

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE CIENCIAS
PROGRAMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**



**RELACIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL RIPARIA Y LA COMUNIDAD
ÍCTICA, EN DOS PERIODOS HIDROLÓGICOS EN RIACHOS DE LA CUENCA
DEL RÍO LA VIEJA, EJE CAFETERO DE COLOMBIA**

MARÍA ANGÉLICA PÉREZ MAYORGA

**Director
SAÚL PRADA PEDREROS PhD**

**TRABAJO DE GRADO
Presentado como requisito parcial
Para optar al título de:**

**MAGISTER EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
Énfasis en Ecología y Sistemática**

**Bogotá, D. C.
Enero, 2011**

NOTA DE ADVERTENCIA

"La Universidad no se hace responsable por los conceptos emitidos por sus alumnos en sus trabajos de tesis. Solo velará porque no se publique nada contrario al dogma y a la moral católica y porque las tesis no contengan ataques personales contra persona alguna, antes bien se vea en ellas el anhelo de buscar la verdad y la justicia".

Artículo 23 de la Resolución No. 13 de julio de 1946.

**RELACIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL RIPARIA Y LA COMUNIDAD
ÍCTICA, EN DOS PERIODOS HIDROLÓGICOS EN RIACHOS DE LA CUENCA
DEL RÍO LA VIEJA, EJE CAFETERO DE COLOMBIA**

MARÍA ANGÉLICA PÉREZ MAYORGA

APROBADO



Saúl Prada Pedreros PhD
Director



Gabriel Antonio Pinilla Agudelo, PhD
Jurado



Brigitte LG Baptiste Ballera, PhD
Jurado

Julián Chará O.

Julián David Chará Orozco, PhD
Jurado

Ingrid Schuler, Biol. PhD
Decana Académica
Facultad de Ciencias

Manuel Antonio Franco, MD, PhD
Director de Posgrado
Facultad de Ciencias

AGRADECIMIENTOS

La culminación de este trabajo no hubiese sido posible sin la colaboración y apoyo incondicional de personas valiosas. Expreso mis más sinceros sentimientos de gratitud y afecto:

A mi amada familia, que siempre llevo en mi corazón, a mis padres Carmenza Mayorga y Abelino Pérez, a mis hermanos Diana Pérez y René Pérez, por infundir en mí el amor, la tenacidad y la entrega que guían mi andar por esta vida; por su apoyo incondicional en todos los aspectos esenciales de mi existencia; a mi novio Erick Manzano, por su paciencia, su amor sincero, su voz de aliento y por su ayuda en la identificación taxonómica de los macroinvertebrados.

A mi Director de Trabajo de grado Saúl Prada, por sus enseñanzas, por aclarar mis dudas y sembrar otras, por su colaboración en las salidas de campo, por las críticas constructivas desde el inicio hasta el fin de este trabajo y sobre todo por la oportunidad brindada para mi ingreso al Laboratorio de Ictiología de la Pontificia Universidad Javeriana.

A mis jurados Gabriel Pinilla, Julian Chará y Brigitte Baptiste, pues dedicaron tiempo y esfuerzo para la evaluación del presente trabajo, les agradezco sinceramente por todos sus aportes, comentarios apreciaciones y correcciones para el mejoramiento del mismo.

A mis compañeros Tatiana Romero, Carlos García y Juan David García, por su valiosa colaboración y ayuda desinteresada en las actividades de campo. A mis compañeros pasados y presentes del Laboratorio de Ictiología de la PUJ, por sus observaciones sobre el trabajo y por su apoyo moral. A todos mis amigos, por su motivación y aliento.

A mis profesores de la Universidad Javeriana, a Ángela Zapata por su ayuda en la identificación taxonómica de las algas y por la facilitación de información; a Carlos Rivera, Jairo Pérez, Julio Mario Hoyos y Alberto Acosta por sus observaciones, críticas, orientaciones y sugerencias para el mejoramiento de este trabajo.

A los ictiólogos, Miguel Petrere por sus observaciones respecto al análisis de los datos; a Armando Ortega por la facilitación de información; a Julián Chará por la

información suministrada para la logística en campo y en especial a Carlos García y su familia por su colaboración en la logística de campo y por su hospitalidad.

A los conductores Uber y Fabián, por transportarnos hasta los sitios de muestreo y por su valiosa ayuda en campo. A los dueños y trabajadores de las Fincas donde se realizaron los muestreos, quienes posibilitaron tomar las muestras en esos predios. En especial agradezco a doña Delia, propietaria de la Finca Tierra Labrantía por su amabilidad y por permitirnos alojarnos allí y a doña Teresa por su buena sazón y buen humor.

Finalmente, expreso mi agradecimiento a la Vicerrectoría Académica de la Pontificia Universidad Javeriana; al Centro para la Investigación en Recursos Genéticos y Biodiversidad CIEBREG y al programa Jóvenes Investigadores e Innovadores de COLCIENCIAS por el apoyo económico recibido.

CONTENIDO

Página

RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
LISTADO DE TABLAS	xi
LISTADO DE TABLAS (CONTINUACIÓN)	xii
LISTADO DE FIGURAS	xiii
LISTADO DE FIGURAS (CONTINUACIÓN)	xiv
LISTADO DE FIGURAS (CONTINUACIÓN)	xv
LISTADO DE ANEXOS	xvi
LISTADO DE ANEXOS (CONTINUACIÓN)	xvii
<hr/>	
1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
<hr/>	
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
2.1 Pregunta de investigación	4
2.2 Objetivo general	5
2.2.1 Objetivos específicos.....	5
2.3 Hipótesis (H) y predicciones (P)	5
<hr/>	
3. MARCO TEÓRICO GENERAL.....	7
3.1 Marco conceptual.....	7
3.1.1 Clasificación de los ríos.....	7
3.1.2 Definiciones de los conceptos: zona, condición y cobertura vegetal riparia.....	7
3.1.3 Definición de sistema productivo.....	9
3.1.4 Definición de comunidad.....	10
3.1.5 Teorías ecológicas sobre la dinámica de los ríos.....	10
3.1.6 Diversidad alfa.....	16
3.1.7 Diversidad beta.....	18
3.1.8 Dieta.....	20
3.2 Antecedentes	23
3.2.1 Estudios realizados en el área de estudio, sobre la biología de las especies de la comunidad íctica de estudio	23
3.2.2 Estudios realizados sobre la relación de la cvr, el periodo hidrológico y la ictiofauna en otros lugares.	26
<hr/>	
4. ASPECTOS METODOLÓGICOS GENERALES	28
4.1 Área de estudio	28
4.2 Diseño experimental.....	31
4.3 Descripción de los puntos de muestreo.....	33

CONTENIDO (CONTINUACIÓN)

Página

5. RELACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE LA COMUNIDAD ÍCTICA Y LA COBERTURA VEGETAL RIPARIA EN DOS PERÍODOS HIDROLÓGICOS EN RIACHOS DE LA CUENCA DEL RÍO LA VIEJA, EJE CAFETERO DE COLOMBIA	36
5.1 Introducción.....	36
5.2 Aspectos metodológicos.....	37
5.3 Resultados	38
5.4 Discusión.....	46
5.5. Conclusiones.....	49
6. RELACIÓN DE LA ESTRUCTURA Y DIETA DE LA COMUNIDAD ÍCTICA Y LA COBERTURA VEGETAL RIPARIA EN DOS PERÍODOS HIDROLÓGICOS EN RIACHOS DE LA CUENCA DEL RÍO LA VIEJA, EJE CAFETERO DE COLOMBIA	50
6.1 Introducción.....	50
6.2 Aspectos metodológicos.....	51
6.2.1 Descripción de la estructura de la comunidad de peces	51
6.2.2 Análisis de la dieta de la comunidad de peces.....	51
6.3 Resultados	53
6.3.1 Descripción de la estructura de la comunidad de peces	53
6.3.2 Análisis de la dieta de la comunidad de peces.....	63
6.4 Discusión.....	73
6.4.1 Descripción de la estructura de la comunidad de peces.	73
6.4.2 Análisis de la dieta de la comunidad de peces.....	75
6.5 Conclusiones.....	78
6.5.1 Descripción de la estructura de la comunidad de peces	78
6.5.2 Análisis de la dieta de la comunidad de peces.....	79
7. SÍNTESIS GENERAL	80
BIBLIOGRAFÍA	82
ANEXOS	95

RESUMEN

Objetivo. Evaluar la relación entre la composición, estructura y dieta de la comunidad íctica y la cobertura vegetal riparia (cvr) en seis riachos de la cuenca del Río La Vieja en dos periodos hidrológicos. **Materiales y métodos.** Las colectas fueron realizadas con Electropesca y rapiché en marzo y mayo de 2010. La composición fue evaluada a través de un análisis de similitud. La estructura fue analizada a través de los índices: riqueza, dominancia, diversidad y equidad; posteriormente fueron comparados a través de una prueba ANOVA. Se realizaron análisis de contenidos gastrointestinales y se emplearon los índices: coeficiente de vacuidad, frecuencia de ocurrencia, volumétrico e importancia alimentaria. Para analizar la relación entre la dieta, periodo hidrológico y cvr fue realizado un Análisis de Correspondencias Canónicas (ACC). **Resultados.** Según el análisis de similitud la composición de la comunidad íctica, la cvr y el periodo hidrológico se relacionan. En los dos periodos hidrológicos, la riqueza, diversidad y equidad presentaron valores bajos en las cvr de gradual pastizal y altos en las de gradual cafetal; entre tanto, la dominancia presentó un patrón inverso. Sin embargo, el ANOVA evidenció que no existieron diferencias estadísticamente significativas ($P > 0,05$) entre estos índices de acuerdo a la cvr y al periodo hidrológico. Según el ACC la dieta de la comunidad íctica se relaciona con la cvr y el periodo hidrológico. **Conclusiones.** Probablemente las cvr vecinas afectan la composición, estructura y dieta de la comunidad íctica y estos atributos varían más en función de la cvr y del periodo hidrológico que del sistema productivo.

Palabras clave: Composición, cobertura vegetal riparia; comunidad de peces; dieta; Eje Cafetero; estructura; periodo hidrológico.

