



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

**CUANTIFICACION DEL FLUJO DE CARBONO ORGANICO PARTICULADO EN EL ARROYO DE  
AGUAS NEGRAS LA ARENOSA (LETICIA: AMAZONAS)**

**Juan Fernando Tobón Pérez**

Universidad Nacional de Colombia - Sede Amazonia

Instituto Amazónico de Investigaciones – IMANI

Leticia, Colombia

2012



**CUANTIFICACION DEL FLUJO DE CARBONO ORGANICO PARTICULADO EN EL ARROYO DE  
AGUAS NEGRAS LA ARENOSA (LETICIA: AMAZONAS)**

**Juan Fernando Tobón Pérez**

Tesis presentada como requisito para optar al título de:

**MAGISTER EN ESTUDIOS AMAZONICOS**

Director

Ph. D. Guillermo Rueda-Delgado

Co-director

M. Sc. Santiago R. Duque

Línea de Investigación

Línea en Ecología, Biodiversidad y Conservación

Grupo de Investigación

Limnología Amazónica

Universidad Nacional de Colombia - Sede Amazonia

Instituto Amazónico de Investigaciones – IMANI

Leticia, Colombia

2012



## DEDICATORIA

A mi familia, Fernando E. Tobón H. y Ruth A. Pérez G. y Andrés Tobón Pérez, quienes me apoyaron en todo momento, y soñaron conmigo a lo largo de todo el proceso para lograr una nueva meta.

A las personas que estuvieron a mi lado apoyándome, brindándome todo el tiempo, dedicación, cariño y enseñanzas, que no fueron en vano. ¡Siempre se pueden lograr las metas!



## AGRADECIMIENTOS

A los profesores Guillermo Rueda-Delgado y Santiago R. Duque por sus comentarios, apoyo y paciencia durante el desarrollo de la investigación.

Al laboratorio de Limnología de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Amazonia, por la ayuda prestada en la fase de campo y laboratorio. Igualmente al proyecto Bicentenario *“Valoración integral del flujo histórico y actual de Carbono en el sistema de inundación Yahuaraca (Amazonia colombiana): su importancia en el cambio climático global”*, financiador de esta investigación.





## Resumen

Los efectos de los pequeños arroyos en el balance de carbono amazónico no han sido aún cuantificados. En este sentido, el propósito de este trabajo fue determinar los cambios en el flujo de Carbono Orgánico Particulado (COP) en el arroyo de aguas negras La Arenosa (Leticia-Amazonas) en el transcurso de un ciclo hidrológico. Para ello cuantificamos el carbono que ingresa, el que se metaboliza y el que deriva en dos sectores del arroyo. Con alta y baja intervención del bosque ripario; los estudios se adelantaron entre febrero de 2010 y enero de 2011. El ingreso de carbono fue de 2.71 T C ha año ( $0.74 \pm 0.3 \text{ g C m}^2 \text{ d}^{-1}$ ). La deriva fue de  $0,003 \pm 0.01 \text{ g C m}^2 \text{ d}^{-1}$ . La producción neta del ecosistema (PNE) fue de  $0.003 \text{ g C m}^2 \text{ d}^{-1}$ . Los resultados muestran que el grado de intervención riparia, genera diferencias en el ingreso de carbono, y en términos generales es menor a lo reportado para otros estudios de la amazonia y la zona tropical. El metabolismo, demuestra que este arroyo constituye en un sistema heterotrófico y se comporta como un sumidero de Carbono, almacenando inclusive el 90% del carbono que ingresa diariamente al sistema.

**Palabras clave:** Flujo de carbono, arroyo, aguas negras amazónicas, ingreso, deriva, metabolismo.

## **Abstract**

The effects of small streams in amazonic Carbon balance have not been quantified. In this sense, the goal of this work was to determinate changes in the fluxes of Particulate Organic Carbon (POC) in the black water stream La Arenosa (Leticia- Amazonas), during an hydrological cycle. We quantified the Carbon inputs, metabolism and drift in two sectors of the stream with high and low intervention of the riparian forest between February of 2010 and January of 2011. Carbon inputs was 2.71 T C ha year ( $0.74 \pm 0.3 \text{ g C m}^2 \text{ d}^{-1}$ ). Drift was  $0,003 \pm 0.01 \text{ g C m}^2 \text{ d}^{-1}$ . The ecosystem net production (ENP) was  $0.003 \text{ g C m}^2 \text{ d}^{-1}$ . The results show that there is differences in Carbon inputs related with intervention in the riparian forest, in general terms, is fewer than other reports for the amazon and the tropical zone. In metabolic terms, this stream is an heterotrophic system and show sink characteristics, keeping even 90% of the Carbon inputs.

**Key words:** Carbon flux, stream, black water, amazonic, inputs, drift metabolism.

## Tabla de contenido

1. Introducción.....	1
2. Metodología .....	5
2.1. Sitio de estudio.....	5
2.2. Colecta de Aportes Verticales .....	6
2.3. Colecta de Aportes Horizontales.....	7
2.4. Colecta de materia orgánica particulada en el arroyo.....	8
2.5. Metabolismo del arroyo.....	9
2.6. Preparación de las muestras y análisis.....	10
2.6.1. Ingreso .....	10
2.6.2. Deriva .....	11
2.6.3. Metabolismo .....	12
3. Resultados .....	15
3.1. Comportamiento del arroyo .....	15
3.2. Aportes anuales.....	16
3.3. Deriva .....	18
3.4. Metabolismo .....	19
4. Discusión.....	21

4.1.	Dinámica de los aportes de hojarasca .....	21
4.2.	Procesos de deriva .....	24
4.3.	Metabolismo .....	26
4.4.	Balance de Carbono Orgánico Particulado en el arroyo La Arenosa .....	28
5.	Conclusiones y Recomendaciones.....	28
6.	Bibliografía.....	32

## Listado de Figuras

<b>Figura 1.</b> Trampa de colecta de aportes Verticales, ubicada a 1.5 m sobre el arroyo La Arenosa. ....	7
<b>Figura 2.</b> Trampa para colecta de aportes horizontales, ubicada en el arroyo La Arenosa. .8	
<b>Figura 3.</b> Esquema la trampa de deriva. Se colocaron tres trampas para deriva, 1 trampa frontal, 1 superficial, 1 fondo, en el arroyo La Arenosa. ....	9
<b>Figura 4.</b> Aportes de $\text{gC m}^2 \text{ d}^{-1}$ , por cada muestreo en cada zona (intervenida y menos intervenida), contrastados con la curva de nivel del arroyo La Arenosa. ....	17
<b>Figura 5.</b> Deriva promedio por cada muestreo y por zona (Intervenida y menos intervenida) en el arroyo La Arenosa. ....	19
<b>Figura 6.</b> Grafica de regresión entre ingresos de Carbono y precipitación (estandarizados) en el arroyo La Arenosa. ....	23
<b>Figura 7.</b> Flujos de Carbono. A: Modelo planteado por Cole, donde los sistemas continentales respiran hasta 39% del Carbono que ingresa. B: Modelo adaptado al arroyo La Arenosa, donde cerca del 90% del Carbono que ingresa se almacena en el sedimento.	29

## Lista de Tablas

<b>Tabla 1.</b> Valores máximos, mínimos y media con DS de flujo, caudal y físico-químicas en el arroyo La Arenosa, en los dos periodos hidrológicos de estudio. ....	15
<b>Tabla 2.</b> Variación media y DS en los componentes de Ingreso y Deriva en el arroyo La Arenosa, durante los dos periodos hidrológicos (FDR y FDI), en los dos lugares analizados (intervenido y menos intervenido). ....	17
<b>Tabla 3.</b> Promedio y DS de aportes de MO y Carbono de las diferentes fracciones a lo largo del año de muestreo en el arroyo La Arenosa.....	18
<b>Tabla 4.</b> Producción primaria bruta, Respiración, por cada hidroperiodo en el arroyo La Arenosa. ....	20
<b>Tabla 5.</b> Balance de los flujos de Carbono (en gramos y porcentaje) en el arroyo La Arenosa. ....	20
<b>Tabla 6.</b> Promedio de ingresos ( $\text{g m}^2 \text{ d}^{-1}$ MO y C) y deriva ( $\text{g m}^2 \text{ d}^{-1}$ C), en diferentes ubicaciones. ....	21

## 1. Introducción

Tradicionalmente el ciclo del carbono se ha estudiado en cinco grandes espacios, que son conocidos como los grandes almacenadores o “*pools*”. Estos almacenadores corresponden a la atmósfera con 805 Pg C<sup>1</sup>, los océanos con 38000 Pg C, los depósitos de combustibles fósiles con 5000-10000 Pg C, los ecosistemas boscosos 550 +/- 100 Pg C y los suelos (1500-2000 Pg C en la superficie y a 3 m de profundidad, cerca de 2300 Pg C; Houghton *et al.* 2007). Cualquier movimiento de este elemento dentro de estos reservorios, se denomina flujo y las conexiones que se generen entre ellos, formarán un “ciclo cerrado” que teóricamente debe encontrarse en equilibrio o ser balanceado (Houghton *et al.* 2007).

