

CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL HÁBITAT INTERNO Y RIBEREÑO DE RÍOS ANDINOS EN LA CORDILLERA DE MÉRIDA, VENEZUELA

PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERIZATION OF INTERNAL AND RIPARIAN HABITAT IN ANDEAN RIVERS IN THE MERIDA CORDILLERA VENEZUELA

Samuel Segnini y María Marleny Chacón

*Laboratorio de Ecología de Insectos, Departamento de Biología, Facultad de Ciencias,
Universidad de Los Andes. La Hechicera, Mérida. Venezuela.
E-mail: segninis@ula.ve; machacon@ula.ve*

RESUMEN

Con el propósito de caracterizar el ambiente de los cuerpos de agua corriente de la cuenca alta del río Chama, se evaluó el hábitat de 46 sitios en igual número de ríos durante la época de sequía en los años 1999, 2000 y 2001. Tres grupos de variables fueron medidas: a) Variables externas al cauce: altitud, pendiente del cauce, índice de hábitat y cobertura de vegetación; b) Variables hidrológicas: ancho del cauce, profundidad media, velocidad de la corriente, altura máxima del agua y llenura del cauce; y c) Variables fisicoquímicas: temperatura, conductividad, alcalinidad, dureza, pH, oxígeno disuelto y materia orgánica en suspensión. Los ríos fueron asociados a tres unidades ecológicas: Páramo, Selva Nublada y Bosques Bajos. Un análisis de componentes principales (ACP) demostró que son cuatro las características generales que condicionan la variabilidad ambiental de los ríos de la cuenca: la condición ecológica del hábitat; las características topográficas de la cuenca; las propiedades fisicoquímicas del agua; y las variables hidrológicas. Del análisis de estas características generales se concluye que: i) existe un gradiente altitudinal en las condiciones térmicas e hidrológicas que determina el establecimiento de grandes diferencias ambientales entre los ríos que drenan bajo diferentes unidades ecológicas; ii) la alta variabilidad en el tamaño de los cauces esta asociada a la topografía del terreno; y iii) la heterogeneidad en la composición química del agua de los ríos parece depender de la variabilidad geológica presente en la cuenca.

Palabras clave: ríos andinos, caracterización fisicoquímica, química de ríos, condición ecológica, variables ambientales, Venezuela.

ABSTRACT

With the purpose of characterizing the environment of flowing water bodies in the upper watershed of the Chama River, the habitat of 46 sites in equal number of streams was evaluated during the dry season for the years 1999, 2000 and 2001. Three groups of variables were measured: a) variables external to the stream: elevation, slope, habitat index, and vegetation cover; b) hydrological variables: stream width, average depth, water velocity, maximum water level and volume; and c) physicochemical variables: temperature, conductivity, alkalinity, hardness, pH, dissolved oxygen and suspended organic matter. The streams were associated to three ecological units: Páramo, Cloud Forest and Montane Forests. A principal component analysis (PCA) demonstrated that four general characteristics condition the environmental variability of streams of the watershed: the ecological condition of the habitat; the topographic characteristics of the basin; the physicochemical characteristics of the water; and the hydrological variables. From the analysis of these general characteristics it was concluded that: i) there exists an elevation gradient for the thermal and hydrological characteristics that determine the establishment of large environmental differences among the streams that drain areas in different ecological units; ii) the high variability in the stream dimensions is associated to relief; and iii) the heterogeneity in water chemical composition seems to depend on the geological variation of the watershed.

Key words: andean rivers, physico-chemical characterization, river chemistry, ecological condition, environmental variables, Venezuela.

INTRODUCCIÓN

El conocimiento de la ecología de los ríos tropicales de montaña ha incrementado en los últimos años (Turcotte y Harper 1982, Flecker 1992, Bastardo *et al.* 1994, Flecker y Feifarek 1994, Segnini y Bastardo 1995, Chacón y Segnini 1996, Jacobsen *et al.* 1997, Jacobsen 1998, 2003, 2004, Jacobsen y Encalada 1998, Monaghan *et al.* 2000, Sites *et al.* 2003, Pérez y Segnini 2005). Sin embargo, todavía se requiere un número mayor de investigaciones, especialmente en aspectos ecológicos básicos. Para el caso de los ríos de los andes tropicales poco se sabe acerca de las relaciones y efectos que sobre el ambiente hídrico, que es en definitiva el elemento que regula la distribución y abundancia de los organismos acuáticos, tienen las fuerzas físicas, químicas y biológicas propias o ajenas a estos ecosistemas.

Está muy bien establecido que la morfología del relieve, la topografía, las características físicas y químicas de los suelos, el tipo de vegetación, el uso de la tierra y otros elementos que operan a nivel del paisaje son factores determinantes en la estructuración de los diferentes patrones de funcionamiento en los ríos de zonas templadas (Hynes 1975, Vannote *et al.* 1980, Naiman y Décamps 1990). De hecho, varios modelos conceptuales, entre los que destacan la hipótesis del continuo del río (Vannote *et al.* 1980) y el concepto del mosaico fluvial (Naiman y Décamps 1990), se han desarrollado a fin de explicar desde una perspectiva integral el funcionamiento de esos ecosistemas lóticos.

La influencia de estos modelos ha sido definitiva para que parte del esfuerzo actual de investigación en el ámbito universal, se haya orientado en primer lugar hacia el conocimiento de las interacciones que ellos mantienen con otros ecosistemas y en segundo término, a entender el funcionamiento global de los ríos como sistemas ecológicos. La importancia de este enfoque integrador fue puesta de manifiesto por Jackson y Sweeney (1995), quienes después de analizar las respuestas de 27 investigadores con experiencia en ríos tropicales, concluyeron que los estudios en estos ecosistemas deben: i) ser realizados con una perspectiva a escala de cuenca, lo que permitirá relacionar las características biológicas de los ríos con los principales factores de perturbación antropogénicos, ii) orientarse hacia

la comprensión de la biodiversidad (Ej. taxonomía) y los factores ecológicos que mantienen la misma (Ej. ciclos de vida, producción e interacciones), y iii) determinar la utilidad de los modelos existentes en las zonas templadas para describir la estructura y función de los ríos tropicales (Ej. hipótesis del continuo).

En Venezuela son pocos los estudios de caracterización ambiental, al menos para los ríos de orden menor, que han sido efectuados tanto desde la perspectiva global de cuenca como en la escala individual de un cuerpo de agua. Podemos mencionar el realizado por Karwan *et al.* (2001) en tres ríos ubicados en la vertiente sur de la Cordillera de Mérida que drenan sus aguas hacia la región de los altos llanos. Estos autores analizaron dos grupos de fotografías aéreas (1946 y 1980) y relacionaron los cambios del uso de la tierra con los ocurridos en la forma del cauce (ancho, sinuosidad y posición relativa). En otra investigación realizada en siete cuencas de captación en la misma región anterior, Allan *et al.* (2002) compararon los cambios de extensión relativa de los bosques contra la de suelos perturbados y las consecuencias que dichos cambios han tenido sobre los sistemas lóticos y la biodiversidad acuática. En una escala menor de observación, Cressa y Senior (1987) midieron algunas características químicas e hidrológicas en tres puntos del cauce superior del río Orituco, un cuerpo de agua corriente de baja montaña ubicado en la parte central del país y concluyeron que la calidad química del agua a lo largo del cauce está asociada al uso de la tierra.

La investigación que presentamos aquí tuvo como propósito fundamental la caracterización del hábitat de los ríos de la cuenca alta del río Chama. Aunque en estricto sentido el concepto de hábitat, incluye todos los elementos físicos, químicos y biológicos presentes en un sitio, en el contexto de éste estudio lo hemos restringido a todas las características fisicoquímicas propias del cuerpo de agua y del hábitat ribereño que afectan la estructura y función de la comunidad acuática. Creemos que los resultados obtenidos en esta investigación no sólo permitirán conocer mejor los ríos andinos y servir de referencia para estudios similares en otras cuencas, sino que proporcionará información de base para los estudios que sobre la condición ecológica, la biodiversidad y la conservación ambiental se vienen realizando en los la hoya hidrográfica del río Chama que es la más

Las formaciones vegetales más conspicuas e importantes para la geografía de esta región son la Selva Nublada y el Páramo (Vivas 1992). Tomando en cuenta estas dos grandes formaciones vegetales y basándonos en los límites de altitud que definen ambas formaciones, hemos diferenciado el área de estudio en tres unidades ecológicas, a las cuales fueron asociados los cuerpos de agua investigados. La primera unidad corresponde a las Formaciones de Páramo, cuyo límite inferior de altitud se sitúa sobre los 3.000 msnm. (Sarmiento *et al.* 1971, Monasterio y Reyes 1980, Vivas 1992), y está definido además por una temperatura media anual inferior a 10°C, cuyas condiciones hídricas van desde permanentemente húmedas (1.800 mm en promedio) hasta secas (650 mm en promedio) y con una sola estación lluviosa (Monasterio 1980). La segunda unidad corresponde a las formaciones de Selva Nublada, que ocupan la faja altitudinal de 1.700 a 3.000 msnm. (Sarmiento *et al.* 1971). Son bosques densos de 2 a 3 estratos arbóreos y sotobosque bien desarrollado, con abundantes epífitas y numerosas especies endémicas. El clima característico de esta unidad es de altas precipitaciones durante todo el año, con condiciones térmicas situadas entre las isoterma anuales de 18°C y 10 °C (Sarmiento *et al.* 1971). La tercera unidad ecológica, quedaría definida por el resto de las formaciones boscosas presentes en los pisos altitudinales más bajos del área de estudio, esto es por debajo de los 1.700 msnm, y que en particular denominaremos como Bosques Bajos. Estas formaciones boscosas en general podrían caracterizarse por climas más secos, con un régimen de lluvias inferior al de Selva Nublada, y temperaturas más cálidas, donde las formas arbustivas dominan las comunidades vegetales.

Sitios de estudio.

Se hizo un muestreo en 46 cuerpos de aguas corrientes (Figura 1) en la época seca (enero a abril) de los años 1999, 2000 y 2001, teniendo así un total de 115 puntos de muestreo. Un punto de muestreo se corresponde con el muestreo efectuado en un sitio en un determinado año, presentándose así un máximo de tres puntos o sitios de muestreo por sitio. Varios ríos fueron muestreados en más de un sitio. Estos se ubicaron en un amplio intervalo de altitud (3.735-830 msnm) y en diferentes condiciones ambientales, lo que garantizó una amplia

expresión de la variabilidad ambiental de toda el área de estudio. Físicamente cada sitio está formado por un tramo de aproximadamente de aproximadamente 50 metros de longitud en el cauce de un río.

Medición de las variables ambientales

En cada sitio, y dentro del tramo de 50 metros, se midieron un conjunto de variables relacionadas con el ambiente físico interno y externo al cauce, así como con la calidad físico-química del agua. Estas variables fueron clasificadas en tres categorías.

I) Variables externas al cauce

Pendiente del cauce: Esta variable se midió con un clinómetro en dos secciones del tramo de aproximadamente 25 metros, siguiendo el procedimiento descrito en Gordon *et al.* (1992).

Índice de hábitat: Esta medida contribuye a evaluar la condición del hábitat de los ríos según los criterios establecidos por Barbour *et al.* (1999). Esta variable se evaluó en cada sitio mediante la estimación visual de una serie de factores internos y externos al cuerpo de agua (zona ribereña), que se describen a continuación:

1. Heterogeneidad de sustratos disponibles para la fauna: se refiere a la cantidad relativa y variedad de estructuras naturales estables dentro del lecho del río (piedras, rocas grandes, troncos expuestos y sumergidos, ramas, etc.) que pueden ser colonizados por la fauna acuática. Una mayor abundancia y variedad de estructuras sumergidas, proporciona un mayor número de nichos, incrementando así la heterogeneidad del hábitat.
2. Cubrimiento del sustrato: considera el grado de cobertura que tienen los sedimentos finos sobre el sustrato rocoso por su acumulación en el lecho del río. Mayor cobertura del sustrato, significa una disminución en el área disponible para ser colonizada por los organismos, y en consecuencia una menor diversidad de microhábitat.
3. Relación profundidad/velocidad: se refiere a los distintos patrones que pueden resultar de la relación profundidad/velocidad en los ríos. Se considera que la heterogeneidad del hábitat es mayor cuando se presentan las cuatro combinaciones siguientes: lento/profundo, lento/superficial, rápido/profundo y rápido/superficial.
4. Deposición de sedimentos: evalúa la presencia de zonas de acumulación de sedimento fino dentro del cauce. En general, altos niveles de deposición

CARACTERIZACIÓN DEL HÁBITAT DE RÍOS ANDINOS

de sedimentos, son síntomas de ambientes inestables y relativamente simples, que resultan inadecuados para muchos organismos.

5. Estado del flujo del canal: determina en que grado el canal está lleno de agua. Lo cual puede variar tanto en forma natural (ejemplo, por la sequía), o por perturbaciones antropogénicas (represamiento o extracción de agua para irrigación). Una mayor exposición del lecho del río debido a menor flujo de agua, causa una reducción en la cantidad de sustratos adecuados para los organismos.