ABSTRACT

Relationship of riparian vegetation cover structure and fish community, in two hydrological periods in streams in the river basin “La Vieja”, in the “Eje Cafetero” of Colombia. Objective. We investigated the relationship between the composition, structure and diet of fish community and type of riparian vegetation cover (rvc) in six streams in the river basin “La Vieja” in two hydrological seasons. **Materials and methods.** The collections were made with electrofishing and “rapiché” on March and May 2010. The composition was evaluated with a similarity analysis. The structure was analyzed through indicators of richness, dominance, diversity and evenness, they were compared using an ANOVA test. The diet was studied with a gastrointestinal contents analysis. Indexes of vacuity coefficient, frequency, volume and food importance were used. We examined the relationship between diet, hydrological season and rvc using a Canonical Correspondence Analysis (CCA). **Results.** According to similarity analysis, the composition of fish community, cvr and hydrological period are related. In the two hydrological seasons, richness, diversity and equity values were low for the rvc of *Guadua* plantation and grassland, and high for the *Guadua* plantation and Coffee plantation, moreover, dominance showed a reverse pattern. An ANOVA showed no statistically significant differences between these indices according to the type of rvc and to hydrological season ($P>0,05$). According to CCA the diet of fish community is related to rvc and hydrological season. **Conclusions.** The composition, structure and diet of fish community varies more according to cvr and hydrological period variables than productive system. Probably the neighboring rvc affect composition, structure and diet of fish community.

Keywords: Composition, diet, “Eje Cafetero”, fish community, hydrological season, riparian vegetation cover, structure.

LISTADO DE TABLAS

Página

Tabla 1. Localización de los sitios de muestreo y tipo de cvr. El número de las coordenadas hace referencia a su ubicación en el mapa. G gradual; C cafetal y P pastizal	32
Tabla 1a. Mediciones de la distancia (km) entre los puntos de muestreo. Los valores más bajos se resaltan en negrita	32
Tabla 2. Listado taxonómico de la comunidad de peces (Fotos: Pérez 2010)	40
Tabla 3. Composición íctica por cvr y por periodo hidrológico (nivel de agua bajo/nivel de agua alto). 0= ausente; 1= presente.....	44
Tabla 4. Especies y sus abundancias por tipo de cvr y por periodo hidrológico ...	54
Tabla 5. Índices ecológicos de la comunidad de peces por tipo de cvr y por periodo hidrológico (nivel de agua bajo/ nivel de agua alto). Individuos (n); riqueza (R); equidad (J'); dominancia (D') y diversidad (H').....	57
Tabla 6. Pruebas de homogeneidad de varianzas y de significancia univariada para los índices ecológicos por tipo de cvr y por periodo hidrológico. R riqueza; H' diversidad; D' dominancia y J' equidad. SS suma de cuadrados; GL grados de libertad; MS media de cuadrados; F Estadístico F y p valor.....	61
Tabla 7. Estómagos analizados por tipo de cvr y por periodo hidrológico	63
Tabla 8. Análisis de regresión de las especies que no cambiaron de hábito alimentario. CVR cobertura vegetal riparia; N número de estómagos analizados; LT longitud total (mm); CT Categoría trófica; r ² Coeficiente de determinación (Regresión) del índice de importancia alimentaria entre los periodos hidrológicos. Las especies resaltadas en negrita son aquellas que cambiaron de categoría trófica al interior del mismo riacho	68

LISTADO DE TABLAS (CONTINUACIÓN)

Página

Tabla 9. Análisis de regresión de las especies que si cambiaron de hábito alimentario. Número de estómagos analizados (N); LT longitud total (mm); Categoría trófica (CT); Regresión (Coeficiente de determinación r^2) del índice de importancia alimentaria (IAi) entre los periodos hidrológicos. Las especies resaltadas en negrita son aquellas que cambiaron de categoría trófica al interior del mismo riacho	69
Tabla 10. Convenciones y códigos asignados a los riachos y cvr; especies y categorías tróficas para el Análisis de Correspondencia Canónico.....	70

LISTADO DE FIGURAS

Página

Figura 1. Clasificación de los cauces según su orden de magnitud. Fuente: Modificado de www.usda.gov/stream_restoration/chp1.html	7
Figura 2. Esquema de la teoría del río como un continuo (Vannote et al. 1980). 1 Fragmentadores (shredders), 2 Colectores (collectors), 3 Predadores (predators), 4 Raspadores (scrapers), 5 Microbios, 6 MPG, 7 MPF, 8 Hidrófitas, 9 Perifiton, 10 Fitoplancton, 11 Zooplancton, 12 Trucha, 13 Lobina boca chica, 14 Perca, 15 Bagre. Fuente: Modificado de http://www.tcnj.edu/~bshelley/images/RiverContinuumConcept2.jpg	12
Figura 3. Clasificación de los métodos de medición de diversidad alfa. Fuente: Modificado de Moreno (2001).....	17
Figura 4. Clasificación de los métodos de medición de diversidad beta. Fuente: Modificado de Moreno (2001).....	19
Figura 5. Clasificación de los métodos para medición de la dieta. Fuente: Elaboración propia	21
Figura 6. Ubicación del área de estudio donde se indicano las estaciones de muestreo; los números corresponden a los riachos (Fincas) y las letras al tipo de cvr, especificadas en la tabla 1. Fuente: Elaboración propia, DIVA-GIS.....	28
Figuras 7: a. Fluctuación de la precipitación. Fuente: IDEAM; valores medios mensuales multianuales (n=24; 1986-2009); Departamento Valle del Cauca; Municipio Alcalá; Corriente La Vieja; Estación Alcalá; 1198 m. b. Fluctuación del caudal. Fuente: IDEAM; valores medios mensuales multianuales (n=24; 1986-2009); Departamento Valle del Cauca; Municipio Cartago; Corriente La Vieja; Estación Cartago; 914 m. c. Fluctuación del nivel. Fuente: IDEAM; valores medios mensuales multianuales (n=24; 1986-2009), Departamento Valle, Municipio Cartago, Corriente La Vieja, Estación Cartago, 914 m.....	30
Figura 8. Diseño experimental.....	31

LISTADO DE FIGURAS (CONTINUACIÓN)

Página

Figura 9. Abundancia relativa de individuos por órdenes por tipo de cvr para el periodo hidrológico nivel de agua bajo (B) y alto (A)	39
Figura 10. Análisis de similitud de Bray-Curtis de la composición íctica en el periodo hidrológico de nivel de agua bajo (*) y alto por tipo de cvr. Los números corresponden a los riachos y las letras simbolizan el tipo de cvr gradual (G), cafetal (C) y pastizal (P). Los recuadros verdes corresponden a un mismo periodo hidrológico y los azules a diferentes periodos hidrológicos.....	45
Figura 11. Abundancias relativas de las especies por periodo hidrológico: nivel de agua bajo (B) y nivel de agua alto (A), por tipo de cvr. Los colores corresponden a las especies.....	55
Figura 12. Valores de riqueza de la comunidad íctica en el periodo hidrológico de nivel de agua bajo (B) y nivel de agua alto (A), por tipo de cvr.	56
Figura 13. Valores de equidad de la comunidad íctica en el periodo hidrológico de nivel de agua bajo (B) y nivel de agua alto (A), por tipo de cvr.	58
Figura 14. Valores de dominancia de la comunidad íctica en el periodo hidrológico de nivel de agua bajo (B) y nivel de agua alto (A), por tipo de cvr.	59
Figura 15. Valores de diversidad de la comunidad íctica en el periodo hidrológico de nivel de agua bajo (B) y nivel de agua alto (A), por tipo de cvr.	60
Figura 16. Análisis de varianza (ANOVA) factorial. Riqueza (R); equidad (J'); dominancia (D') y diversidad (H') para el periodo hidrológico de nivel de agua bajo y alto. Las barras verticales denotan los intervalos de confianza al 0,95	62
Figura 17. Índice de importancia alimentaria (IA _i) de los peces por tipo de cvr para el periodo hidrológico de nivel de agua bajo (B) y alto (A). Los colores corresponden a los hábitos alimentarios de la comunidad íctica y la fuente de origen de los ítems consumidos: autóctona (au), alóctona (al) y no identificada (ni).	66

LISTADO DE FIGURAS (CONTINUACIÓN)

Página

Figura 18. Análisis de Correspondencia Canónica de las cvr, las especies y las categorías tróficas para el periodo hidrológico de nivel de agua bajo. Los colores de las especies y las cvr indican la categoría trófica principal..... 71

Figura 19. Análisis de Correspondencia Canónica de las cvr, las especies y las categorías tróficas para el periodo hidrológico de nivel de agua alto. Los colores de las especies y las cvr indican la categoría trófica principal. 72

LISTADO DE ANEXOS

Página

Anexo A. Taxones de macroinvertebrados colectados en los riachos de las Fincas: Tierra Labrantía (2); La Comarca (5); El Porvenir (6); Santa Bárbara (1); La Sonora (3) y El Descanso (4). Cvr: gradual (G); pastizal (P) y cafetal (C). Grupo funcional: no identificado (ni). Datos tomados de Daza (2007).	95
Anexo B. Valores de riqueza (R) (Tomado de Daza 2007) para cada riacho por grupo dietario y su respectivo porcentaje Fincas: 2 Tierra Labrantía; 5 La Comarca; 6 El Porvenir; 1 Santa Bárbara; 3 La Sonora y 4 El Descanso.	96
Anexo C. Valores de riqueza (Tomado de Daza 2007) para cada riacho por grupo dietario y su respectivo porcentaje. G gradual; P pastizal y C cafetal.	96
Anexo D. Fotografías de los riachos estudiados (Fotos: Pérez 2010).....	97
Anexo E. Caracterización físico química de los riachos estudiados. Cvr: gradual (G), cafetal (C) y pastizal (P). Periodo hidrológico de nivel de agua bajo (B) y de nivel de agua alto (A). Profundidad (Z), Temperatura (T), Oxígeno (O ₂) y potencial de hidrógeno (pH)	99
Anexo F. Matriz del índice de similitud de Bray-Curtis entre periodos hidrológicos: nivel de agua bajo (*) y alto y entre tipos de cvr. Los recuadros verdes corresponden a un mismo periodo hidrológico y los azules a diferentes periodos hidrológicos.	100
Anexo G. Tallas de los peces (LT) por tipo de cvr para el periodo hidrológico de nivel de agua bajo. Cvr: gradual (G); pastizal (P) y cafetal (C).	101
Anexo H. Tallas de los peces (LT) por tipo de cvr para el periodo hidrológico de nivel de agua alto. G gradual; P pastizal y C cafetal.	105
Anexo I. Histogramas de frecuencia de los peces por tallas (LT), con abundancias superiores a 10 para el periodo hidrológico de nivel del agua bajo.	111
Anexo J. Histogramas de frecuencia de los peces por tallas (LT), con abundancias superiores a 10 para el periodo hidrológico de nivel del agua alto.	112

LISTADO DE ANEXOS (CONTINUACIÓN)

Página

Anexo K. Taxonomía de los ítems alimentarios encontrados en los contenidos gastrointestinales de los peces. Larva (L); Adulto (A); Autóctono (AU); Alóctono (AL); Invertebrados acuáticos (INA); Invertebrados terrestres (INT); Algas (ALG); Detrito (DET) y Material Vegetal terrestre (MVT).	113
---	-----

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

Dos de las principales teorías que explican la dinámica de los ríos son: i) El río como un continuo (Vannote *et al.* 1980) y ii) El pulso de inundación (Junk *et al.* 1989). La primera de éstas propone que las variables físicas de un río presentan un gradiente continuo, desde su nacimiento hasta su desembocadura, lo cual determina la estructura y la función de las comunidades acuáticas presentes. Esta teoría explica que los ríos de orden de magnitud baja (riachos) están altamente influenciados por el tipo de cobertura vegetal riparia, al reducir ésta la producción autotrófica por la sombra que genera sobre el cuerpo de agua y porque contribuye con una gran cantidad de material alóctono. Según Goeking y Crowl (1999) la cobertura vegetal riparia se define como la vegetación dominante que se encuentra en las laderas de los ríos y es un punto de interacción entre el ecosistema terrestre y el acuático.

