

**BP-14**

## **EVOLUCIÓN DE LA INTEGRIDAD ESTRUCTURAL DE ECOSISTEMAS LÓTICOS DEL PIEDEMONTES LLANERO COLOMBIANO COMO RESPUESTA AL INCREMENTO DE LA INTERVENCIÓN ANTRÓPICA**

**Guillermo Armando Briceño Vanegas**

Biólogo Ms Sc Ecología.

Profesor TC

Director del grupo de investigación ECAE.

Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia. [gbricenov@unisalle.edu.co](mailto:gbricenov@unisalle.edu.co)

### **RESUMEN**

Durante 14 años se monitoreó la integridad estructural de dos ecosistemas lóticos representativos en el piedemonte llanero colombiano; los “caños” Mateguadua y Caibe, expuestos a un alto ritmo de transformación ecosistémica circundante, ocasionada por diversas presiones de origen antropogénico en la región. Los parámetros utilizados multianualmente para analizar la evolución de la integridad ecológica fueron: la transformación del paisaje, el comportamiento de las variables fisicoquímicas, la calidad y oferta de hábitats acuáticos y la organización estructural de las comunidades ícticas. Los datos fueron procesados por medio de los programas BioDiversity, Past y Surfer, con el índice de Bray-Curtis para calcular similaridad entre muestras y el índice de Morisita para calcular el solapamiento de hábitats. El paisaje experimentó un deterioro severo durante el periodo de muestreo por causa de la deforestación del bosque de galería en ambas corrientes. El lavado y la erosión de los suelos, aportaron una carga considerable de sólidos a los cauces, produciendo sedimentación en el lecho de ambos caños, alterando los patrones de profundidad y reduciendo drásticamente la heterogeneidad espacial de los hábitats acuáticos. La estructura de la comunidad íctica experimentó alteraciones en respuesta al deterioro ambiental, como por ejemplo la reconfiguración en la utilización efectiva del espacio acuático, el progresivo reemplazamiento de especies insectívoras por especies algívoras y fitófagas dentro de la red trófica y la dominancia de poblaciones de *H. barrigona*, especie que prosperó gracias al avance paulatino de colonias de microalgas y macrófitas en el agua por causa de la fragmentación del bosque marginal.

Palabras clave: Caños, Paisaje, Integridad ecológica, Fragmentación.

## ABSTRACT

From 1993 to 2007, was analyzed the evolution of the ecological integrity of two streams in the “piedemonte llanero” of Meta, the “caños” Mateguadua y Caibe near to Cumaral and Restrepo districts. The parameters analyzed were landscape evolution, physicochemical variables trends, quality and supply of aquatic habitats and the structural organization of fish communities.

Landscape quality was declining during the sampling period due to deforestation of gallery forests in both streams. Soil erosion process threw considerable amount of solids particles to streams, causing siltation in the bed of both streams. In fact, this condition affected depth patterns and spatial heterogeneity of aquatic habitats. Fish community structure showed changes in response to environmental degradation, such as the progressive replacement of insectivorous species by phytophagous and algivorous species and the dominance of populations of *H. barrigona*, a species that prospered on gradual progress of colonies of microalgae and macrophytes in the water due to the marginal forest fragmentation.

Key words: Landscape, Ecological Integrity, Gallery Forest, Deforestation, Fragmentation, “Caños”

## INTRODUCCIÓN

El piedemonte llanero colombiano es una franja geográfica que se extiende a lo largo del borde este de la cordillera oriental, desde el alto Putumayo en el sur hasta la frontera con Venezuela en el norte, abarcando una amplia gama de biomas a través de los departamentos de Putumayo, Caquetá, Meta, Casanare y Arauca. Su importancia estratégica radica en que comprende una zona de transición ecológica entre bosques montanos y sabanas de altillanura, abastecida por redes hídricas de drenaje que bajan de la vertiente oriental de la cordillera generando suelos sedimentarios de una fertilidad superior a la de aquellos que se encuentran Orinoquía adentro.

Por causa de su potencial productivo para el interés humano, los suelos, las formaciones vegetales naturales del piedemonte y, por ende, el recurso hídrico, han sufrido desde hace varias décadas un gran impacto ambiental, causado en primera instancia por el avance de frentes de colonización y de ocupación de la tierra y, más recientemente, por la ampliación de terrenos adaptados para la agricultura y la ganadería extensivas y por el auge de los cultivos ilícitos.

La convergencia de todos estos factores históricos y geográficos produce un patrón complejo de causas que redundan en un uso desordenado del suelo y un

desconocimiento de las potencialidades que ofrecen los ecosistemas del piedemonte llanero para ser aprovechados dentro de un criterio de sostenibilidad. Se hace preciso entonces realizar estudios científicos que permitan identificar y diagnosticar los principales problemas ambientales regionales en procura de proponer planes de uso y manejo adecuado de la inmensa riqueza de recursos naturales presentes en esta franja geográfica.

Dos de las herramientas de mayor sensibilidad, utilizadas para identificar cambios en la calidad ambiental y evaluar la integridad ecológica de los ecosistemas acuáticos regionales, son el estudio evolutivo del paisaje y el análisis estructural de las comunidades ícticas. El presente trabajo tuvo como principal propósito monitorear durante un periodo de 14 años la evolución de la integridad ecológica de dos corrientes típicas del piedemonte llanero del Meta, expuestas a un alto ritmo de transformación ecosistémica circundante ocasionada por diversas causas de origen antropogénico.

## AREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra ubicada en el piedemonte llanero del Meta entre los municipios de Restrepo y Cumaral al este de Villavicencio. Entre estos dos municipios se advierte una red de drenaje compuesta por un sinnúmero de pequeñas corrientes o caños que drenan desde la vertiente de la cordillera oriental hacia el sureste en dirección del río Guatiquia, una de las corrientes componentes del sistema hídrico de la cuenca del río Meta (Figura 1).

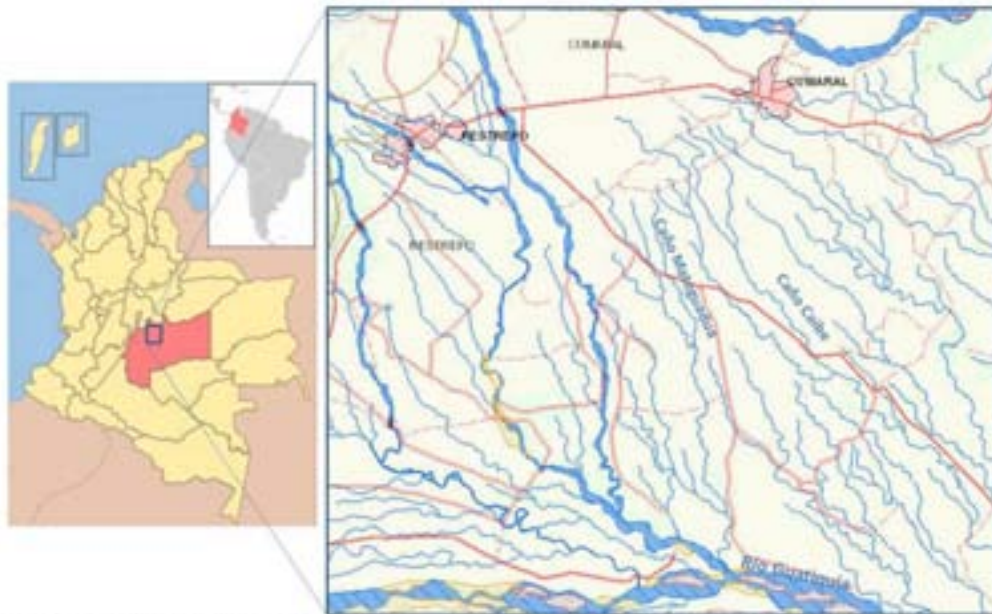


Figura 1. Área de estudio. Los caños Mateguadua y Caibe nacen en la altillanura del piedemonte entre los municipios de Restrepo y Cumaral y drenan hacia el sur para desembocar en el río Guatiquia, afluente del Meta.

