

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

**Evaluación preliminar de los efectos del tránsito fluvial motorizado en
la concentración de sedimentos suspendidos en el agua del Río Napo**

Jorge Luis Maldonado Arciniegas

Tesis de grado presentada como requisito para la obtención del título de
Ecología Aplicada

Quito, Mayo 2011

Universidad San Francisco de Quito
Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales

HOJA DE APROBACION DE TESIS

**Evaluación preliminar de los efectos del tránsito fluvial motorizado en
la concentración de sedimentos suspendidos en el agua del Río Napo**

Jorge Luis Maldonado Arciniegas

Stella de la Torre, Ph.D.
Directora de la Tesis

Stella de la Torre, Ph.D.
Decana del Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales

Quito, Mayo 2011

© Derechos de autor

Jorge Luis Maldonado Arciniegas

2011

Agradecimientos

Esta investigación no hubiera sido posible sin la ayuda de Jorge Celi, Stella de la Torre y Gustavo Muñoz.

Mi estudio es parte de un proyecto más grande realizado por Jorge Celi con el auspicio de World Wildlife Fund, National Geographic Society, National Science Foundation y Michigan State University. Este proyecto es sobre los “Controles hidrológicos de los ecosistemas dulceacuícolas asociados al Río Napo”. Identifica la variabilidad temporal y espacial de los niveles del agua en la cuenca baja del Río Napo con el objetivo de evaluar la extensión y la diversidad de sus planicies de inundación.

Sinopsis

Los ríos andino amazónicos son conocidos por poseer una cantidad considerable de sedimentos suspendidos en el agua. La concentración de esta variable es considerada un factor importante en ecología acuática y se la utiliza comúnmente como un indicador para evaluar el estado del ecosistema. En los últimos tiempos en uno de los principales tributarios del Río Amazonas, el Río Napo en el Ecuador, se ha evidenciado un aumento en el tránsito fluvial motorizado. Por este motivo esta investigación trata de observar los posibles efectos que este factor pueda tener en la concentración de sedimentos suspendidos en el agua y en el tamaño de grano del suelo de las orillas del río. Estas características fueron comparadas en dos regiones que presentan una visible diferencia en la intensidad de tránsito fluvial motorizado. A pesar de que la diferencia de concentración de sedimentos suspendidos entre las regiones no fue significativa, el valor promedio fue mayor en la región alta (oeste) del río que en la región baja (este) del río. Además, las curvas granulométricas de los suelos de las orillas de la región alta del río son más heterogéneas que las de la parte baja. Debido a que la región alta del río posee más tránsito fluvial motorizado, mis resultados sobre la mayor concentración de sedimentos suspendidos en el agua y los tamaños heterogéneos de partículas de suelo, sugieren que el transporte fluvial motorizado podría tener un efecto sobre los sedimentos suspendidos en la región ecuatoriana del Río Napo.

Abstract

Several rivers of the Amazon are known for having a considerable amount of suspended sediments in the water. The concentration of this variable is considered an important factor in aquatic ecology and it is commonly used as an indicator of the health of the ecosystem. In recent times in one of the main tributaries of the Amazon River, the Napo River in Ecuador, there has been a notorious increment of the motorized fluvial transit. For this reason my investigation tried to evaluate the possible effects that this change could have on the concentration of suspended sediments in the water and on the grain size of the margins of the channel, by comparing two regions that present a visible difference in the intensity of motorized fluvial transit. The difference in the concentration of suspended sediments between the two regions was not significant, however; the mean of suspended sediments of the upper (western) region was greater than the mean of the lower (eastern) region of the river; furthermore, the granulometric curves of the soil on the margins of the upper region of the river were more heterogeneous than the curves of the lower region. Because the upper region of the river has more motorized fluvial transit, greater concentration of suspended sediments and heterogeneous grain sizes, my results suggest that there could be an effect of motorized watercraft over the suspended sediments in the Napo River.

Introducción

La cuenca amazónica tiene un área de 6,2 E6 km², provee 6,6 E12 m³ de agua (Molinier *et al.*, 1996) y 800 E6 toneladas de sedimento al Océano Atlántico cada año (Guyot *et al.*, 2005). El Río Napo, en el Ecuador cubre un área de 26 860 km² y tiene una descarga anual de 2210 m³ /s de agua en Nuevo Rocafuerte, en la frontera del país (Laraque *et al.*, 2009). Este río se origina cerca a los 6000 m.s.n.m de altitud, del deshielo de glaciares que cubren volcanes como el Cotopaxi (5897 m.s.n.m.), el Antisana (5700 m.s.n.m.) y de los Llanganates (4571 m.s.n.m.). Este es un río de aguas blancas que posee altos niveles de sedimentos suspendidos debido a la erosión mecánica de la cordillera andina (Laraque *et al.*, 2009). Se considera que el Río Napo transporta un estimado de 49 E6 toneladas de sedimento por año, equivalente al 6% de la carga sedimentaria del Río Amazonas en Obidos- Brazil, sitio cercano a la desembocadura del río en el Océano Atlántico (Guyot *et al.*, 2007). La cuenca ecuatoriana del Río Napo recibe altas precipitaciones, 2900 mm de lluvia por año y presenta un régimen irregular de lluvia. Se ha observado niveles de precipitación máxima en abril con una segunda temporada máxima de lluvia en octubre, sin embargo el clima es muy variable (Laraque *et al.*, 2007).