De acuerdo a la teoría del río como un continuo, el orden de magnitud de los ríos determina la presencia de gremios de peces y de grupos funcionales de macroinvertebrados. El orden de magnitud de los ríos según Strahler (1957) puede dividirse en tres conjuntos: los ríos de baja magnitud, llamados ríos de cabecera o riachos (orden de magnitud 1 – 3), los ríos de tamaño mediano (orden de magnitud 4 – 6) y los ríos de gran magnitud (orden de magnitud superior a 6).

En los riachos predominan grupos funcionales de macroinvertebrados de tipo fragmentador y colector y diferentes fuentes alimentarias provenientes del sistema terrestre, tales como invertebrados, frutos y semillas. Así, los gremios de peces que se favorecen bajo estas condiciones son los consumidores de invertebrados (de origen terrestre y acuático), de vegetación terrestre y de detrito.

Por otro lado, en los ríos medianos predominan los grupos funcionales de macroinvertebrados de tipo colector y raspador y en los ríos grandes predominan los de tipo colector y predador. En estos ríos las fuentes alimentarias de origen alóctono se reducen y por tanto los gremios de peces que se favorecen bajo estas condiciones son los consumidores de macroinvertebrados autóctonos y de peces, respectivamente (Vannote *et al.* 1980).

La segunda teoría explica que son los pulsos de inundación, en ríos con planicies inundables, los responsables por la organización biótica, pues dirigen los procesos de productividad e interacciones bióticas (Junk *et al.* 1989). Sin embargo, no solo los grandes ríos están influenciados por estos pulsos de inundación; estudios en pequeños ríos demuestran que estos pulsos también influyen en las especies allí existentes, debido a que, durante los aumentos del nivel de las aguas las fuentes energéticas alóctonas terrestres quedan disponibles para los organismos acuáticos (Walker 1987, 2004; Knopell 1970; Saul 1975; Henderson y Walker 1990 y Walter 1998).

Aunque las dos teorías mencionadas fueron postuladas para ríos de zonas templadas, es posible extrapolarlas a corrientes tropicales, desde que se tenga en cuenta la escala espacial. Entre tanto, se ha demostrado que los procesos ecológicos pueden ser similares en los ríos templados y tropicales, mientras que los organismos involucrados en los procesos ecológicos pueden diferir (Boulton *et al.* 2008).

Nuestro conocimiento limitado de la ecología de peces tropicales restringe nuestra capacidad para formular generalizaciones ecológicas. Algunos de los modelos conceptuales creados para predecir las condiciones ecológicas para los peces de riachos templados, probablemente se aplican también para los peces de riachos tropicales (Winemiller *et al.* 2008).

Si bien ya se conoce que el mantenimiento de la vegetación riparia juega un papel importante sobre la composición y riqueza de especies ícticas (Lee *et al.* 2001, Grown *et al.* 2003, Chará 2003 y Chará *et al.* 2007), aún falta investigar en los riachos tropicales qué tipo de relaciones se presentan entre los tipos de cobertura vegetal riparia y la composición, estructura y dieta de la comunidad íctica asociada. El conocimiento de estos aspectos es fundamental para entender la posible influencia que se da entre éstos y así poder recalcar la importancia de mantener las coberturas vegetales riparias.

La idea de hacer este proyecto surge de las observaciones realizadas en campo por los autores del presente estudio y con base en las conclusiones realizadas por Romero (2009), pues sugiere que las coberturas vegetales riparias parecen estar más relacionadas con los cambios en composición y estructura de la comunidad íctica que con el sistema productivo, que fue la variable independiente analizada.

Las entidades involucradas con el desarrollo de este proyecto son dos: i) El Centro de Investigaciones y Estudios en Biodiversidad y Recursos Genéticos CIEBREG, el cual es un grupo interinstitucional de excelencia de Colciencias, dentro del cual se desarrolló el trabajo de grado de Romero (2009) y ii) La Unidad de Ecología y sistemática UNESIS, la cual vinculó a la autora principal de este estudio a través del programa “Jóvenes Investigadores e Innovadores 2008-2009” apoyado por la Vicerrectoría Académica de la Pontificia Universidad Javeriana y por Colciencias.

Los proyectos con los que se relaciona el presente trabajo son tres: i) “Valoración de los bienes y servicios de la biodiversidad para el desarrollo sostenible de paisajes rurales colombianos: Complejo Ecorregional de los Andes del Norte” desarrollado por el grupo CIEBREG; ii) “Caracterización de la comunidad íctica asociada a sistemas productivos de la Ecorregion Cafetera para dos periodos hidrológicos en riachos de las cuencas de los ríos La Vieja y Otún-Quimbaya, Colombia” desarrollado por Romero (2009) y iii) “Relación de la cobertura vegetal

riparia y la comunidad íctica, en dos periodos hidrológicos en riachos de la cuenca del río La Vieja, Eje Cafetero de Colombia” desarrollado por los autores del presente estudio y financiado por la Vicerrectoría Académica de la Pontificia Universidad Javeriana y por COLCIENCIAS.

Respecto a los alcances de este trabajo se resalta el aporte de nuevos enfoques para el estudio ecológico de las comunidades ícticas de riachos altoandinos colombianos y se generan aportes al conocimiento y entendimiento de la ecología de estas comunidades. Por otra parte las limitaciones de este estudio radican en que los muestreos fueron realizados en un año, durante dos periodos hidrológicos, por lo que se sugiere realizar muestreos multianuales continuos que permitan monitorear las comunidades de peces y corroborar las relaciones encontradas en el presente estudio.

El cuerpo del trabajo se divide en siete capítulos: i) Presenta la parte introductoria, el origen del proyecto y los alcances y limitaciones de este; ii) Muestra el planteamiento del problema, la pregunta de investigación, los objetivos, hipótesis y predicciones; iii) Presenta el marco conceptual y los antecedentes relacionados con la temática estudiada; iv) Describe los aspectos metodológicos empleados para lograr el cumplimiento de los objetivos planteados; v) Se presenta a manera de artículo científico la relación de la composición de la comunidad íctica y la cobertura vegetal riparia en dos periodos hidrológicos en riachos de la cuenca del río La Vieja, Eje Cafetero de Colombia; vi) Se presenta a manera de artículo científico la relación de la estructura de la comunidad íctica y la cobertura vegetal riparia en dos periodos hidrológicos en riachos de la cuenca del río La Vieja, Eje Cafetero de Colombia y vii) se presenta la síntesis general que muestra la interrelación de los resultados, las nuevas hipótesis que surgen y las proyecciones a futuro.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Diferentes estudios han evaluado la relación entre la riqueza de las comunidades ícticas y la cobertura vegetal riparia: Lee *et al.* (2001), analizaron en 18 quebradas de la cuenca del río Minnesota (USA), la relación entre la riqueza de la comunidad de peces y el porcentaje de cobertura arbórea, en un gradiente cabecera-desembocadura. Estos autores encontraron que en las zonas con mayor cobertura se presenta mayor riqueza íctica probablemente en respuesta a la mayor cantidad de material alóctono proveniente de estas coberturas; así mismo, estos autores sugieren que es fundamental el mantenimiento de estas coberturas a lo largo del corredor ripario en ríos afectados por actividades agrícolas.

Por otro lado Grown *et al.* (2003), estudiaron seis comunidades de peces en riachos asociados a la cuenca del río Hawkesbury-Nepean en Sídney (Australia). Estos autores identificaron el efecto de dos tipos de cobertura vegetal riparia: de árboles-arbustos y gramíneas y encontraron que en las zonas donde la cobertura vegetal riparia predominante era de gramíneas se presentaba una mayor riqueza de peces de tamaños pequeños, este patrón fue explicado por la abundancia de macrófitas que les proporcionan hábitat para su sobrevivencia.

Más recientemente y en cercanías al área de estudio Chará (2003) estudió la influencia del estado de conservación de la vegetación riparia sobre la composición de especies y la estructura de una comunidad de peces en ríos de bajo orden del Eje Cafetero de Colombia. En este estudio se estimó que el 35,7% de la variación observada en la comunidad de peces se explica por la influencia de factores bióticos, tales como el tipo de vegetación riparia.

Observaciones recientes en ríos de primer orden del Eje Cafetero de Colombia realizadas por Romero (2009), sugieren que la composición, estructura y dieta de la comunidad íctica aparentemente está más relacionada con el tipo de cobertura vegetal riparia que con el sistema productivo. Así, en el presente estudio se seleccionaron dos sistemas productivos (ganadería y cafetal) con diferentes tipos de cobertura vegetal riparia (guadual pastizal y guadual cafetal) para dilucidar si realmente existe dicha relación.

2.1 Pregunta de investigación

¿Cuál es la relación entre el tipo de cobertura vegetal riparia y la composición, estructura y dieta de la comunidad íctica en riachos de la cuenca del río La Vieja, en dos periodos hidrológicos?

2.2 Objetivo general

Evaluar la relación entre la comunidad íctica y el tipo de cobertura vegetal riparia (guadual, cafetal y pastizal) en riachos de la cuenca del Río La Vieja, Eje Cafetero de Colombia, en dos periodos hidrológicos diferentes.

2.2.1 Objetivos específicos

- Identificar la composición íctica por el tipo de cobertura vegetal riparia y por periodo hidrológico y evaluar la relación entre estas variables.
- Estimar la riqueza, diversidad, equidad y dominancia de la comunidad íctica por tipo de cobertura vegetal riparia y por periodo hidrológico y evaluar la relación entre estas variables.
- Identificar los hábitos alimentarios de los peces y la fuente de los ítems consumidos por tipo de cobertura vegetal riparia y por periodo hidrológico y evaluar la relación entre estas variables.