6. Alteración del cauce: se refiere a la presencia de canalización o dragado del canal., el que al estar más alterado contribuye en la destrucción de los hábitat naturales.

7. Frecuencia de rápidos: mide la secuencia a lo largo del canal de zonas poco profundas, de gran velocidad y con alta turbulencia. Estas unidades geomorfológicas son un componente importante de la heterogeneidad del hábitat acuático, y por lo tanto su mayor frecuencia favorece la diversidad de la fauna.

8. Estabilidad de las márgenes: evalúa la existencia de erosión en las orillas, o de áreas potenciales para la erosión, lo cual se asocia con problemas de movimiento y deposición de sedimentos en el cuerpo de agua, y a la vez con una escasez de cobertura y entrada de materia orgánica al río.

9. Vegetación protectora de las riberas: se refiere al grado de protección que da la vegetación ribereña, especialmente arbórea, a las orillas, no sólo para inferir sobre la resistencia de las márgenes a la erosión, sino también sobre el grado de sombra, sobre la cantidad de materia orgánica autóctona que entra al río, y sobre la disponibilidad de microhábitat marginales (usados como refugio por muchos organismos).

10. Ancho de la vegetación ribereña: considera la extensión del bosque ribereño y su impacto por las actividades humanas. Su extensión determina la capacidad de filtro o de retención de elementos que son lavados hacia los ríos, y de aporte de materiales vegetales al cuerpo de agua.

A cada parámetro se le dio un valor de ponderación, dentro de una escala de valores de 0-20, siguiendo los criterios establecidos por Barbour *et al* (1999). Totalizando los puntajes de todos los parámetros, y expresando este valor en términos porcentuales sobre la base de la máxima puntuación que tendría un sitio en condiciones óptimas se obtuvo en conjunto una medida integrada

de la condición del hábitat (índice de hábitat) para cada sitio, relacionándose los valores más altos, con una mejor condición ecológica del hábitat.

Respecto al uso de este índice, es necesario advertir que el mismo fue originalmente diseñado para evaluar la calidad del hábitat acuático, en el sentido de un mayor o menor impacto antrópico, en ríos que naturalmente corren en zonas boscosas (Barbour *et al.* 1999). Sin embargo, decidimos incluirlo como una medida más para caracterizar las condiciones ambientales en todos los sitios de estudio, tomando en cuenta que en la determinación del mismo, están involucrados parámetros cuya escala de valores según los criterios de evaluación, nos permite detectar las diferencias naturales que existen entre ríos que drenan en unidades ecológicas totalmente distintas, como ocurre en nuestro caso con los ríos de páramo y los ríos de formaciones boscosas. Estos parámetros son principalmente: la heterogeneidad de sustratos, la relación profundidad/velocidad y las características de la vegetación ribereña, los cuales nunca alcanzarán valores muy altos en los ríos de páramo, lógicamente por sus condiciones naturales, entre las que se incluye la ausencia de vegetación ribereña de tipo arbóreo.

Es decir, que independientemente de que los ríos de páramo estén o no perturbados, siempre van a resultar con valores bajos del índice de hábitat, debido a que allí la ausencia de vegetación arbórea contribuye enormemente a que la estructura física del hábitat acuático sea mucho más simple que la de los ríos que drenan en zonas boscosas, entre otras razones, por la ausencia de sombra, y por el poco aporte a estos ríos de materia orgánica autóctona gruesa (hojarasca, troncos, ramas, etc.), la cual es importante no solo como fuente de alimento, sino también para proveer de una variedad de sustratos orgánicos a la fauna (Minshall 1984, Ward 1984, Allan 1995). Por lo tanto, como cualquier otra variable ambiental (ejemplo, temperatura), este índice puede perfectamente discriminar entre los ríos de páramo y los de zonas boscosas. En el caso de comparar ríos que drenan bajo bosques, si es posible relacionar las diferencias en los valores del índice de hábitat con cambios en la condición ecológica, ya que allí la valoración de los parámetros antes señalados, al igual que para el resto, puede resultar en cualquier rango dentro de la escala de valores usada, dependiendo del grado de perturbación del hábitat.

Cobertura de las copas: El grado de cobertura

que tienen las copas de los árboles sobre el cauce, nos permitió evaluar la influencia de la vegetación ribereña, un factor de gran importancia en la estructura y funcionamiento de los sistemas lóticos o cuerpos de aguas corrientes (Allan 1995). Se hizo una estimación indirecta de la cobertura de las copas, midiendo en 10 transectas perpendiculares a la longitud del cauce y equidistantes 5 metros, el “ángulo de las copas”, de acuerdo al método descrito en Meador *et al* (1993), que consiste en medir desde el centro de cada transecta, con la ayuda de un clinómetro, el ángulo que se forma entre la línea horizontal imaginaria a la altura del ojo del observador, y la estructura más alta de la vegetación que se encuentra a cada lado en la dirección de la transecta. La suma de los ángulos de cada lado, se expresa finalmente como un porcentaje con relación a 180°, determinando así el porcentaje de cobertura de las copas.

I) Variables hidrológicas

En esta categoría se incluyen las variables que están relacionadas directamente con la corriente o con el caudal de agua, como son: el ancho del cauce, la profundidad media del agua, la velocidad de la corriente, la altura máxima del nivel de agua y el porcentaje de llenado.

El ancho del cauce y la profundidad media del agua se midieron en cinco transectas equidistantes diez metros a lo largo del trecho de cauce seleccionado. Para medir el ancho del cauce se consideró solo la sección llena de agua. La profundidad se midió en tres puntos de cada transecta, ubicados a 25%, 50% y 75% del ancho del cauce, a partir de los cuales se obtuvo un valor medio de profundidad del agua. La velocidad de la corriente se estimó con el método del flotador en cuatro secciones del tramo. Con estos valores se calculó la descarga (Q) o caudal promedio en cada estación para el momento del estudio, de acuerdo a la fórmula $Q = W \times P \times V \times 0,8$ (Welch 1948), siendo Q = caudal (m³/seg.); W = ancho promedio de la sección del canal con agua (m); P = profundidad media del agua (m); V = velocidad de la corriente (m/seg); El valor 0,8 es un factor de corrección.

La altura máxima, expresa el máximo nivel que puede alcanzar el agua en situaciones de crecidas. Se obtuvo midiendo en los extremos de cada una de las cinco transectas, la altura de la marca o señal que dejó el agua en su máxima

crecida. El porcentaje de llenado del cauce expresa el porcentaje que representa el ancho del cauce lleno de agua con relación al ancho total (ancho máximo que tendría el cauce en períodos de crecidas).

II) Variables indicadoras de la calidad fisicoquímica el agua

Se midieron los factores fisicoquímicos siguientes: el pH, la temperatura del agua, la conductividad, la alcalinidad, la dureza, el oxígeno disuelto, y la materia orgánica en suspensión. Todas estas variables excepto la materia orgánica en suspensión, se determinaron *in situ*. El pH, la temperatura del agua y la conductividad, se midieron con electro medidores portátiles; la alcalinidad mediante titulación con H₂SO₄ (Welch 1948); la dureza con el método compleximétrico de Merck (1974) y el oxígeno disuelto con el método de Winkler (Welch 1948).

Para determinar el contenido de materia orgánica en suspensión, se filtró *in situ* con la ayuda de una bomba manual de vacío, un litro de agua a través de un filtro de fibra de vidrio de 45 mm de diámetro, previamente pesado. El material filtrado fue secado en una estufa a 60°C por 24 horas y se determinó su peso seco (integrada por partículas orgánicas e inorgánicas). El contenido de materia orgánica se obtuvo incinerando éste material a 500 °C por una hora y obteniendo el peso seco libre de cenizas (PSLC) (Wallace y Grubaugh 1996).

Análisis estadísticos

El grado de asociación entre las variables y la existencia de gradientes ambientales fue evaluado con un Análisis de Componentes Principales (ACP). La normalidad de las variables se comprobó con la prueba de Shapiro-Wilk (Chacín 2000). Aquellas que no mostraron normalidad fueron previamente transformadas. En la Tabla 1, se especifican las funciones de normalización utilizadas en cada caso.

En nuestro caso el ACP redujo el número de variables ambientales, al combinar linealmente aquellas variables relacionadas en tres nuevas variables sintéticas que reciben el nombre de componentes principales y que representan los ejes de mayor variación a lo largo de los cuales se ordenan los puntos de muestreo. Estos ejes o componentes principales se disponen ortogonalmente en un sistema cartesiano (Norris

CARACTERIZACIÓN DEL HÁBITAT DE RÍOS ANDINOS

y Georges 1993, Ter Braak 1995, Fariñas 1996). El análisis de los valores de correlación entre las variables internas (sitios) con los ejes de ordenamiento, permitió determinar aquellas que más contribuyeron a su construcción. Igualmente el grado de asociación entre las variables ambientales (externas) con los ejes de ordenamiento, permitió identificar gradientes ambientales en el patrón de variación de los puntos de muestreo. Estos se representaron gráficamente en el plano de ordenamiento mediante símbolos de marcado y las variables ambientales como vectores. La longitud de estos indicó el grado de correlación con los ejes de ordenamiento, y su orientación la dirección del plano hacia donde aumenta la variable que representan.

RESULTADOS

En la Tabla 2 se presenta una información general sobre las variables ambientales evaluadas en los 46 cuerpos de agua analizados en los tres años de estudio. Se indica para cada variable los valores mínimos y máximos, registrados en los cuerpos de agua de cada unidad ecológica, así como los valores generales para toda el área (promedio, mínimo, máximo y coeficiente de variación).

Los cuerpos de agua se localizaron en un amplio gradiente altitudinal entre los 830 y los 3735 m de altitud (Apéndice 2) y repartidos dentro de las tres unidades ecológicas definidas en el área de estudio. La unidad mejor representada fue la zona de Selva Nublada con un total de 30 cuerpos

de agua, mientras que 6 y 10 ríos fueron seleccionados en las zonas de Páramo y de Bosques Bajos respectivamente.

Los resultados de la Tabla 2 muestran que la mayor variabilidad ambiental entre los cuerpos de agua se presentó para el caudal (CV = 111,8%) y para las condiciones químicas relacionadas con la mineralización del agua: la dureza (CV = 179,3%), la conductividad (CV = 147,7%) y la alcalinidad (CV = 136,6%). El caudal resultó altamente heterogéneo entre los sitios, con un promedio general para toda el área de 0,82 m³/seg. Los valores extremos (mínimo y máximo) fueron encontrados dentro de la zona de Selva Nublada (quebrada SaiSai y la estación 3 del río Chama respectivamente, Apéndice 1), lo que revela que en la época seca hay alta variabilidad en las condiciones del flujo entre los ríos de esta unidad ecológica. En general los valores más altos se presentaron en los ríos de formaciones boscosas (Selva Nublada y Bosques Bajos), mientras que en los ríos de Páramo los mismos fueron relativamente bajos (Apéndice 1), obviamente por localizarse en las cabeceras de la cuenca.

Los valores máximos para la conductividad, la alcalinidad y la dureza resultaron extremadamente altos (880 μmhos/cm; 393,8 m/L CaCO₃ y 519,1 CaCO₃ respectivamente), y provienen de ríos de la parte más baja (Bosques Bajos), donde también otros ríos registraron valores relativamente bajos en dichas variables. Esto indica que al menos durante la época del estudio, los ríos

Tabla 1. Funciones de normalización de las variables ambientales

Variable ambiental	Función matemática
Dureza	Arcotangente (x)
Alcalinidad	Log (x)
Conductividad	(Arcotangente (x)) ²
Temperatura del agua	(Log (x)) ²
Materia orgánica en suspensión	Log (x+1)
Ancho del Cauce	(Arcotangente (x)) ²
Caudal	Raiz-cuadrada (Log (x+1))
Cobertura	Arcoseno (x/100)

Tabla 2. Valores mínimos y máximos de las variables ambientales registrados en ríos de tres unidades ecológicas (Páramo, Selva Nublada y Bosques Bajos) en la cuenca alta del Río Chama, durante la época seca en tres años de estudio. Se indica además los valores generales (promedio, mínimo, máximo y coeficiente de variación) para toda el área.