Existen muchas variables que influyen en la concentración de sedimentos suspendidos en el río, una de ellas es la etapa en la que río se encuentra, ya que se ha visto que las descargas de sedimento son más altas durante etapas tempranas y medias de crecida, que en etapas de máximo y mínimo nivel de inundación del río (Meade *et al.*, 1985).

En la baja Amazonía, los sedimentos suspendidos son almacenados en las orillas durante la época de crecida del río y resuspendidos cuando los niveles de inundación están bajos (Meade *et al.*, 1985). La influencia de corrientes fuertes, así como la acción de la marea promueven la resuspensión de sedimentos del lecho del río y la erosión de los márgenes de los canales, provocando irregularidades en el fondo y un incremento de la concentración de sedimentos suspendidos. Usualmente bancos de arena en medio del río pueden ser observados cuando el nivel de profundidad es bajo (Vital y Stattegger, 2000). La forma del lecho aluvial es un producto directo del balance entre la erosión y la deposición de sedimento (Reid y Frostick, 1994). La concentración de sedimentos suspendidos en el fondo es generalmente 2 a 5 veces mayor que en la superficie del río (Vital y Stattegger, 2000). Mi estudio fue realizado en la Amazonía alta, por lo que es posible que la dinámica de los sedimentos sea similar.

Una contribución importante de carga sedimentaria al Río Amazonas llega a través de sus ríos tributarios. Tasas anuales de concentración de sólidos suspendidos en sus tributarios, calculadas por medidas de descarga y concentración, muestran una contribución dominante de ríos de aguas blancas provenientes de ambientes andinos (Gibbs, 1967). Los tributarios que se originan en altas elevaciones poseen mucha más carga sedimentaria que los que provienen de elevaciones más bajas, por lo que se propone que el factor elevación en un nivel muy significativo, determina las concentraciones de sales disueltas y sólidos suspendidos, además del tamaño de las partículas (Gibbs, 1967). Se ha reportado que más del 90 % del total de la descarga de sedimentos suspendidos en la parte brasilera del río Amazonas, es aportado por las aguas blancas del Río Madeira que tiene origen en los Andes bolivianos y por la cuenca del Río Putumayo que está conectado a los Andes colombo-ecuatorianos (Meade *et al.*, 1985).

Los tributarios del Amazonas son generalmente clasificados de acuerdo a su color, determinado, en parte por el tipo y la cantidad de sedimentos que acarrear (Sioli, 1984). Los ríos de aguas negras tienen un carácter ácido y pueden drenar suelos arenosos, son caracterizados por una concentración baja de sedimentos y nutrientes. Son de color oscuro, ricos en ácidos húmicos en forma coloidal donde la materia orgánica no consigue descomponerse totalmente (Ertel *et al.*, 1986). Los ríos de aguas blancas están caracterizados por poseer una alta carga de sedimentos suspendidos y tienen concentraciones mayores de nutrientes disueltos (Stallard y Edmond, 1983). También existen ríos de aguas cristalinas en la región amazónica en donde hay poco transporte de sedimentos y las aguas se tornan transparentes (Sioli, 1984).

La distribución de sedimentos en los suelos de las orillas del Río Amazonas se dice que crea un corredor de arena muy fina en los depósitos del canal, bordeado por limos en los márgenes del río, lo que refleja la intensidad del régimen hidráulico, en el que los granos han sido transportados y depositados (Vital y Stattegger, 2000).

Se han identificado cuatro tipos de composición de granos sedimentarios en los depósitos de las orillas del río: 1) limos finos y moderadamente gruesos interlaminados (Kuehl *et al.*, 1988), 2) limos gruesos y arena muy fina interlaminados, 3) lodo tenuemente laminado o suelto compuesto por limos finos y arcilla y 4) lodo conciso,

compacto y oscuro caracterizado por poseer óxido de hierro (Vital y Stattegger, 2000). La distribución de partículas sedimentarias en el río de acuerdo a su tamaño varía según la elevación de su cuenca tributaria; estas partículas están en el rango de arena gruesa hasta arcilla fina para los tributarios de altas elevaciones, y desde arcilla gruesa hasta arcilla fina para los tributarios que provienen de bajas elevaciones, caracterizados por un alto porcentaje de minerales arcillosos (Gibbs, 1967).

Como se puede observar, la concentración y disposición de los sedimentos suspendidos en los ríos están influenciadas por varios factores. Actualmente la actividad humana está actuando como otra variable que altera el nivel de concentración de sedimentos en el río por el efecto de descargas de aguas residuales y del transporte fluvial motorizado. En la amazonía ecuatoriana, en la parte baja del Río Napo, específicamente en la región que va desde la ciudad de Francisco de Orellana (Coca) hasta la frontera peruana existe una mayor concentración de centros poblados, hoteles turísticos, estaciones petroleras y consecuentemente mayor flujo de transporte hacia el Oeste que hacia el Este. En mi investigación quise comparar la concentración de sedimentos suspendidos y el tamaño de grano de los sedimentos del suelo en las orillas del río en dos secciones del área de estudio, la parte alta (oeste) versus la parte baja (este) del Río Napo con el objetivo de evaluar el efecto de las actividades humanas, en particular, del tráfico motorizado sobre esta importante variable de la ecología fluvial. También comparé la concentración de sedimentos suspendidos entre el cauce principal del Napo y sus tributarios en el área de estudio, para observar la influencia que podrían tener los tributarios sobre el Napo y viceversa.