En este contexto, las aguas continentales como ríos y arroyos cobran una gran importancia dentro de los ciclos globales de carbono. Cole *et al.* (2007) evidenciaron una falencia en información, y generaron un aporte con nuevos datos e interacciones que explicarían de manera más completa los flujos de carbono existentes, mostrando que los ecosistemas acuáticos continentales presentan una función dinámica, donde pueden aportar a la atmósfera valores de hasta 0.75 Pg C por evasión o respiración y tener una función de sumideros, almacenando hasta 0.9 Pg C, lo que complementa lo propuesto por Houghton *et al.* (2007), evidenciando que son sistemas dinámicos, y no pueden ser vistos solo como tuberías.

---

<sup>1</sup> 1 Pg = 1 petagramo = 10<sup>15</sup> g = 10<sup>9</sup> Toneladas métricas).

Otros estudios como los realizados por Richey *et al.* (2002), evidencian otra realidad centrada en el Amazonas, donde se afirman que la respiración<sup>2</sup> que se puede dar en el total de la cuenca amazónica puede llegar a ser de hasta 470 Tg C año. También plantean que las sub-cuencas de este gran río pueden estar exportando entre 4 y 15 veces más carbono por respiración que lo que alcanzan a transportar y manifiestan adicionalmente que el 47% del carbono terrestre derivado por el río Amazonas es respirado. Adicionalmente, este carbono tiene su origen y es ingresado a partir de los ecosistemas terrestres circundantes (Richey *et al.* 2002, Selva *et al.* 2007).

Estos ecosistemas circundantes son conocidos como bosques riparios; el carbono en estos bosques riparios es fijado vía fotosíntesis y es convertido en biomasa. Esta biomasa regresa de nuevo a los sistemas (suelo o “tierra firme”, humedales, lagos y ríos), mediante defoliación natural, cuando los árboles mueren o cuando hay procesos de deforestación (Phillips *et al.* 1998). Finalmente, hacen su aporte de materia orgánica a los sistemas acuáticos mediante la hojarasca que ingresa por procesos de arrastre eólico o por erosión de bancos de arena lo que es conocido como aportes horizontales y por aportes directos de este bosque circundante al medio que se conoce como aportes verticales (Gonçalves *et al.* 2006).

Se ha comprobado para los bosques tropicales, que además de estar cumpliendo con este proceso de acumulación de carbono en la biomasa, también ejecutan una función como

---

<sup>2</sup> Respiración y evasión de Carbono son términos utilizados por los diferentes autores para referirse a la cantidad de Carbono que es liberado por los cuerpos de agua y fluye hacia la atmósfera.



importantes sumideros al encontrarse en crecimiento, almacenando inclusive hasta 40 % del carbono atmosférico (Phillips *et al.* 1998, Phillips *et al.* 2009).

La importancia de estos bosques riparios circundantes radica en los aportes de materia orgánica, que es conocida como materia orgánica alóctona, y se considera un eslabón básico en las redes tróficas de los arroyos de bajo orden<sup>3</sup> (Vannote *et al.* 1980, Gonçalves *et al.* 2006), pues estos arroyos son considerados heterotróficos y dependen de los aportes que haga el bosque ripario como su fuente principal de energía (Gonçalves *et al.* 2006).

Un ejemplo de la importancia de esta materia orgánica alóctona, se presenta en la región del Trapecio Amazónico en Colombia, donde se reporta la existencia de 344 especies ícticas, de las cuales la mayor parte se encuentra asociada a estos arroyos de bajo orden con claras características heterotróficas, que dependen en gran medida de los aportes que haga el bosque circundante (Galvis *et al.* 2006, Young *et al.* 2008).

Sin embargo, estos aportes e ingresos de materia orgánica están fuertemente controlados por factores como la vegetación, la topografía, la estructura y composición del suelo y la precipitación (Selva *et al.* 2007). Además de variaciones temporales en la descarga y la velocidad del agua.

Como objeto de estudio, se pretendió determinar los cambios en el flujo de carbono en el arroyo de aguas negras La Arenosa (Leticia, Amazonas) en el transcurso de un ciclo

---

<sup>3</sup> El orden de los arroyos depende de los afluentes que haya recibido en su recorrido. Horton (1945) y la modificación de Strahler (1954).

hidrológico, mediante dos objetivos básicos: (1) Cuantificar el carbono que ingresa, el que se metaboliza y el que deriva, bajo dos condiciones del bosque ripario del arroyo La Arenosa (intervenido y menos intervenido) en el transcurso de un ciclo hidrológico y, (2) Establecer el flujo total de carbono y sus variaciones entre los sectores de estudio en el transcurso de un ciclo hidrológico.

## **2. Metodología**

### **2.1. Sitio de estudio**

El presente estudio se llevó a cabo durante un año (Febrero 2010 - Enero 2011), en el arroyo La Arenosa, el cual es un pequeño arroyo amazónico que presenta las condiciones propias de un arroyo de aguas negras, con respecto a la clasificación propuesta por Sioli (1967). El arroyo cuenta con una longitud aproximada de 15 km, con una hidrología fuertemente influenciada por precipitaciones locales (Junk & Wantzen 2006), además de los dos hidroperíodos que en el arroyo se presentan, con niveles altos (67.09 +/- 28.8 cm) durante la Fase de Descarga Regulada (FDR), y niveles bajos (20.37 +/- 22.35) durante la Fase de Descarga Irregular (FDI; según planteamientos realizados para este ecosistema por Rueda-Delgado *et al* 2006).

Este arroyo se encuentra ubicado a 9.5 Km de la ciudad de Leticia en el Departamento del Amazonas, es un arroyo de primer orden, con lecho arenoso y presenta acumulaciones de hojarasca y de material leñoso (Rueda-Delgado *et al.* 2006). Es pertinente resaltar que este es un arroyo con fuertes intervenciones antrópicas, contrastadas a su vez con grandes áreas de conservación y reservas ecológicas, lo que permitió establecer con facilidad la zona intervenida (área influenciada por pastoreo y deforestación), versus la zona menos intervenida (áreas de conservación y reservas naturales).

Al final de su recorrido, el arroyo La Arenosa se une al arroyo Yahuaraca y finalmente desemboca en los lagos del mismo nombre. A pesar de no estar conectada directamente

con el río Amazonas, presenta una fuerte influencia por las dinámicas de este gran río pulsátil.

Posee un pH entre 5.5 y 6.0, baja conductividad (18-38  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), temperatura media de 25°C, profundidad media de 65 cm, con ancho promedio de 4.5 m y descarga media inferior a 1  $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$  (Rueda-Delgado *et al.* 2006). La zona presenta precipitaciones casi permanentes en el transcurso del año, con una media anual de 3350mm (datos reportados de la estación meteorológica “Vasquez-Cobo” ubicada a más de 10 Km, en el aeropuerto de la ciudad de Leticia). Sin embargo, presenta un período donde se da una mayor precipitación “temporada de lluvia” que ocurre de Diciembre a Mayo (Rueda-Delgado *et al.* 2006).

Los puntos de muestreo se ubicaron en tramos de 200m, definidos mediante un aumento en la conductividad del sistema por concentración de sales, que fueron vertidas en el sistema y a las cuales se les realizó un seguimiento de la concentración hasta que fueron totalmente disueltas. Las trampas se ubicaron al inicio, en el medio y al final de cada tramo.

## **2.2. Colecta de Aportes Verticales**

Los aportes de hojarasca se obtuvieron mediante la utilización de 12 trampas colectoras de 1  $\text{m}^2$  construidos con tubos de PVC de ½ pulgada y red polisombra con ojo de 1mm (Rodríguez *et al.* 2008), instaladas a 1.5 m de altura del suelo (Figura 1). Se distribuyeron seis trampas en el cauce (canal del arroyo), tres en la ribera izquierda y tres en la ribera

derecha. El uso de las trampas fue constante durante todo el muestreo, así las 12 trampas estuvieron presentes tanto en FDI como en FDR.

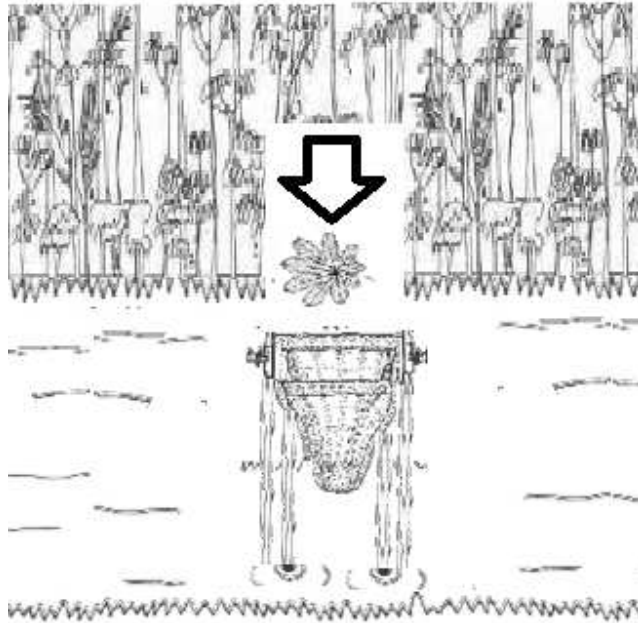


Figura 1. Trampa de colecta de aportes Verticales, ubicada a 1.5 m sobre el arroyo La Arenosa.