UNIDAD ECOLÓGICA	Número de cuerpos de agua (n)	VARIABLES AMBIENTALES																
		EXTERNAS AL CAUCE					HIDROLÓGICAS					FÍSICO-QUÍMICAS DEL AGUA						
		Altitud (msnm)	Pendiente (%)	Índice Hábitat (%)	Cobertura copas (%)	Ancho cauce (m)	Profundidad media (m)	Velocidad (m/seg.)	Caudal (m ³ /seg.)	Altura máxima (m)	Llenado del cauce (%)	Materia Orgánica Suspensión (ppm)	Oxígeno disuelto (mg/L)	Temperatura agua (°C)	pH	Conductividad (µmhos/cm)	Alcalinidad (mg/L CaCO ₃)	Dureza (mg/L CaCO ₃)
PARAMO	6	3180	3,5	54,0	0,0	2,20	0,07	0,06	0,01	0,29	42,7	0,87	7,1	5,0	6,5	34,90	12,00	7,00
SELVA NUBLADA	30	3735	14,5	76,0	23,7	7,69	0,22	0,70	0,60	0,96	86,1	4,50	8,50	15,0	7,7	95,0	31,0	32,0
BOSQUES BAJOS	10	1750	1,5	42,0	0,0	1,23	0,08	0,02	0,004	0,27	18,9	0,50	7,40	9,0	5,9	25,00	5,20	9,00
		2985	22,0	92,0	100,0	25,98	0,46	1,16	5,370	0,98	100,0	7,57	9,20	21,0	9,1	119,0	56,39	105,00
		830	1,5	34,0	0,0	3,41	0,11	0,32	0,160	0,28	3,1	0,80	6,90	16,0	6,8	20,00	10,74	9,00
		1650	12,0	82,0	89,6	11,08	0,43	1,30	3,573	1,05	82,3	16,11	8,80	30,0	8,5	880,00	393,80	519,10
Promedio General		8,7	69,2	53,4	5,46	0,23	0,63	0,82	0,57	62,7	2,86	8,06	15,2	7,3	70,55	30,70	29,28	
Mínimo		1,5	34,0	0,0	1,23	0,07	0,02	0,004	0,27	3,1	0,50	6,90	5,0	5,9	20,00	5,20	7,00	
Máximo		22,0	92,0	100,0	25,98	0,46	1,30	5,370	1,20	100,0	16,11	9,20	30,0	9,1	880,00	393,80	519,10	
%CV		44,0	17,9	64,5	68,7	36,1	37,8	111,8	32,6	29,9	63,6	5,2	26,3	6,8	147,7	136,6	179,3	

CARACTERIZACIÓN DEL HÁBITAT DE RÍOS ANDINOS

Tabla 3. Valores promedios, mínimos, máximos y coeficientes de variación (CV%) de la conductividad, la alcalinidad y la dureza, en los cuerpos de agua de las vertientes derecha (VD) e izquierda (VI) de la cuenca del Río Chama.

Variable	Conductividad		Alcalinidad		Dureza	
	(μmhos/cm)		(mg/L CaCO ₃)		(mg/L CaCO ₃)	
	VD n = 68	VI n = 45	VD n = 68	VI n = 45	VD n = 68	VI n = 45
Media	82,5	49,0	35,5	21,9	34,3	20,7
Mínimo	25	20	5,2	7,9	7,0	9
Máximo	880	114	393,8	48,5	519,1	105
CV(%)	162	34	151	40,3	195,4	71,7

de Bosques Bajos son mucho más heterogéneos en la química del agua, que los de Páramo y de Selva Nublada, para los cuales dichas variables tienen una amplitud de variación mucho menor. Estos resultados revelan diferencias importantes en el contenido de sólidos disueltos entre los cuerpos de agua estudiados. Un hecho interesante observado en cuanto a la mineralización del agua es que los ríos que confluyen en el cauce principal por la margen derecha presentan una mayor variabilidad en los valores de conductividad, alcalinidad y dureza que los ríos que se encuentran en la vertiente izquierda de la cuenca (Tabla 3).

El contenido de oxígeno disuelto y el pH, en cambio con bajos coeficientes de variación (5,2% y 6,8% respectivamente), mostraron ser las variables más constantes dentro del área de estudio. El promedio general del pH fue de 7,3; ubicándose en un rango de 5,9 a 9,1, lo que sugiere una condición neutra a ligeramente básica para el total de ríos estudiados. El oxígeno disuelto promedio fue de 8,06 mg/L, en un rango de 6,9 a 9,2 mg/l. En ninguna de estas variables se observó un gradiente altitudinal.

La temperatura más baja fue de 5 °C, registrada en el sitio más alto (quebrada Mifafi), y la mayor alcanzó 30 °C, en el río La Sucia 2, uno de los más bajos dentro del área (Apéndice 1). También es notable la diferencia térmica entre los ríos agrupados en cada unidad ecológica, donde

los valores más bajos se presentan en los ríos de Páramo, los intermedios en los ríos de Selva Nublada, y los más altos en los que drenan en las formaciones de Bosques Bajos (Apéndice 1), lo que claramente evidencia un patrón altitudinal negativo en esta variable, no obstante mostrar un coeficiente de variación relativamente bajo (26,8%).

El ACP determinó un porcentaje de varianza acumulada en los tres primeros ejes igual a 56,63%; explicando el eje 1 un 25,27%; el eje 2 un 20,41% y el eje 3 un 10,95%. El ordenamiento de los 115 puntos de muestreo para los dos primeros ejes del ACP (Figura 2), produce una nube de puntos más dispersa hacia el lado izquierdo del plano, lo que indica que estos ríos o puntos de muestreo son más heterogéneos ambientalmente que los de la derecha. No se observa una clara discontinuidad entre los puntos de muestreo de las tres unidades ecológicas. Los puntos de muestreo de los ríos que drenan en el Páramo ocupan predominantemente la porción inferior derecha (cuadrante II), revelando ello pocas diferencias ambientales entre dichos ríos. Los de Selva Nublada, aunque distribuidos en toda el área del plano, tienden a congregarse hacia la parte superior, lo que podría sugerir una mayor similitud ambiental con relación a los ríos de esta zona que ocupan la parte inferior del plano. Por su parte los puntos de muestreo de los ríos que drenan en las formaciones de Bosques Bajos, ocupan principalmente el lado izquierdo de

la nube, y con una dispersión mucho mayor que los grupos anteriores, lo que parece indicar una alta heterogeneidad ambiental en este grupo de cuerpos de agua.

La correlación de las variables ambientales con los dos primeros ejes de ordenamiento (Figura 2), determinó que 16 de ellas resultaron significativas ($r > 0,1832$; $P < 0,05$) en explicar el ordenamiento de los sitios y puntos de muestreo. La altura máxima del nivel de agua fue la única que no resultó significativa ($r \leq 0,1832$; $P \geq 0,05$) en el análisis.

Estas variables claramente se disponen en cuatro manojos de vectores, revelando el grado

de asociación entre ellas. La cobertura de la vegetación ribereña, el índice de hábitat, el contenido de oxígeno disuelto y el porcentaje de llenado, altamente correlacionadas entre sí (dada la proximidad de los vectores) se proyectan hacia la porción superior y central del plano; a éstas se oponen (cuadrante III) las variables fisicoquímicas del agua (la temperatura, la materia orgánica en suspensión, el pH, la dureza, la conductividad y la alcalinidad), las que a su vez están altamente correlacionadas entre sí. En la porción central derecha del plano, la altitud (ALTI) y la pendiente (PEND) correlacionadas positivamente entre sí, se

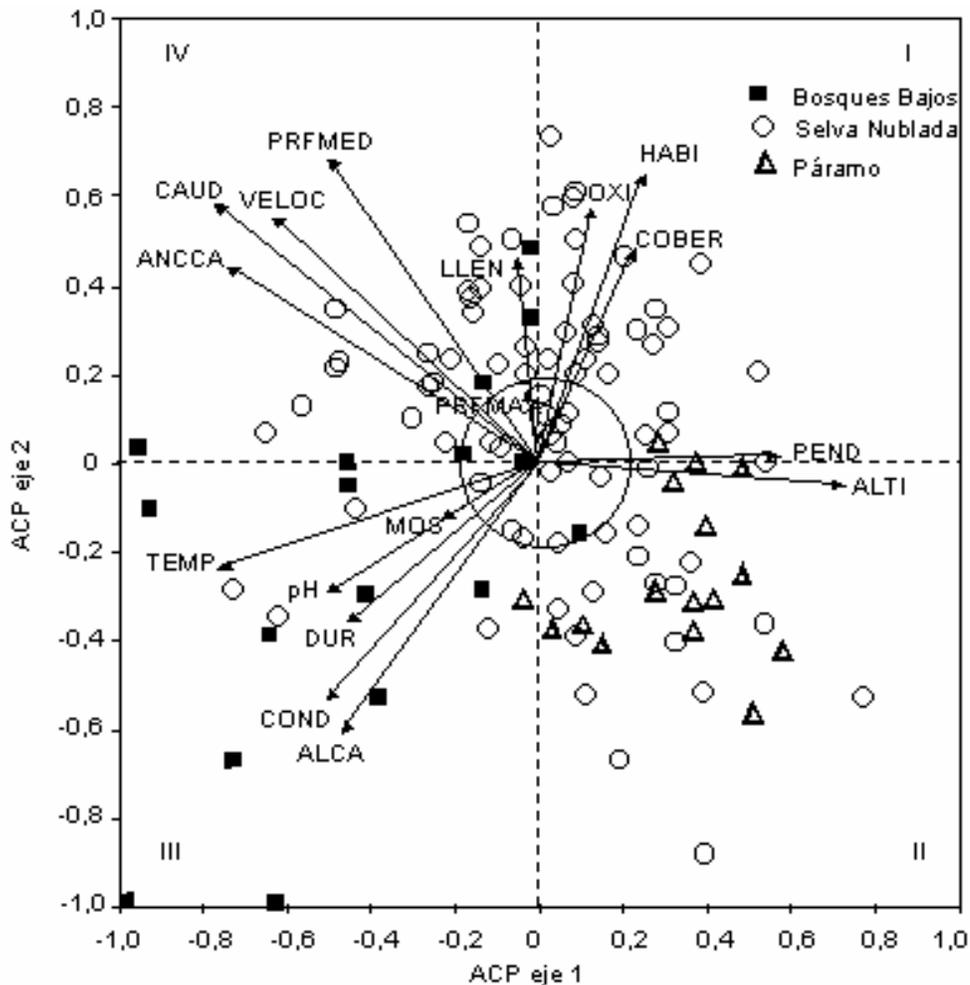


Figura 2. Dispersión de los sitios estudiados en la cuenca alta del río Chama, ordenados en función de las variables ambientales a lo largo de los ejes 1 y 2 mediante un ACP. El radio del círculo central indica el valor mínimo de significación del coeficiente de correlación ($P < 0,05$). Los vectores representan las variables ambientales. Alcalinidad (ALCA); conductividad (COND); dureza (DUR); temperatura (TEMP); materia orgánica suspendida (MOS); ancho del cauce (ANCCA); caudal (CAUD); velocidad de la corriente (VELOC); profundidad media del agua (PRFMED); porcentaje de llenado del cauce (LLEN); oxígeno disuelto (OXI); índice de hábitat (HABI); cobertura de las copas (COBER); altura máxima del nivel de agua (ALTMAX); pendiente (PEND) y altitud (ALTI).

oponen en igual grado a las variables hidrológicas (cuadrante IV), especialmente el ancho del cauce; el caudal y la velocidad de la corriente y a las características fisicoquímicas (cuadrante III), especialmente la temperatura del agua.

Catorce variables se relacionaron significativamente con el primer eje, siendo por lo tanto las que más explican la variabilidad entre los puntos de muestreo a lo largo del mismo. Las que mostraron las correlaciones más altas con este eje fueron el caudal ($r = -0,756$), la temperatura ($r = -0,749$), la altitud ($r = 0,747$) y ancho del cauce ($r = -0,722$). Le siguieron en orden de importancia: la velocidad de la corriente ($r = -0,622$), la pendiente ($r = 0,587$), la profundidad media del agua ($r = -0,501$), la conductividad ($r = -0,497$), el pH ($r = -0,489$), la alcalinidad ($r = -0,463$), la dureza ($r = -0,452$), el índice de hábitat ($r = 0,266$), la cobertura ($r = 0,245$) y la materia orgánica en suspensión ($r = -0,215$).

La altitud se correlacionó positivamente con el eje 1 y con la pendiente del cauce, lo que muestra que sus valores incrementan hacia los puntos de muestreo que ocupan el lado derecho del plano. La orientación de la altitud en sentido opuesto a las variables hidrológicas y a las fisicoquímicas, indica relaciones negativas con éstas, de las cuales, las más altamente correlacionadas con éste factor son la temperatura del agua ($r = -0,8328$), seguida de las hidrológicas: la velocidad de la corriente ($r = -0,5344$), el caudal ($r = -0,4577$) y el ancho del cauce ($r = -0,4120$) (Apéndice 3). El oxígeno disuelto, el porcentaje de llenado, el índice de hábitat y el porcentaje de cobertura, no muestran correlaciones significativas con la altitud, como lo expresa la orientación de sus vectores en un ángulo cercano a 90° con respecto a dicho factor, lo que se corroboró mediante los valores del coeficiente de correlación de Pearson (Apéndice 3).

En la construcción del eje 2, resultaron significativas trece variables, las que incluyen las hidrológicas, las físico-químicas del agua, el índice de hábitat y la cobertura. En este caso, las correlaciones más fuertes con el eje, las presentaron, de manera positiva: la profundidad media del agua ($r = 0,670$), el índice de hábitat ($r = 0,645$), el oxígeno disuelto ($r = 0,574$), el caudal ($r = 0,568$) y la velocidad de la corriente ($r = 0,539$); y de manera negativa: la alcalinidad ($r = -0,632$) y la conductividad ($r = -0,553$); interpretando de esto, que las primeras aumentan hacia los puntos de muestreo que ocupan la parte superior del plano, mientras que las segundas aumentan hacia los

puntos de muestreo de la parte inferior.