2.3 Hipótesis (H) y predicciones (P)

- **H₁:** La composición de la comunidad íctica cambia de acuerdo al periodo hidrológico y al tipo de cobertura vegetal riparia.

P₁: Si la composición de la comunidad íctica cambia de acuerdo al periodo hidrológico y al tipo de cobertura vegetal riparia, entonces se espera encontrar una variación en la composición de peces por periodo hidrológico y por tipo de cobertura vegetal riparia, tanto entre riachos como dentro de los mismos; pues por un lado las fluctuaciones hidrológicas afectan la oferta de recursos alóctonos al ecosistema acuático (Junk *et al.* 1985 y 1989); y por el otro, los tipos de cobertura vegetal riparia determinan la disponibilidad de hábitats y la oferta de ítems alimentarios (Vannote *et al.* 1980).

- **H₂:** La estructura de la comunidad íctica cambia de acuerdo al periodo hidrológico y al tipo de cobertura vegetal riparia.

P₂: Si la estructura de la comunidad íctica cambia de acuerdo al periodo hidrológico y al tipo de cobertura vegetal riparia, entonces se espera encontrar cambios en la estructura de la comunidad de peces por la fluctuación en el nivel del agua, la cual altera la disponibilidad de hábitats y oferta de recursos

alimentarios, lo cual afecta atributos como la riqueza, diversidad, equidad y dominancia (Junk *et al.* 1985 y 1989).

Respecto al tipo de cobertura vegetal riparia se espera encontrar una mayor riqueza, diversidad y equidad íctica en los riachos de guadual cafetal, debido a que en ese ambiente existe una mayor oferta de recursos y una mayor heterogeneidad espacial (Lee *et al.* 2001). Por otra parte, en los riachos con cobertura vegetal riparia de tipo herbáceo como el pastizal, se espera encontrar el patrón inverso, debido a que allí las fuentes energéticas alóctonas y la heterogeneidad espacial son más reducidas (Vannote *et al.* 1980 y Goeking y Crowl 1999).

- **H₃:** La dieta de la comunidad íctica cambia de acuerdo al periodo hidrológico y al tipo de cobertura vegetal riparia.

P₃: Si la dieta de la comunidad íctica cambia de acuerdo al periodo hidrológico y al tipo de cobertura vegetal riparia, entonces se espera obtener un coeficiente de vacuidad mayor en el periodo de nivel de agua bajo y menor en el nivel de agua alto. A su vez, se espera encontrar un incremento de ítems alóctonos en los contenidos gastrointestinales de los peces en el periodo hidrológico de nivel de agua alto, ya que al aumentar el nivel del agua, las fuentes energéticas alóctonas terrestres de origen vegetal y animal quedan disponibles en el medio acuático (Junk *et al.* 1989).

De acuerdo a la teoría del río como un continuo, se espera encontrar peces con hábitos alimentarios de tipo detritívoro e invertívoro, ya que en los riachos predominan estos hábitos alimentarios (Vannote *et al.* 1980). Por otra parte, se espera hallar peces de hábito alimentario herbívoro en los riachos asociados al tipo de cobertura vegetal riparia arborescente por la oferta de frutos y semillas, mientras que en la cobertura vegetal riparia de tipo herbáceo, se espera encontrar peces alguívoros ya que allí existe una mayor penetración de la luz.

Se espera identificar una mayor abundancia de ítems alóctonos (invertebrados y vegetación de origen terrestre) en los contenidos gastrointestinales de los peces colectados en sitios donde la cobertura vegetal riparia ofrece una mayor cantidad de recursos, es decir, en los riachos con guadual cafetal; mientras que en sitios donde la cobertura vegetal riparia es herbácea, es decir, en el pastizal, deben predominar los ítems de origen autóctono (Vannote *et al.* 1980).

3. MARCO TEÓRICO GENERAL

3.1 Marco conceptual

3.1.1 Clasificación de los ríos. Según Strahler (1957), el orden hidrológico, o clasificación de los cauces se basa en el número y tipo de uniones de tributarios que indican el tamaño del cauce, flujo y área de drenaje. Los ríos se clasifican de acuerdo con su orden de magnitud de la siguiente manera:

- Todas las nacientes y sus cauces, se designan de orden uno.
- La unión de dos cauces de primer orden, forman un cauce de orden dos.
- Donde se unen dos cauces de segundo orden, se forma un cauce de tercer orden y así sucesivamente (figura 1).

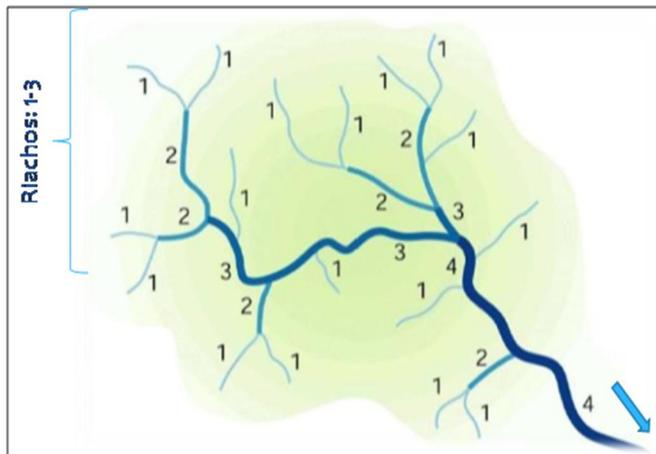


Figura 1. Clasificación de los cauces según su orden de magnitud. Fuente: Modificado de www.usda.gov/stream_restoration/chp1.html

Las comunidades allí presentes pueden ser concentradas en tres conjuntos: las que se encuentran en los ríos de cabecera o de baja magnitud (ríos de ordenes 1 – 3, denominados riachos en el presente proyecto), las que se encuentran en ríos de tamaño mediano (ríos de ordenes 4 – 6) y las que están en los ríos de gran magnitud (ríos de órdenes superiores a 6) (Vannote *et al.* 1980).

3.1.2 Definiciones de los conceptos: zona, condición y cobertura vegetal riparia. A continuación se presenta una síntesis sobre los términos: zona, condición y cobertura vegetal riparia, ya que representan conceptos diferentes y con frecuencia, éstos han sido empleados de manera indiscriminada. Para efectos de este trabajo fue empleado el término de “cobertura vegetal riparia

(abreviatura: **cvr**)”, puesto que el aspecto evaluado fue la incidencia de diferentes tipos de **cvr** sobre la comunidad de peces y no otras características como el suelo o el ambiente, pertinentes al concepto de zona riparia; ni tampoco se evaluaron los disturbios en el ambiente, que hacen referencia al concepto de condición riparia.

- **Zona riparia.** Gregory *et al.* (1991), definen la zona riparia como el punto de contacto entre ecosistemas terrestres y acuáticos de difícil delimitación y que está conformada por diferentes mosaicos de formas de la superficie terrestre (llanuras, montañas o valles), comunidades y ambientes dentro de un paisaje. A su vez, asumen que los patrones geomorfológicos crean un mosaico de canales de ríos y planos inundables dentro de los valles, estos procesos junto con los disturbios entre la tierra y el origen fluvial, son los que afectan a las zonas riparias, lo que determina el patrón espacial y el desarrollo sucesional de la vegetación riparia.

Naiman y Décamps (1997), describen la zona riparia como una inusual diversidad de mosaicos de formas de suelo, comunidades y medio ambiente en el paisaje y ello sirve como marco para entender la organización, diversidad y dinámicas de comunidades asociadas con ecosistemas fluviales. Estas zonas pueden variar en tamaño, por ejemplo: en las de las cabeceras de los ríos son más pequeñas, porque frecuentemente están inundadas en el bosque. Las zonas riparias son definidas por Naiman *et al.* (2005), como áreas semiterrestres, regularmente influenciadas por agua dulce, las cuales se extienden desde los bordes de los ríos hasta el borde de los ecosistemas terrestres. Conceptualmente, las zonas riparias están relacionadas con los conceptos principales de la ecología de sistemas de ríos: río como un continuo y el pulso de inundación.

- **Condición riparia.** La condición riparia es un indicador de disturbios en el ambiente; puede ser evaluada a través de la medición (por observaciones directas y/o uso de fotografías aéreas) de las variables: porcentaje de erosión, densidad de la vegetación, abundancia de macrófitas y actividades humanas y de acuerdo al puntaje obtenido se asignan las categorías: degradado o aceptable (Pinto *et al.* 2006).
- **Cvr.** Puede ser definida como la vegetación dominante que se encuentra en las laderas de los ríos, y como un punto de interacción entre el ecosistema terrestre y el ecosistema acuático. Ésta puede ocasionar la reducción de la velocidad del agua a través del tejido vegetal que sobresale del suelo, el cual provee una superficie rugosa que causa el depósito de sedimentos en las áreas de inundación. La **cvr** en ocasiones amortigua los regímenes hidrológicos mediante la toma y liberación de agua, esto permite que las áreas

de inundación actúen como filtros naturales y eliminar contaminantes de los ríos (Goeking y Crowl 1999).

En los ecosistemas ribereños, la cvr juega un papel importante ya que aporta detrito al canal del río adyacente y provee cobertura estructural para varios organismos, en particular peces juveniles, macroinvertebrados y aves. El detrito provee nutrientes al perifiton, bacterias y detritívoros río abajo. Las características del detrito, como su tasa de descomposición, pueden afectar la productividad de todo el ecosistema (Goeking y Crowl 1999).

La vegetación riparia constituye un aporte importante de material alóctono a los ríos de primer orden ya que gran parte de la materia orgánica que se incorpora a los ríos ha sido originada allí. Las hojas de la vegetación riparia que ingresan al río, son transformadas por procesos bióticos y abióticos a lo largo de su descomposición y así generan aportes de nutrientes y refugios para las comunidades acuáticas; gran parte de éstas es transportada aguas abajo (Galizzi y Marchese 2007).

Los tipos de comunidad vegetal dependen del clima, topografía, geología e hidrología. Cambios hidrológicos y geomorfológicos pueden afectar los procesos físicos que controlan la cvr, lo cual puede generar cambios en la distribución de especies, su abundancia y composición (Biowest 2008).

3.1.3 Definición de sistema productivo. Un sistema productivo es definido por Etter y van Wyngaarden (2000) como una actividad socioeconómica, cuya fuente proviene de la explotación y transformación ecosistémica, lo que permite producir materia animal o vegetal para alimentación, materias primas, procesamiento o uso directo.