Este trabajo se enfocó en la determinación del grado de intervención actual de dos de estas corrientes y de sus respectivas áreas de influencia: los caños Mateguadua y Caibe, cuyas características ecológicas ya fueron registradas y analizadas en 1993 (Briceño, et. al. 1996). Ambos caños nacen en la altillanura entre Restrepo y Cumaral y drenan en dirección sureste para desembocar en el río Guatiquía, entrelazándose a su paso con afluentes que producen un patrón hidrográfico reticulado, sometido a un régimen hidrológico bimodal, con cambios abruptos en la descarga por causa de la alta precipitación orogénica.

Estos ecosistemas lóticos presentan algunas diferencias fisiográficas entre sí. El caño Mateguadua es una pequeña corriente de agua cuyos bordes no siempre son definidos ya que fluye por pequeñas disecciones sobre terreno llano de poca pendiente, con abundante cobertura de gramíneas en sus márgenes, formando los llamados gramalotes, que pueden ser cubiertos eventualmente por el agua (Figura 2). A diferencia de este, el caño Caibe tiene mayor calibre y por ende una mayor descarga. Además su curso es persistente, pues en algunos tramos de su recorrido está definido por márgenes de talud, con barrancos de algunos metros de altura que contienen los aluviones e impiden su desborde en época de máximas precipitaciones (Figura 3).



Figura 2. Ambientes ribereños y hábitats acuáticos del caño Mateguadua. Se pueden observar formaciones riparias de gramalote y comunidades de macrófitas acuáticas favorecidas por el despeje de bosque de galería. Entre 1993 (fotos superiores redigitalizadas) y 2007 (imágenes inferiores) el caño ha experimentado algunas modificaciones del curso por alteraciones antrópicas. Fotografías del autor.





Figura 3. Aspectos paisajísticos del caño Caibe. Se pueden observar ambientes acuáticos enmarcados en un curso persistente encausado por márgenes de talud. Las actividades de la población local han ocasionado cambios estructurales notables sobre las formaciones boscosas marginales desde 1993 (Imágenes superiores) hasta 2007. Fotografías del autor.

Las condiciones fisicoquímicas de estas corrientes varían de acuerdo al ritmo de disturbios locales repentinos como avenidas y retracciones de los cursos acuáticos que, después de todo, producen en estos ecosistemas una estructura ecológica espacio-temporal predecible ante la repetición cíclica del ritmo anual de disturbios.

En estos ecosistemas lóticos, las comunidades acuáticas muestran una alta complejidad estructural como consecuencia de la elevada heterogeneidad del hábitat. Los ambientes de supervivencia para comunidades acuáticas producen una gama diversa de condiciones adaptativas que incrementan la biodiversidad de especies de peces. La regulación de parámetros ecológicos de la comunidad, tales como composición, abundancia, riqueza, ritmos de reproducción e ítems alimentarios, obedece a sutiles interrelaciones entre la producción y el consumo al interior de estos ecosistemas; y este equilibrio tan delicado se ve amenazado por factores de disturbio externo, normalmente asociados a presiones inusuales que las actividades humanas ejercen sobre los cursos acuáticos.

En el área de influencia, la ocupación del suelo está dada por fincas con diferente propósito en la utilización de recursos naturales y materias primas. Predominan las fincas de pastizales para levante de ganado, haciendas agrícolas y casas de recreo que han modificado en mayor o menor grado los bosques marginales a los caños mencionados. La infraestructura vial se ha modernizado y las transformaciones del paisaje son evidentes, existe un alto grado de intervención en las áreas naturales por un incremento de la actividad humana en la región, ya que actualmente esta zona del piedemonte constituye un corredor de tránsito obligado entre la zona andina y los departamentos del Casanare y Arauca.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Se realizó un estudio longitudinal de la integridad ecológica de los caños Mateguadua y Caibe con base en el monitoreo de las variables fisicoquímicas, la evaluación paisajística de los hábitats acuáticos y el análisis estructural de las comunidades ícticas. Los muestreos de campo se llevaron a cabo en los años 1993, 1994 y 2007, examinando parámetros fisicoquímicos e hidrobiológicos con una frecuencia mensual para cada uno de los años de muestreo.

En cuanto a variables fisicoquímicas, se hicieron muestreos *in situ* de temperatura, oxígeno disuelto, pH y conductividad eléctrica. Paralelamente se llevaron muestras de agua al laboratorio para el análisis diferido de las especies químicas de nitrógeno, fósforo, carbono, dureza, iones, sólidos disueltos, sólidos totales y la totalidad de nutrientes.

La integridad del hábitat fue evaluada a través de la detección de cambios en la estructura espacial a través de perfiles batimétricos y de representaciones a escala de las características fisiográficas del paisaje para los años de muestreo. Adicionalmente se midió la oferta de hábitats según el ciclo hidrológico y el índice de ocupación espacio temporal de los mismos por parte de las especies ícticas para determinar si hubo cambios interanuales en su calidad estructural.

En lo que respecta a la estructura de las comunidades ícticas, se midieron parámetros como composición, abundancia relativa y riqueza y se hicieron estudios de ítems alimentarios de las especies más representativas en los muestreos, según los protocolos propuestos por Prejs y Colomine para contenidos estomacales.

El nivel de modificación causado por la intervención antropogénica fue deducida a partir del registro de cambios en el paisaje, la modificación de la estructura de la comunidad íctica y la condición de integridad ecológica de los caños comparando los datos interanuales a lo largo del periodo de 14 años. Los datos fueron procesados por

medio de los programas BioDiversity, Past y Surfer y las pruebas estadísticas consistieron en análisis de similitud de Bray-Curtis para muestras de ítems alimentarios en peces y el índice de Morisita para calcular el solapamiento de las especies de peces respecto al uso de hábitats.

## **RESULTADOS**

### **Modificaciones en el paisaje**

Uno de los cambios más dramáticos que se observa en la región del piedemonte llanero en general, es la progresiva fragmentación de bosques de galería que funcionan como corredores ecológicos de interconexión para los elementos faunísticos y surten de recursos energéticos las corrientes que bajan de la cordillera. En los caños Mateguadua y Caibe, este fenómeno se ha verificado de manera diferente.