En el ordenamiento a lo largo del tercer eje (Figura 3), hay un alto grado de solapamiento entre los sitios de muestreo correspondientes a las distintas unidades ecológicas, lo que se explica por la gran dispersión que muestran, incluidos los puntos de páramo, para este eje. Esto indica que para el gradiente ambiental del tercer eje, los cuerpos de agua que corren dentro de las tres unidades ecológicas son muchos más heterogéneos entre sí, que con relación a los gradientes de los dos ejes anteriores. En este caso las variables más significativas en explicar el ordenamiento de los puntos de muestreo son: la dureza ($r = 0,607$), el índice de hábitat ($r = 0,554$), la cobertura ($r = 0,548$) y el porcentaje de llenado ($r = 0,521$), las que aumentan hacia los puntos que ocupan el lado derecho del plano. Es notable también que ninguna variable se correlacionó negativamente (de manera significativa) con este eje.

DISCUSIÓN

De la caracterización ambiental de los ríos, lo primero que destaca es la gran heterogeneidad de las variables hidrológicas, en particular del caudal y de las propiedades químicas relacionadas con la mineralización del agua: la conductividad, la alcalinidad y la dureza. Así como la gran homogeneidad en los valores de oxígeno disuelto y de pH (Tabla 2). El caudal fue uno de los factores más variables en todos los sitios estudiados y posiblemente sea el ancho del cauce la variable hidrológica que más contribuye a esta gran variabilidad dado el alto valor de correlación entre las dos medidas ($r = 0,8647$; Apéndice 3). Igualmente el ancho del cauce presentó la mayor variabilidad dentro del área de estudio ($CV = 68,7\%$), superando a la observada para la profundidad media del agua ($CV = 36,1\%$) y para la velocidad de la corriente ($37,8\%$), las otras dos variables hidrológicas que contribuyen a estimar los valores del caudal.

La heterogeneidad en las condiciones hidrológicas, es un patrón que naturalmente ocurre en los sistemas acuáticos de aguas corrientes, producto de la influencia conjunta de la naturaleza del terreno y de factores topográficos como la altitud y la pendiente (Allan 1995, Roldán 1992), los que a su vez podrían determinar cambios importantes en las condiciones hidrológicas de los cauces principales debido a una influencia creciente aguas abajo en el número de tributarios (Minshall *et al.*

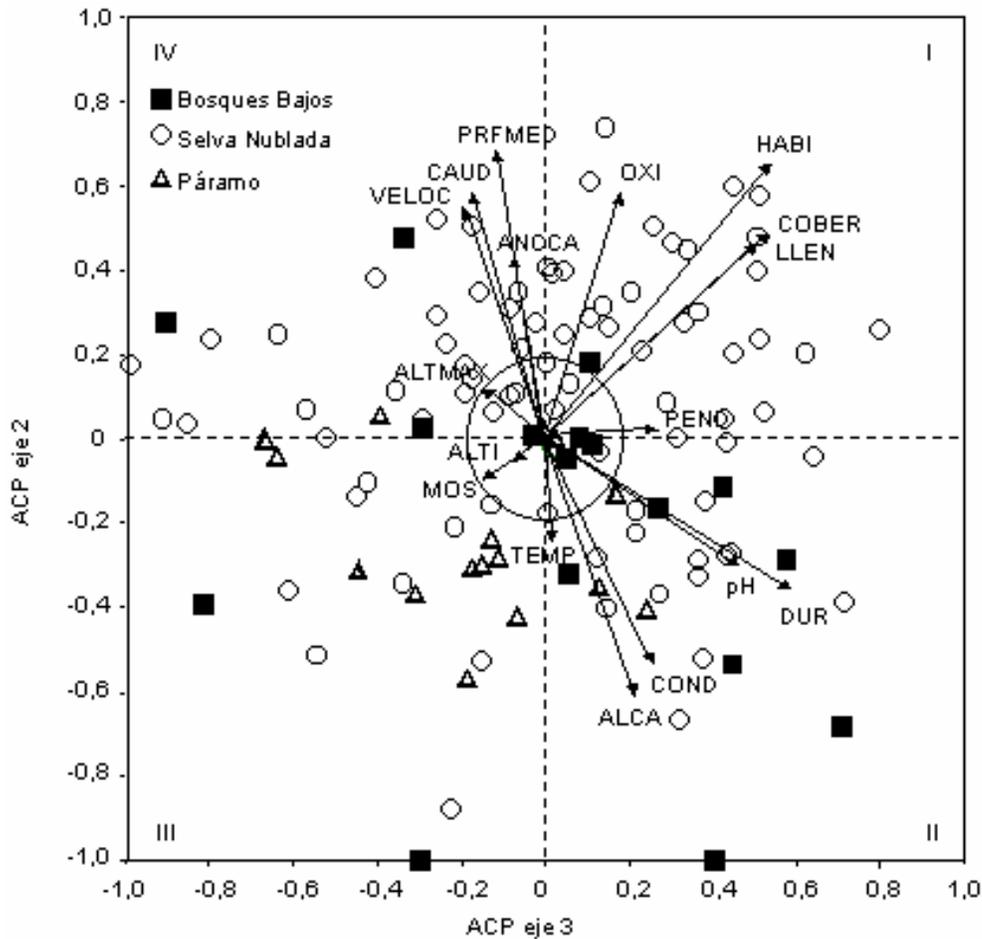


Figura 3. Dispersión de los sitios estudiados en la cuenca alta del río Chama, ordenados en función de las variables ambientales a lo largo de los ejes 2 y 3 mediante un ACP. El radio del círculo central indica el valor mínimo de significación del coeficiente de correlación ($P < 0.05$). Los vectores representan las variables ambientales. Alcalinidad (ALCA); conductividad (COND); dureza (DUR); temperatura (TEMP); materia orgánica suspendida (MOS); ancho del cauce (ANCCA); caudal (CAUD); velocidad de la corriente (VELOC); profundidad media del agua (PRFMED); porcentaje de llenado del cauce (LLEN); oxígeno disuelto (OXI); índice de habitat (HABI); cobertura de las copas (COBER); altura máxima del nivel de agua (ALTMAX); pendiente (PEND) y altitud (ALTI).

1985). En el área estudiada, es evidente que las condiciones hidrológicas están muy influenciadas por la topografía del terreno, lo que se deduce tomando en cuenta el amplio rango de pisos altitudinales que conforman la cuenca, donde dichas variables mostraron una tendencia a incrementar aguas abajo, como se nota al comparar las estaciones tomadas dentro de los dos ríos más importantes de la cuenca, el Mucujún (1 y 2) y el Chama (1, 2 y 3) (Apéndice 1).

La mineralización del agua en los sistemas de aguas corrientes naturales, está determinada principalmente por el clima y la geología del terreno

(Allan 1995, Wetzel 2001, Toro *et al.* 2002), por lo que es posible que la variabilidad observada en la conductividad, la alcalinidad y la dureza, esté reflejando en gran parte diferencias de origen litológico entre los sitios, dada la alta complejidad geológica que encontramos dentro de la cuenca del río Chama, donde aparecen representadas todas las eras, desde la Pre-Cámbrica hasta la Cenozoica (ACIJ, 1990). En nuestro estudio, una evidencia importante que refuerza esta idea, es haber encontrado una mayor variabilidad en los valores de conductividad, alcalinidad y dureza, dentro de los cuerpos de agua que se localizan sobre la

vertiente derecha de la cuenca. (Tabla 5). La vertiente derecha, de acuerdo con los datos suministrados por la ACIJ (1990), es precisamente la zona donde ocurre la mayor heterogeneidad en la composición litológica de los suelos dentro del área de estudio.

Al contrario de la mineralización del agua el pH mostró poca variabilidad entre los ríos estudiados. Esto se explica por la capacidad buffer del agua, determinada por el equilibrio dióxido de carbono-bicarbonato-carbonato en el sistema acuático (Wetzel, 2001). De acuerdo al rango de valores presentado por el pH para las tres unidades ecológicas (5,9-9,1), la alcalinidad de los cuerpos de agua asociados a estas unidades se debe principalmente a los bicarbonatos (HCO_3^-).

En general, se ha determinado que los valores de alcalinidad para las aguas neotropicales son bajos, es decir menores de 100 mg/L (Roldán, 1992). Nuestros resultados parecen comprobar esta generalidad en las aguas de los ríos de la cuenca del río Chama, cuyo promedio general fue de 31,28 mg/L de CaCO_3 (Tabla 2). No obstante, dos sitios, El Río Las González y La Sucia 2, presentaron valores muy por encima de esta condición en los diferentes años de estudio (Apéndice 1), pero, tal como lo manifiesta Roldán (1992), se está hablando de valores promedios en dichos sistemas, los cuales pueden tener rangos de variación extremadamente grandes entre los valores máximos y mínimos.

Con relación al contenido de oxígeno disuelto, es importante agregar que aún cuando su solubilidad varía inversamente con la temperatura del agua (Wetzel, 2001), sus valores fueron relativamente constantes en los sitios de estudio (CV = 5,2%, Tabla 2), mostrando así poca relación con la temperatura del agua, variable que si mostró un patrón definido de variación altitudinal. La poca variabilidad del oxígeno disuelto con la altitud ha sido observada por otros autores (Toro *et al* 2002) y es explicable porque en la reoxigenación del agua está presente otro factor muy importante como es la turbulencia de la corriente que mezcla constantemente el agua con el oxígeno atmosférico, contrarrestando los efectos que la temperatura del agua, la presión atmosférica o la producción primaria puedan tener sobre la cantidad de oxígeno disuelto en el agua..

Los resultados del ordenamiento ambiental de los 115 puntos de muestreo provenientes de los 46 ríos estudiados (Figuras 2 y 3), revelaron que el primer eje del ACP estaría detectando un gradiente

altitudinal de condiciones físicas y químicas del ambiente acuático. La temperatura y el tamaño del río (estimado a través del ancho del cauce y el caudal), parecen ser las variables que más contribuyen a la formación de este gradiente, por ser las variables más fuertemente correlacionada con este eje, y con la altitud (Apéndice 3). En este primer gradiente, es claro que la mayor diferenciación ambiental ocurre entre los ríos de Bosques Bajos y los de Páramo, mientras que entre éstos y los ríos de Selva Nublada el cambio ambiental es de tipo transicional, lo que evidencia la posición espacial intermedia de esta unidad ecológica, cuyos puntos de muestreo extremos, como se detecta a lo largo del gradiente, se mezclan con los de las otras unidades ecológicas.

Las posiciones similares a lo largo del primer eje, que ocupan los ríos de Páramo y una porción significativa de los puntos de Selva Nublada (lado derecho), claramente sugieren pocas diferencias térmico-altitudinales y en el tamaño del cauce entre dichos sitios. Como generalidad, vemos que estos cuerpos de agua, se asocian con las mayores altitudes, así como con las temperaturas más bajas del agua, estando además caracterizados por sus cauces de mayor pendiente, más estrechos y de bajo caudal. En cambio, los ríos de Bosques Bajos, y otra parte importante de los de Selva Nublada, en posición opuesta a los anteriores (lado izquierdo), evidencian su localización en las altitudes más bajas, y por lo tanto asociados con los valores más altos de temperatura del agua, con cauces de menos pendiente, y con mayores niveles en las condiciones hidrológicas, especialmente en el caudal y en el ancho del cauce, lo que a su vez permite suponer cuerpos de agua de mayor tamaño.

En cuanto al segundo eje, los resultados revelan un gradiente ambiental más complejo, que integra tanto condiciones hidrológicas, como de mineralización del agua y de la condición ecológica del hábitat, puesto que el ordenamiento a lo largo de este eje evidencia el grado de importancia de algunas de las variables asociadas con tales condiciones, como es el caso de la profundidad media, el índice de hábitat, la alcalinidad, el contenido del oxígeno disuelto, el caudal, la conductividad y la velocidad de la corriente, que fueron las más fuertemente correlacionadas con este eje. Podemos señalar en general para el eje 2, que los ríos o puntos de muestreo de la mitad superior, donde aparecen especialmente congregados los pertenecientes a la Selva Nublada,

corresponderían a cauces de aguas más profundas, con velocidades de corriente más fuertes y más caudalosos, con mejores condiciones en cuanto a la condición ecológica del hábitat, con valores más altos en el contenido de oxígeno disuelto, así como con una mayor cobertura ribereña y bajos niveles de mineralización del agua.

Los ríos o puntos de muestreo de la mitad inferior, donde están mezclados los ríos de Selva Nublada con una porción de los de Páramo y de los Bosques Bajos, por el contrario, serían de aguas más superficiales, velocidades más suaves, menos caudalosos, con una estructura física del hábitat más simple, con valores más bajos de oxígeno disuelto, un menor grado de cobertura arbórea, y mostrando niveles más altos de mineralización del agua.