Debido a que la región alta (oeste) presenta mayor flujo de transporte motorizado (ver métodos) se espera encontrar en esta región concentraciones más altas de sedimento suspendido en el agua y una proporción mas grande de partículas muy finas en el suelo de las orillas, ya que el tránsito motorizado fluvial genera turbulencia y olas que provocan un aumento de los sólidos suspendidos, además de erosionar las orillas y remover el lecho del río (Asplund, 2000).

Justificación

Los beneficios del agua dulce son fundamentales para supervivencia humana, por este motivo la gente se ha establecido preferiblemente cerca de cuerpos de agua (Revenga *et al.*, 2005). La alteración humana de ríos y lagos ha sido incrementada por el desarrollo económico de la población a lo largo de la historia (Revenga *et al.*, 2005). La contaminación de los diversos cuerpos de agua en la Amazonía se produce por varias actividades económicas, como la explotación petrolera, la explotación aurífera que contamina con mercurio y remueve el lecho del río, la pesca indiscriminada usando sustancias tóxicas y explosivos, y las descargas de aguas residuales sin tratamiento provenientes de sectores industriales y públicos (OTCA *et al.*, 2006). En la Amazonía ecuatoriana la industria petrolera ha incentivado el desarrollo económico de muchos lugares. Consecuentemente, los ecosistemas de agua dulce y sus especies han sido sometidos a un estrés constante y a cambios en su ambiente (Revenga *et al.*, 2005).

Muchas áreas inundables y pantanos de los trópicos y subtrópicos han sido degradados desde 1950 (Revenga *et al.*, 2005). Análisis que datan de las dos décadas pasadas han identificado una serie de presiones a los ecosistemas de agua dulce como la alteración física, la pérdida y degradación del hábitat, la sobreexplotación, polución, removimiento de cuerpos de agua e introducción de especies exóticas (Revenga *et al.*, 2005).

Debido a que la Amazonía contiene la mayor reserva forestal y el sistema hidrográfico más grande de la tierra, existe una preocupación creciente sobre los posibles efectos que puedan tener en el régimen hidrológico la deforestación y las variaciones en el uso de la tierra. Las relaciones entre la hidrología y los ecosistemas son amplias y variadas; se ha reportado en estudios relacionados a sedimentos del Río Amazonas que el nivel de fertilidad natural de los suelos está estrechamente vinculado con la granulometría de los sedimentos, ya que a mayor contenido de partículas finas hay mayor capacidad de intercambio catiónico (OTCA *et al.*, 2006).

Fluctuaciones en la cantidad de materia suspendida en el agua pueden afectar una importante serie de procesos químicos y biológicos dentro del sistema hídrico (Findlay *et al.*, 1991). Se ha observado en ríos que más que la escasez de nutrientes, el limitante

principal del desarrollo de fitoplancton es la poca penetración de luz que se produce en aguas turbias (Findlay *et al.*, 1991).

En resumen, la granulometría del suelo de las orillas del río y la concentración de los sedimentos suspendidos, son factores importantes para conocer el estado de los ecosistemas dulceacuícolas y de los ecosistemas terrestres aledaños (Revenga *et al.*, 2005), por este motivo se considera valioso obtener una referencia actual de estas variables ambientales en el Río Napo, un río de enorme importancia para las comunidades locales y para el futuro desarrollo del país. A pesar de su importancia se conoce poco sobre el estado de conservación y amenazas de este ecosistema (Revenga *et al.*, 2005), por lo que el presente estudio aporta con información relevante que puede ser usada en futuros estudios y como insumo para el desarrollo de acciones de manejo de esta cuenca.

Actualmente como parte del Proyecto del Eje Multimodal Manta Manaos con el objetivo de aumentar el comercio internacional se tiene previsto construir un corredor fluvial que integre el océano Pacífico con el océano Atlántico, desde Manta hasta la desembocadura del Río Amazonas en el Pacífico (www.bicusa.org). Una alteración inicial que se va a suscitar con este proyecto es el dragado del Río Napo se tiene planeado construir en Providencia, una comunidad cercana a la ciudad Francisco de Orellana, un gran puerto fluvial que sea apto para recibir amplios barcos internacionales. El impacto que va a generar la construcción y el funcionamiento de esta obra aumentará los sedimentos suspendidos en el agua del río debido al dragado y al incremento de tránsito fluvial, lo que puede provocar un desequilibrio en la ecología de los ecosistemas acuáticos del río. El tramo fluvial en el que este estudio fue realizado y por el que se planea construir la hidrovía se encuentra muy cerca de zonas protegidas de gran biodiversidad y de alto valor cultural como son la Reserva de Producción Faunística Cuyabeno y el Parque Nacional Yasuní, este último considerado Reserva de Biosfera por la UNESCO y zona intangible del estado ecuatoriano (www.bicusa.org).