En la década de los 90, el caño Mateguadua ya mostraba una alta intervención humana, sobre todo en lo concerniente al despeje de bosque ripario con fines de abrir espacio a actividades ganaderas y pecuarias. Durante el intervalo de 14 años tomado en el estudio, la pérdida paulatina de la poca vegetación arbórea remanente, expuso al lecho del caño a una dinámica aluvial que diversificó y modificó el curso en diferentes tramos (Figura 4). La acumulación y redistribución de material acarreado y depositado por las sucesivas descargas no pudo contenerse dentro de márgenes definidas, pues el agua fue ganando en extensión desbordando las márgenes cada vez más llanas, al tiempo que perdía profundidad. Como resultado de esta dinámica aluvial se amplió la superficie de agua expuesta a la incidencia directa de la radiación solar, afectando colateralmente la estructura de la comunidad íctica como se discutirá posteriormente.

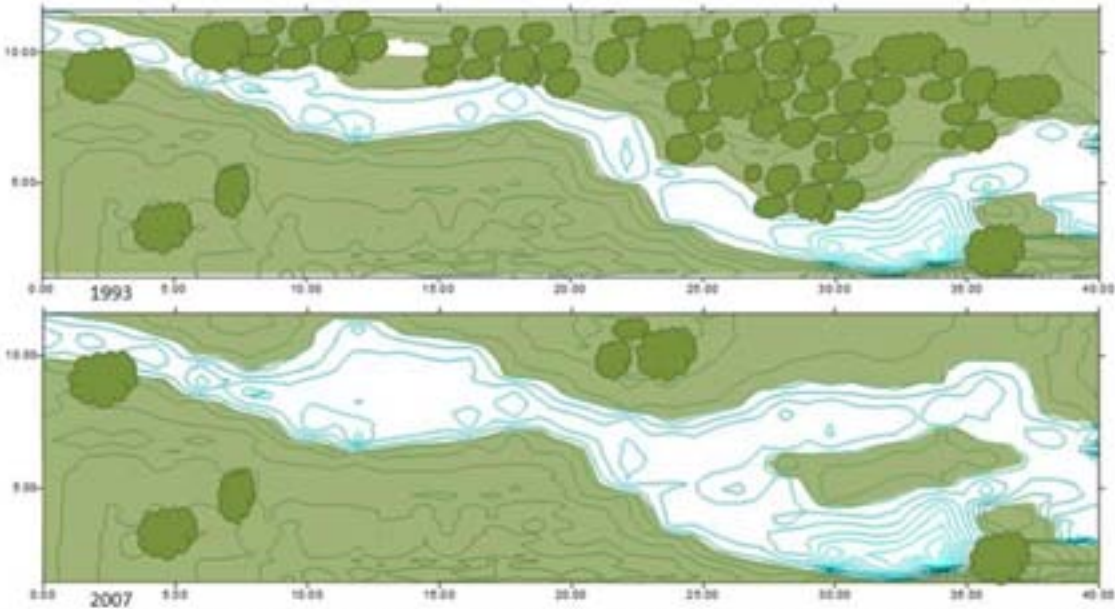


Figura 4. Transformación del paisaje aledaño al caño Mateguadua entre 1993 y 2007. En 14 años la deforestación marginal ha causado procesos erosivos modificando el curso de agua por la redistribución de sedimentos provenientes de descargas sucesivas multianuales.

El caño Caibe experimentó cambios evidentes en el grado de transformación del paisaje, pero ciertamente de manera diferente a lo registrado para el caño Mateguadua, ya que por su mayor profundidad promedio y la presencia de taludes laterales de contención, el curso acuático no fue modificado hasta el momento. El principal problema de degradación ecológica de esta corriente radica en la deforestación marginal. Desde el comienzo de los muestreos ya se notaba la apertura de brechas en el bosque de galería para permitir el acceso de ganado para abreviar en el caño. En 14 años de diferencia estas brechas se fueron ampliando causando la fragmentación total del bosque en tramos completos de su curso (Figura 5). Este deterioro desencadenó una serie de efectos adversos sobre la dinámica aluvial y la disposición espacial de hábitats en la corriente, lo que se pudo comprobar en la medición de todos los parámetros examinados en la estructura del hábitat y de las comunidades ícticas.



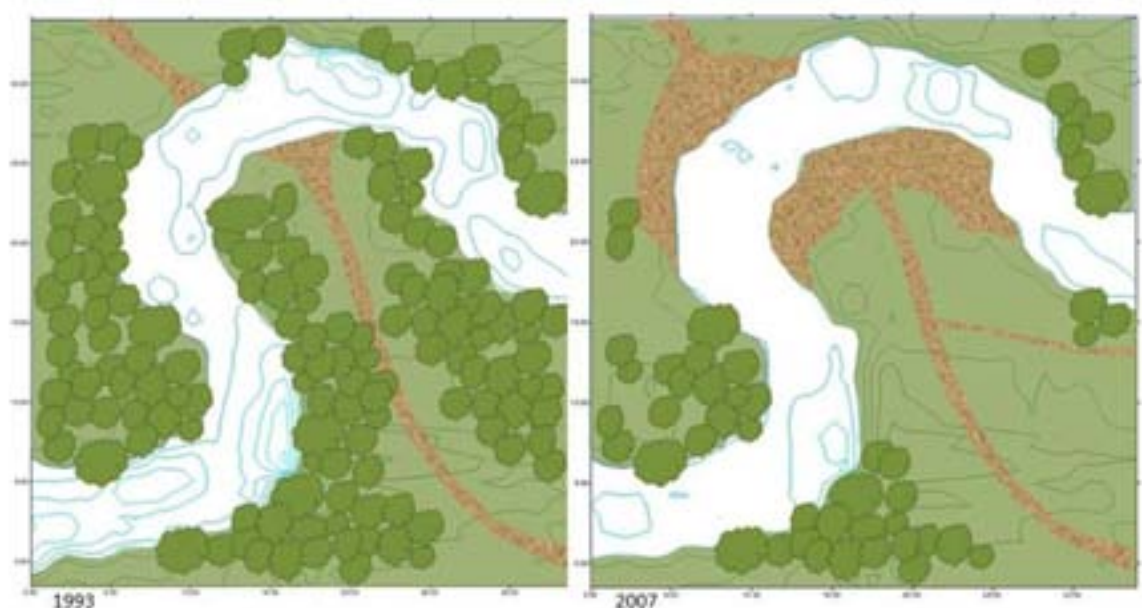


Figura 5. Degradación del paisaje asociado al caño Caibe entre 1993 y 2007. La fragmentación progresiva del bosque de galería ha generado el incremento de espacios abiertos que interrumpen la continuidad de corredores ecológicos importantes para sostener la dinámica de intercambio entre ambientes terrestres y acuáticos.

### Variables fisicoquímicas

El comportamiento de las variables fisicoquímicas durante el periodo de muestreo permite corroborar que, en efecto, durante 14 años ha habido una fuerte modificación del ambiente físico en ambos caños, representada en incremento notable de las fluctuaciones en la descarga media mensual y de sólidos totales en el agua, sobre todo para los meses de la segunda mitad del año (Figura 6). Sin embargo este fenómeno se presentó con más severidad en el caño Mateguadua que en el caño Caibe, llegando a alterar el trazado geográfico de su curso ante la imposibilidad de contener espacialmente eventos de descargas abruptas con su respectiva depositación progresiva.