El tercer eje de ordenamiento (Figura 3) también estaría detectando un gradiente en el que se combina la composición iónica del agua (en este caso fue la dureza y en menor grado el pH, las variables más importantes) con las características físicas del hábitat (índice de hábitat, cobertura y porcentaje de llenado). En este caso, hay que destacar que los dos grupos de variables no están relacionados entre sí, lo que se evidencia por la orientación en un ángulo cercano a 90°, de los vectores de unos con respecto a los otros, hecho que también lo confirman las correlaciones tan bajas encontradas entre ellos (Apéndice 3). En general para este tercer gradiente ambiental, al igual que para el segundo, no se observan tendencias claras en cuanto a la diferenciación de los puntos de muestreo de las tres unidades ecológicas, dado que los mismos se mezclan a todo lo largo del gradiente. En todo caso, podríamos señalar una ligera tendencia en los ríos de páramo a localizarse hacia el lado izquierdo de este gradiente, interpretándose por lo tanto que estos sitios, al igual que en los de Selva Nublada y de Bosques Bajos allí ubicados, se caracterizan por tener valores más bajos en la dureza del agua, y hábitat con una estructuración física más simples como lo sugiere la menor cobertura arbórea, menor llenado de los cauces y valores bajos del índice de hábitat. En éste último caso el factor determinante de sus bajos valores es la ausencia de la vegetación arbustiva ribereña tal como se explica a continuación.

Es interesante destacar la estrecha asociación positiva encontrada entre el índice de hábitat, el contenido del oxígeno disuelto, la cobertura y el porcentaje de llenado (Figura 2, Apéndice 3) variables que explican parte de la

variación ambiental entre los sitios a lo largo del segundo y tercer eje de ordenamiento (Figuras 2 y 3). Esta relación puede entenderse con base a las consideraciones siguientes: i) un factor importante que contribuye a elevar los valores del índice de hábitat es la mayor presencia de la vegetación arbórea ribereña (mayor cobertura), variable que no solo afecta el hábitat ribereño sino que contribuye a aumentar la heterogeneidad del hábitat interno al río; ii) el contenido de oxígeno en el agua, aunque es un factor que en estos ríos por lo general se mantiene en valores cercanos al nivel de saturación, es posible relacionarlo con las características físicas del hábitat acuático, tomando en cuenta que el grado de cobertura, puede ejercer un efecto directo sobre la temperatura del agua, tal como ha sido evidenciado en los sistemas lóticos (Giller y Malmqvist 1998), la que a su vez, es bien sabido afecta inversamente la solubilidad del oxígeno (Roldán 1992, Allan 1995, Wetzel 2001); y iii) el porcentaje de llenado, el cual refleja el estado del cauce en cuanto al nivel de agua presente, es también uno de los criterios considerados en la determinación del índice del hábitat, por lo que es lógica su relación directa con esta variable, así como con el grado de cobertura, ya que por lo general el flujo de agua en el cauce se ve favorecido con la presencia de vegetación arbórea, debido a su capacidad de retención del agua.

Otras consideraciones adicionales que se pueden obtener del ordenamiento con relación a la diferenciación de los ríos de las tres unidades ecológicas son las siguientes: en primer lugar la gran diferencia de altitud que existe entre los ríos Páramo y los de Bosques Bajos, es determinante de los cambios importantes que se producen entre estos grupos de ríos en cuanto a la topografía del terreno (pendiente), la temperatura del agua y las condiciones hidrológicas, fundamentalmente el caudal y el ancho del cauce. En segundo término no existen diferencias ambientales claras entre los ríos de Selva Nublada con los ríos de las otras unidades ecológicas (al menos para los tres gradientes ambientales detectados en este estudio), lo que se entiende en razón de la enorme dispersión que mostraron los puntos de esta unidad para los tres ejes de ordenamiento, lo cuál también se detectó para los puntos de muestreo de Bosques Bajos, pero en este caso más en relación con el segundo y tercer gradiente ambiental. Estos resultados sugieren por lo tanto, que los ríos de Selva Nublada son ambientalmente muchos más

heterogéneos que los que drenan en la zona de Bosques Bajos, y a su vez estos son más heterogéneos que los de Páramo.

La mayor heterogeneidad ambiental observada tanto en los ríos de Selva Nublada como en los ríos de Bosques Bajos, podría tener varias explicaciones: i) diferencias ambientales naturales (por ejemplo, geológicas, climáticas e hidrológicas) por abarcar un mayor rango de niveles altitudinales; ii) diferentes grados de intervención dentro de estos grupos de ríos, debido a la proximidad de algunos de ellos a importantes centros poblados; y iii) la influencia diferencial en el número de tributarios que reciben dichos ríos, por su ubicación en diferentes altitudes.

El ordenamiento del ACP, muestra claramente la presencia de cuatro manojos de vectores (Figura 2) que evidencian el grado de asociación entre las 17 variables analizadas y que definen cuatro características generales en la variabilidad ambiental de los ríos en la cuenca. El primer manajo de vectores, que se proyecta hacia la parte superior del cuadrante I, define condiciones relacionadas con la condición ecológica del cuerpo de agua; el segundo, que se proyecta hacia la mitad derecha del plano y muy cerca del eje 1, representa condiciones topográficas; el tercer manajo, ubicado dentro del tercer cuadrante, define condiciones fisicoquímicas del agua; y el cuarto manajo, localizado en el IV cuadrante, está asociado a condiciones hidrológicas.

Estas cuatro características generales, hacen menos compleja la caracterización ambiental de los sitios de estudio, e igualmente permiten definir condiciones ambientales contrastantes entre los ríos que drenan bajo las tres unidades ecológicas aquí consideradas. Así tenemos que los puntos de muestreo de los ríos de la Selva Nublada, son los que más se asocian a los valores más altos de índice de hábitat, de porcentaje de cobertura, de oxígeno disuelto y de porcentaje de llenado, por lo que podemos señalar, que de los ríos que drenan bajo formaciones boscosas, las mejores condiciones del hábitat de los sitios de muestreo se presentan en los ríos de Selva Nublada, lo que su vez podría relacionarse con un menor impacto antrópico en dichos cuerpos de agua. Con relación a los ríos de Páramo, es necesario advertir que las posiciones bajas e intermedias que ellos tienen a lo largo de este gradiente de condición ecológica, son debidas fundamentalmente a diferencias naturales entre el hábitat de los ríos de páramos y los de formaciones

boscosas y no porque las condiciones ecológicas de los ríos de páramo no sean buenas, puesto que como se explicó anteriormente, la ausencia de vegetación ribereña de tipo arbórea en los ríos de Páramo afecta negativamente el índice de hábitat.

Con relación a las variables que definen la calidad físico-química del agua (temperatura, pH, conductividad, alcalinidad y dureza), también se nota que los ríos de Selva Nublada son los que se asocian con los valores más bajos, lo cual podría relacionarse igualmente con mejores condiciones ecológicas del hábitat, respecto a los ríos que ocupan el extremo opuesto (predominantemente de Bosques Bajos). El hecho de que las variables más relacionadas con la calidad del hábitat, se opongan a las variables químicas: conductividad, alcalinidad, dureza y pH, puede tener dos explicaciones no excluyentes; la primera estaría dada por la influencia antrópica que ha ocurrido dentro de la cuenca. Así podríamos señalar que el mayor grado de mineralización (conductividad, alcalinidad y dureza) y de niveles básicos de pH, encontrado especialmente en los ríos de Bosques Bajos que ocupan las posiciones más extremas a lo largo de este gradiente, sea también consecuencia de un mayor impacto antrópico.

La presunción parece reforzarse, al observar que los puntos que ocuparon estas posiciones extremas a lo largo del gradiente corresponden a los ríos: la Sucia 2, Las Gonzáles, Nuestra Señora y La Portuguesa 2 (cuyos altos niveles de ionización del agua, especialmente en conductividad, pueden apreciarse en el Apéndice 1), en los cuales se comprobó durante el muestreo, que sus cauces han sufrido un alto grado de perturbación, ante el evidente desarrollo urbano o agrícola que ha ocurrido en la cercanía de estos cuerpos de agua.

Una segunda explicación es que la relación negativa entre las variables químicas y las variables de calidad de hábitat, podría ser simplemente casual, al encontrar valores bajos de las variables relacionadas con la calidad del hábitat, en los sitios que naturalmente se caracterizan por altos niveles de mineralización del agua, producto de las propiedades geológicas del terreno. El caso más resaltante es el de los ríos La Sucia 2 (Su2) y Las Gonzáles (Gon), donde, en los distintos años de muestreo se registraron valores extremadamente altos de conductividad, alcalinidad y dureza, cuyas diferencias con el resto de los sitios fueron notorias (Apéndice 1). Al revisar la geología de la cuenca (ACIJ 1990), se encontró que la mayor parte del

recorrido de estos ríos, está en una zona geológica particular dentro del área de estudio, que corresponde a las formaciones del Mesozoico: Aguardiente y La Quinta, compuestas principalmente por rocas sedimentarias detríticas (caliza cretácea, areniscas rojas, limonitas y conglomerados), en donde predominan los carbonatos. Rincón (1996), también encontró valores altos de conductividad (579,9 $\mu\text{mhos/cm}$), de alcalinidad (153, 2 mg/L CaCO_3) y de dureza (201,7 mg/L CaCO_3) en otro sistema lótico venezolano que escurre sobre una zona de rocas sedimentarias ricas en materiales calizos. Por sus propiedades blandas, este tipo de roca, es altamente erosionable (ACIJ 1990), y en consecuencia de alta solubilidad iónica, lo cual hace que el agua se cargue fuertemente en sales, tal como lo explica Zazo (1998), quien también encontró valores altos de conductividad (292,79 $\mu\text{mhos/cm}$) en una estación del Río Lozoya en España, donde la composición litológica del terreno fue similar a la encontrada en estos dos ríos.

Otro aspecto importante, es que la mayor parte de la cuenca alta del río Chama pertenece a la Formación Sierra Nevada del Pre-Cámbrico, formada por rocas metamórficas cuya composición es principalmente granitos y gneis, rocas más duras que son altamente resistentes a la erosión y de bajo contenido en calcio (ACIJ, 1990). En éste sentido Allan (1995) señala que la concentración iónica de ríos que drenan sobre terrenos de rocas ígneas y metamórficas es aproximadamente la mitad de la composición de las aguas que drenan en zonas de rocas sedimentarias, debido a la resistencia diferencial de dichas rocas a la meteorización. Este predominio de rocas metamórficas podría explicar los valores más bajos de conductividad, alcalinidad y dureza encontrados en la mayoría de los ríos estudiados en esta parte de la cuenca.

Los resultados obtenidos nos permiten concluir lo siguiente: En primer lugar, que las características de los cuerpos de agua, evidencian principalmente un gradiente altitudinal en las condiciones físicas y químicas del hábitat acuático, en el cual las condiciones térmicas e hidrológicas son las más significativas, éstas a su vez explican las mayores diferencias ambientales entre los ríos que drenan bajo las tres unidades ecológicas evaluadas, especialmente entre los de Páramo y los de Bosques Bajos. En segundo lugar, que los cursos de agua de la cuenca alta del río Chama, son altamente variables en el tamaño de sus cauces, lo que se

deduce especialmente de la gran variabilidad en los caudales, la cual está asociada con la topografía del terreno (altitud, pendiente). En tercer término, que estos ríos son altamente heterogéneos en cuanto a la calidad química del agua, especialmente en aquellas características relacionadas con la mineralización del agua como son la conductividad, la alcalinidad y la dureza, propiedad que parece depender de la variabilidad geológica presente en la cuenca.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico (CDCHT) de la Universidad de Los Andes, por el soporte económico (Proyecto C-562-99) dado a la investigación de la que forma parte éste artículo.