Área de estudio

La investigación se realizó en el límite provincial de Orellana y Sucumbíos, en el Río Napo, específicamente en el tramo que va desde la ciudad del Coca (UTM, Datum: WGS 84-18 S, 304066 E, 9951274 N) hasta el sector de Tempestad en Perú (508794 E, 9866948N), que está ubicado cerca de la frontera con Ecuador (Fig. 1). El área de estudio se encuentra rodeada de bosque húmedo tropical y posee una longitud aproximada de 285 km en la que se incluyen varios ríos tributarios, pantanos y lagunas de los alrededores del cauce principal del Napo (obs. pers.). Este sector fue elegido debido a que en su recorrido se puede distinguir que la región Oeste posee más tráfico fluvial que la región Este; para esta investigación, consideré que el punto de separación entre estas dos regiones es el pueblo Tiputini. Por esta diferencia en los niveles de tránsito fluvial, se considera que estas áreas son ideales para evaluar la influencia del tráfico de botes a motor sobre la concentración de sedimentos suspendidos y el tamaño de grano del suelo en la orillas del río.

Metodología

Trabajo de campo

Este trabajo fue realizado desde el 29 de Septiembre hasta el 13 de Octubre del 2009 y requirió de una canoa, un motorista, un jefe de investigación y de mi persona.

Se recolectaron 97 muestras de sedimentos suspendidos del agua de ríos tributarios, lagunas y del cauce principal del Río Napo, en sectores de alta y baja circulación de transporte fluvial motorizado. Los tributarios muestreados fueron los ríos Indillana, Challuayacu, Cariañanguyacu, Pañayacu, Añanguyacu, Huiririma, Churuyacu, Pindoyacu, Limonyacu, Tiputini, Yasuní, Cocaya, Aguarico y Yanaquillo. Estas muestras y las de otros cuerpos de agua fueron colectadas en un rango de 1 a 5 km de distancia del cauce principal del río Napo. Las muestras se obtuvieron de la superficie y a una distancia de 3 a 6 m de la orilla del río, por medio de una jeringa de 120 ml y filtros de celulosa 0,045 μm de microporo. Antes de la colección de cada muestra, se llenó y desechó la jeringa tres veces, con el objeto de lavarla para evitar que las muestras se mezclen entre ellas. Luego se absorbió con la jeringa 120 ml de agua del río, se colocó un filtro en el extremo de la boquilla de la jeringa, y se filtró la muestra. En algunas muestras no fue posible filtrar los 120 ml con un solo filtro, debido a que los filtros se taparon con el exceso de sedimentos, por lo que en esas muestras se usaron

uno o dos filtros más para filtrar un volumen aproximado a 120 ml. Después de filtrar la muestra se desenroscó el filtro de la jeringa y usando un marcador, se marcó con un código único a cada filtro y se los guardó en una bolsa plástica Ziploc. Al tomar cada muestra se marcó con un GPS un punto de ubicación del sitio en que fue recolectada. Luego se anotó para cada muestra en una libreta de campo el código, el volumen de muestra filtrado y si se tapó o no el filtro; esta metodología fue modificada de Meade y colaboradores (1985).

En embases plásticos de 150 ml se recolectaron 10 muestras de suelo en las orillas del Río Napo, en sitios espaciados entre si por una distancia de 20 a 50 km, 5 muestras se tomaron de la parte alta del río (al oeste del pueblo de Tiputini) y 5 de la parte baja del río (al este del pueblo de Tiputini). Las muestras se colectaron con una pala a una profundidad máxima de 30 cm. Se marcaron códigos asignados en los embases de cada muestra y se ubicaron los puntos GPS de las mismas. En la libreta de campo se anotaron los códigos de las muestras con sus respectivos sitios de ubicación y las características físicas visibles a simple vista, como el color y la textura; esta metodología fue modificada de Vital y Stattegger (2000).

Trabajo de laboratorio y escritorio

Muestras de sedimentos suspendidos en el agua

La metodología para el análisis de muestras de sedimentos fue modificada de Meade y colaboradores (1985). Se secaron los filtros en una incubadora Heraeus D -6450, a una temperatura de 56° C por 48 horas, con el objetivo de eliminar la humedad. A continuación se pesaron los filtros con sedimento secos en una balanza analítica de precisión Cole-Parmer PA 120. Adicionalmente se secaron y se pesaron siete filtros vacíos sin sedimentos, para obtener un peso promedio de un filtro vacío sin humedad. Una vez obtenidos los pesos secos de los filtros con sedimentos, se restó a cada uno de estos pesos el peso promedio de un filtro vacío para obtener el peso de sedimentos de cada muestra, luego a este peso se lo dividió para su respectivo volumen de agua filtrada para estimar la cantidad de sedimentos por unidad de volumen.

Muestras de suelo

Con una balanza Mettler Toledo PB 3002-5, se pesaron los recipientes con las muestras de tierra colectadas. Con la ayuda de una incubadora Heraeus D -6450 se secaron las muestras de suelo por 72 horas a 60 °C con el objeto de obtener la humedad original de cada muestra; esta metodología fue modificada de Vital y Stattegger (2000).

Con el objeto de conocer las proporciones del tamaño de grano de cada muestra de suelo, se las sometió a un análisis granulométrico e hidrométrico basado en la norma ASTM D421-58 y D422-63. Para este análisis se tamizó cada muestra disuelta en agua con el tamiz # 200, lo que pasó a través del tamiz se recolectó en un balde y se dejó decantar por 24 horas. Luego este material fue filtrado con filtros de café para posteriormente ser secado en el horno por 24 horas a 60 °C y guardado para el análisis de hidrometría. El material de la muestra que no pasó por el tamiz # 200 fue secado en el horno por 24 horas a 60 °C y cernido con la ayuda de un agitador eléctrico automático con los tamices # 10, 20, 40, 60, 140 y 200. Después se obtuvieron los pesos del material que se quedó en cada uno de los tamices y del material que pasó a través del tamiz # 200 y se realizaron los respectivos cálculos para obtener una curva granulométrica de cada muestra (Bowles, 1980).