En un estudio previo sobre el efecto de los sistemas productivos sobre la comunidad íctica realizado por Romero (2009) en el área del presente estudio, los sistemas productivos fueron definidos por la influencia del uso del suelo, estos fueron: Ganadería (para carne y leche) y cultivos mixtos (con predominio de cafetales, guaduales y frutales).

En este estudio se definieron dos sistemas productivos por la influencia del uso del suelo. Estos fueron: Ganadería y Cafetal y dentro de cada uno de estos sistemas productivos se seleccionaron riachos con diferentes tipos de cvr (guadual pastizal y guadual cafetal).

- **Sistema productivo de Ganadería.** Es una de las actividades económicas más representativas de la región que reemplazó a los tradicionales cultivos de café. Las especies dominantes en estos sistemas son los bovinos, ovinos y

equinos (Murgueito 2003). Según Chará (2003), la ganadería para producción de leche se ubica en los altiplanos en altitudes entre los 2000 y 3000 m; la ganadería de doble propósito, es decir, para la producción de carne y leche, se ubica entre los 1000 y 2000 m y la ganadería de carne en las altitudes más bajas desde los 500 hasta los 100 m. La diferencia entre el uso del suelo para ganadería de leche y ganadería de carne, reside en el uso de cercas vivas para el primero, con el fin de evitar el movimiento del ganado hacia otros terrenos (Gómez 2007).

- **Sistema productivo de agricultura (Cafetal).** En términos socioeconómicos constituye por tradición uno de los sistemas de mayor importancia para la región, está representado por los cultivos de café (tradicional y tecnificado), así como por el de plátano, yuca, cítricos, y caña de azúcar. Estas prácticas agrícolas suelen estar acompañadas por un amplio uso de agroquímicos y fertilizantes, con el fin de aumentar los niveles de producción para la eliminación de patógenos asociados, plagas y malezas (Amaya *et al.* 2005).

3.1.4 Definición de comunidad. Para efectos de este trabajo se empleó el concepto de comunidad propuesto por Begon (2006), entendido como el conjunto de especies que comparten un espacio y un tiempo definidos. Respecto al concepto de estructura de la comunidad, se puede hacer referencia a la estructura física o biológica; la estructura física es en esencia lo que observamos en una comunidad y tiene que ver con su fisionomía; mientras que la estructura biológica abarcan diferentes atributos como: i) la composición, ii) la abundancia de las especies, las cuales involucran la diversidad, la equidad y la dominancia y iii) la dieta de las especies (Krebs 2000). En este estudio se maneja el concepto de estructura biológica.

3.1.5 Teorías ecológicas sobre la dinámica de los ríos

- **El río como un continuo (river continuum concept).** El concepto del río como un continuo propone que mediante el entendimiento de los gradientes físicos, formados en la red de drenaje, se reconozcan las estrategias biológicas de las especies para su establecimiento a lo largo del sistema y tiene en cuenta la entrada de energía, transporte de materia orgánica, reserva y uso por parte de grupos funcionales de alimentación que a su vez pueden ser regulados por procesos fluviales y geomorfológicos (Shelford 1911; Vannote *et al.* 1980; Swanston *et al.* 1977).

El cuerpo de los ríos, desde su cabecera hasta su desembocadura no se presenta como un sistema homogéneo, ya que su nacimiento y el desarrollo del mismo a través de un área es totalmente diferente entre sus partes. Esta observación es la base de la teoría del río como un continuo (Vannote *et al.* 1980) en donde las variables fisicoquímicas dentro del río presentan un gradiente continuo de condiciones.

Tal gradiente genera diferentes respuestas en las poblaciones que allí se desarrollan y constituyen así un continuo de ajustes biológicos y patrones consistentes de carga, transporte, utilización y reserva de material orgánico a lo largo de su cauce. De esta manera, los gradientes y procesos producen un cambio continuo y predecible de las comunidades acuáticas a lo largo del río (Vannote *et al.* 1980).

En los ríos de baja magnitud (1 a 3) o riachos, hay una fuerte influencia de la cvr, una reducción de la producción autotrófica por la sombra que se genera en este sector, una mayor entrada de material de tipo alóctono de origen vegetal, animal y mineral y una mayor cantidad de materia particulada gruesa (figura 2).

En ríos de mediana magnitud (4 a 6), la materia particulada gruesa es transformada en materia particulada fina; debido a la disminución de la sombra sobre el cuerpo de agua se da un incremento en la producción primaria y las comunidades acuáticas son menos dependientes de los recursos energéticos externos (figura 2).

En ríos de gran magnitud (>6), hay una mayor cantidad de materia particulada fina, el agua es más turbia, decrece la productividad primaria e incrementan los organismos planctónicos (figura 2).

De esta manera las implicaciones de este concepto incluyen que desde las cabeceras hasta las desembocaduras de los ríos se presenta un gradiente continuo de variables como la profundidad, la amplitud, la velocidad, la temperatura, el flujo de volumen y aumento de la entropía, en donde el desarrollo de la organización biológica se conforma funcional y estructuralmente como patrones de disipación de energía cinética de los sistemas físicos (Vannote *et al.* 1980).

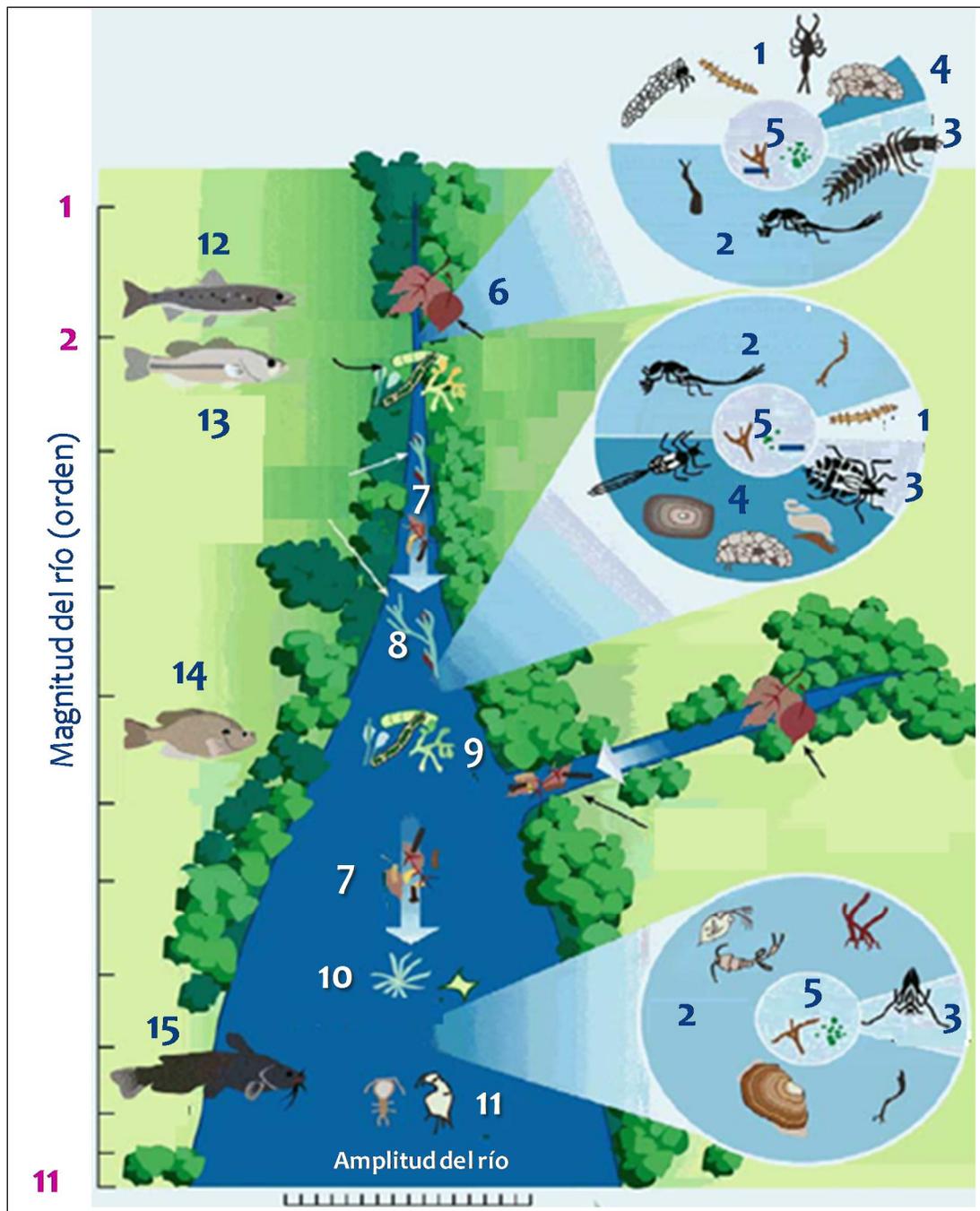


Figura 2. Esquema de la teoría del río como un continuo (Vannote *et al.* 1980). 1 Fragmentadores (shredders), 2 Colectores (collectors), 3 Predadores (predators), 4 Raspadores (scrapers), 5 Microbios, 6 MPG, 7 MPF, 8 Hidrófitas, 9 Perifiton, 10 Fitoplancton, 11 Zooplancton, 12 Trucha, 13 Lobina boca chica, 14 Perca, 15 Bagre. Fuente: Modificado de <http://www.tcnj.edu/~bshelley/images/RiverContinuumConcept2.jpg>

Según el concepto que describe principalmente comunidades de macroinvertebrados, en las cabeceras los de tipo colector y fragmentador se refleja la importancia de la materia orgánica proveniente de las zonas riparias; con el aumento de orden y reducción de detrito son los colectores los que se mantienen y se tornan dominantes. En cuanto a las comunidades de peces, existe un cambio en la composición de especies en función del orden de magnitud del río respecto a sus hábitos alimentarios, en los riachos predominan los invertívoros, mientras que hacia la parte media y desembocadura son característicos los peces piscívoros y planctívoros, lo que refleja la naturaleza semi-léntica de las aguas (Vannote *et al.* 1980).

Si las zonas tropicales difieren ecológicamente de las templadas, debemos ser prudentes en la extrapolación de los modelos desarrollados para los ecosistemas de zonas templadas. Para muchos grupos taxonómicos acuáticos, las zonas tropicales albergan una mayor biodiversidad que sus equivalentes de zonas templadas. Sin embargo, hay poca evidencia de diferencias reales en la estructura de la red alimentaria, la productividad, la transformación de materia orgánica y la dinámica de los nutrientes; al parecer, los procesos ecológicos en las zonas tropicales, son impulsados por las mismas variables que en las zonas templadas (Boulton *et al.* 2008).