### 2.3. Colecta de Aportes Horizontales

Los aportes horizontales se obtuvieron mediante colectores diseñados para atrapar el material transportado sobre el suelo del bosque. Se fabricaron en forma de caja con armazón en PVC y red polisombra de 1mm de ojo (Figura 2; Selva *et al.* 2007). Los montajes se mantuvieron a lo largo de todo el período de muestreo, pero solo se realizaron colectas en (FDR), ya que esta es la época en la cual el arroyo ocupa su plano de inundación y por tanto tiene la capacidad de arrastrar material hacia el arroyo.

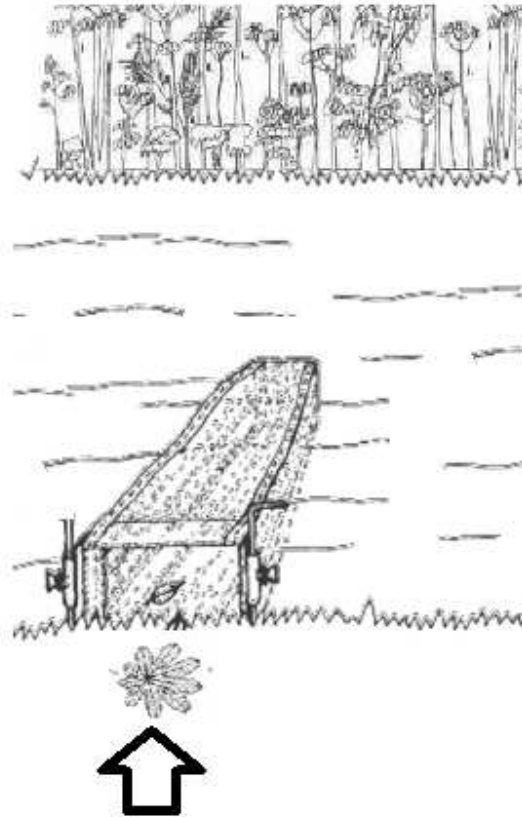


Figura 2. Trampa para colecta de aportes horizontales, ubicada en el arroyo La Arenosa.

#### 2.4. Colecta de materia orgánica particulada en el arroyo

La deriva de la materia orgánica particulada se evaluó mediante seis repeticiones (dos al inicio, dos en el medio y dos al final de cada tramo), de juegos de tres trampas por punto (Frontal, Superficial, fondo; figura 3), para un total de 18 trampas por cada tramo (intervenido y menos intervenido).

El material fue colectado mediante trampas de PVC de 50 X 20 cm con una bolsa de polisombra con ojo de malla de 1 mm, modificando la metodología utilizada por Rodríguez *et al.* (2007), esta trampa permitió colectar materia gruesa, que de haber

continuado a las trampas con ojos más finos haría causado taponamiento “efecto de balde”. También se hizo uso de trampas de deriva con un marco de 30 X 30 cm en aluminio y una bolsa colectora de tela con un ojo de malla de 57  $\mu\text{m}$ , para la coleta de materia fina, el uso compuesto de los dos tipos de trampas, permitió cuantificar fracciones tanto finas como gruesas (Rodríguez *et al.* 2008).

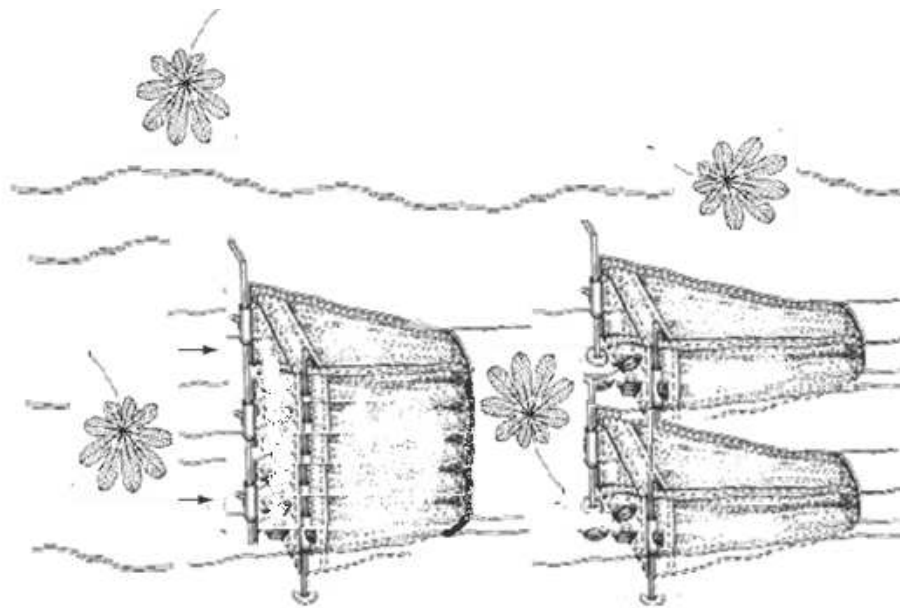


Figura 3. Esquema la trampa de deriva. Se colocaron tres trampas para deriva, 1 trampa frontal, 1 superficial, 1 fondo, en el arroyo La Arenosa.

## 2.5. Metabolismo del arroyo

Los muestreos de metabolismo se realizaron en los dos periodos contrastantes que se presentan en las fases del arroyo FDR y FDI, durante tres días consecutivos, a fin de determinar el metabolismo del arroyo. Esto implicó el uso de seis cámaras bénticas (Figura 4), en cada periodo de análisis (tres claras y tres oscuras), donde se midieron las

concentraciones de oxígeno *in situ* (Forja *et al.* 2001). Para evitar una disminución en la concentración del gas dentro de las cámaras, este procedimiento se realizó utilizando un electrodo de oxígeno (WTW OXI 320).



Figura 4. Esquema cámaras bénticas para metabolismo. Se realizaron tres repeticiones en cada periodo de estudio en el arroyo La Arenosa.

Las mediciones de metabolismo se realizaron cada hora, iniciando a las 8 de la mañana y terminando a las 4 de la tarde, período en el cual se observó la finalización del periodo lumínico en la zona de estudio (bosque con dosel cerrado).

## 2.6. Preparación de las muestras y análisis

### 2.6.1. Ingreso

El material colectado (hojarasca) fue separado cuidadosamente en varios componentes (Foliar, Semillas, Flores, Ramas, Insectos y Material particulado - MP), con lo que se buscó estimar la contribución relativa de las distintas fracciones de la hojarasca y aportes de carbono (Quinto *et al.* 2007).



El material colectado se llevó al horno a 70°C durante 48 horas, donde fue secado hasta alcanzar peso seco constante (PSC; Quinto *et al.* 2007; Rodríguez *et al.* 2008). El PSC se cuantificó mediante el uso de una balanza analítica de precisión.

Posterior al secado de las fracciones, las muestras fueron calcinadas en mufla a 500°C durante una hora (Quinto *et al.* 2007). De nuevo, el material fue llevado a balanza analítica de precisión para obtener el peso de las cenizas. Finalmente se obtuvo la fracción correspondiente al Peso Seco Libre de Cenizas (PSLC), que es la diferencia que existe entre el PSC y el PC (Pozo *et al.* 2009).

Del coeficiente entre PSLC/PSC, se obtuvo la Materia Orgánica -MO (Armezin & Gabon. 2008). El contenido de carbono, se obtuvo mediante lo planteado por (Clark *et al.* 2001), donde el Carbono corresponde al 50% de la MO. Una vez obtenidos estos valores, se estableció el coeficiente de la masa recogida en cada trampa por la superficie de captación (1m x 1m) y por el tiempo transcurrido entre muestreos, para expresar los resultados en  $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$  (Pozo *et al.* 2009).

### **2.6.2. Deriva**

El material colectado en el lugar de muestreo fue secado a 70°C hasta obtención de PSC (Rodríguez *et al.* 2008). Posterior al secado, las muestras fueron calcinadas en mufla a 500°C durante una hora para obtener el peso de las cenizas (PC; Quinto *et al.* 2007). Finalmente se obtuvo la fracción correspondiente al Peso Seco Libre de Cenizas (PSLC), que es la diferencia que existe entre el PSC y el PC (Pozo *et al.* 2009).

La obtención de MO se realizó mediante el coeficiente entre PSLC/PSC (Armecin & Gabon. 2008). El cálculo de la entrada de MO por transporte, se obtuvo de la multiplicación de su concentración por el caudal del arroyo y por el tiempo transcurrido entre muestreos; el paso siguiente fue dividir el resultado anterior por el área del tramo fluvial. El contenido de carbono se obtuvo mediante el factor de van Bemelen, que es el coeficiente de MO/1,724 (Carbono = 58% de la MO; Armecin & Gabon. 2008). Una vez obtenidos estos valores, se estableció el coeficiente de la masa recogida en cada trampa por la superficie de captación y por el tiempo transcurrido entre muestreos, para expresar los resultados en  $\text{g.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$  (Pozo *et al.* 2009).