LITERATURA CITADA

- ACIJ (AGENCIA DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL DEL JAPÓN). 1990. Estudio sobre el proyecto de conservación de la cuenca del río Chama. Informe Principal. Universidad de Los Andes.
- ALLAN, J. D. 1995. Stream Ecology. Structure and Function of Running Waters. Chapman & Hall.
- ALLAN, J. D., A. J. BRENNER, J. ERAZO, L. FERNANDEZ, A. S. FLECKER, D. L. KARWAN, S. SEGNINI y D. C. TAPHORN. 2002. Land use in watersheds of the Venezuelan Andes: A comparative analysis. *Conservation Biology* 16(2):527-538.
- BARBOUR, M. T., J. GERRITSEN, B. D. SNYDER y J. B. STRIBLING. 1999. Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish, second edition. EPA 841-B-99-002. U.S.A. Environmental Protection Agency, Office of Waters. Washington, D. C.
- BASTARDO, H., INFANTE, O. y S. SEGNINI 1994 Hábitos alimenticios de la trucha arco iris, *Oncorhynchus mykiss* (Salmoniformes: Salmonidae) en una quebrada altiandina venezolana. *Revista de Biología Tropical* 42(3):687-695
- CHACIN. L. F. 2000. Diseño y análisis de experimentos. Ed. Del Vicerrectorado Académico. Universidad Central de Venezuela 1era Ed.
- CHACON, M.M. y S. SEGNINI 1996 Reconocimiento taxonómico de las náyades del orden Ephemeroptera en la deriva de dos ríos de Alta Montaña en el Estado Mérida, Venezuela. *Boletín de Entomología Venezolana* N.S. 11 (2): 103-122.
- CRESSA, C. y C.T. SENIOR 1987 Aspects of the chemistry

CARACTERIZACIÓN DEL HÁBITAT DE RÍOS ANDINOS

- and hydrology of the Orituco River, Venezuela. *Acta Científica Venezolana* 38:99-105.
- FARIÑAS, M. R. 1996. Análisis de la vegetación y sus relaciones con el ambiente mediante Métodos Multivariantes de Ordenamiento. Postgrado en Ecología Tropical. CIELAT. Universidad de Los Andes.
- FLECKER, A.S. 1992. Fish predation and the evolution of invertebrate drift periodicity: evidence from neotropical streams. *Ecology* 73:438-448.
- FLECKER, A.S. y B.P. FEIFAREK. 1994. Disturbance and the temporal variability of invertebrate assemblages in two Andean streams. *Freshwater Biology* 31:131-142
- GILLER, P. S. y B. MALMQVIST. 1998. *The Biology of Streams and Rivers. Biology of Habitats.* Oxford University Press Inc., New York.
- GORDON, N. D., T. A. MCMAHON y B. L. FINLAYSON. 1992. *Stream Hydrology. An introduction for ecologists.* Centre for Environmental Applied Hydrology. University of Melbourne. John Wiley y Sons.
- HYNES, H.B.N. 1975. The stream and its valley. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für theoretische und angewandte. Limnologie* 19: 1-15.
- JACKSON, J. K. y B. W. SWEENEY. 1995. Present status and future directions of tropical stream research. *Journal of the North American. Benthological Society* 14(1): 5-11.
- JACOBSEN, D. 1998. The effect of organic pollution on the macroinvertebrate fauna of Ecuadorian highland streams. *Archiv fur Hydrobiologie* 143: 179-195.
- JACOBSEN, D. 2003. Altitudinal changes in diversity of macroinvertebrates from small streams in the Ecuadorian Andes. *Archiv fur Hydrobiologie* 158: 145-167.
- JACOBSEN, D. 2004. Contrasting patterns in local and zonal family richness of stream invertebrates along an Andean altitudinal gradient. *Freshwater Biology* 49: 1293-1305.
- JACOBSEN, D. y A. ENCALADA. 1998. The macroinvertebrate fauna of Ecuadorian highland streams in the wet and dry season. *Archiv fur Hydrobiologie* 142: 53-70.
- JACOBSEN, D., R. SCHULTZ y A. ENCALADA. 1997. Structure and diversity of stream invertebrate assemblages: the influence of temperature wit altitude and latitude. *Freshwater Biology* 38: 247-261.
- KARWAN, D., J. D. ALLAN y K. M. BERGEN. 2001 Changing near-stream land use and river channel morphology in the Venezuelan Andes. *Journal of the American Water Resources Association* 37(6):1579-1587.
- MEADOR, M. R., C. R. HUPP, T. F. CUFFNEY y M. E. GURTZ. 1993. Methods for Characterizing stream habitat as part of the National Water-Quality Assessment Program. U. S. Geological Survey. Raleigh, North Carolina.
- MERCK, E. 1974. Determinación complexométrica de la dureza del agua con soluciones de Tritriplex A, B, C y tabletas-tampón indicadoras Merck (pat.alem.968.763).
- MINSHALL, G. W. 1984. Aquatic Insect-substratum relationships. Pp: 358-400, *in* Resh, V. H. y D. M. Rosenberg (eds.): *The Ecology of aquatic insects.* Praeger Publishers.
- MINSHALL, G. W., K. W. CUMMINS., R. C. PETERSEN., C. E. CUSHING., D. A. BRUNS., J. R. SEDELL Y R. L. VANNOTE. 1985. Developments in stream ecosystem theory. *Canadian Journal Fisheries Sciences Aquatic* 42: 1045-1055.
- MOLINA, M. R. y R. J. VERGARA. 1997. Estimación preliminar de la disponibilidad y demandas de agua en la cuenca alta del río Chama. Municipio Rangel. Estado Mérida. Trabajo especial de grado. Universidad de Los Andes.
- MONAGHAN, K.A., M.R. PECK, P.A. BREWIN, M. MASIERO, E. ZARATE, P. TURCOTTE y S.J. OSMEROD. 2000. Macroinvertebrate distribution in Ecuadorian hill streams: the effects of altitude and land use. *Archiv fur Hydrobiologie* 149: 421-440.
- MONASTERIO, M. 1980. Los páramos Andinos como Región Natural, Características Biogeográficas Generales y Afinidades con otras Regiones Andinas. Pp. 15-17, *in* Monasterio, M. (Ed.): *Estudios Ecológicos en Los Páramos Andinos.* Ediciones de la Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.
- MONASTERIO, M. y S. REYES. 1980. Diversidad ambiental y variación de la vegetación en los páramos de Los Andes venezolanos. Pp: 47-91, *in* Monasterio, M. (Ed.): *Estudios ecológicos de los páramos andinos.* Ediciones de la Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela.
- NAIMAN, R. J. y H. DÉCAMP, 1990. *The ecology and management of aquatic-terrestrial ecotones.* Unesco, Paris & The Parthenon Publishing Group, Carnforth.
- NORRIS, R. H. y A. GEORGES. 1993. Analysis and interpretation of benthic macroinvertebrate surveys. Pp: 234-286, *in* Rosenberg, D. M. y V. H. Resh (eds.): *Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates.* Chapman & Hall, Inc. New York.
- PÉREZ, B. y S. SEGNINI 2005 Variación espacial de la composición y diversidad de géneros del orden Ephemeroptera (insecta) en un río tropical altiandino. *Entomotrópica* 20 (3): (en prensa)
- RINCÓN, J. E. 1996. Análisis de la Comunidad de Insectos Acuáticos en el Caño Paso del Diablo Guasare, Edo. Zulia. Tesis Doctoral. Universidad Central de Venezuela.
- ROLDÁN, G. 1992. *Fundamentos de Limnología Neotropical.* Universidad de Antioquia.
- SARMIENTO, G., M. MONASTERIO, A. AZOCAR, E. CASTELLANO y J. SILVA. 1971. Estudio integral de la cuenca de los ríos Chama y Capazón. *Vegetación Natural.* Universidad de Los Andes. Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales.

- Mérida.
- SEGNINI, S. y H. BASTARDO. 1995. Cambios ontogenéticos en la dieta de la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) en un río andino neotropical. *Biotropica* 27 (4): 495-508.
- SITES, R.W., M.R. WILLIG, y M.J. LINIT. 2003. Macroecology of aquatic insects: A quantitative analysis of taxonomic richness and composition in the Andes Mountains of northern Ecuador. *Biotropica* 35: 226-239.
- TER BRAAK, C. J. F. 1995. Ordenation. Pp. 91-173, in Jongman *et al.* (eds.): *Data Analysis in Community and Landscape Ecology*. Cambridge, University Press.
- TORO M., S. ROBLES: J. AVILÉS, C. NUÑO, S. VIVAS, N. BONADA, N. PRAT, J. ALBA-TERCEDOR, J. CASAS, C. GUERRERO, P. JÁIMEZ-CUÉLLAR, J. L. MORENO, G. MOYÁ, G. RAMON, M. L. SUÁREZ, M. R. VIDAL-ABARCA, M. ÁLVAREZ, y I. PARDO. 2002. Calidad de las aguas de los ríos mediterráneos del proyecto GUADALMED. Características físico-químicas. *Limnetica* 21(3-4): 63-75.
- TURCOTTE, P. y P.P. HARPER. 1982. The macroinvertebrate fauna of a small Andean stream. *Freshwater Biology* 12: 411-419.
- VANNOTE, R. L., G. W. MINSHALL, K. W. CUMMINS, J. R. SEDELL y C. E. CUSHING. 1980. The river continuum concept. *Canadian Journal Fisheries Aquatic Sciences* 37: 130-137.
- VIVAS, L. 1992. *Los Andes Venezolanos*. Academia Nacional de la Historia. Caracas.
- WALLACE, J. B. y J. W. GRUBAUGH. 1996. Transport and storage of FPOM. Pp: 191-215, in Hauer, F. R. y G. A. Lamberti (eds.): *Methods in Stream Ecology*. Academic Press, Inc.
- WARD, J. V. 1984. Ecological perspectives in the management of aquatic insect habitat. Pp: 558-577, in Resh, V. H. y D. M. Rosenberg (eds.): *The ecology of aquatic insects*. Praeger Publishers. New York.
- WELCH, P. S. 1948. *Limnological Methods*. M. Graw-Hill. Book Company. London.
- WETZEL, R. G. 2001. *Limnology. Lake and River Ecosystems*. Third Edition. Academia Press.
- ZAZO, A. M. 1998. Marco conceptual y desarrollo metodológico para la caracterización y modelado de caudales de compensación en los ríos mediterráneos continentales (Río Lozoya, Cuenca del Río Tajo), España. Trabajo de Ascenso. Universidad Simón Bolívar. Venezuela.

Recibido 28 de enero 2005; revisado 15 de julio 2005; aceptado 05 de septiembre de 2005.

CARACTERIZACIÓN DEL HÁBITAT DE RÍOS ANDINOS

Apéndice 1. Valores de la variables ambientales medidas en 115 puntos muestreados en 46 cuerpos de agua en la cuenca alta del Río Chama en los años 1999, 2000 y 2001. Para cada sitio, los puntos de muestreo correspondientes a cada año se indican con las terminaciones 9, 0 y 1 respectivamente. Los ríos aparecen en orden de altitud.

RIO	PUNTO DE MUESTREO	EXTERNAS AL CAUCE					VARIABLES AMBIENTALES					FISICO-QUIMICAS DEL AGUA						
		ALTI (msnm)	PEND (%)	HABIT (%)	COBER (%)	ANCCA (m)	PREMED (m)	VELOC (m/seg)	CAUD (m ³ /seg)	ALTMAX (m)	LLEN (%)	MOS (ppm)	O2 (mg/L)	TEMP (°C)	pH	COND (µmbos/cm)	ALCA (mg/L CaCO3)	DUR (mg/L CaCO3)
Mifafi	Mif1	3735	5,0	76,0	0,0	2,20	0,07	0,30	0,04	0,43	42,7	3,90	8,00	5,0	7,4	37,80	31,00	25,06
Chama 1	Ch19	3605	13,0	74,0	0,0	3,76	0,22	0,43	0,28	0,71	69,7	1,55	8,40	10,0	6,9	60,00	14,00	23,27
	Ch10	3605	14,5	71,5	15,3	3,58	0,17	0,28	0,13	0,96	70,1	0,87	7,20	10,0	6,7	60,00	25,96	14,50
	Ch11	3605	9,5	61,5	12,5	2,87	0,10	0,06	0,01	0,51	53,7	4,50	7,20	10,0	7,2	34,90	26,00	23,27
El Banco	Ba9	3475	13,5	69,0	22,2	4,54	0,22	0,36	0,29	0,92	60,0	1,93	7,40	15,0	7,5	95,00	31,00	28,64
	Ba0	3475	12,0	66,5	7,2	5,41	0,20	0,70	0,60	0,54	80,8	2,47	7,70	8,5	6,5	50,00	30,43	11,00
Los Buitres	Ba1	3475	13,5	64,0	23,7	5,38	0,16	0,39	0,27	0,29	79,4	3,87	7,10	11,5	7,7	56,00	31,00	32,22
	Ba9	3465	7,5	72,0	15,0	2,95	0,16	0,35	0,13	0,62	86,1	1,48	8,00	9,0	7,3	50,00	14,00	25,06
	Ba0	3465	8,5	65,0	0,0	2,70	0,22	0,48	0,23	0,55	76,1	1,52	7,60	10,5	6,8	40,00	19,69	7,00
Las Píruelas	Bu1	3465	9,0	61,5	3,6	2,93	0,15	0,37	0,13	0,53	54,5	4,17	7,95	8,5	7,4	39,20	23,00	24,17
	Piñu0	3215	6,0	67,5	12,1	4,15	0,21	0,42	0,29	0,53	47,6	1,55	7,80	12,0	6,8	40,00	19,69	9,00
	Piñu1	3215	6,0	61,5	7,5	7,69	0,16	0,44	0,44	0,47	63,4	3,73	7,45	15,0	7,7	42,10	26,00	23,27
La Bijimóz	Bi9	3180	9,5	54,0	21,0	2,22	0,14	0,52	0,13	0,56	56,9	3,55	8,50	14,5	7,7	45,00	12,00	21,48
	Bi0	3180	6,5	57,5	12,4	2,46	0,09	0,43	0,07	0,78	56,6	1,67	7,90	13,0	7,2	40,00	19,69	11,00
Saitsai	Bi1	3180	3,5	56,5	16,5	2,40	0,11	0,34	0,07	0,49	49,4	4,50	8,20	10,0	7,4	35,10	21,00	18,80
	SS9	2985	7,0	48,0	43,8	2,88	0,10	0,19	0,05	1,14	18,9	1,98	7,80	13,0	6,9	60,00	14,00	19,69
El Royal	SS0	2985	7,0	58,0	12,5	2,38	0,11	0,29	0,06	0,57	40,0	2,12	8,15	10,0	6,0	60,00	28,64	11,00
	SS1	2985	8,5	43,0	29,3	1,77	0,11	0,02	0,00	0,60	30,6	3,13	7,30	14,5	7,5	60,70	20,00	26,85
	Roy9	2982	22,0	57,0	62,8	2,10	0,17	0,58	0,17	1,20	45,8	5,85	9,05	13,0	7,6	80,00	21,00	28,64
El Mucujuni	Roy0	2982	15,5	53,5	68,8	1,23	0,08	0,18	0,02	0,51	37,3	5,16	8,50	9,0	6,5	70,00	26,85	13,00
	Mu19	2890	10,0	87,0	81,3	6,56	0,38	0,76	1,50	0,68	82,2	2,23	8,10	11,0	7,3	35,00	8,40	17,90
	Mu10	2890	7,5	83,5	66,5	6,61	0,35	0,69	1,28	0,65	81,0	2,47	8,30	12,0	6,7	40,00	20,59	11,00
La Tapita	Mu11	2890	13,0	92,0	82,2	5,67	0,46	0,63	1,29	0,58	82,2	2,07	7,80	13,0	7,8	41,60	25,00	25,06
	Ta9	2890	15,0	92,0	94,4	3,76	0,26	0,72	0,55	0,48	78,0	1,63	8,00	11,0	7,3	40,00	6,00	14,32
	Ta0	2890	10,5	83,5	100,0	3,45	0,17	0,45	0,21	0,32	69,0	2,17	8,60	9,5	6,5	50,00	28,64	10,00
La Carbonera-Moconoque	Ta1	2890	14,0	73,5	84,2	3,00	0,21	0,24	0,12	0,46	68,9	4,33	7,50	12,0	7,5	49,80	25,00	28,64
	CarbMo0	2625	12,0	91,5	100,0	4,58	0,23	0,62	0,52	0,70	70,3	3,10	8,40	13,0	6,6	60,00	26,85	15,00
	CarbMo1	2625	6,0	89,5	84,1	3,13	0,30	0,60	0,45	0,43	70,6	4,47	8,20	11,5	7,7	63,20	31,00	28,64