A primera vista, la fauna de macroinvertebrados de las zonas tropicales es similar a la presente en las zonas templadas, ya que la mayoría de los órdenes de macroinvertebrados están presentes en ambos lugares. Las comunidades acuáticas tropicales son muy variables, dentro y entre regiones y continentes, al igual que en la zona templada. Sin embargo, la fauna tropical acuática presenta algunas características distintivas que la diferencian de la de los riachos de altas latitudes, como lo es la composición en niveles taxonómicos tales como familias, géneros y especies y en la abundancia relativa y riqueza de los órdenes. En términos de abundancia, los insectos dominan la fauna en riachos en todas las regiones tropicales, así como también ocurre en la mayoría de los riachos templados. Los riachos en diferentes partes de los trópicos son dominados no sólo por los mismos órdenes sino también por las mismas y escasas familias de insectos (Jacobsen *et al.* 2008).

Algunos investigadores consideran que el proceso de descomposición de hojas en ríos tropicales y templados es similar a pesar que los macroconsumidores de material vegetal son más comunes en las zonas tropicales; esto podría interpretarse como otro ejemplo de la sustitución trófica, donde los peces omnívoros de las familias Characidae, Cichlidae y Poeciliidae y los camarones de las familias Atyidae, Xiphocarididae y Palaemonidae, desempeñan un papel importante en la descomposición de las hojas en algunas zonas tropicales donde los insectos fragmentadores son escasos o ausentes (Boulton *et al.* 2008).

Se han reportado datos sobre la escasez o la ausencia de fragmentadores en las zonas tropicales de África, Asia, y los sistemas Neotropicales; a su vez, existe información sobre la actividad microbiana en el procesamiento de las hojas en ríos de Malasia por la casi ausencia de invertebrados fragmentadores (observaciones no publicadas de C. M. Yule; En: Wantzen *et al.* 2008).

Sin embargo, en un estudio reciente y cercano al área de estudio, Chara-Serna *et al.* (2010), identificaron que la comunidad de insectos acuáticos de quebradas de la cuenca del río La Vieja está compuesta principalmente por colectores y fragmentadores. Estos son grupos los grupos con mayor cantidad de individuos y suman el 86% de la abundancia. Este resultado confirma la importancia de la hojarasca o materia orgánica particulada gruesa como recurso alimenticio para la comunidad de insectos estudiada y, por ende, como fuente de energía en estos ambientes acuáticos. Los riachos estudiados se definieron como ecosistemas heterotróficos y debido a esta condición se explica la escasa presencia de raspadores, cuya principal fuente de alimento son las algas, lo cual coincide con la teoría del río como un continuo pues la codominancia de fragmentadores y colectores, que se alimentan de hojarasca y materia orgánica particulada fina derivada de la misma, refleja la importancia de este recurso en quebradas de cabecera con cobertura boscosa donde la fotosíntesis es limitada por la sombra. Esta limitación define a estos ecosistemas como heterotróficos, lo cual explica la escasa presencia de raspadores, cuya principal fuente de alimento son las algas.

Daza (2007) realizó un estudio de las comunidades de macroinvertebrados y su relación con variables físicas, químicas e hidrológicas en 18 riachos de la región cafetera; seis de estos fueron los mismos riachos estudiados en la presente investigación. Con el fin de identificar si en estos riachos también existía una coincidencia con la teoría del río como un continuo; se clasificó el grupo dietario de cada ítem con los datos de riqueza de macroinvertebrados por riacho, con base en el estudio de Chará-Serna *et al.* (2010) y se encontró un patrón afín (anexos A, B y C), pues hay una codominancia de colectores, fragmentadores y depredadores en los seis riachos (Fincas: Tierra Labrantía; La Comarca; El Porvenir; Santa Bárbara; La Sonora y El Descanso). Estos datos corroboran que el modelo del río como un continuo es aplicable para los riachos seleccionados para el presente estudio.

- **Pulso inundación (the flood pulse concept).** Junk *et al.* (1989) postularon que la dinámica del sistema formado por el río más su llanura aluvial está controlada fundamentalmente por el llamado "pulso de inundación". El pulso de inundación es un fenómeno físico hidrológico que determina la ecología

general de los ambientes acuáticos de los planos de inundación e identifica el avance y la retracción del agua en el plano de inundación, por lo cual se considera que este fenómeno es el principal agente que regula las adaptaciones de la biota que allí habita. El pulso de inundación se considera como el aspecto que aumenta y regula la productividad biológica y mantiene la diversidad del sistema (Junk *et al.* 1989; Bayley 1995; Putz y Junk 1997). Sin embargo, no solo en grandes ríos podría cumplirse esta teoría; estudios en riachos demuestran que los pulsos de inundación también influyen en las especies allí existentes.

El efecto del desbordamiento de los ríos sobre planos inundables produce cambios físicos y químicos, así como cambios en la biota presente. La comprensión de estos cambios en las distintas comunidades permite una aproximación al entendimiento de la organización, funcionamiento y evolución de los ecosistemas acuáticos de planos inundables (Gómez-Tobar 2008).

Adicionalmente, el ingreso de los insumos alóctonos a los ríos puede variar notablemente debido a la fitofenología de la cobertura vegetal riparia, a los mecanismos de retención en la zona de transición acuático-terrestre, al clima local y a la incidencia de eventos de alta precipitación. La materia orgánica derivada de diversas fuentes provee la base de las redes tróficas de los riachos. En términos de biomasa, la hojarasca del ecosistema terrestre contiguo, constituye la mayor fuente de energía alóctona para las comunidades acuáticas; aunque existen otros ítems que pueden ser aprovechados por la ictiofauna, tales como frutos, semillas, flores, ramas e insectos terrestres (Wantzen *et al.* 2008).

La abundancia de insectos terrestres que caen en los ríos depende de la estructura de la vegetación circundante y de la magnitud de la lluvia, de ésta manera, queda disponible para la alimentación de los peces y de otros depredadores (Wantzen *et al.* 2008).

Los pulsos de inundación pueden presentar amplios rangos de variación; según Junk *et al.* (1989), los pulsos relativamente cortos y generalmente impredecibles ocurren especialmente en cursos de agua de orden relativamente bajo (ej. riachos). Por esta razón, los animales que los habitan, presentan adaptaciones relativamente limitadas para utilizar la denominada zona de transición acuática-terrestre (ZTAT), aunque los organismos netamente acuáticos (ej. peces) y sus consumidores directos, se benefician indirectamente por el transporte de recursos que se produce hacia el ambiente lótico (Bó y Malvárez 1999).

- **Teoría de la espiral de nutrientes.** Esta teoría fue propuesta por Webster y Patten (1979) y retomada por Newbold *et al.* (1981). Dicha teoría postula que un átomo nutriente recorre un ciclo compuesto por tres componentes del ecosistema de la corriente y dichos componentes son transportados aguas abajo, por lo que la ruta del átomo hace alusión a una espiral imaginaria (Welcomme 1992).

Los componentes del ciclo son: i) el agua en que el átomo nutriente está disuelto; ii) la fase de partícula, en la que el átomo es absorbido en la materia de la partícula y se sitúa en el fondo, aunque continúa el transporte aguas abajo por empuje, suspensión, erosión u otros procesos y iii) la fase de consumidor, en la que el átomo se incorpora a una materia viva (Webster y Patten 1979; Newbold *et al.* 1981 y Welcomme 1992).

Existen tres mediciones fundamentales para entender la utilización y transporte de los nutrientes: i) la longitud de la espiral, es decir la distancia recorrida por una molécula hasta que es asimilada por la biota o absorbida a la materia particulada; ii) la distancia de recambio, que es la distancia recorrida por una molécula dentro de la biota hasta que es nuevamente liberada al agua y iii) la distancia de asimilación o el componente mayoritario de la espiral (Webster y Patten 1979 y Newbold *et al.* 1981).

Para el presente estudio se tuvieron en cuenta dos de las tres teorías: la del río como un continuo y la del pulso inundación, pues no se pretendió medir los modelos de variación espacial y temporal de transporte y utilización biótica de las sustancias disueltas en las corrientes, los cuales están involucrados en el concepto de “la espiral de nutrientes”.

3.1.6 Diversidad alfa. La diversidad es un concepto que no ha sido definido fácilmente, ya que es frecuente encontrar el uso de término diversidad como sinónimo de riqueza o número de especies, lo cual es erróneo (Alberico 1982); En general, la diversidad alfa (figura 3), puede ser explicada como la riqueza y abundancia relativa de especies en una unidad de estudio definida en tiempo y espacio (Alberico 1982; Magurran 1989, 2004).

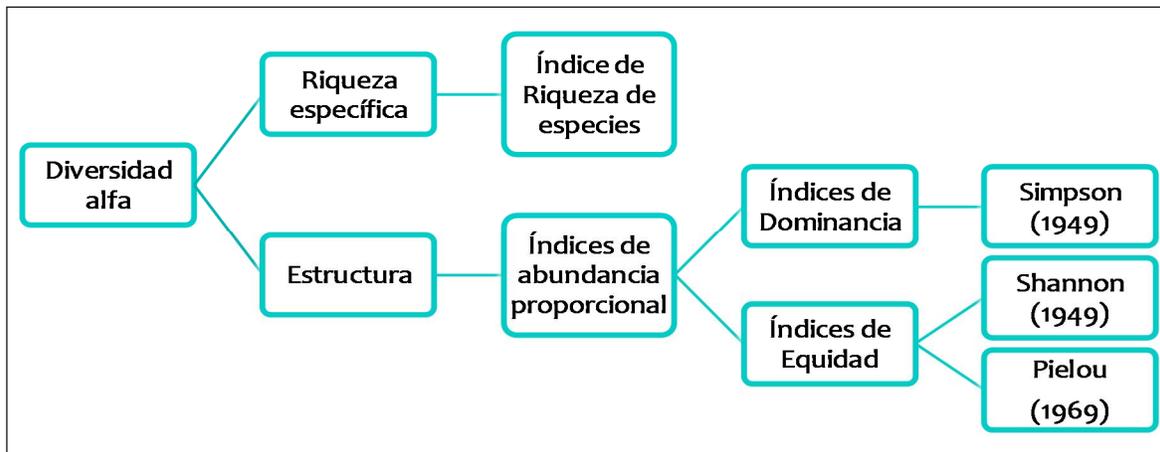


Figura 3. Clasificación de los métodos de medición de diversidad alfa. Fuente: Modificado de Moreno (2001)

- **Riqueza específica (R).** McIntosh (1967) utilizó el nombre de riqueza de especies para describir este concepto y se considera como la forma más sencilla de medir la diversidad. El índice se basa únicamente en el número total de especies obtenido por un censo de la comunidad (Moreno 2001 y Krebs 1989). La riqueza está definida por la siguiente ecuación:

$$R = S$$

Donde, R es el índice de riqueza específica y S el número total de especies de la muestra.