Todo el material de las muestras que pasó por el tamiz # 200 fue sometido a un análisis hidrométrico de suelos, en el que se mezcló el material fino de las muestras con 125 ml de solución al 4% de NaPO₃ con agua destilada y se dejó asentar durante 16 horas. Este material se transfirió al vaso de una máquina batidora, se añadió agua y se mezcló durante dos minutos. Luego se puso el contenido del vaso en un cilindro de sedimentación de 1 litro, se agregó agua hasta completar esta marca y se agitó durante un minuto. Inmediatamente se insertó el hidrómetro ASTM 151H, en el cilindro y se tomaron lecturas de 1, 2, 3, 4, 8, 15, 30, 60 minutos y 2, 4, 8, 16 horas. Además con la ayuda de un termómetro se tomó la temperatura de los fluidos anteriormente descritos en los mismos intervalos de tiempo. Con estos datos se realizaron los cálculos de hidrometría de suelos para obtener una curva de la proporción y del tamaño de partículas de las muestras, esta curva del análisis hidrométrico complementa con un rango adicional de tamaño de partícula más pequeño, a la curva del análisis granulométrico anteriormente obtenida (Bowles, 1980).

Con la ayuda de un GPS, una computadora y el software ArcGIS 9.3 se elaboró un mapa del área de estudio en el Río Napo, y se ubicó cada muestra en el mapa. Además, con el objetivo observar la variación espacial sobre el nivel de sedimentos suspendidos solamente en el agua del cauce principal del río, en medidas de peso/ volumen, dentro del área de estudio, en Excel se elaboró un gráfico de barras que muestra en el eje Y la cantidad de sedimento y en el eje X la ubicación de la muestra en el río de occidente hacia oriente, siendo 1 el sitio más occidental y 12 el más oriental. Estas 12 muestras de sedimento suspendido son representativas del agua del cauce principal ya que fueron obtenidas en la mitad del cauce del Río Napo.

Para los análisis cuantitativos, se dividió el río en dos secciones o regiones: la región alta con mayor flujo de transporte fluvial que va desde la ciudad del Coca hasta el pueblo de Tiputini y la región baja que tiene menor tránsito fluvial, que va desde el pueblo de Tiputini hasta la comunidad Tempestad en Perú (Fig. 1). Se cuantificó el flujo de tránsito fluvial motorizado usando como indicadores el número de hoteles en la rivera del Napo (8 en la región alta y 5 en la región baja www.descubreorellana.com) y de los bloques petroleros de la zona (7 en la región alta y 2 en la región baja www.eluniverso.com/2010/09/06), que generan tránsito fluvial motorizado en el río con una mayor contribución de los campos petroleros (obs. pers.).

A las 12 muestras de sedimentos suspendidos en el cauce principal se las dividió según su posición en el área de estudio, 7 muestras de la región alta y 5 de la región baja. Estas muestras fueron comparadas con una prueba t no pareada para determinar si existe una diferencia significativa en la concentración de sedimentos suspendidos entre las regiones alta y baja del cauce principal del Río Napo.

Se compararon 97 muestras en total (cauce principal, tributarios y otros cuerpos de agua), 48 de la región alta y 49 de la región baja, con un ANOVA de una vía para determinar si la diferencia en la concentración de sedimentos suspendidos tanto del cauce principal como de los otros cuerpos de agua entre las regiones alta y baja, es significativa. Adicionalmente, se tomaron 38 muestras, 16 del cauce principal y 24 de los tributarios de toda el área de estudio para compararlas con un ANOVA de una vía y conocer si la diferencia de concentración de sedimentos suspendidos entre el cauce principal y los tributarios del Río Napo es significativa. Finalmente, se hizo una

comparación visual de las curvas granulométricas de las muestras de suelo de la región alta y baja, para comparar las proporciones de los tamaños de grano de cada región.

Resultados

La concentración de sedimentos suspendidos en el cauce principal del Río Napo tuvo niveles muy variados e irregulares, dentro de un rango de 0,017 mg/ml de sedimentos suspendidos por ml de agua, hasta 3,479 mg/ml (Fig. 2). A pesar de la variabilidad, en la Figura 2 se observa una tendencia hacia concentraciones más altas en las muestras tomadas de la parte oeste, o región alta del río.

La diferencia de concentración de sedimentos suspendidos en el cauce principal del Río Napo entre la región alta y la región baja del río no fue significativa ($t = 0,954$, $p = 0.3625$, $gl = 10$). El promedio de concentración de sedimentos suspendidos en la parte alta del río fue $1,726 \text{ mg/ml} \pm 0,358$, mientras que en la parte baja fue de $1,264 \text{ mg/ml} \pm 0,268$ (Fig. 3).

La diferencia de concentración de sedimentos suspendidos en el cauce principal y otros cuerpos de agua entre la región alta y la región baja del río no fue significativa ($F(1,95) = 2.055$, $p = 0.1550$). El promedio de concentración de sedimentos suspendidos en la parte alta del río fue $2,693 \text{ mg/ml} \pm 0,209$, mientras que en la parte baja fue de $2,188 \text{ mg/ml} \pm 0,282$ (Fig. 4).