### **2.6.3. Metabolismo**

El contenido de carbono metabolizado por el arroyo, se cuantificó a partir de valores del oxígeno disuelto obtenidos de cámaras de flujo béntico (cámaras que permiten aislar *in situ* parte del sistema, para realizar mediciones, que no sean afectadas por el resto de las variables propias del sistema, es homólogo al proceso de cuantificación de producción primaria por método Winkler), cuyos valores se convirtieron a valores de Carbono mediante las siguientes ecuaciones (Acuña *et al.* 2009):

Para cámara oscura:

$$gC = gO_2(cf) \frac{12}{32}$$

Para cámara clara:

$$gC = gO_2 \frac{1}{cf} \frac{12}{32}$$

Donde se asume un coeficiente fotosintético (CF) de 1.2, es decir 1.2 moles de Oxígeno no liberados por mol de Carbono incorporado. 12 es el peso atómico del Carbono y 32 el peso molecular del O<sub>2</sub>.

Los datos de Carbono en el metabolismo se expresaron de igual manera que en los casos anteriores en gC.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>, para poder hacer las comparaciones respectivas (Pozo *et al.* 2009).

Con los datos de Ingreso, Deriva y Metabolismo se determinó el balance del carbono en el arroyo La Arenosa, haciendo uso de la ecuación modificada Pozo *et al.* (2009).

$$B = E - (S + M)$$

Donde S, es la salida del material en un tiempo x; E, es la entrada de material en el mismo período; M, es el metabolismo en las mismas unidades de tiempo y B es la variación en la acumulación de MOPG bentónica en el mismo período (Pozo *et al.* 2009).

Para el caso de los nutrientes N y P, las muestras fueron analizadas en el laboratorio PRODYCOM. Allí, el material se lavó con agua destilada, fue secado en un horno a 70°C, por un periodo de 48 horas, se realizó la molienda del material en un equipo Retch, hasta la obtención de un material fino “impalpable”, los gramos exactos para el análisis de nitrógeno y fosforo, se realizó con base en el cálculo de 1000+/-10 mg de muestra, y finalmente se realizó una digestión de kjeldhal.

Todas las comparaciones estadísticas se efectuaron mediante análisis no paramétricos de Kruskal Wallis dado que los datos según las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro Wilks no presentaron distribución normal ni homogeneidad de varianza, incluso luego de normalizaciones fuertes (Guisande *et al.* 2006). Se realizaron pruebas de contraste para los diferentes factores (Zona, Hidroperiodo, Ingresos, Deriva, Metabolismo), trabajando las interacciones más adecuadas. Todos los análisis se efectuaron con el programa SPSS 17 (SPSS Inc. 1989-2011 Headquarters, 233 S. Wackers Drive, 11 th floor Chicago, Illinois 606006).

### 3. Resultados

#### 3.1. Comportamiento del arroyo

El arroyo La Arenosa presenta dos hidroperíodos FDR y FDI, que para este estudio en particular correspondieron a 174 y 201 días, respectivamente. Adicional a los condicionamientos climáticos (precipitación, humedad relativa, velocidad del viento, temperatura, entre otras) y fluctuaciones de nivel que presentan estos pequeños arroyos, también se ven fuertes variaciones en cuanto a flujo, caudal y parámetros físico-químicos (tabla 1), teniendo por ejemplo diferencias en Q hasta de  $4\text{m}^3/\text{s}$  entre períodos.

**Tabla 1. Valores máximos, mínimos y media con DS de flujo, caudal y físico-químicos en el arroyo La Arenosa, en los dos períodos hidrológicos de estudio.**

Parámetro	FDR	FDI
Caudal "Q" ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	6.28 - 0.07 (1.41 +/- 1.05)	2.72 - 0.24 (0.59 +/- 0.32)
Profundidad (m)	1.42 - 0.22 (0.54 +/- 0.31)	0.7 - 0.34 (0.47 +/- 0.10)
Ancho ( $\text{m}^2$ )	2400 - 400 (628.30 +/- 354.19)	600 - 400 (569.23 +/- 72.39)
pH	6.22 - 5 (5.44 +/- 0.49)	6.75 - 6 (6 +/- 0.23)
Conductividad ( $\mu\text{s}/\text{m}$ )	31 - 11.9 (17.7 +/- 7.79)	46.8 - 26.5 (34 +/- 10.85)
Oxígeno Disuelto (mg/l)	4.83 - 2 (4.04 +/- 1.30)	6.6 - 4.48 (6 +/- 1.20)
Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	26.3 - 24.7 (25.56 +/- 0.54)	24.5 - 26.1 (25.41 +/- 0.69)

En general, se observa que existen diferencias en cuanto a las condiciones hidrológicas que presenta el arroyo, siendo mucho mayores los valores de flujo y caudal durante la Fase de Represamiento FDR y menores durante la Fase de Descarga Irregular FDI. Con respecto a las variables físico-químicas, encontramos mayores valores en la FDI. Estas condiciones igualmente pueden estar presentando efectos sobre los nutrientes que se encuentran en el sistema, presentándose relaciones N: P de 0,40. El valor de N: P

encontrado en el arroyo, difiere notablemente del encontrado en la hojarasca que ingresa al arroyo, cuya relación N: P fue de 21.87 en la zona menos intervenida y de 23.05 en la zona intervenida.

### **3.2. Aportes anuales**

En promedio al arroyo La Arenosa, ingresan  $5.47 \pm 0.3$  T MO  $\text{ha}^{-1}$   $\text{año}^{-1}$ . En términos de Carbono, los ingresos medios al arroyo La Arenosa son de  $2.71$  T C  $\text{ha}$   $\text{año}^{-1}$ , que corresponde a  $0.74 \pm 0.3$  g C  $\text{m}^2$   $\text{d}^{-1}$ . En cuanto a las zonas estudiadas se obtuvieron aportes en promedio de  $1.60 \pm 0.6$  g MO  $\text{m}^2$   $\text{d}^{-1}$  ( $0.80 \pm 0.3$  g C  $\text{m}^2$   $\text{d}^{-1}$ ), para la zona intervenida, sin existir diferencias significativas ( $n=260$ ,  $K= 12.01$ ,  $p =0.001$ ), respecto a la zona menos intervenida, donde el aporte promedio fue de  $1.36 \pm 0.82$  g MO  $\text{m}^2$   $\text{d}^{-1}$  ( $0.68 \pm 0.41$  g C  $\text{m}^2$   $\text{d}^{-1}$ ).

Para el caso de los hidroperíodos, la FDR, presentó el menor aporte con  $2.83 \pm 1.7$  g MO  $\text{m}^2$   $\text{d}^{-1}$  ( $1.41 \pm 0.85$  g C  $\text{m}^2$   $\text{d}^{-1}$ ), mientras la FDI, presentó  $0.1$  g MO  $\text{m}^2$   $\text{d}^{-1}$  de más respecto a FDR (tabla 2), dentro de los resultados, se presentó un pico en los aportes de carbono en el mes de Abril, (Figura 5).

Tabla 2. Variación media y DS en los componentes de Ingreso y Deriva en el arroyo La Arenosa, durante los dos periodos hidrológicos (FDR y FDI), en los dos lugares analizados (intervenido y menos intervenido).

	FDR		FDI	
	Intervenida	Menos intervenida	Intervenida	Menos intervenida
Ingreso MO (g)	1.37 +/- 0.75	1.07 +/- 0.72	1.33 +/- 0.78	1.20 +/- 0.88
Ingreso C (g)	0.79 +/- 0.43	0.62 +/- 0.41	0.77 +/- 0.45	0.69 +/- 0.51
Promedio (Ing. C)	0.70 +/- 0.43		0.73 +/- 0.48	
Deriva MO (g)	0.005 +/- 0.010	0.008 +/- 0.034	0.005 +/- 0.016	0.009 +/- 0.028
Deriva C (g)	0.0024 +/- 0.005	0.0044 +/- 0.017	0.0026 +/- 0.008	0.0047 +/- 0.014
Promedio (Der. C)	0.0032 +/- 0.011		0.0036 +/- 0.011	

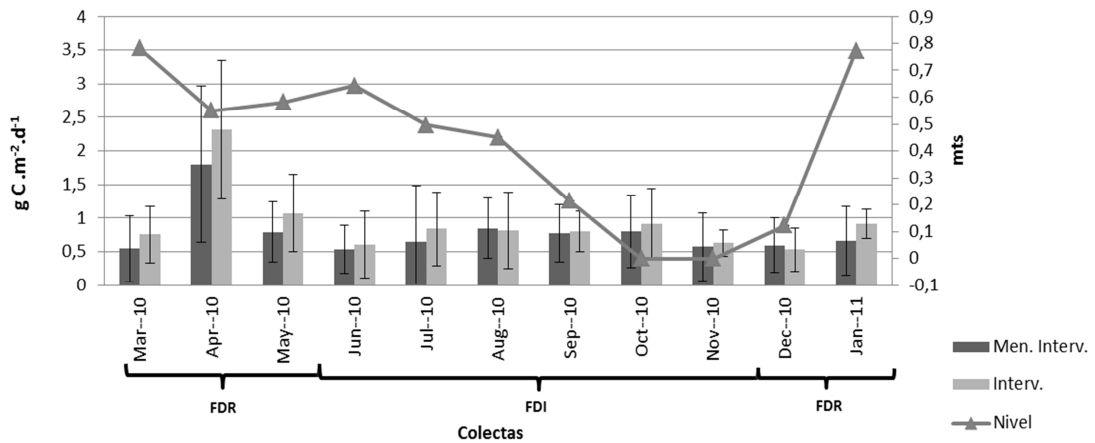


Figura 5. Aportes de  $g C m^2 d^{-1}$ , por cada muestreo en cada zona (intervenida y menos intervenida), contrastados con la curva de nivel del arroyo La Arenosa.