- **Estructura.** Los índices de abundancia proporcional enfatizan dos aspectos principales: el grado de dominancia o la equidad de la comunidad, por lo cual Moreno (2001) los clasifica para fines prácticos en índices de dominancia (Simpson) e índices de equidad.
- **Equidad (J).** La equidad es una medida de qué tan similares son las especies en cuanto a sus abundancias (Magurran 2004); ésta puede estimarse a través del índice de Pielou (J), que permite evaluar la proporción de la diversidad observada con relación a la diversidad máxima esperada (Pielou 1969; Moreno 2001 y Magurran 1998). El índice está definido por la siguiente ecuación:

$$J = \frac{H'}{H'_{max}}$$

Donde, J es el índice de equidad de Pielou; H' es el índice de Shannon y H'_{max} es el logaritmo natural del número total de especies de la muestra.

- **Dominancia (D).** Los índices de dominancia son parámetros inversos al concepto de uniformidad o equidad de la comunidad. Toman en cuenta la representatividad de las especies con mayor valor de importancia sin evaluar la contribución del resto de las especies (Magurran 1998 y Moreno 2001.). La

dominancia puede ser estimada a través del índice de Simpson (D), el cual manifiesta la probabilidad de que dos individuos tomados al azar de una muestra sean de la misma especie (Simpson 1949; Krebs 1989; Magurran 1998 y Moreno 2001). El índice está definido por la siguiente ecuación:

$$D' = 1 - \sum_{i=1}^S (p_i)^2$$

Donde, D' es el índice de dominancia de Simpson; S el número total de especies de la muestra; i es una especie y p_i es la proporción del número de individuos de la especie i con respecto al número total de individuos de la muestra.

- **Diversidad (H').** El índice más empleado para medir la diversidad es el índice de Shannon Y Weaver (H'), el cual expresa la uniformidad de los valores de importancia a través de todas las especies de la muestra. Mide el grado promedio de incertidumbre en predecir a qué especie pertenecerá un individuo escogido al azar de una colección y asume que todos los individuos son seleccionados al azar y que todas las especies están representadas en la muestra (Shannon y Weaver 1949; Moreno 2001 y Magurran 1998). El índice está definido por la siguiente ecuación:

$$H' = - \sum_{i=1}^S (p_i)(\ln p_i)$$

Donde, H' es el índice de diversidad de Shannon; S el número total de especies de la muestra; i es una especie y p_i es la proporción del número de individuos de la especie i con respecto al número total de individuos de la muestra.

3.1.7 Diversidad beta. La diversidad beta (figura 5) o diversidad entre hábitats es el grado de reemplazamiento de especies o cambio biótico a través de gradientes ambientales. La medición de la diversidad beta es una dimensión que está basada en proporciones o diferencias (Moreno 2001).

- **Índice de Bray-Curtis (B).** Es un índice de similitud cualitativo para la medición de la diversidad beta (Moreno 2001). La representación gráfica de este análisis es una aglomeración jerárquica (cluster) o dendograma, que es la agrupación promedio entre cada entidad y el grupo previamente asociado, lo cual expresa el grado de semejanza entre las entidades comparadas. Este índice asigna un valor de uno a entidades idénticas y decrece hasta cero a medida que se hacen más disímiles (Bray y Curtis 1957). Aunque no existe un valor definido de afinidad sobre el cual se acepte o se rechace la conformación de un grupo y allí interviene el juicio del investigador, un valor a partir de 0,6 es buen punto de partida para la conformación de una agrupación “gruesa” (Ramírez 1999). El índice de similitud está definido por la siguiente ecuación:

$$B = \frac{\sum(X_{ij} - X_{ik})}{\sum(X_{ij} + X_{ik})}$$

Donde **B** es la medida de similitud de Bray-Curtis; X_{ij} y X_{ik} representan el número de individuos de las especies en cada muestra.

- **Análisis de Correspondencia Canónica (ACC).** Éste método de ordenación y clasificación, permite ordenar simultáneamente las estaciones y las especies, para poder observar la interacción entre unas y otras (Ramírez 1999). La representación gráfica de este análisis es un plano cartesiano, en donde la distancia entre los puntos representa una medida de relación entre las variables y permite observar patrones o gradientes.

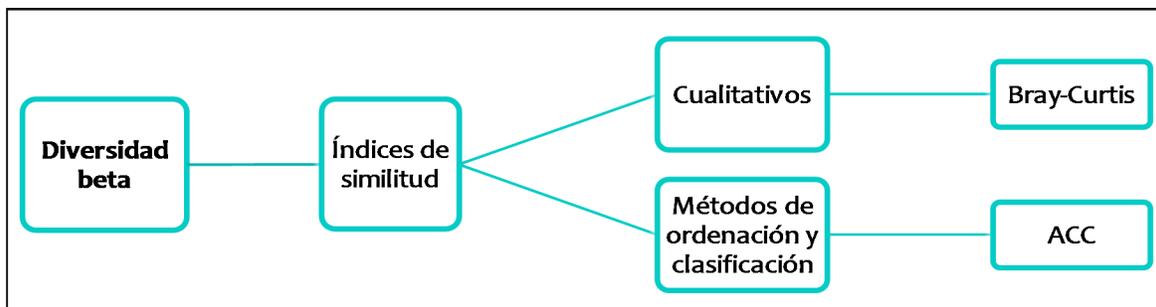


Figura 4. Clasificación de los métodos de medición de diversidad beta. Fuente: Modificado de Moreno (2001)

Otros métodos aplicables para valorar la diversidad beta, son los métodos ANOVA (Rao 1984) y el método de coeficiente de correlación de Pearson (Agostinho 2009), que consisten en el análisis cuantitativo de las relaciones entre variables.

Segun Rao (1984) algunas de las condiciones naturales que una medida de diversidad (variabilidad) de una distribución de probabilidad debe satisfacer, implica que debe tener ciertas propiedades de convexidad, considerado como algo funcional en el espacio de distribuciones de probabilidad. Algunas de las funciones bien conocidas de la entropía, que se utilizan como medidas de diversidad no tiene todas las características deseables y por tanto su uso es limitado.

- **Análisis de Varianza (ANOVA).** El análisis de varianza se define como un conjunto de situaciones experimentales y procedimientos estadísticos para el análisis de respuestas cuantitativas de unidades experimentales (Devore 2001). El análisis de la varianza examina dos o más conjuntos de mediciones, especialmente sus varianzas, e intenta detectar si existen diferencias estadísticamente representativas o significativas entre los conjuntos (Steel y

Torrie 1996). De acuerdo al número de factores que se vayan a estudiar se emplea un ANOVA de un solo factor o un ANOVA de factores múltiples; los factores pueden definirse como las variables independientes que se pueden controlar, los cuales afectan directamente la respuesta “y” de un experimento (Devore 2001).

Para poder aplicar un análisis de varianza es necesario identificar si los datos empleados presentan homogeneidad de varianzas ($p > 0,05$); una prueba ampliamente empleada es la de Cochran, ya que permite detectar si una varianza es mucho más grande que las otras (Walpole y Myers 1992).

- **Análisis de regresión (r^2).** Es una técnica estadística utilizada para estudiar la relación entre variables, esta medida toma valores entre 0 y 1. Este análisis puede utilizarse para explorar y cuantificar la relación entre una variable dependiente o criterio (Y) y una (o más) variables independientes o predictoras (X_1). El término dependiente no implica una relación causa y efecto entre las dos variables (Zar 1999).

Una medida de ajuste que ha recibido gran aceptación en el contexto del análisis de regresión es el coeficiente de determinación (r^2), que es el cuadrado del coeficiente de correlación (Zar 1999). Esta técnica puede ser empleada para el análisis de la variación de los hábitos alimentarios de los peces (Agostinho 2009).

Cuando r^2 es igual a 0, las variables son independientes, si es igual a uno, existe una relación perfecta entre las variables, lo cual indica que cuando una de ellas aumenta la otra también lo hace en proporción constante (Steel y Torrie 1996).

3.1.8 Dieta. En estudios de hábitos alimentarios, es común cuestionar sobre la diferencia o similitud entre dietas de diferentes especies y si esas diferencias son estadísticamente significativas. Estas preguntas pueden ser extendidas a comparaciones entre diferentes localidades, periodos hidrológicos, sexo o clases de edad (Ferry y Cailliet 1996). El análisis gastrointestinal puede aportar más información que el análisis estomacal, pues en el intestino se pueden encontrar ítems alimentarios que pueden ser identificados, como es el caso de los macroinvertebrados, los cuales presentan quitina en sus tejidos lo que los hace más resistentes a los procesos digestivos.

Para el análisis de los contenidos estomacales es común el empleo del coeficiente de vacuidad, es decir, la proporción de estómagos vacíos en las muestras colectadas (Hureau 1970; Hyslop 1980), esto con el fin de identificar si la

comunidad íctica presenta restricciones alimentarias de tipo estacional. El índice está definido por la siguiente ecuación:

$$CV = \frac{Ev}{Et} \times 100$$

Donde, **CV** es el coeficiente de vacuidad; **Ev** es número de estómagos vacíos y **Et** es el número total de estómagos analizados.

Para el análisis de los contenidos gastrointestinales son comunes los métodos de frecuencia de ocurrencia (Hynes 1950), volumétrico (Hyslop 1980) y el índice de importancia alimentaria (Kawakami y Vazzoler 1980) (figura 4).