Encontré una diferencia significativa en la concentración de sedimentos suspendidos en el agua entre el cauce principal del Río Napo y sus tributarios en toda el área de estudio ($F(1,38) = 9.776$, $p = 0,0034$). El promedio de concentración de sedimentos suspendidos en el Río Napo en el cauce principal fue de $1,596 \text{ mg/ml} \pm 0,272$, mientras que en los tributarios tuvo un valor de $2,748 \text{ mg/ml} \pm 0,240$ (Fig. 5).

Todas las muestras de suelo presentaron un porcentaje alto de material de tamaño de grano muy fino. Las curvas muestran proporciones de más del 85% para el tamaño de partícula menor a 1000 micras en cada muestra (Fig. 6 a y b).

En las muestras de la región alta del río, las partículas de tamaño menor a 100 micras tienen un rango de porcentaje que va del 10 al 85% del peso de cada muestra (Fig. 6 a). En las muestras de la región baja, las partículas de tamaño menor a 100 micras tienen un rango de porcentaje que va del 60 al 85% del peso de cada muestra (Fig. 6 b).

Al comparar las curvas granulométricas de las diez muestras en toda el área de estudio se observa que tres muestras que están ubicadas en la región más occidental del río registran las proporciones más bajas (10, 40 y 50 % del peso de la muestra) de material con tamaño de partícula más fino (menor a 100 micras) (Fig. 6 a, muestras 12, 13 y 14). Además se observa que las muestras de la parte alta del río poseen un rango más amplio de tamaño de partícula, en comparación con las muestras de la parte baja del río que tienen un tamaño más homogéneo (Fig. 6 a y b)

Discusión

La ubicación en el recorrido del río es un determinante clave para conocer el nivel de carga de sedimentos suspendidos en el agua (Meade *et al.*, 1985). En el análisis espacial de concentración de sedimentos suspendidos en el cauce principal (Oeste hacia Este) se encontró una irregularidad y variabilidad (Fig. 2), que puede ser atribuida a la cantidad de tributarios que desembocan en el Río Napo dentro del área de estudio (obs. pers.). Otro factor que puede estar influyendo en los variados niveles de concentración de sedimentos suspendidos es la fase de inundación que presentaba el río al momento de coleccionar la muestra (Meade *et al.*, 1985), pues, por limitaciones de tiempo y logística, en nuestro estudio las muestras se obtuvieron en fases distintas de inundación.

Las muestras de la región alta del Río Napo alcanzaron los niveles más altos de sedimentos suspendidos (Fig. 2). Además tuvieron un promedio de concentración mayor que el de la parte baja (Fig. 3 y 4). A pesar de que la región baja del río posee la presencia de los dos tributarios más grandes del estudio (ríos Aguarico y Curaray), esta región presentó promedios de concentración de sedimentos suspendidos menores a los de la región alta. Este resultado puede sugerir que la contribución de sedimentos por parte de los tributarios más grandes del estudio, no se ve reflejada en la concentración

de sedimentos suspendidos en el cauce principal de la región baja. Este resultado no coincide con resultados de otros estudios como el de Laraque y colaboradores (2009), en el que se reporta que en la parte ecuatoriana del río Napo las concentraciones de sedimento suspendido aumentan de río arriba a río abajo.

La diferencia en la concentración de sedimentos suspendidos entre la región alta y la región baja no fue significativa en la prueba t realizada exclusivamente con las muestras del cauce principal, ni en el ANOVA realizado con las muestras del cauce principal y de otros cuerpos de agua. El hecho de que las dos pruebas estadísticas, realizadas con un grupo diferente de muestras, arrojen los mismos resultados sugiere que la concentración de sedimentos suspendidos en el cauce principal del Río Napo no está siendo influida en un nivel notable por la contribución de sedimentos suspendidos de los ríos tributarios, lagunas y pantanos. Aunque la diferencia de concentración de sedimentos suspendidos entre la región alta y la región baja no fue significativa, mis resultados sugieren que las constantes perturbaciones a las que está sometida la región alta (oeste) del río, como la deforestación, el tránsito fluvial y el desecho de aguas residuales que provienen principalmente de centros poblados y campamentos petroleros de la zona están teniendo un efecto sobre la carga de sedimentos del río pues las concentraciones encontradas de sedimentos suspendidos son lo opuesto al patrón que usualmente se espera en los ríos (mayor concentración de sedimentos río abajo que río arriba) (Laraque *et al.*, 2009). Estos efectos ya han sido reportados en otros lugares de la Amazonía (OTCA *et al.*, 2006). El aumento de turbulencia en el agua del río, causada por el tránsito fluvial, tiene como resultado la erosión de los márgenes de los canales y la resuspensión de partículas de sedimento, generándose así un incremento en la concentración de sedimento suspendido en el agua (Vital y Stattegger, 2000). Por otro lado, la mayor extensión de zonas deforestadas en la parte alta del río (obs. pers.) podría determinar una mayor erosión de las orillas en esta zona y, por lo tanto, una mayor carga de sedimentos en el río (OTCA *et al.*, 2006).