En cuanto a las fracciones, la que mayor aporte de carbono realiza al total general es la fracción de hojas, con  $0.94 \pm 0.54 g MO m^2 d^{-1}$  ( $0.47 \pm 0.27 g C m^2 d^{-1}$ ), mientras que hongos fue la menor con  $0.022 g MO m^2 d^{-1}$  ( $0.11 g MO m^2 d^{-1}$ ), la cual solo se presentó en FDI (Tabla 3). Es pertinente mencionar que la fracción Hongos, junto con los frutos son

fracciones que solo se presentaron durante la FDI, pero comparativamente con el resto de las fracciones analizadas representan un gran aporte de carbono al muestreo.

**Tabla 3. Promedio y DS de aportes de Carbono de las diferentes fracciones a lo largo del año de muestreo en el arroyo La Arenosa.**

	<b>FDR</b>		<b>FDI</b>	
	<b>Intervenida</b>	<b>Menos Intervenida</b>	<b>Intervenida</b>	<b>Menos Intervenida</b>
<b>Hojas</b>	0,41±0,24	0,50±0,28	0,43±0,23	0,54±0,30
<b>Semillas</b>	0,058±0,11	0,08±0,17	0,075±0,31	0,04±0,10
<b>Flores</b>	0,017±0,046	0,014±0,046	0,013±0,03	0,003±0,026
<b>Ramas</b>	0,10±0,18	0,11±0,20	0,19±0,29	0,10±0,12
<b>Insectos</b>	0,001±0,005	0,0023±0,013	0,0012±0,007	0,007±0,021
<b>MP</b>	0,016±0,028	0,03±0,058	0,04±0,08	0,11±0,18
<b>Frutos</b>	-	1,04	-	0,007
<b>Hongos</b>	-	-	0,011	-

### 3.3. Deriva

El arroyo La Arenosa en promedio derivó  $0,003 \pm 0,01 \text{ g C m}^2 \text{ d}^{-1}$ , siendo menor en el hidroperíodo Fase de Descarga Regulada (FDR;  $0,0032 \pm 0,011 \text{ g C m}^2 \text{ d}^{-1}$ ), frente al periodo Fase de Descarga Irregular FDI, donde derivó (FDI;  $0,0036 \pm 0,011 \text{ g C m}^2 \text{ d}^{-1}$ ; Figura 6), la fracción mayormente derivada fue MOPG, con ( $0,0059 \pm 0,015 \text{ g C m}^2 \text{ d}^{-1}$ ), mientras la MOPF derivada fue de ( $0,00087 \pm 0,0021 \text{ g C m}^2 \text{ d}^{-1}$ ). En la intervenida, se transportaron ( $0,002 \pm 0,006 \text{ g C m}^2 \text{ d}^{-1}$ ), valor inferior al transportado por la zona menos intervenida ( $0,004 \pm 0,01 \text{ g C m}^2 \text{ d}^{-1}$ ) ( $F=4.9$ ,  $p= 0.02$ ).



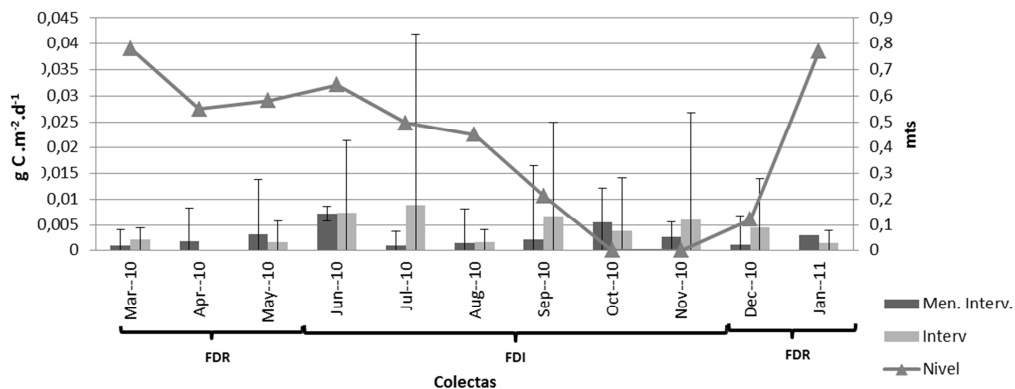


Figura 6. Deriva promedio por cada muestreo y por zona (Intervenida y menos intervenida) en el arroyo La Arenosa.

### 3.4. Metabolismo

Los valores de metabolismo del arroyo La Arenosa, son expresados como la producción neta diaria del ecosistema (PNE), la cual presenta variaciones con respecto al hidroperíodo, presentándose para FDR una PNE de de  $0.0038 \text{ g C m}^2 \text{ d}^{-1}$ , mientras que para el período FDI, la PNE fue de  $0.003 \text{ g m}^2 \text{ d}^{-1}$ .

El proceso metabólico del arroyo La Arenosa presentó una dominancia del proceso respiratorio frente al fotosintético. El coeficiente entre la Productividad Primaria Bruta (PPB) y Respiración (Re), para el período FDR fue de 0,1, mientras que para el período FDI fue de 0,2 (Tabla 4). En ambos casos el balance fue inferior a 1 significando esto, que el arroyo La Arenosa es un arroyo heterotrófico y que depende de la materia orgánica que ingresa al arroyo para sus procesos metabólicos.

**Tabla 4. Producción primaria bruta, Respiración, por cada hidroperíodo en el arroyo La Arenosa.**

	<b>FDR</b>	<b>FDI</b>
<b>PPB</b>	0,000405289	0,0004889
<b>Re</b>	0,002410482	0,0017591

Con respecto al balance de carbono, se observa que existe un gran ingreso, una baja deriva del mismo, y un metabolismo bajo (tabla 5), lo que finalmente conduce a un almacenamiento del 90% del carbono que ingresa por día al arroyo La Arenosa.

**Tabla 5. Balance de los flujos de Carbono (en gramos de Carbono m<sup>2</sup> día y porcentaje) en el arroyo La Arenosa.**

	<b>Ingreso</b>	<b>Deriva</b>	<b>Metabolismo</b>	<b>Sedimento</b>
<b>g C .m-2.d-1</b>	0,74	0,03	0,003	0,707
<b>%</b>	100	4,05	0,4	95,5

## 4. Discusión

### 4.1. Dinámica de los aportes de hojarasca

En el arroyo La Arenosa, se evidencia diferencia en los aportes de MO, asociados a los procesos de intervención. Los aportes de MO registrados para el arroyo La Arenosa son mucho menores que otros reportes hechos también para la cuenca amazónica,  $0,09 \text{ g MO m}^2 \text{ d}^{-1}$ : Carvalho & Uieda. 2010;  $1 \text{ g MO m}^2 \text{ d}^{-1}$ : Gonçalves *et al.* 2006;  $1,65 \text{ g MO m}^2 \text{ d}^{-1}$ : Rice *et al.* 2004;  $2,19 \text{ g MO m}^2 \text{ d}^{-1}$ : Dantas & Phillipson. 1989;  $2,358 \text{ g MO m}^2 \text{ d}^{-1}$ : Chave *et al.* 2010;  $2,5 \text{ g MO m}^2 \text{ d}^{-1}$ : Vasconcelos & Luizao. 2004;  $3 \text{ g MO m}^2 \text{ d}^{-1}$ : Selva *et al.* 2007. Igualmente, los ingresos de MO en el arroyo La Arenosa, siguen siendo en promedio menores, tanto para la región amazónica, como para la Amazonia Central, la región tropical y para otras latitudes (Tabla 6).

Tabla 6. Promedio de ingresos ( $\text{g m}^2 \text{ d}^{-1}$  MO y C) y deriva ( $\text{g m}^2 \text{ d}^{-1}$  C), en diferentes ubicaciones.