Las condiciones químicas en general, si bien han mostrado cambios evidentes con tendencias que se discutirán posteriormente, se mantienen dentro del rango de permisividad para la biota (Tabla 1). Variables como el oxígeno disuelto, la temperatura y el pH, son por ahora ideales para la existencia de comunidades ícticas, aunque su rango de oscilación anual se ha incrementado, obligando a las especies a ejercer adaptaciones que se manifiestan en cambios estructurales patentes. Este incremento en la oscilación anual se hace aún más evidente en variables como la conductividad eléctrica.

Las cargas de nutrientes se han elevado ligeramente en lo que respecta al nitrógeno y al fósforo. Aunque las variaciones no llegan a tener un efecto directo sobre las especies ícticas, si lo hacen en cuanto al asentamiento de comunidades de productores

autóctonos oportunistas, sobre todo aprovechando el progresivo despeje de bosque de galería que se ha venido presentando en ambos caños, lo que reduce el porcentaje de producción alóctona, que antes procedía de los ecosistemas terrestres contiguos

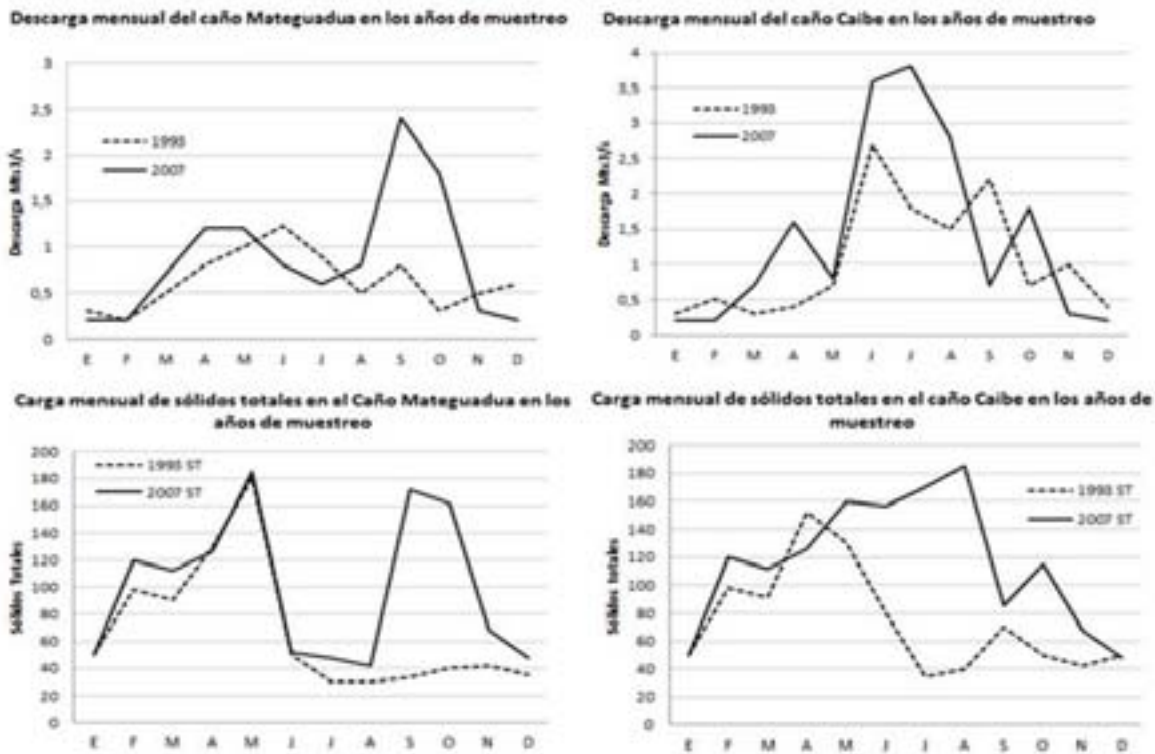


Figura 6. Fluctuación mensual de la descarga y del porte de sólidos totales para los caños Mateguadua y Caibe en los años de muestreo.

	AÑO	T° C	OD	pH	CE	NH4	NO2	NO3	PO4
Caño Mateguadua	1993	25,6	6,5	6,7	65	0	0,05	0,05	0
	2007	27,5	5,5	5,4	110	0,06	0,08	2,18	1,8
Caño Caibe	1993	24,8	8,5	6,7	48	0	0,05	0,05	0
	2007	27,8	6,5	6	76	0,06	0,08	1,15	1,5

Tabla 1. Comportamiento de las variables fisicoquímicas en los caños Mateguadua y Caibe para los años 1993 y 2007

## Comunidades ícticas.

La riqueza presente en ambas corrientes, medida para el periodo de muestreo, fue de 63 especies, de las cuales las 17 más representativas que tuvieron una presencia mensual constante fueron *Astyanax bimaculatus*, *Bryconops caudomaculatus*, *Characidium fasciatum*, *Creagrutus hildebrandi*, *Hemigrammus barrigonae*, *Hoplias malabaricus*, *Xenagoniates bondi*, *Chaetostoma brevis*, *Hemicetopsis minutus*, *Heptapterus stuarti*, *Eigenmannia virescens*, *Aequidens mariae*, *Apistograma ortmanni*, *Hypostomus plecostomus*, *Ancistrus trirradiatus*, *Curimata elegans* y *Cochliodon plecostomoides*. (Figura 7).