SEGNINI Y CHACÓN

Continuación Apéndice 1.

RIO	PUNTO DE MUESTREO	VARIABLES AMBIENTALES											FISICO-QUIMICAS DEL AGUA				DUR (mg/L CaCO3)	
		ALTI (msnm)	EXTERNAS AL CAUCE PEND (%)	HABIT (%)	COBER (%)	ANCCA (m)	PREMED (m)	VELOC (m³/seg)	CAUD (m³/seg)	ALTMAX (m)	LLEN (%)	MOS (ppm)	O2 (mg/L)	TEMP (°C)	pH	COND (µmbos/cm)		ALCA (mg/L CaCO3)
La Caña	Cañ9	2500	10,5	65,0	40,0	3,91	0,29	0,70	0,63	0,68	59,6	6,20	7,70	14,0	7,2	40,00	9,80	21,48
	Cañ0	2500	13,5	59,5	37,9	3,50	0,16	0,67	0,30	0,37	58,3	3,00	7,60	17,0	6,8	40,00	18,81	10,00
	Cañ1	2500	10,5	58,5	39,1	3,23	0,08	0,26	0,05	0,45	66,7	1,50	7,92	14,0	7,6	41,10	22,00	19,69
Chama 2	Ch40	2420	2,5	52,5	21,4	15,63	0,25	0,79	2,47	0,64	41,6	4,99	8,40	13,3	7,1	110,00	56,39	24,00
	Ch41	2420	1,5	55,5	19,9	13,60	0,27	0,88	2,56	0,55	60,2	7,37	7,80	16,5	9,1	119,90	47,00	53,70
La Carbonera 1	Crb19	2315	10,5	73,0	78,9	3,17	0,24	0,98	0,61	0,68	66,7	2,05	8,10	12,5	7,1	40,00	10,10	19,69
	Crb10	2315	10,0	64,5	80,6	2,88	0,17	0,68	0,26	0,40	69,3	2,78	8,80	13,0	6,5	40,00	23,27	13,00
El Robo 1	Crb11	2315	14,0	76,0	52,9	2,23	0,12	0,64	0,13	0,37	55,3	1,20	8,20	14,0	7,6	50,20	31,00	26,85
	Rol9	2290	8,5	87,0	100,0	4,62	0,24	0,68	0,59	0,69	69,3	2,15	8,50	12,5	7,5	35,00	8,90	15,22
El Arado	Rol0	2290	13,5	86,5	83,1	2,96	0,27	0,75	0,49	0,58	39,7	2,38	8,55	12,0	6,9	40,00	17,90	11,00
	Rol1	2290	9,5	87,0	70,4	4,57	0,18	0,80	0,52	0,44	78,4	0,97	8,60	12,0	7,6	39,90	25,00	23,27
La Cuesta 1	Ar9	2250	6,5	74,0	86,4	3,63	0,23	0,58	0,39	0,71	58,8	1,68	8,30	14,0	7,3	25,00	6,60	14,32
	Ar0	2250	7,0	72,5	88,1	2,54	0,17	0,28	0,10	0,43	35,1	2,32	8,05	14,5	5,9	30,00	17,90	9,50
La Picón	Ar1	2250	7,0	68,5	88,8	3,18	0,19	0,28	0,14	0,31	84,00	0,73	8,40	16,0	7,5	34,60	21,00	17,90
	Cul9	2210	7,0	85,0	91,9	10,57	0,26	0,73	1,60	0,94	90,2	1,88	8,25	13,0	7,1	50,00	11,00	21,48
El Oro	Cul0	2210	11,0	84,0	95,1	5,40	0,26	0,65	0,74	0,57	59,8	2,17	8,20	12,0	6,7	50,00	25,96	14,00
	Cul1	2210	11,0	89,0	96,6	8,50	0,20	0,72	0,95	0,49	85,9	1,30	8,40	12,5	7,6	56,80	31,50	34,01
El Cardenillo	P9	2200	14,5	87,0	92,9	5,24	0,17	0,72	0,50	0,60	63,1	2,20	8,25	13,5	7,4	50,00	12,00	22,38
	P0	2200	12,5	86,5	88,6	4,15	0,24	0,57	0,45	0,51	51,6	2,82	8,85	11,0	6,9	50,00	25,06	12,00
La Estirf	P11	2200	13,0	88,5	95,9	3,88	0,24	0,78	0,57	0,48	72,6	2,77	8,30	12,0	7,5	51,50	27,00	26,85
	Op9	2189	7,0	90,0	99,4	8,87	0,33	0,72	1,70	0,92	78,6	2,28	8,60	12,0	7,2	30,00	14,00	14,32
Es9	O0	2189	8,0	86,5	97,5	7,48	0,30	0,65	1,18	0,40	69,1	2,08	9,20	10,5	6,8	30,00	16,11	105,00
	Or1	2189	9,5	89,5	96,6	7,08	0,37	0,48	1,00	0,66	91,2	3,50	8,90	12,0	7,4	34,90	23,00	19,69
Es0	Car9	2175	3,0	86,0	83,9	4,75	0,27	0,57	0,59	0,98	67,6	4,27	8,60	12,0	7,2	40,00	9,00	17,90
	Car0	2175	15,0	76,5	78,5	3,60	0,21	0,61	0,36	0,50	46,4	3,63	8,00	14,0	6,7	40,00	19,69	13,00
Es1	Car1	2175	5,0	71,0	88,9	2,90	0,26	0,56	0,34	0,53	85,1	7,57	8,55	12,0	7,6	41,50	28,00	19,69
	Es9	2160	11,0	87,0	76,9	4,28	0,28	0,82	0,77	0,81	55,0	2,90	7,90	16,0	7,2	50,00	12,00	18,80
Es1	Es0	2160	6,5	73,0	72,9	4,59	0,29	0,53	0,56	0,68	58,3	5,27	7,90	13,5	6,3	50,00	25,06	13,00
	Es1	2160	16,5	67,5	78,2	3,69	0,14	0,38	0,16	0,29	82,0	4,43	7,80	16,0	7,9	70,50	40,00	33,12

CARACTERIZACIÓN DEL HÁBITAT DE RÍOS ANDINOS

Continuación Apéndice 1.

RÍO	PUNTO DE MUESTREO	VARIABLES AMBIENTALES										FISICO-QUÍMICAS DEL AGUA			DUR (mg/L CaCO3)		
		EXTERNAS AL CAUCE		HIDROLÓGICAS		CAUDAL		LLENADO		MOS		TEMP	pH	COND		ALCA	
	ALTI (msnm)	PEND (%)	HABIT (%)	COBER (%)	ANCCA (m)	PREMED (m)	VELOC (m/seg)	CAUD (m3/seg)	ALTMAX (m)	LLEN (%)	MOS (ppm)	O2 (mg/L)	(°C)	(µmhos/cm)	(mg/L CaCO3)		
El Granate	Gr9	2100	15,0	82,0	59,7	3,38	0,18	0,33	0,74	54,4	3,55	7,80	17,0	7,3	55,00	10,00	21,48
	Gr0	2100	14,5	70,5	49,3	3,33	0,14	0,23	0,51	31,8	2,80	7,90	15,5	6,7	50,00	23,27	15,00
	Gr1	2100	10,0	62,5	55,8	1,85	0,08	0,30	0,64	59,5	3,60	7,60	18,0	7,8	59,60	38,00	28,64
El Mucujún 2	Mu29	2065	3,0	64,0	17,5	25,98	0,24	0,83	0,64	98,7	2,38	7,90	18,0	7,4	65,00	13,80	29,54
	Mu20	2065	1,50	67,0	0,0	13,70	0,34	0,78	0,49	100,0	3,62	8,00	17,0	7,1	70,00	30,43	15,00
	Mu21	2065	2,0	77,0	6,9	11,67	0,34	0,82	0,45	64,6	5,50	8,40	17,0	8,0	65,10	32,50	33,12
La Carbonera	Ch29	2055	12,0	77,0	98,3	4,04	0,24	0,79	0,62	59,4	2,13	8,20	15,0	7,2	40,00	9,10	17,90
	Ch20	2055	11,5	73,0	100,0	3,44	0,15	0,61	0,33	45,3	2,40	8,20	15,0	6,7	40,00	19,69	12,00
	Ch21	2055	11,5	69,5	85,2	3,12	0,16	0,41	0,46	45,9	2,50	8,10	16,5	7,6	56,50	26,00	28,64
Coromoto	Co1	2005	11,5	70,5	26,4	6,58	0,31	0,92	0,45	69,2	2,87	8,10	17,0	7,7	44,20	21,00	19,69
El Robo 2	Ro29	2000	7,0	70,0	100,0	5,67	0,28	0,70	0,64	68,2	2,45	8,45	16,5	7,5	60,00	11,00	26,85
	Ro20	2000	6,5	60,0	100,0	3,76	0,19	0,75	0,42	55,3	2,20	8,10	16,0	7,0	60,00	25,96	14,00
	Ro21	2000	8,5	66,0	81,7	3,53	0,17	0,74	0,42	82,9	1,97	7,85	17,0	7,6	64,70	32,00	21,48
La Sucia 1	Su19	1935	7,0	75,0	94,8	4,82	0,25	1,03	0,72	82,3	3,65	8,25	16,5	7,3	50,00	11,00	24,17
	Su10	1935	6,0	72,5	66,3	3,69	0,28	0,80	0,67	51	49,9	8,65	14,0	6,7	50,00	26,85	16,00
	Su11	1935	7,0	78,0	46,3	4,16	0,21	0,75	0,52	83,5	5,47	8,80	12,5	7,7	54,20	38,00	32,22
La Fría 1	Fr19	1930	9,0	63,0	61,7	4,22	0,27	0,75	0,68	67,6	3,28	8,00	15,0	7,3	40,00	11,10	16,11
	Fr10	1930	11,5	65,0	46,5	4,11	0,22	0,89	0,64	57,8	4,75	8,55	14,0	7,0	40,00	24,17	16,00
	Fr11	1930	9,5	63,5	24,8	3,96	0,20	0,67	0,44	74,9	4,23	7,80	18,0	7,9	64,00	35,00	28,64
La Mucujún	Lmu9	1930	5,5	72,0	74,9	3,54	0,25	0,65	0,45	88,8	5,53	7,70	18,5	7,2	30,00	5,20	12,53
	Lmu0	1930	7,5	63,0	72,5	2,33	0,20	0,37	0,14	78,9	3,17	7,70	17,0	6,3	60,00	23,27	13,00
	Lmu1	1930	12,5	51,5	61,2	1,82	0,19	0,38	0,10	44	1,10	7,70	20,0	7,8	68,50	35,00	21,48
Albarregas	Al9	1860	5,5	76,0	20,6	6,95	0,40	0,75	0,65	75,4	1,23	8,35	16,0	7,1	35,00	8,00	16,11
	Al0	1860	5,5	56,5	41,7	7,28	0,35	0,89	0,49	66,3	2,27	7,70	17,0	7,3	40,00	19,69	9,00
	Al1	1860	8,0	68,0	20,0	5,37	0,19	0,34	0,27	53,2	0,50	8,10	16,0	7,2	48,50	26,00	23,27
Mucunután	Mucun0	1825	9,0	63,0	75,3	7,73	0,35	0,82	0,74	83,7	4,28	7,70	16,5	6,5	40,00	15,22	12,00
	Mucun1	1825	9,0	63,0	43,9	5,80	0,33	0,80	0,52	73,9	4,33	7,90	18,0	7,6	44,20	25,00	19,69
La Cuesta 2	Cu29	1820	10,0	70,0	76,9	6,23	0,32	0,81	0,87	80,5	2,18	8,35	16,50	7,2	45,00	10,30	20,59
	Cu20	1820	6,0	73,5	92,5	6,46	0,31	0,90	0,43	90,2	1,81	8,00	16,0	6,6	50,00	26,85	13,50
	Cu21	1820	10,5	76,0	86,8	4,71	0,28	0,50	0,55	83,4	1,23	7,75	18,0	7,8	63,20	33,00	34,01

SEGNINI Y CHACÓN

Continuación Apéndice 1.