Dentro del área de estudio existió una diferencia significativa en la concentración de sedimentos suspendidos entre el cauce principal del Río Napo y sus tributarios. El promedio de sedimentos suspendidos en los tributarios se aproxima al doble del valor promedio de sedimentos suspendidos en el cauce principal del Río Napo (Fig. 5). Para explicar mis resultados se debe considerar la posibilidad de que el Río Napo al crecer

inunde a sus tributarios, generando en estos un aumento en la concentración de sedimentos suspendidos que puede parecer mayor a la del cauce principal debido a que los tributarios tienen más cantidad de sedimento por unidad de volumen de agua. El probar esta hipótesis puede ser tema de otro estudio.

Finalmente, es posible que los errores de muestreo y de los análisis de laboratorio hayan influido en los resultados. Debido al tipo de filtros usados no fue posible extraer la malla de celulosa del plástico de los filtros, por lo que se promedió el peso de los filtros vacíos para obtener el peso/volumen neto de los sedimentos, metodología que pudo provocar que los pesos/volumen obtenidos no sean precisos y tengan un margen de error debido a que las unidades usadas (mg/ml) son muy pequeñas y sensibles a variaciones.

Las muestras de suelo están compuestas mayormente por partículas finas con tamaños menores a 300 micras (Fig. 6 a y b). Al lavar las muestras en el proceso de granulometría se pudo observar que la porción de granos gruesos mayores a 2000 micras fue relativamente baja y estaba compuesta en su mayoría por raíces, piedras, trozos de madera y materia orgánica que se hizo notoria después del primer tamizado.

Las muestras de la región alta del río presentan una amplia variación en la proporción de material de tamaño de partícula menor a 100 micras con valores que van desde un 10% hasta un 85%. Mis resultados sugieren, entonces, que en el área de estudio, las muestras de suelo de la región baja del río poseen una proporción mayor de granos muy finos que las muestras de la región alta del río, patrón de distribución de tamaño de partícula comúnmente observado en los suelos de las orillas de ríos (Vital y Stattegger, 2000). En mis resultados se observa también que las curvas granulométricas de las muestras de la región baja del río tienden hacia una homogeneidad entre ellas, mientras que las curvas de la parte alta del río son heterogéneas y muestran un rango más amplio de distribución de partícula. Se sugiere que este resultado podría deberse al forzado y rápido almacenamiento de partículas de sedimento de diversos tamaños en las orillas que es provocado por el desplazamiento de agua hacia los costados que genera el tránsito fluvial motorizado en la región alta del río. En la parte baja del río se sugiere que la homogeneidad encontrada en el tamaño de grano se debe al desgaste de partículas que aumenta progresivamente desde aguas arriba a aguas abajo que provoca una

disminución y homogenización del tamaño de partícula de los sedimentos depositados en la orillas de esta región (Vital y Stattegger, 2000).

En conclusión, al comparar las concentraciones de sedimentos suspendidos entre las dos regiones no obtuve una diferencia significativa; sin embargo, se tiene que tomar en cuenta que, aunque el patrón de distribución normal de sedimentos suspendidos en el agua del río Napo aumenta de aguas arriba hacia aguas abajo, en esta investigación el promedio de la concentración de sedimentos suspendidos fue mayor en la región alta, es decir aguas arriba, donde hay más tránsito fluvial motorizado, deforestación y asentamientos humanos. Además mis resultados de los análisis granulométricos del suelo de las orillas del río sugieren diferencias entre las proporciones de grano de las orillas de las dos regiones. Todos estos resultados apuntan a un posible efecto del tránsito fluvial motorizado sobre la concentración de sedimentos del Río Napo cuya magnitud no fue posible detectar con los métodos de este estudio. Se tiene que considerar que la mayor concentración de sedimentos suspendidos observada en la región con más actividad humana puede deberse no sólo al mayor flujo de transporte motorizado en el río que posee, sino también a la mayor cantidad de impactos que existen como la deforestación y el desecho de aguas residuales.

Se recomienda para futuros estudios relacionados con este tema, cuantificar de mejor manera el tránsito fluvial contando el número de motores en funcionamiento en espacios de tiempo determinados. Además sería importante conocer la velocidad de la corriente del río en el área de estudio, ya que este factor puede influir en la concentración de sedimentos suspendidos en el agua (Meade *et al.*, 1985). Finalmente se sugiere que para analizar sedimentos suspendidos se usen filtros que sean fáciles de desarmar para obtener los pesos de los sedimentos de la muestra de una manera más precisa.

El aumento de la concentración de sedimentos en el agua de un río puede alterar una serie de factores como el crecimiento de algas, el contenido de oxígeno disuelto, la temperatura del agua y la cantidad de nutrientes (Asplund, 2000). Si cualquiera de estos factores cambia en un nivel apreciable, el Río Napo podría enfrentar un desequilibrio en la ecología de sus ecosistemas acuáticos, que alteraría la vida de los organismos existentes en el río. Además si se produce un aumento todavía mayor del tránsito fluvial motorizado en el río se generarán impactos perjudiciales para el ecosistema como son

las emisiones de contaminantes, turbulencia en el agua, producción de ruido, erosión de los márgenes, entre otros (Asplund, 2000).