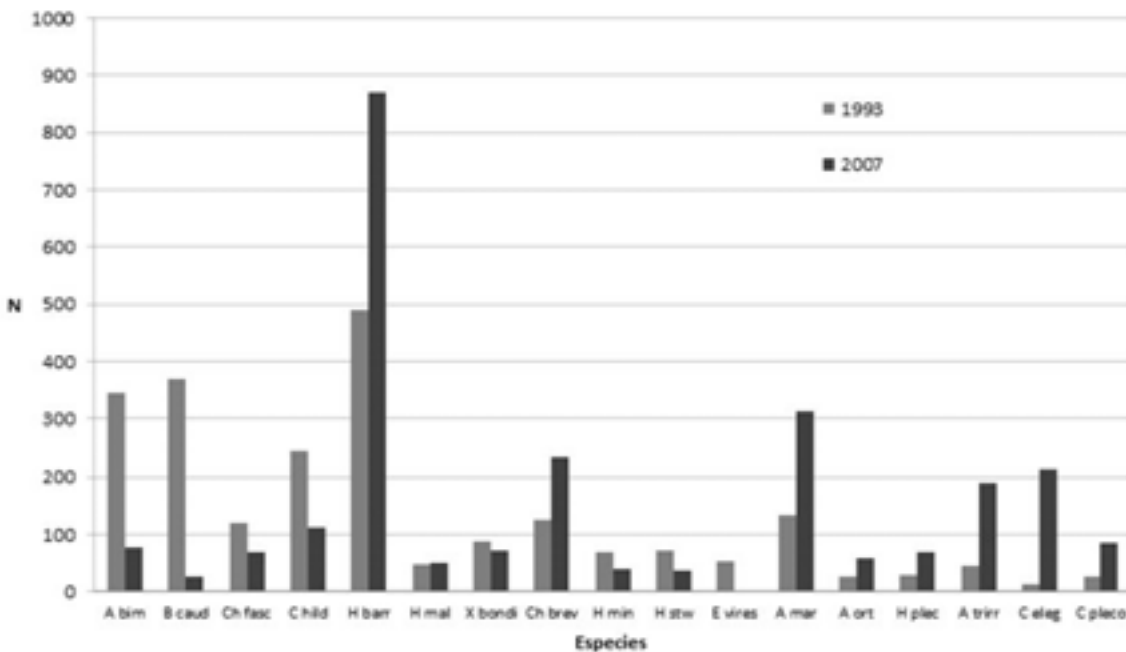


Figura 7. Abundancia relativa de las comunidades ícticas de los caños Mateaguadua y Caiibe en los años de muestreo. A bim = *Astyanax bimaculatus*, B caud = *Bryconops caudomaculatus*, Ch fasc = *Characidium fasciatum*, Ch hild = *Creagrutus hildebrandi*, H barr = *Hemigrammus barrigonae*, H mal = *Hoplias malabaricus*, X bondi = *Xenagoniates bondi*, Ch brev = *Chaetostoma brevis*, H min = *Hemicetopsis minutus*, H stw = *Heptapterus stuarti*, E vires = *Eigenmannia virescens*, A mar = *Aequidens mariae*, A ort = *Apistograma ortmanni*, H plec = *Hypostomus plecostomus*, A trirr = *Ancistrus trirradiatus*, C eleg = *Curimata elegans*, C pleco = *Cochliodon plecostomoides*.

Para el año 1993 las especies más abundantes en ambos caños fueron *Hemigrammus barrigonae*, *Astyanax bimaculatus* y *Bryconops caudomaculatus*. Para el 2007, con excepción de *H. barrigonae* que casi duplicó su presencia en ambas corrientes, la dominancia específica se modificó siendo las especies más representativas *A. mariae*, *Ch. brevis*, *C. elegans* y *A. trirradiatus*. Como se verá más adelante este patrón de reemplazamiento tuvo que ver con la redistribución de la oferta de hábitats y de recursos alimenticios en las dos corrientes entre 1993 y 2007.

En este periodo de tiempo no hubo modificación de hábitos alimenticios de las especies más representativas y la especialización en el uso de recursos tróficos se mantuvo. Es normal que en diferentes épocas del año se presenten cambios predecibles en la intensidad del uso de recursos alimenticios por parte de algunas especies generalistas cuyo alimento favorito puede escasear, ya que la oferta mensual está sujeta a la dinámica hidrológica y al intercambio energético entre el curso acuático y los ecosistemas terrestres adyacentes (Briceño, 1994; Briceño, et. Al., 1998). Sin embargo, a pesar de estas variaciones mensuales predecibles, no se verificó cambio alguno en el uso del recurso trófico entre años.

En la figura 8 se evidencia lo explicado en el párrafo anterior. En un análisis de similitud entre especies de acuerdo al uso del recurso trófico se pueden apreciar grandes grupos de especies: el primero conformado por especies comedoras de material alóctono como semillas, insectos, frutos y hojas, un segundo grupo de comedores de material autóctono como microalgas filamentosas, diatomeas y macrófitas acuáticas. Los dos grupos están totalmente discriminados de la especie *Hoplias malabaricus* que es el principal depredador en estos ambientes acuáticos. Especies como *Bryconops caudomaculatus* y *Creagrutus hildebrandi* mantuvieron su vocación de comedoras de insectos, pero no aparecen en la gráfica por la reducción drástica de su abundancia relativa en el 2007.

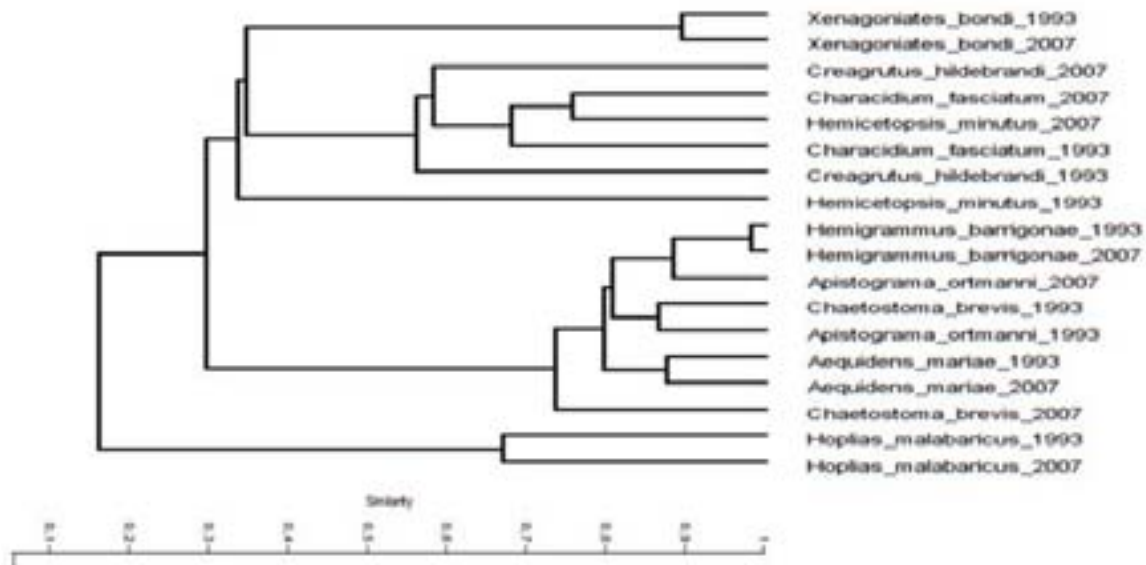


Figura 8. Similitud estructural de la comunidad íctica entre 1993 y 2007 con base en el uso del recurso alimenticio. Datos de agrupamiento basados en el índice de Bray-Curtis.

En cuanto al uso y discriminación del espacio, la mayoría de especies de la comunidad mantuvieron una explotación espaciotemporal que no mostró variaciones notables

entre años, más allá de los mínimos ajustes adaptativos por tener que compartir los mismos hábitats con distinto grado de solapamiento. (Figura 9).

Como se puede apreciar con claridad en la figura 9, a pesar de que un buen número de especies encabezadas por *H. malabaricus*, mantuvieron los mismos hábitats durante 14 años, se presentó un caso que llama poderosamente la atención: *Hemigrammus barrigonae*, una especie de carácido muy abundante, de no más de unos 6 cm, que come preferencialmente microalgas y eventualmente detritos, irradió de manera general en 14 años (ver figura 7), modificando y ampliando su rango de ocupación sobre el resto de especies en ambos caños, pero sobre todo en el Mateguadua. Este hecho, aparentemente aislado, representa ni más ni menos, uno de los indicadores más potentes que pondrá en evidencia la magnitud de los procesos degradativos que está experimentando el paisaje.

