vegetal. Popayán, Universidad del Cauca.

Ramírez, J. J. (2000). Fitoplancton de agua dulce, aspectos ecológicos, taxonómicos y sanitarios. Medellín - Colombia, Universidad de Antioquia.

Recaman, L. (2006). Estudio de oferta y demanda del río Las Piedras. Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación. Popayán, Universidad del Cauca. Maestría en Recursos Hidrobiológicos: 104.

Richardson, J. S., R. E. Bilby and C. A. Bondar (2005). "organic matter dynamics in small streams of the pacific northwest1" *JAWRA Journal of the American Water Resources Association* 41(4): 921-934.

Rios Touma, B. (2008). Comunidades de macroinvertebrados en un rio altoandino: importancia del habitat, dinámica de la deriva, papel de la materia orgánica y relevancia de la ovoposicion. Departament d' Ecologia. Barcelona, Univertsitat de Barcelona. Doctorado en Ecología: 184.

Rodriguez-Barrios, J., R. Ospina-Torres and J. D. Gutiérrez (2008). "Entradas y transporte de materia orgánica en una quebrada tropical de montaña. Bogotá, Colombia." *Caldasia* 30: 421-440.

Rodríguez-Barrios, J., R. Ospina and R. Turizo (2011). "Grupos funcionales alimentarios de macroinvertebrados acuáticos en el río Gaira, Colombia." *Rev. Bio. Trop* 59(4): 1537-1552.

Rodriguez Barrios, J. and R. Ospina (2007). "Retención de materia orgánica particulada gruesa en una quebrada de montaña tropical. Bogotá, Colombia " *Acta Biológica Colombiana* 12: 33-46.

Rodríguez, J., R. Ospina, M. Berrío, B. Cepeda, G. Castellanos and M. Valencia (2006). "Variación diaria de la deriva de macroinvertebrados acuáticos y de materia orgánica en la cabecera de un río tropical de montaña en el departamento de Nariño, Colombia." *Acta Biológica Colombiana* 11: 47-53.

Roldán, G. and J. J. Ramirez (2000). *Fundamentos de Limnología*. Antioquia, Editorial Universidad de Antioquia.

Roldán, G. and J. J. Ramírez (2008). *Fundamentos de limnología neotropical*, Universidad de Antioquia.

Stutter, M. I., S. Richards and J. J. C. Dawson (2013). "Biodegradability of natural dissolved organic matter collected from a UK moorland stream." *Water Research* 47(3): 1169-1180.

Valverde, A. (1996). Aproximación a la determinación del flujo y balance de nutrientes y su posible relación con la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en la microcuenca Arrayanes, municipio de Popayán. Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación. Popayán, Universidad del Cauca. Maestría en Recursos Hidrobiológicos Continentales: 134.

Vargas, J. P. (2003). Análisis de un bosque Altoandino con énfasis en la precipitación del mantillo: Qubrada La Vieja. Bogotá, Universidad Nacional de Colombia. Tesis en Biología.

Wallace, J. B., S. L. Eggert, J. L. Meyer and J. R. Webster (1997). "Multiple Trophic Levels of a Forest Stream Linked to Terrestrial Litter Inputs." *Science* 277(5322): 102-104.

Webster, P. J., A. Moore, J. Losching and M. Leban (1999). "Couple ocean dynamics in the indian Ocean during 1997-1998." *Nature* 401: 356-360.

## ANEXOS

### Anexo 1. Fotografías de las especies vegetales colectadas en la Quebrada Arrayanales.



*Boehmeria phenax*



*Barnadesia spinosa* L. f



*Mauria simplicifolia* Kunth



*Duchesnea indica* (Andrews) Focke



*Anthurium* sp.



*Polygonum nepalense* Meisn.



*Psammisia graebneriana* Hoerold



*Cordia* sp.



*Siparuna echinata* Kunth



*Piper barbatum* Kunth



*Myrcianthes* sp.



*Telyptheris* sp.



*Ageratina tinifolia* (Kunth)  
R.M. King & H. Rob.



*Cleome arborea* L.



*Mauria simplicifolia* Kunth



*Nasa* sp.



*Cavendishia angustifolia*  
Mansf



*Lamiaceae* sp.



*Plantago australis*



*Barnadesia spinosa* L. f



*Mauria simplicifolia* Kunth



*Campyloneurum*



*Polyodiaceae* sp.



*Mauria simplicifolia* Kunth



*Leptodontium viticulosoides*  
(P. Beauv.) Wijk & Margad.



*Polytrichum juniperinum*  
Hedw.



*Prionodon densus* (Sw. ex  
Hedw.) Müll. Hal.



*Brugmansia aurea* Lagerh.



*Duranta sprucei* Cogn.



*Mauria simplicifolia* Kunth



*Boehmeria phenax*



*Barnadesia spinosa* L. f



*Mauria simplicifolia* Kunth



*Chromolaena odorata* (L.)  
R.M. King & H. Rob.



*Solanum asperolanatum*  
Ruiz & Pav.



*Neckera scabridens* Müll.  
Hal.