Lugar	Ingreso g MO m2.día-1	Ingreso gC.m2.Día-1	Deriva gC.m2.Día-1
Leticia	1,29	0,75	0,003
Amazonia	1,89	1,585	0,00240135
Tropico	2,87	0,996	0,0047
Tropico montaña	2,96	0	0
USA	1,26	0	0,00689
Otras latitudes	2	0	0,001443333

Los autores por cada territorio se referencian a continuación: 1. Dantas & Phillipson. 1989, Vasconcelos & Luizao. 2004, Rice *et al.* 2004, Gonçalves *et al.* 2006, Johnson *et al.* 2006, Selva *et al.* 2007, Chave *et al.* 2010, Carvalho & Uieda. 2010, Neu *et al.* 2011. 2. Tanner. 1980, McDowell & Asbury. 1994, Di Stefano & Fournier. 2005, Quinto *et al.* 2007, Bonilla *et al.* 2008. 3. Rodríguez *et al.* 2008. 4. Wallace *et al.* 1995, Mulholland. 1997, Webster & Meyer. 1997, Benfield *et al.* 2000. 5. Meyer *et al.* 1981, Swank & Waide. 1988, Marxsen *et al.* 1997, Cillero *et al.* 1999, Clark *et al.* 2001.

Estas diferencias en cuanto a los aportes, puede obedecer a los orígenes de las cuencas estudiadas, pues la mayoría de estos estudios se han realizado en la Amazonia central en

Brasil, cuyo origen es más antiguo, respecto a la Várzea del arroyo La Arenosa, la cual es más reciente y de otros orígenes geológicos (Galvis *et al.* 2006).

Igualmente, el arroyo La Arenosa se comporta como un arroyo de bajo orden, según lo propuesto por Junk & Wantzen (2006), presentando fuertes variaciones de nivel en cortos períodos de tiempo, a pesar de presentar en términos generales dos hidroperíodos claramente definidos (FDR y FDI). Estos hidroperíodos no afectan los aportes de carbono proveniente de la MO hacia el arroyo La Arenosa.

Estos resultados presentan una mayor asociación frente a la precipitación (Sig = 0.016) que con respecto al nivel del arroyo (Sig < 0.01; Figura 7). Estas asociaciones han sido reportadas previamente para bosques semi-desiduos (Arato *et al.* 2003, Araujo *et al.* 2002 en Selva *et al.* 2007). Esta correlación positiva entre los aportes de MO y la precipitación es también reportada para la región de la amazonia central por Luizao *et al.* (1989). Igualmente Gonçalves *et al.* (2006) sustentan que existe un mayor aporte de MO durante el período de lluvia, debido a que durante este momento es cuando mayores vientos y tormentas se presentan.

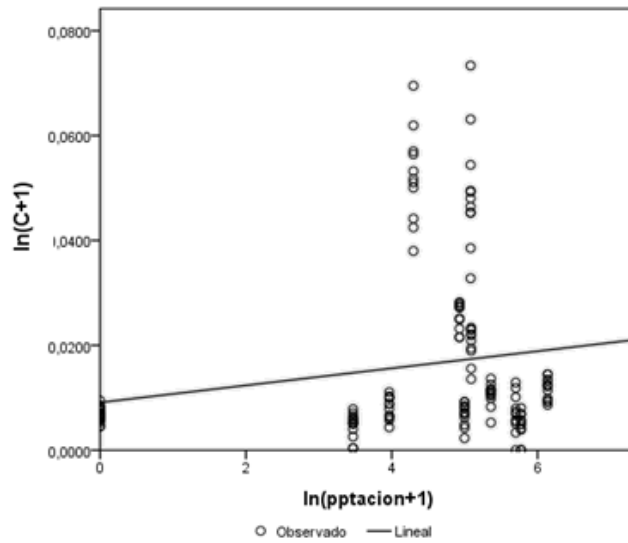


Figura 7. Regresión entre ingresos de carbono y precipitación (estandarizados; R. 0.285,  $R^2$ . 0.081,  $P < 0.01$ ), en el arroyo La Arenosa.

En términos generales, para las zonas del centro y la baja Amazonia, se reportan en mayores aportes de MO y carbono en los períodos secos. Reportes anteriores a 1990 como el de Dantas *et al.* (1989), mencionan un mayor aporte de hojarasca en el período seco. Otros estudios explican el mayor ingreso de MO, debido al estrés hídrico que sufren las plantas durante el período de sequía (Cuevas & Medina. 1986 en Selva *et al.* 2006, Barbosa & Fearnside. 1996, Lawrance *et al.* 2005).

Los valores de carbono aportados por el bosque ripario al arroyo La Arenosa inferiores a los reportados para bosques maduros amazónicos (Tabla 6). Existen reportes de  $1,56 \text{ g C m}^2 \text{ d}^{-1}$  (Selva *et al.* 2007);  $1,61 \text{ g C m}^2 \text{ d}^{-1}$  (Johnson *et al.* 2006),  $0,94 \text{ g C m}^2 \text{ d}^{-1}$  (Clark *et*

*al.* 2001), que superan en casi un orden de magnitud los aportes recibidos por el arroyo La Arenosa. Al igual que la MO, se reciben mayores aportes de Carbono durante la FDR.

Para el arroyo La Arenosa, la fracción que mayor aporte de carbono suministra, al igual que otros estudios realizados en la Amazonia central resulta ser la fracción de Hojas, donde se reportan aportes superiores al 50% de las fracciones (Selva *et al.* 2006), en otros estudios, se han encontrado valores superiores, llegando a ser hasta de 61% (Barbosa & Feranside. 1986) y 67% (Maritus *et al.* 2004).

La diferencia en cuanto a los aportes de MO y carbono pueden obedecer principalmente a las metodologías empleadas, pues en la mayoría de los casos se trabaja directamente sobre PS o PSLC, mientras en este caso se siguió la metodología de Armecin & Gabon (2008) para la determinación de MO y Carbono.

#### **4.2. Procesos de deriva**

La deriva en el arroyo La Arenosa, representa un valor superior a lo reportado por otros investigadores, quienes obtienen valores como  $0,000003 \text{ g C m}^2 \text{ d}^{-1}$  (Neu *et al.* 2011);  $0,004700 \text{ g C m}^2 \text{ d}^{-1}$  (McDowell & Asbury. 1994) y de  $0,004800 \text{ g C m}^2 \text{ d}^{-1}$  (Johnson *et al.* 2006). Igualmente, Johnson *et al.* (2006), comentan dentro de su estudio otros reportes, como los de Meyer *et al.* (1981), Swank & Waide (1988), Wallace *et al.* (1995), Marxsen *et al.* (1997), Mulholland (1997) y Webster & Meyer (1997), en los cuales el mayor reporte equivale a  $0,0081 \text{ g C m}^2 \text{ d}^{-1}$ , valor aún muy distante de la cantidad de carbono que se encuentra derivando en el arroyo La Arenosa.

Es importante mencionar que los estudios mencionados por Johnson *et al.* (2006), corresponden a otras latitudes y condiciones climáticas y diferentes características de los arroyos. También es importante mencionar que en este estudio solo se trabaja el Carbono Orgánico Particulado, fracción que corresponde (1,8-3,8%) del Carbono Orgánico Total derivado en los arroyos (Wallace *et al.* 1995 en Johnson *et al.* 2006).

Los arroyos en general son cursos de agua que se comportan como un continuo, y que las variaciones ocurridas en los arroyos de menor orden afectarán a los arroyos que se encuentren más adelante (Vannote *et al.* 1980). Igualmente el modelo desarrollado por Vannote *et al.* (1980), propone que en los arroyos de bajo orden se presentan ensamblajes de microorganismos que procesan de manera diferencial las fracciones de MO que ingresan a los arroyos. Sin embargo, esta posición no es tan aplicable a los arroyos amazónicos de bajo orden, como lo es el arroyo La Arenosa, que como ya se ha mencionado, funciona más como un pequeño arroyo pulsátil, con variaciones fuertes de nivel en cortos períodos de tiempo, tal y como lo propone Junk & Wantzen (2006) y que además no cuenta con los ensamblajes de microorganismos para el procesamiento de MO, como lo propone Vannote *et al.* (1980) para arroyos de otras latitudes y altitudes, siendo la MO que ingresa al arroyo La Arenosa, fraccionada mediante medios físicos debido a los hidroperíodos y la pulsación de este arroyo (Junk & Wantzen. 2006, Rueda-Delgado *et al.* 2006).

El arroyo La Arenosa, dentro de su “pulsación”, presenta para FDR una deriva de mayor ( $0.013 \text{ g C m}^2 \text{ d}^{-1}$ ), con respecto al período FDI, para el cual la deriva fue de ( $0.01 \text{ g C m}^2 \text{ d}^{-1}$ ), sin existir diferencias significativas entre las dos fases. Estas breves diferencias

pueden obedecer a las diferencias en cuanto al caudal, que en general son mayores durante la FDR (Johnson *et al.* 2006, Rodríguez *et al.* 2007, Selva *et al.* 2007, Rodríguez *et al.* 2008).

Respecto a los ingresos, la deriva es una fracción reducida, correspondiente al 7% del flujo total de carbono. Esta condición de baja deriva, junto con la lenta degradación de la materia orgánica que ingresa al arroyo La Arenosa (de hasta 15 años; Rueda-Delgado *et al.* 2006), produce un efecto similar al propuesto por Gonçalves *et al.* (2006), consistente en una gran acumulación neta de materia orgánica en la capa béntica del arroyo.