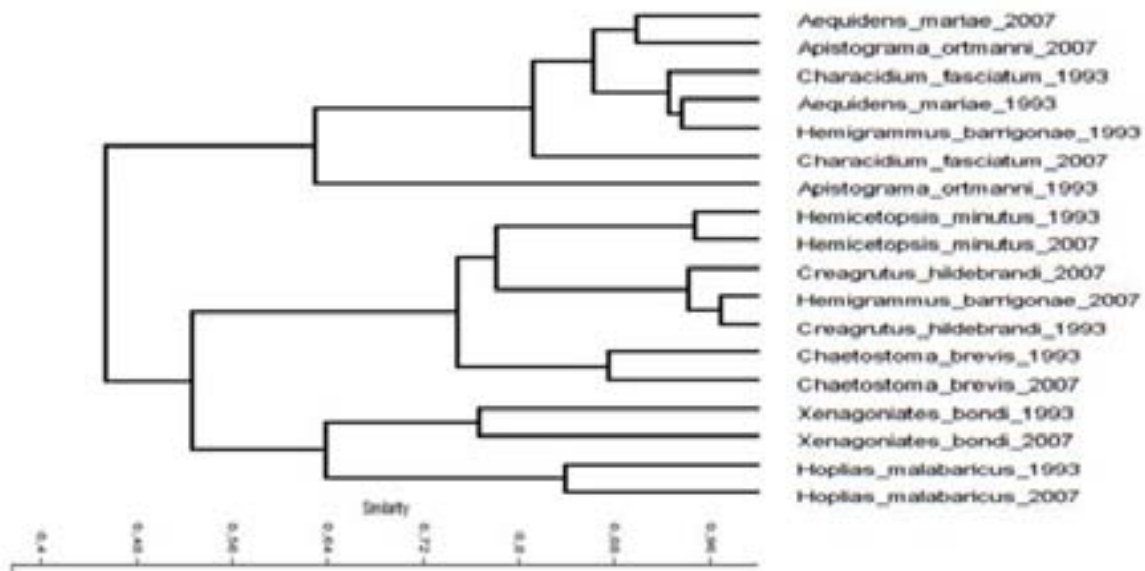


Figura 9. Similaridad estructural de la comunidad íctica entre 1993 y 2007 con base en el solapamiento interespecífico en el uso del hábitat. Datos de agrupamiento basados en el índice de Morisita.

La abrumadora dominancia numérica de *H. barrigonae*, puede explicarse por el hecho de que la frecuencia y distribución espacial de algunos tipos de hábitats se reconfiguraron en 14 años, reduciéndose en general la profundidad y por ende la oferta de pozos en favor de la ampliación del canal principal y de la proliferación de regadales, propicios para el florecimiento de macrófitas acuáticas y de comunidades fitoplanctónicas (Figura 10). En estas condiciones, las poblaciones de *H. barrigonae* prosperaron colonizando nuevos espacios donde, además, por la eliminación del bosque ripario, puede disponer de colonias algales cada vez más prolíficas por la incidencia directa de la luz solar.



## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En un periodo de 14 años, ambos caños evidenciaron una pérdida de integridad ecológica por procesos degradativos tanto en el paisaje de los ecosistemas terrestres contiguos como en los hábitats asociados a los cursos acuáticos. Los indicadores de esta pérdida en la calidad pueden resumirse en 4 aspectos principales como son:

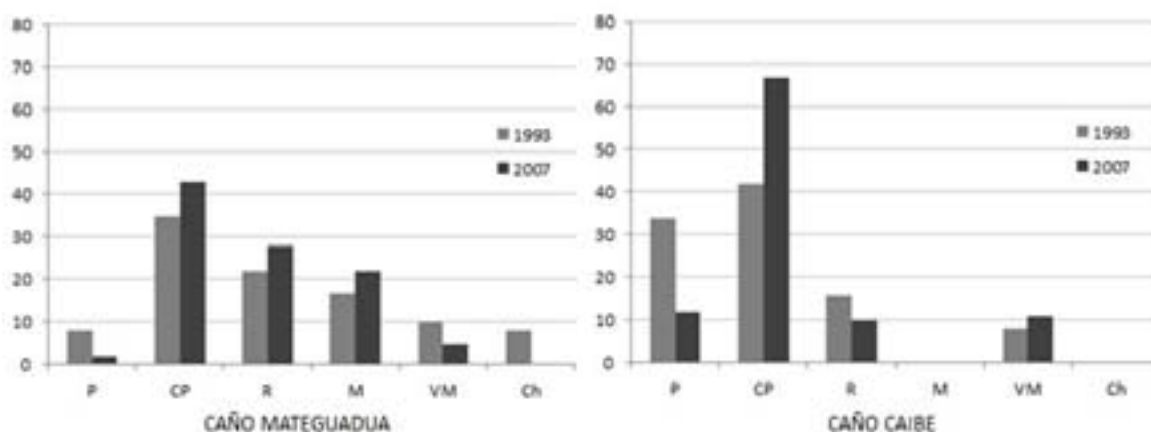


Figura 10. Evolución de la oferta de hábitats acuáticos de los caños Mateguadua y Caibe desde 1993 hasta 2007. P = Pozos, CP = Canal Principal, R = Regadales, M = Macrófitas, VM = Vegetación Marginal, Ch = Charcas.

- Fragmentación de bosques de galería y denudación de suelos próximos a la interfase acuática.
- Alteraciones del ambiente fisicoquímico provocadas por aumento de acarreo de sólidos totales debido a actividades humanas en la cuenca.
- Redistribución de la oferta de hábitats en los caños y disminución de la heterogeneidad espacial subacuática.
- Reconfiguración de la estructura de las comunidades ícticas en lo que respecta a dominancia específica y a la utilización del espacio acuático.

En primer término, la fragmentación del bosque de galería se ha debido al ensanchamiento de brechas para abrir caminos y playones de abrevaderos para ganado. Con los años, estas brechas se han venido ensanchando en detrimento de la cobertura vegetal arbórea hasta convertir grandes extensiones de bosques de galería en potreros para ganadería y cultivos agrícolas. Este fenómeno se verificó sobre todo en el caño Caibe, que 14 años atrás contaba con grandes manchas de bosque, a diferencia del Mateguadua que por entonces ya mostraba riberas desarboladas aunque conservaba manchas de bosque relictual, aisladas por potreros con gran distancia de separación entre ellas.

Como efecto resultante, la definición marginal del Mateguadua es difusa, presentándose modificaciones en el trazado del curso de agua, lo que impide amortiguar las descargas repentinas causadas por efecto de precipitaciones súbitas. El desborde de estos aluviones altera localmente el paisaje por cuanto al llegar las épocas secas, los sedimentos depositados en las márgenes influyen sobre la profundidad y velocidad de la corriente, redireccionando el flujo. Adicionalmente, la granulometría del sustrato se reduce pues el canto rodado que fungía como lecho va siendo cubierto por sedimento de grano fino acarreado por los torrentes en épocas sucesivas de lluvias. Esto hace que se produzcan fluctuaciones bruscas entre valores extremos de velocidad de corriente en periodos muy cortos de tiempo.