RIO	PUNTO DE MUESTREO	EXTERNAS AL CAUCE				HIDROLÓGICAS				VARIABLES AMBIENTALES				FISICO-QUÍMICAS DEL AGUA				
		ALTI (msnm)	PEND (%)	HABIT (%)	COBER (%)	ANCCA (m)	PREMED (m)	VELOC (m/seg)	CAUD (m ³ /seg)	ALTMAX (m)	LLEN (%)	MOS (ppm)	O2 (mg/L)	TEMP (°C)	pH	COND (µmhos/cm)	ALCA (mg/L CaCO3)	DUR (mg/L CaCO3)
La Leona	Le9	1785	10,5	49,5	3,3	5,92	0,38	0,93	1,66	0,61	41,4	2,05	8,10	17,0	7,3	45,00	7,90	10,74
	Le0	1785	8,5	61,5	0,0	4,99	0,27	0,89	0,95	0,57	31,5	2,35	7,60	17,0	6,7	40,00	16,11	11,00
	Le1	1785	11,0	66,5	15,2	5,13	0,15	0,60	0,36	0,39	77,5	1,17	7,95	17,5	7,6	46,00	25,00	23,27
La Portuguesa 1	Po19	1775	11,0	82,0	87,8	7,63	0,28	0,88	1,48	0,48	92,8	1,70	8,55	15,0	7,5	45,00	12,10	27,75
	Po10	1775	11,5	80,0	97,9	5,23	0,14	0,68	0,41	0,27	63,0	2,37	7,70	16,0	7,3	50,00	25,96	14,00
La Mucuy	Po11	1775	10,0	69,0	91,1	2,28	0,18	0,59	0,20	0,73	29,9	0,87	8,15	18,0	7,6	60,50	47,00	37,59
	Muy9	1770	6,0	51,0	0,0	8,38	0,26	0,83	1,42	0,95	25,1	2,00	7,80	16,5	7,2	40,00	10,00	14,32
	Muy0	1770	5,5	54,5	0,0	8,30	0,31	1,00	2,02	0,55	25,5	1,42	8,00	17,5	6,7	40,00	17,90	11,00
Chama 3	Muy1	1770	5,0	64,5	0,8	10,34	0,38	0,99	3,12	0,46	83,6	2,10	8,50	15,0	7,7	46,10	24,00	25,06
	Ch50	1750	2,0	51,0	0,0	21,80	0,27	1,16	5,37	0,67	61,7	3,37	7,95	15,5	7,1	90,00	41,17	20,00
Montalbán	Ch51	1750	7,5	48,0	0,0	16,11	0,28	0,66	2,35	1,00	42,2	4,33	7,40	21,0	7,8	86,60	46,00	46,54
	Mon1	1650	12,0	75,5	56,9	4,17	0,20	0,45	0,30	0,70	66,7	0,93	7,80	20,0	7,8	78,60	43,00	44,75
San Jacinto 1	Sja1	1630	12,0	73,5	82,4	4,95	0,14	0,32	0,18	0,71	53,6	1,27	7,90	19,0	7,6	40,80	27,00	17,90
	Sja20	1525	7,5	66,0	89,6	3,75	0,27	1,02	0,82	0,47	59,3	2,42	8,80	17,0	7,3	30,00	12,53	9,00
La Fría 2	Fr21	1460	7,5	82,0	60,3	5,40	0,24	0,40	0,42	0,73	65,5	0,80	7,40	19,0	7,4	38,20	24,00	16,11
	As0	1260	8,0	55,0	26,3	4,95	0,26	0,82	0,83	0,33	34,0	3,93	8,30	17,5	7,2	20,00	10,74	10,00
La Astillera	As1	1260	7,5	69,5	43,8	6,29	0,16	0,75	0,59	0,49	57,6	1,60	8,25	19,0	7,2	38,90	27,50	20,59
	Po29	1230	4,5	62,0	27,2	4,62	0,40	0,68	1,01	0,52	73,3	1,78	7,90	16,0	7,5	110,00	22,90	50,12
La Portuguesa 2	Po20	1230	8,5	52,5	30,8	5,44	0,20	0,80	0,71	0,37	78,4	2,93	7,80	19,5	6,8	130,00	68,02	35,00
	Po21	1230	6,0	59,0	65,3	4,05	0,22	0,41	0,29	0,66	53,7	1,10	7,80	22,0	7,8	163,20	89,00	81,45
La Gávidia	Ga0	1115	5,5	74,5	78,1	3,41	0,20	0,93	0,50	0,32	69,6	4,52	8,70	19,0	7,3	40,00	17,90	17,00
	Ga1	1115	3,5	76,0	38,8	4,33	0,14	1,30	0,61	0,70	49,0	2,43	8,40	21,0	8,0	63,00	39,00	19,69
Ntra. Señora	Nse0	870	3,0	34,0	0,0	7,10	0,24	0,99	1,32	0,43	3,1	2,72	8,00	22,0	7,3	80,00	39,38	21,00
	Nse1	870	2,0	59,0	24,5	9,57	0,43	1,08	3,57	1,05	38,9	4,70	8,00	22,0	7,9	114,00	48,50	46,54
La Sucia 2	Su20	835	5,0	42,0	0,0	9,81	0,20	0,81	1,24	0,42	15,8	16,11	6,90	28,0	7,8	640,00	393,80	92,00
	Su21	835	2,0	50,0	24,4	3,80	0,11	0,48	0,16	0,28	44,2	1,70	7,50	30,0	8,2	880,00	154,00	519,10
Las González	Gon0	830	1,5	74,5	51,0	11,08	0,32	0,92	2,57	0,45	82,3	3,67	7,80	25,0	7,7	220,00	139,62	56,00
	Gon1	830	2,0	60,0	56,6	9,00	0,16	0,36	0,42	0,49	66,4	2,53	7,90	27,0	8,5	467,80	173,00	245,23

CARACTERIZACIÓN DEL HÁBITAT DE RÍOS ANDINOS

Apéndice 2. Altitud y coordenadas geográficas de ríos de la cuenca alta del Río Chama.

R íos	A ltitud (m)	L atitud Norte	L ongitud O este
M ifafí	3735	8°51'29''	70°51'52''
Chama 1	3605	8°50'28''	70°51'39''
El Banco	3475	8°48'21''	70°54'32''
Los Buitres	3465	8°48'26''	70°50'28''
Las Piñuelas	3215	8°40'48''	70°55'31''
La Bijinóz	3180	8°47'05''	70°51'38''
Saisai	2985	8°45'49''	70°52'45''
El Royal	2982	8°45'30''	70°53'36''
El Mucujún 1	2890	8°44'50''	71°03'59''
La Tapita	2890	8°42'42''	71°05'16''
La Carbonera- Moconoque	2625	8°43'56''	70°57'04''
La Caña	2500	8°42'42''	71°05'16''
Chama 2	2420	8°42'58''	70°58'27''
La Carbonera 1	2315	8°40'15''	71°06'45''
El Robo 1	2290	8°40'47''	71°07'12''
El Arado	2250	8°40'36''	71°06'45''
La Cuesta 1	2210	8°39'48''	71°08'12''
La Picón	2200	8°37'57''	71°02'12''
El Oro	2189	8°37'59''	71°02'16''
El Cardenillo	2175	8°41'08''	70°59'49''
La Estití	2160	8°41'07''	70°59'57''
El Granate	2100	8°40'36''	71°00'47''
El Mucujún 2	2065	8°40'00''	71°06'45''
La Carbonera 2	2055	8°40'00''	71°06'10''
La Coromoto	2005	8°37'29''	71°02'58''
El Robo 2	2000	8°39'09''	71°06'51''
La Sucia 1	1935	8°39'14''	71°02'33''
La Fría 1	1930	8°38'58''	71°03'09''
La Mucujún	1930	8°38'55''	71°07'25''
Albarregas	1860	8°37'35''	71°09'10''
Mucunután	1825	8°36'16''	71°05'32''
La Cuesta 2	1820	8°39'24''	71°07'33''
La Leona	1785	8°37'10''	71°04'11''
La Portuguesa 1	1775	8°38'	71°13'
La Mucuy	1770	8°37'13''	71°04'02''
Chama 3	1750	8°38'02''	71°03'41''
Montalbán	1650	8°35'22''	71°13'55''
San Jacinto 1	1630	8°34'30''	71°08'11''
San Jacinto 2	1525	8°34'	71°08'
La Fría 2	1460	8°33'06''	71°09'48''
La Astillera	1260	8°33'05''	71°13'36''
La Portuguesa 2	1230	8°33'27''	71°14'23''
La Gavidia	1115	8°32'47''	71°12'48''
Ntra. Señora	870	8°30'31''	71°17'12''
La Sucia 2	835	8°30'23''	71°19'23''
Las Gonzáles	830	8°30'18''	71°19'14''

Apéndice 3. Valores correlación para 17 variables ambientales medidas en la cuenca alta del Río Chama. N = 115. Altitud (ALTI), pendiente del cauce (PEND), índice de hábitat (HABI), cobertura de las copas (COBER), ancho del cauce (ANCCA), profundidad media del agua (PRFMED), velocidad de la corriente (VELOC), caudal (CAUD), altura máxima del nivel de agua (ALTMAX), porcentaje de llenado del cauce (LLEN), materia orgánica en suspensión (MOS), contenido de oxígeno disuelto (O2), temperatura (TEMP), conductividad (COND), Alcalinidad (ALCA), dureza (DUR).

VARIABLE	AL	TIT	PEND	HABI	COBER	ANCCA	PRFMED	VELOC	CAUD	ALTMAX	% LLEN	MOS	O2	TEMP	pH	COND	ALCA
PEND	0,369**																
HABI	0,144	0,280*															
COBER	-0,105	0,295**	0,640**														
ANCCA	0,412**	-0,422**	-0,101	-0,081													
PRFMED	-0,296*	-0,251**	0,238*	0,077	0,621**												
VELOC	-0,534**	-0,272**	0,071	0,023	0,575**	0,566**											
CAUD	-0,458**	-0,421**	0,072	-0,067	0,865**	0,808**	0,806**										
ALTMAX	0,128	0,029	0,036	-0,045	0,110	0,191	0,003	0,133									
% LLEN	0,092	0,020	0,488**	0,281**	-0,247**	0,306**	0,084	0,230*	-0,139								
MOS	-0,007	-0,149	-0,213*	-0,122	0,026	0,074	0,149	0,148	-0,065	-0,126							
O2	-0,071	0,019	0,412**	0,437**	-0,022	0,185*	0,290**	0,152	0,017	0,143	-0,029						
TEMP	-0,833**	-0,320**	-0,379**	-0,119	0,338**	0,135	0,329**	0,311**	-0,057	-0,141	0,008	-0,294*					
pH	-0,258*	-0,175	-0,096	-0,143	0,151	0,020	0,071	0,120	-0,014	0,120	0,101	-0,142	0,416**				
COND	-0,237*	-0,141	-0,316**	-0,220*	0,113	-0,094	0,001	0,083	0,049	-0,072	0,140	-0,308**	0,415**	0,347**			
ALCA	-0,313*	-0,248**	-0,317**	-0,244**	0,088	-0,205*	-0,097	-0,022	-0,273**	-0,167	0,189*	-0,295**	0,419**	0,342**	0,722**		
DUR	-0,236*	-0,116	-0,049	-0,073	0,149	-0,042	-0,057	0,069	0,064	0,103	0,129	-0,095	0,313**	0,690**	0,573**	0,460**	

* r significativo (P<0,05); ** r muy significativo (P<0,01)