#### **4.3. Metabolismo**

El metabolismo del arroyo La Arenosa, muestra que los procesos de fotosíntesis (PPB) son inferiores en casi un orden de magnitud en promedio, respecto a los procesos respiratorios (Re);  $0,44 \text{ mg C m}^2 \text{ d}^{-1}$ ;  $2 \text{ mg C m}^2 \text{ d}^{-1}$ , respectivamente. Dadas las condiciones del bosque circundante (dosel cerrado), esta condición es completamente factible, como lo mencionan Fellows *et al.* 2006, quienes en sus estudios reportan valores de PPB entre 0.01 mg a 2990 mg, dependiendo de la condición de cobertura del lugar analizado. Por otro lado, los valores de respiración, son inferiores a los mencionados por Fellows *et al.* en sus estudios, quienes reportan valores de respiración de 10 a 2340  $\text{mg C m}^2 \text{ d}^{-1}$

Esta condición del arroyo de presentar una dominancia de los procesos respiratorios frente a los fotosintéticos, implica que en el arroyo La Arenosa se genera exportación neta de dióxido en los dos hidroperíodos evaluados, siendo un 5% mayor durante el



período FDR. Igualmente, se encuentra que el arroyo La Arenosa es heterotrófico, dependiente de la MO que entra al sistema para solventar sus procesos metabólicos y sostener la fauna allí presente (Meyer. 1989 en Young *et al.* 2008). En general se encuentra que los arroyos presentan una variabilidad en cuanto a su metabolismo asociada a los períodos estacionales, siendo en general autotróficos en períodos de verano (baja lluvia) con mucha luz y heterotróficos en períodos de invierno o lluvias altas (Molla *et al.* 1994; Houser *et al.* 2005), sin embargo, para este arroyo de la alta Amazonia y de la región tropical las estaciones no serían un condicionante del metabolismo, como si lo puede llegar a ser la cobertura del dosel sobre el arroyo (Fellows *et al.* 2006).

Se ha mencionado que estos ríos y arroyos heterotróficos de la amazonia, están funcionando como exportadores netos de carbono. Dicha afirmación está fuertemente solventada por estudios de Richey *et al.* (2002) y Mayorga *et al.* (2006), quienes mencionan que los cuerpos de agua en el Amazonas exportan más carbono hacia la atmósfera, de lo que pueden transportar hacia ríos de orden superior y el océano.

## 5. Conclusiones y Recomendaciones

### 5.1. Balance de Carbono Orgánico Particulado en el arroyo La Arenosa

Los balances y flujos de carbono han sido ampliamente explorados en los últimos años, principalmente en cuanto a ecosistemas terrestres se refiere, y se ha mencionado que los bosques amazónicos juegan un papel fundamental en cuanto a grandes sumideros o almacenadores de Carbono (Phillips *et al.* 1998, Phillips *et al.* 2005, Chave *et al.* 2010). Sin embargo en cuanto a ecosistemas acuáticos se refiere, aun existen numerosas posiciones encontradas, en la cuales algunos autores afirman que estos ecosistemas son emisores de carbono (Richey *et al.* 2002, Mayorga *et al.* 2006). Sin embargo, otros autores afirman que no es pertinente establecer balances totales de carbono, sin tener en cuenta que papel juegan con exactitud los ríos y arroyos continentales, pues estos más que ser emisores pueden estar jugando un papel importante como almacenadores de carbono (Battin *et al.* 2009, Cole *et al.* 2007).

Como ya se ha mencionado, al arroyo La Arenosa se encuentra ingresando mucho menos carbono de lo que ha sido reportado en general para otros bosques riparios; sin embargo, la deriva que en el arroyo se presenta también es bastante baja (7% del ingreso total), lo que implica que el carbono restante (90%), es respirado o sepultado como se propone para sistemas con bajos caudales. La respiración para el arroyo La Arenosa al igual que la deriva es bastante baja (1.8%), lo que implica procesos de sedimentación en el arroyo.

Finalmente, este estudio permite generar un pequeño aporte, que complementa estudios como el de Johnson *et al.* (2006) en la Amazonia central, y genera nuevos aportes de los balances del carbono en la alta Amazonia. Igualmente, aporta bases para una nueva visión y entendimiento de estos arroyos, no como fuentes de carbono como han sido denominados balances globales de carbono, sino como parte fundamental en los ciclos de carbono, como lo menciona Cole *et al.* (2007), pasando de ser entendidos como tuberías, a sistemas dinámicos e inclusive como posibles sumideros de carbono, llegando inclusive a almacenar más del 90% del Carbono que ingresa ( $0.70 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ; Figura 8).

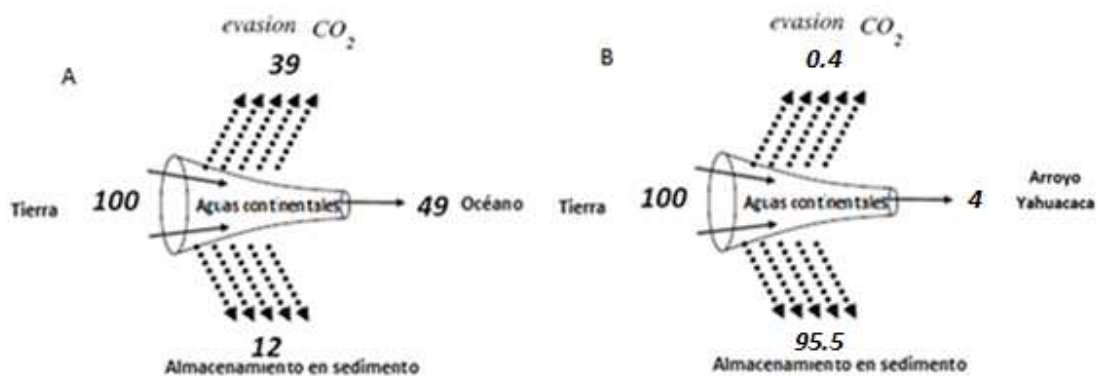


Figura 8. Flujos de carbono. A: Modelo planteado por Cole *et al.* (2007), donde los sistemas continentales respiran hasta 39% del carbono que ingresa. B: Modelo adaptado al arroyo La Arenosa, donde cerca del 90% del carbono que ingresa se almacena en el sedimento.

## 5.2. Recomendaciones

En definitiva, los flujos de Carbono actuales carecen de información importante como la que puede ser generada a partir de estos pequeños arroyos. Se evidencia además, que el comportamiento de estos sistemas de bajas corrientes, permite que mucho del Carbono Orgánico que ingresa, sea almacenado, lo que puede generar un gran impacto en los estudios de cambio climático.

Este tipo de estudios, permitirá ubicar a la amazonia no solo como un gran foco étnico-cultural y forestal, adicionalmente permitirá realizar estudios más amplios y completos de los pequeños pero numerosos arroyos amazónicos, para entender de manera más amplia y concreta su verdadera importancia dentro de los ciclos biogeoquímicos globales.

Finalmente, la necesidad de potencializar los estudios sobre flujos de Carbono es de suma importancia, más aun cuando no se cuenta con modelos de flujo completos, los arroyos en general y los arroyos amazónicos en particular, pueden generar nuevos aportes importantes, como se observa en este estudio .

Por esta razón, se considera muy importante realizar estudios complementarios a lo largo del arroyo La Arenosa, además de plantear la posibilidad de repetir modelos homólogos al realizado en este estudio, para otros arroyos de porte similar.

Igualmente la necesidad de plantear nuevas metodologías que permitan optimizar el trabajo en campo, para poder de esta manera generar más puntos y resultados que aporten a completar los flujos de Carbono.