En el caño Caibe, la situación es un poco diferente pues esta corriente esta encausada entre márgenes de talud, con barrancos de algunos metros de altura que regulan su descarga y hacen que su posible desborde sea un evento realmente raro. Sin embargo, la deforestación ha ocasionado el lavado de suelos, y el arrastre resultante de sedimentos a la corriente principal ha reducido drásticamente la heterogeneidad del hábitat.

Un segundo indicador lo constituye el comportamiento de las variables fisicoquímicas (Tabla 1). El acarreo de sólidos totales en el agua se incrementó en ambos caños. Tanto la profundidad como la heterogeneidad espacial se redujeron por las capas de sedimentos depositados año tras año en el lecho.

Aunque variables como el oxígeno disuelto y el pH se mantienen en rangos permisivos para la biota, los valores promedio mensuales se redujeron. En el caso del oxígeno por la descarga de materia orgánica al agua como producto de los escombros de tala y del arribazón de material vegetal desprendido del bosque, que al descomponerse incrementa la DBO, y en el caso del pH por el aporte al agua de taninos ácidos derivados del material orgánico alóctono procedente del suelo colindante.

La temperatura del agua mostró un incremento entre los años muestreados, pero este ascenso fue mucho más significativo en el Caibe por el aumento de la radiación solar en algunos tramos, incidiendo directamente sobre el curso acuático ante la tala del bosque marginal que anteriormente proveía sombra sobre el canal principal.

Los niveles de nitrógeno y fósforo fueron mucho más altos en el 2007 que en 1993, demostrando el efecto acumulador de las sucesivas entradas de estos elementos provenientes de los abonos naturales y fertilizantes químicos utilizados en actividades de agricultura y ganadería.

En tercer lugar, la modificación de ambientes subacuáticos y la redistribución resultante de los hábitats disponibles fueron la muestra más elocuente del proceso degradativo que se está presentando en estos ecosistemas lóticos del piedemonte llanero del Meta.

En el caño Mateguadua en 1993, la diversidad de hábitats acuáticos era alta, encontrándose por entonces hábitats de corriente principal, pozos, regadales, macrófitas, gramalotes y charcas (Figura 10). En los muestreos realizados durante el año 2007, se encontró que, si bien se mantienen descriptivamente la mayoría de hábitats, su oferta para el asentamiento de las comunidades ícticas y su arreglo espacio-temporal se han modificado ostensiblemente, sobre todo en lo que respecta a la disponibilidad de pozos profundos con poca corriente, ideales para la reproducción y alimentación de algunas especies de carácidos.

El cambio en la oferta de hábitats se ha experimentado en una forma aún más dramática en el caño Caibe, en donde, a lo largo de 14 años se ha producido una fuerte intervención antrópica que ha comenzado a producir homogenización de las condiciones espacio-temporales de los hábitats acuáticos, por razones ya discutidas (Figura 10). El ritmo sostenido de estas intervenciones ha venido modificando el patrón de hábitats en parches que se verificaba en esta corriente en 1993 (Briceño, et. al., 1996), poniendo en riesgo la estabilidad estructural de las comunidades ícticas. Por ejemplo, la profundidad promedio de los pozos se ha reducido y la variabilidad en la granulometría del sustrato también (Figuras 11 y 12).

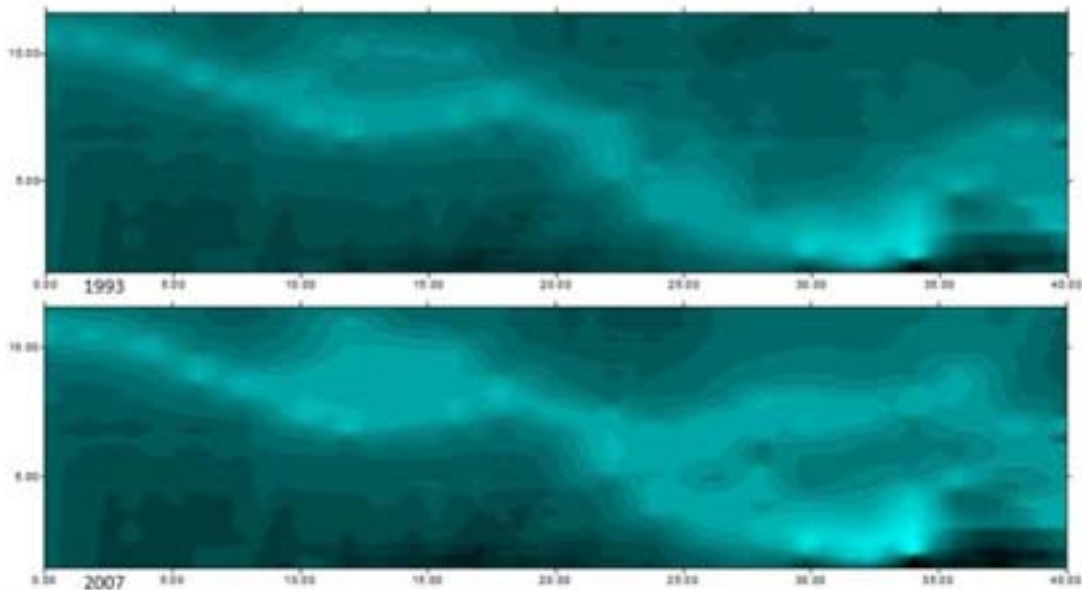


Figura 11. Transformación del patrón espacial de hábitats acuáticos del caño Mateguadua entre 1993 y 2007. La depositación anual de sedimentos ha provocado la dispersión de la corriente a favor de un curso diversificado que se modifica en función de la descarga mensual y que ha desactivado hábitats de charcas marginales que eran frecuentes 14 años atrás.