El Proyecto del Eje Multimodal Manta Manaos es una propuesta que sigue avanzando y si se logra concretar causará una serie de impactos negativos al ambiente (www.bicusa.org), por lo que se considera importante monitorear los factores hidrológicos como la concentración de sedimentos suspendidos para obtener índices del estado actual del río y así poder evaluar los impactos que podrían provocarse si se llegara a alterar alguno de estos factores. En este contexto, es imperativo realizar futuras investigaciones y monitoreos de los factores hidrológicos en la zona en que este estudio fue realizado.

Bibliografía

ASPLUND T.R., 2000. The effects of motorized watercraft on aquatic ecosystems. Reportado por el Departamento de Recursos Naturales de Wisconsin y la Universidad de Wisconsin- Madison. Programa de química del agua. PUBL-SS-948-00.

BOWLES J. E., 1980. Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil. Editorial Mc.GRAW-HILL Latinoamérica. , Bogota Colombia

ERTEL J.R., HEDGES J.I., DEVOL A.H., RICHEY J.E. y RIBEIRO G. 1986. Dissolved humic substances of the Amazon River system. *Limnol. Oceanogr.* 31: 739-154

FINDLAY S., PACE M. y LINTS D., 1991. Variability and Transport of Suspended Sediment, Particulate and Dissolved Organic Carbon in the Tidal Freshwater Hudson River. *Biogeochemistry*, Vol. 12, No. 3 pp. 149-169

GIBBS R.J., 1967. Amazon River: Environmental Factors That Control Its Dissolved and Suspended Load. *Science, New Series*, Vol. 156, No. 3783 (Jun. 30, 1967), pp. 1734-1737

GUYOT J.L., FILIZOLA N. y LARAQUE A., 2005. The suspended sediment flux of the River Amazon at Obidos, Brazil, 1995–2003. *Sediment Budgets*, Walling D.E., Horowitz Arthur J. (eds), Proceeding of 7th IAHS Assembly, Foz de Iguaçu, Brazil, IAHS. Publicación No. 291. IAHS: Wallingford, UK; 347–354.

GUYOT J.L., BAZAN H., FRAIZY P. y ORDOÑEZ J. 2007. Suspended sediment yields in the Amazon basin of Peru. *Water Quality and Sediment. Behaviour of the Future: Predictions for the 21st Century*, Proceedings of Symposium HS2005 at IUGG2007, Perugia, July 2007, IAHS. Publicación No.314. IAHS: Wallingford, UK; 3–10.

KUEHL, S.A.; NITTROUER, C.A. y DEMASTER, D.J., 1988. Micro- fabric study of fine-grained sediments: observations from the Amazon subaqueous delta. *Journal of Sedimentary Petrology*, 58, 12- 23.

MEADE R.H., DUNNE T., RICHEY J. E., SANTOS U. y SALATI E., 1985. Storage and Remobilization of Suspended Sediment in the Lower Amazon River of Brazil. *Science, New Series*, Vol. 228, No. 4698 (Apr. 26, 1985), pp. 488-490

MOLINIER M., GUYOT J.L., De OLIVEIRA E. y GUIMARAES V., 1996. Les regimes hydrologiques de l'Amazonie et de ses affluents. L'hydrologie Tropicale: Geoscience et Outil Pour le Developpement (Actes de la Conference de Paris, Mai, 1995), IAHS Publication No. 238. IAHS: Wallingford, UK; 209–221.

LARAQUE A., RONCHAIL J., COCHONNEAU G., POMBOSA R. y GUYOT J.L., 2007. Heterogeneous distribution of rainfall and discharge regimes in the Ecuadorian Amazon basin. *Journal Of Hydrometeorology* 8(6): 1364–1381.

LARAQUE A., BERNAL C., BOURREL L., DARROZES J., CHRISTOPHOUL F., ARMIJOS E., FRAIZY P., POMBOSA R. y GUYOT J.L., 2009. Sediment budget of the Napo River, Amazon basin, Ecuador and Peru. Wiley InterScience. *Hydrological Process*. DOI: 10.1002/hyp.7463

REID I. y FROSTICK L.E., 1994. Fluvial sediment transport and deposition. In: PYE, K. (ed). *Sediment Transport and Depositional Processes*. New York: Blackwell, pp. 89-155.

REVENGA C., CAMPBELL I., ABELL R., De VILLERS P. y BRYER M., 2005. Prospects for Monitoring Freshwater Ecosystems towards the 2010 Targets. *Philosophical Transactions: Biological Sciences*, Vol. 360, No. 1454pp.

SIOLI H. 1984. The Amazon and its main affluents: Hydrography, morphology of the river courses, and river types. En: Sioli H (Ed) *The Amazon: Limnology and Landscape Ecology of a Mighty Tropical River and its Basin* (pp 127-165). Junk, Dordrecht

STALLARD R.F. y EDMOND J.M., 1983 *Geochemistry of the Amazon*. 2. The influence of geology and weathering environment on the dissolved bound. *J. Geophys. Res.* 88: 9617-9688

Taller Nacional Del Proyecto GEF AMAZONAS OTCA/PNUMA/OEA "Visión peruana para la gestión integrada de recursos hídricos en la cuenca del Río Amazona. 19 y 20 de Julio del 2006, Iquitos.

VITAL, H. y STATTEGGER, K., 2000. Sediment dynamics in the lowermost Amazon. *Journal of Coastal Research*, 16(2), 316-328. Royal Palm Beach (Florida), ISSN 0749-0208

Paginas web:

www.eluniverso.com/2010/09/06

www.descubreorellana.com

www.bicusa.org