## 6. Bibliografía

- Acuña, V., Guasch, H., Giorgi, A. & Izaguirre, O. 2009. Flujo de energía en el ecosistema. Metabolismo fluvial. Pág. 20. Págs. 367-386. En: A. Elosegui & S. Sabater (eds.). Conceptos y técnicas en ecología fluvial. Fundacion BBVA.
- Armecin, R. B. & Gabon, F. M. 2008. Biomass, organic carbon and mineral matter contents of abaca (*Musa textilis* Nee) at different stages of growth. *Industrial crops and products* 28: 340-345.
- Barbosa, R. I. & Fearnside, M. 1996. Carbon and nutrient flows in an Amazonian forest: Fine litter production and composition at Aipau, Roraima, Brazil. *Tropical Ecology* 37 (1): 115-125.
- Battin, T. J., Luysaert, S., Kaplan, L. A., Aufdenkampe, A. K., Richter, A. & Tranvik, L. J. 2009. The boundless carbon cycle. *Nature geoscience* 2: 598-600
- Chave, J., Navarrete, D., Almeida, S., Álvarez, E., Aragão, L. E., Bonal, D., Châtelet, P., Silva-Espejo, J. E., Goret, J. Y., von Hildrebandt, P., Jimenez, E., Patiño, S., Peñuela, M. C., Phillips, O. L., Stevenson, P. & Malhi, Y. 2010. Regional and seasonal patterns of litterfall in tropical South America. *Biogeosciences* 7: 43-55.
- Clark, D. A., Brown, S., Kicklighter, D. W., Chambers, J. Q., Thomlinson, J.R., Ni, J. & Holland, E. A. 2001. Net primary production in tropical forest: An evaluation and synthesis of existing field data. *Ecological applications* 11 (2): 371-384.
- Cole, J. J., Prairie, Y. T., Caraco, N. F., McDowell, W. H., Tranvik, L. J., Striegl, R. G., Duarte, C. M., Kortelainen, P., Downing, J. A., Middelburg, J. J. & Melack, J. 2007. Plumbing the Global Carbon Cycle: Integrating Inland Waters into the Terrestrial Carbon Budget. *Ecosystems* 10 (1): 171-184.
- Dantas, M. & Phillipson, J. 1989. Litterfall and litter nutrient content in primary and secondary Amazonian "terra firme" rain forest. *Journal of Tropical Ecology* 5: 27-36.
- Fellows, C. S., Clapcott, J. E., Udy, J. W., Bunn, S. E., Harch, B. D., Smith, M. J. & Davies, P. M. 2006. Benthic metabolism as an indicator of stream ecosystem health. *Hydrobiologia* 572, 71-87.
- Forja, J. M., Ortega, T., Del Valls, T. A. & Gomez-Parra, A. 2001. Influence of benthic regeneration on the biogeochemical cycle of CO<sub>2</sub> in littoral ecosystems. *Ciencias Marinas* 27 (3): 311-333.
- Galvis, G., Mojica, J. I., Duque, S. R., Castellanos, C., Sánchez-Duarte, P., Arce, M., Gutiérrez, A., Jiménez, L. F., Santos, M., Vejarano-Rivadeneira, S., Arbelaez, F., Prieto, E. & Leiva, M. 2006. Peces del medio Amazonas. Región de Leticia. Series de Guías Tropicales de Campo N° 5. Conservación Internacional. Editorial Panamericana, Formas e impresos. Bogotá, Colombia. 548 pp.

- Guisande, C., Barreiro, A., Maneiro, I., Riveiro, I., Vergara, A. R. & Vaamonde, A. 2006. Tratamiento de Datos. Ediciones Diaz de Santos. España. 356p.
- Gonçalves, J. F., Silva, J. & Callisto, M. 2006. Dynamics of Allochthonous Organic Matter in a Tropical Brazilian Headstream. *Brazilian archives of biology and technology* 49 (6): 967-973.
- Houghton, R. A. 2007. Balancing the Global Carbon Budget. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 35: 313-347.
- Houser, J. N., Mulholland, P. & Maloney, K. 2005. Catchment disturbance and stream metabolism: patterns in ecosystem respiration and gross primary production along a gradient of upland soil and vegetation disturbance. *North American Benthological Society* 24 (3): 538-552.
- Johnson, M. S., Lehman, J., Selva, E. C., Abdo, M., Riha, S. & Guimarães, E. 2006. Organic carbon fluxes within and streamwater exports from headwater catchments in the southern Amazon. *Hydrological processes* 20:2599-2614.
- Junk, W. J., Nunes da Cunha, C., Wantzen, K. M., Petermann, P., Strüssmann, C., Marques, M. I. & Adis, J. 2006. Biodiversity and its conservation in the Pantanal of Mato Grosso, Brazil. *Aquatic Sciences* 68: 278-309.
- Lawrence, D. 2005. Regional-Scale Variation in Litter Production and Seasonality in Tropical Dry Forests of Southern Mexico. *Biotropica* 37 (4): 561-570.
- Luizao, F. J. 1989. Litter Production and Mineral Element Input to the Forest Floor in a Central Amazonian Forest. *GeoJournal* 19 (4): 407-417.
- Mayorga, E., Aufdenkampe, A. K., Masiello, C. A., Krusche, A. V., Hedges, J. I., Quay, P. D., Richey, J. E. & Brown, T. A. 2005. Young organic matter as a source of carbon dioxide outgassing from Amazonian rivers. *Nature* 436: 538-541.
- McDowell, W. H. & Asbury, C. E. 1994. Export of carbon, nitrogen, and major ions from three tropical montane watersheds. *American Society of Limnology & Oceanography* 39 (1): 111-125.
- Molla, S., Maltchik, L. & Casado, C. 1994. Primeros datos sobre el metabolismo de un arroyo temporal mediterráneo de Sierra Morena(Córdoba). *Limnetica* 10 (1): 59-67.
- Neu, V., Neill, C. & Krusche, A. V. 2011. Gaseous and fluvial carbón export from an Amazon forest watershed. *Biogeochemistry* 1-15.
- Phillips, O. L., Malhi, Y., Higuchi, N., Laurance, W. F., Nuñez, P. V., Vasquez, R. M., Laurance, S. G., Ferreira, L. V., Stern, M., Brown, S. & Grace, J. 1998. Changes in the carbon balance of tropical forests: Evidence from long-term Plots. *Science* 282: 439-442.

Phillips, O. L., Aragão, L. E., Lewis, S. L., Fisher, J. B, Lloyd, J., López-González, G., Malhi, Y., Monteagudo, A., Peacock, J., Quesada, C. A., Van der Heijden, G., Almeida, S., Amaral, L., Arroyo, L., Aymard, G., Baker, T. R., Bánki, O., Blanc, L., Bonal, D., Brando, P., Chave, J., Alves de Oliveira, A. C., Dávila Cardozo, N., Czimczik, C. I., Feldpausch, T. R., Freitas, M. A., Gloor, E., Higuchi, N., Jiménez, E., Lloyd, G., Meir, P., Mendoza, C., Morel, A., Neill, D. A., Nepstad, D., Patiño, S., Peñuela, M. C., Prieto, A., Ramírez, F., Schwarz, M., Silva, J., Silveira, M., Thomas, S. A., ter Steege, H., Stropp, J., Vásquez, R., Zelazowski, P., Alvarez Dávila, E., Andelman, S., Andrade, A., Chao, K., Erwin, T., Di Fiore, A., Honorio, E., Keeling, H., Killeen, T., Laurance, W., Peña Cruz, A., Pitman, N., Núñez Vargas, P., Ramírez-Angulo, H., Rudas, A., Salamão, R., Silva, N., Terborgh, J. & Torres-Lezama, A. 2009. Drought sensitivity of the Amazon rainforest. *Science* 323: 1344-1347.

Pozo, J., Elosegui, A., Diez, J. & Molinero, J. 2009. Flujo de energía en el ecosistema. *Metabolismo fluvial*. Pág. 10. Págs. 140 - 167. En: A. Elosegui & S. Sabater (eds.). *Conceptos y técnicas en ecología fluvial*. Fundación BBVA.

Quinto, H., Ramos, Y. A. & Abadia, D. A. 2007. Cuantificación de la caída de hojarasca como medida de la productividad primaria neta en un bosque pluvial tropical en Salero, Chocó, Colombia. *Revista Institucional Universidad Tecnológica del Chocó* 26: 28-41

Richey, J. E., Melack, J. M., Aufdenkampe, A. K., Ballester, V. M. & Hess, L. L. 2002. Outgassing from Amazonian rivers and wetlands as a large tropical source of atmospheric CO<sub>2</sub>. *Nature* 416: 617-620.

Rodríguez, J. R. & Ospina, R. 2007. Retención de material orgánica particulada gruesa en una quebrada de montaña tropical. Bogotá, Colombia. *Acta biológica Colombiana* 12 (2): 33-46.

Rodríguez-Barrios, J. R., Ospina-Torres, R. & Gutiérrez, J.D. 2008. Entradas y transporte de material orgánica en una quebrada tropical de montaña. Bogotá, Colombia. *Caldasia* 30 (2): 421-440.

Rueda-Delgado, G., Wantzen, K. M. & Beltrán, M. 2006. Leaf-litter decomposition in an Amazonian floodplain stream: effects of seasonal hydrological changes. *Journal of North American Benthological Society* 25(1): 233–249.

Selva, E. C., Guimaraes, E. G., Johnson, M. S. & Lehmann, J. 2007. Litterfall production and fluvial export in headwater catchments of the southern Amazon. *Journal of Tropical Ecology* 23: 329–335.

Sioli H. 1967. Studies in Amazonian waters. En *Atas do simposio a Biota Amazônica*. 3: 9-50.



Vannote, R. L., Minshall, G. M., Cummins, K. W., Sedell, J. R. & Cushing, C. E. 1980. The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 37: 130-137.

Vasconcelos, H. L., & Luizão, F. J. 2004. Litter production and litter nutrient concentrations in a fragmented Amazonian landscape. *Ecological applications* 14 (3): 884-892.

Wantzen, K. M., Rosa, F. R., Neves, C. O. & Nunes da cunha, C. 2005. Leaf litter addition experiments in riparian ponds with different connectivity to a cerrado stream in Mato Grosso, Brazil. *Amazoniana* XVIII (3/4): 387-396.

Young, R. G., Matthaei, C. D. & Townsend, C. R. 2008. Organic matter breakdown and ecosystem metabolism: functional indicators for assessing river ecosystem health. *North American benthological society* 27 (3): 605-625.