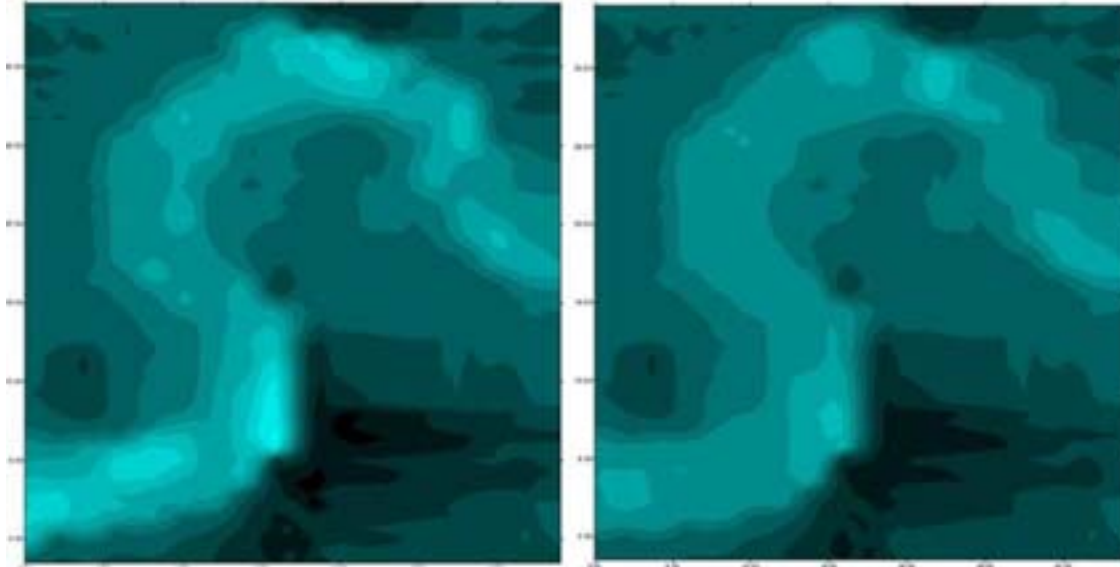


Figura 12. Transformación del patrón espacial de hábitats acuáticos del caño Caibe entre 1993 y 2007. La deforestación progresiva del bosque de galería ha producido lavado erosivo de suelos incrementando la descarga de sedimentos al lecho. A causa de estos factores, la profundidad y la heterogeneidad espacial que presentaba el caño en 1993 se han venido reduciendo.

Bien es sabido que una reducción en la heterogeneidad espacial de microhábitats es un serio disturbio que redundará en primera instancia en una reacomodación de la estructura de comunidades y posteriormente en la disminución de la riqueza íctica. La  $\beta$ -diversidad es el garante estructural de la diversidad de especies. Por lógica conclusión, de mantenerse las tendencias en la homogenización espacial, el futuro de estos caños no es nada halagüeño pues la desactivación de hábitats es uno de los síntomas de pérdida de la integridad ecológica, que suele preceder a la pérdida de especies a escala regional.

Finalmente se pone de presente la importancia de utilizar la estructura de las comunidades ícticas como una herramienta de alta sensibilidad para “leer” los ritmos de cambio ambiental y las modificaciones en la integridad ecológica del paisaje, por sutiles que sean.

El caso del incremento poblacional e irradiación espacial de *H. barrigonae*, una especie comedora de microalgas, a expensas de la reducción poblacional de otras que se alimentan principalmente de insectos como *A. bimaculatus*, *B. caudomaculatus* y *C. hildebrandi*, solo puede significar el cambio de mecanismo de entradas de energía pues la producción alóctona que antes era el principal sustento de la comunidad, es ahora equiparada y en algunos casos reemplazada progresivamente por la producción autóctona. Esta reacomodación solo tiene sentido como respuesta a la deforestación, pues ante la eliminación de árboles cuyas ramas y follaje antes dejaban caer sus aportes de materia comestible al agua, la supresión de este recurso limita a las especies insectívoras. Por otra parte, como ya se acotó con anterioridad, la reducción

de la profundidad promedio de los caños y la entrada de luz plena sobre el agua, son dos factores que favorecen el asentamiento de comunidades de macrófitas y microalgas planctónicas en donde medran las poblaciones de *H. barrigonae*, y otras especies de hábitos similares como *A. mariae*, *A. ortmanni*, *Ch brevis*, todas ellas controladas solo por los índices de depredación de *Hoplias malabaricus*.

## CONCLUSIONES

Los caños Mateguadua y Caibe, dos de las corrientes representativas del piedemonte llanero del Meta, están experimentando cambios estructurales y funcionales acelerados como respuesta al alto grado de intervención humana en la región. La principal causa de estos cambios es el desmonte del bosque de galería y la denudación consecuente de los suelos ribereños. La estabilidad estructural del hábitat y de las comunidades ícticas se ha puesto en riesgo inminente por el ritmo de degradación ambiental de las subcuencas.

La heterogeneidad ambiental propia de los caños llaneros, en el Mateguadua y el Caibese ha comenzado a ver mermada ante la progresiva uniformidad que provoca la sedimentación. La reducción de heterogeneidad espacial puede tomarse como pérdida paulatina de integridad ecológica en el paisaje. Los daños irreversibles en el ambiente se perciben prácticamente en todas las categorías espaciales, desde el paisaje hasta el hábitat, y la reacomodación de la comunidad íctica a las nuevas condiciones del hábitat puede llegar a suponer serios desequilibrios en las cadenas tróficas y en el balance de materiales, pues las especies terminan forzando una adaptación antinatural al filo de arriesgar su persistencia en el ecosistema.

Como se desconoce el grado de resiliencia que estos ecosistemas tienen frente a disturbios de esta magnitud, no se sabe si estos puedan retornar a condiciones de equilibrio con el manejo adecuado de cuencas, pero valdría la pena establecer programas locales de restauración del bosque nativo por medio de estrategias como conservación del bosque de galería remanente y revegetalización estratégica.



## BIBLIOGRAFÍA

- Abes, S.S., & Agostinho, A.A. 2001.** Spatial patterns in fish distributions and structure of the ichthyocenosis in the Água Nanci stream, upper Paraná River Basin, Brazil. *Hydrobiologia* 445, 217–227.
- Allan, J.D., & Flecker, A.S. 1993.** Biodiversity conservation in running waters. *BioScience* 43, 32–43.
- Angermeier, P.L., and Karr, J.R. 1983.** Fish communities along environmental gradients in a system of tropical streams. *Environ. Biol. Fish.* 9, 117–135.
- Bojsen, B.H., & Barriga, R. 2002.** Effects of deforestation on fish community structure in Ecuadorian Amazon streams. *Freshw. Biol.* 47, 2246–2260.
- Briceño, G. 1994.** Distribución espacial de la comunidad íctica como respuesta a la oferta alimenticia en un caño del piedemonte llanero. *Diógenes* 1 (2):151-166.
- Briceño, G., Galvis, G. y G. Guillot. 1998.** Dinámica ecológica de las comunidades ícticas de tres sistemas lóticos del piedemonte llanero. *Diógenes* 5 (1):17-41.
- Briceño, G., Galvis, G. y G. Guillot. 1996.** Descripción espacio-temporal de la oferta de coriotos y caracterización fisicoquímica de tres sistemas lóticos del piedemonte llanero. *Diógenes* 3 (1):41-62.
- Cushing, C.E., Cummins, K.U. & G.W. Minshall. 1995.** River and stream ecosystems. Elsevier, New York.
- Flecker, A.S. 1997.** Habitat modification by tropical fishes: environmental heterogeneity and the variability of interaction strength. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 16, 286–295.
- Fraser, D.F., Gilliam, J.F., MacGowan, M.P., Arcaro, C.M., and Guillozet, P.H. 1999.** Habitat quality in a hostile river corridor. *Ecology* 80, 597–607.
- Knöppel, H. A. 1970.** Food of central Amazonian fishes: contribution to the nutrient-ecology of Amazonian rain-forest streams. *Amazoniana* 2, 257–352.
- Winemiller, K. O, A. Agostinho & E. Pellegrini. 2008.** Fish Ecology in Tropical Streams, in Tropical stream ecology. Elsevier.Inc.
- Winemiller, K.O., Marrero, C., and Taphorn, D.C. 1996.** Perturbaciones causadas por el hombre a las poblaciones de peces de los llanos y del piedemonte Andino de Venezuela. *Biollania Guanare, Venezuela* 12, 13–48.