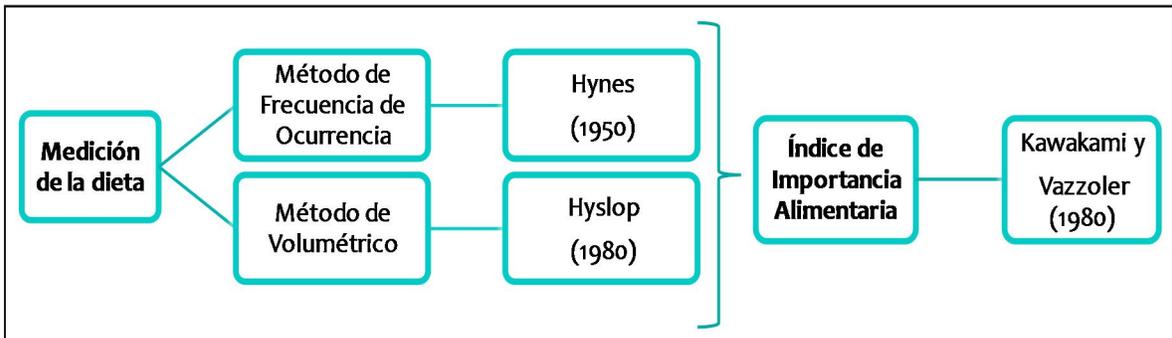


Figura 5. Clasificación de los métodos para medición de la dieta. Fuente: Elaboración propia

- **Método de Frecuencia de Ocurrencia (F).** Es un método porcentual rápido y simple relacionado con la frecuencia de aparición. Expresa la relación entre el número de estómagos con un determinado ítem y el número total de estómagos llenos (Hynes 1950). El índice está definido por la siguiente ecuación:

$$F = \frac{\text{Número de estómagos con ítem A}}{\text{Número total de estómagos llenos}} \times 100$$

- **Método Volumétrico (V).** Este método da una idea sobre las preferencias de los peces por un determinado tamaño de presa; halla la importancia porcentual de un determinado ítem respecto al total de ítems, con base en el volumen (Hyslop, 1980). El índice está definido por la siguiente ecuación:

$$V = \frac{\text{Volumen del ítem A}}{\text{Volumen total de los ítems encontrados}} \times 100$$

Para la medición de los ítems es necesario tener en cuenta el tipo de ítem alimentario, así:

Para estimar el volumen de ítems alimentarios en una cámara volumétrica cúbica se emplea la fórmula del volumen de un cubo, definida por la siguiente ecuación:

$$V_{cu} = a^3 \quad \text{Donde } V_{cu} \text{ es el volumen del cubo y } a \text{ es el área.}$$

Para estimar el volumen de otros ítems alimentarios como las algas, se emplea la fórmula del volumen del cilindro, definida por la siguiente ecuación:

$$V_{ci} = \pi * r^2 * h \quad \text{Donde } V_{ci} \text{ es el volumen de un cilindro; } r \text{ es el radio y } h \text{ es la altura.}$$

- **Índice de Importancia Alimentaria (IAi).** A partir de los índices anteriores, es posible estimar el índice propuesto por Kawakami y Vazzoler (1980); el cual permite evaluar la dieta en términos de los ítems más importantes en la alimentación. Su cálculo permite distinguir la importancia de cada ítem, respecto a los demás. Los valores cercanos a cero se presentan cuando hay valores muy bajos de frecuencia de ocurrencia y de volumen en los ítems alimentarios, mientras que los valores cercanos a uno, se presentan cuando hay valores altos de frecuencia de ocurrencia y de volumen de los ítems (Kawakami y Vazzoler 1980).

Su representación original se efectúa mediante la gráfica de un cuadrilátero, donde el volumen se presenta en el eje x y la frecuencia de ocurrencia en el eje y. Este índice también ha sido utilizado por otros autores (Abes *et al.* 2001 y Silva *et al.* 2008), para identificar las categoría(s) trófica(s) de las especies evaluadas; para esto, los ítems con un valor superior a 0,5 definen la categoría trófica de la especie; en caso tal en que ningún ítem presente este valor, se seleccionan aquellos ítems con los valores más altos hasta que su sumatoria sea igual a 0,5. El índice está definido por la siguiente ecuación:

$$IAi = \frac{(F_i \times V_i)}{\sum_{i=1}^n (F_i \times V_i)} \quad \text{Donde, } IAi \text{ es el índice de Importancia Alimentaria; } i \text{ es un ítem alimentario; } F_i \text{ es el porcentaje de la frecuencia de presencia de un ítem; } V_i \text{ es el porcentaje del volumen de un ítem.}$$

- **Origen de los ítems consumidos.** El origen de las fuentes alimentarias se infiere a través de la identificación taxonómica del ítem hallado a nivel de familia y posteriormente se clasifica como alóctono o autóctono, de acuerdo a lo reportado en la literatura. Existen dos tipos de fuentes: i) las autóctonas, es

decir, las que se encuentran en su ámbito de distribución natural, tales como las algas, los invertebrados acuáticos y los peces; y ii) las alóctonas, las cuales se encuentran accidentalmente fuera de su ámbito de distribución natural, tales como invertebrados terrestres y material vegetal terrestre.

3.2 Antecedentes

3.2.1 Estudios realizados en el área de estudio, sobre la biología de las especies de la comunidad íctica de estudio

- ***Astyanax aurocaudatus*. Hábitat:** Vive en riachos de uno a dos metros de ancho, en donde las macrófitas son ausentes; está asociada a vegetación herbácea, arbustiva y arborescente, dominada por *Guadua angustifolia*, plantas de café y pastizales (Poaceae). Prefiere aguas limpias y transparentes y se encuentra bajo un sustrato de piedras y detrito (Román-Valencia y Ruiz 2005). Habita riachos poco profundos, no mayores de 60 cm, donde la corriente de agua se encuentra cubierta por parches de bosque, con poca turbidez, flujo y velocidad de la corriente, en fondos compuestos por material vegetal en descomposición (Lehmann y Usma 2002). **Dieta:** Consume larvas de mosquito y detritus orgánico (Lehmann y Usma 2002). Principalmente consume larvas de insectos de dípteros de las familias Chironomidae, Tipulidae, Muscidae y Brachycera y restos vegetales como fragmentos de semillas, hojas y frutos de *Siparuna aspera*. No se encuentran diferencias significativas en la composición de la dieta entre los periodos seco (enero-marzo; junio-agosto) y lluvioso (abril-mayo; septiembre-diciembre); sin embargo, durante marzo los anélidos son el ítem principal (Román-Valencia y Ruiz 2005).
- ***Brycon henni*. Hábitat:** Vive en riachos con corrientes fuertes y turbulentas; se asocia a vegetación sumergida, también se oculta en los recodos en cuevas socavadas por el agua y prefiere sitios con sustratos duros compuestos por rocas y gravas (Maldonado Ocampo *et al.* 2005). **Dieta:** Consume desde frutos, flores y hojas hasta insectos que caen al agua desde la vegetación marginal, insectos acuáticos y raramente peces pequeños; se alimenta en las zonas turbulentas donde se revuelve el material que es arrastrado por el río (Maldonado Ocampo *et al.* 2005).
- ***Bryconamericus caucanus*. Hábitat:** Vive en ambientes lóticos, con vegetación asociada o sumergida y palizadas; en donde se encuentra es una especie muy abundante, lo que indica que se adapta fácilmente a las diferentes condiciones de calidad de hábitat (Ortega-Lara *et al.* 1999). Se localiza en remansos, charcos y lugares con vegetación riparia (guadua, matandrea, pasto, piperaceas y euforbiaceas). Sustrato conformado por arena, piedras y en menor proporción material de origen vegetal en descomposición (Román-

Valencia y Muñoz 2001). **Dieta:** Consume insectos acuáticos como dípteros y coleópteros; insectos terrestres que caen al agua como hormigas; escamas de peces, material vegetal y semillas, lo cual evidencia una dieta de tipo generalista. Consumen principalmente insectos de origen autóctono, seguido de algas, nemátodos y arácnidos (Román-Valencia *et al.* 2006).

- ***Hemibrycon boquiae*. Hábitat:** Vive en aguas de muy buena calidad y con altas concentraciones de oxígeno; las gravas gruesas son el substrato predominante así como riveras que se encuentran cubiertas por grandes árboles y arbustos; es considerada una especie sensible a la contaminación y en especial a la baja concentración de oxígeno. Se ubica en las zonas tormentosas en donde nada constantemente en busca de alimento (Maldonado Ocampo *et al.* 2005). **Dieta:** Consume principalmente insectos autóctonos, seguido de algas, restos vegetales y nemátodos (Román-Valencia *et al.* 2006). Es omnívora, consume material vegetal (flores, frutos y hojas) e insectos terrestres que caen al agua; además requiere de un ambiente con buena vegetación marginal que es su principal fuente de alimento (Maldonado Ocampo *et al.* 2005).
- ***Ancistrus caucanus*. Hábitat y Dieta:** Se desconoce.
- ***Astroblepus grixalvii*. Hábitat:** Los individuos de mayor tamaño se encuentran en sitios con fuertes corrientes o turbulencia y los de menor tamaño en sitios con baja corriente asociados a vegetación marginal, en donde permanecen ocultos; poseen la capacidad de remontar corrientes y sostenerse firmemente sobre las piedras. Es una especie sensible a los cambios bruscos de temperatura, que prefiere aguas frías entre 18°C y 24°C (Ortega-Lara *et al.* 1999, 2000, 2002). **Dieta:** Consume insectos acuáticos que capturan entre las rocas y material vegetal acumulado en los intersticios (Ortega-Lara *et al.* 1999, 2000, 2002).
- ***Cetopsorhamdia boquillae*. Hábitat:** Se oculta entre las rocas o la vegetación sumergida cerca de las orillas de riachos poco profundos y con corrientes débiles; es más abundante en ríos limpios con buena oxigenación (Ortega-Lara *et al.* 1999, 2000, 2002); se encuentra en mayor abundancia en las orillas de quebradas con sustrato lodoso (Vargas-Tisnes 1989). La especie es poco abundante y se distribuye entre los 1000 y los 1790 m, se ubica en drenajes o quebradas de tipo primario y secundario, agua cristalina y sustrato conformado por material de origen vegetal y animal en descomposición y piedras (Ruiz y Román-Valencia 2006). Román-Valencia y Giraldo (2006) reportan que el hábitat característico de la especie está conformado principalmente por pasto kikuyo (*Poaceae*), *Guadua angustifolia* y *Hedychium coronarium* y que ocupa las cuevas formadas por raíces de árboles y plantas de zona litoral. **Dieta:** Se alimenta de insectos acuáticos bentónicos (Ortega-Lara *et al.* 1999, 2000,

2002). Consume las familias Leptoceridae, Helicopsychidae, Hydropsychidae, Tricorythidae, Baetidae, Simuliidae, Culicidae, Tabanidae, Psychodidae, Chironomidae, Vellidae y otros invertebrados como hydras, anélidos y nemátodos. Además restos vegetales (Vargas-Tisnes 1989). Según Ruiz y Román-Valencia (2006) su dieta está conformada, en su mayoría, por insectos los cuales representan el 70,5%, seguido de Acari (3,6%) y Gastropoda (1,4%).

- ***Chaetostoma fischeri*. Hábitat:** Habita en ríos de aguas rápidas y de buena calidad, donde el sustrato está constituido por rocas y gravas, aunque también se puede encontrar en zonas de aguas quietas con sustratos duros y acumulación de perifiton; se considera una especie sensible a las alteraciones del hábitat producidas principalmente por sedimentación excesiva, la cual afecta el perifiton. Es una especie de hábitos bentónicos que permanece oculta en cuevas o debajo de troncos durante el día (Ortega-Lara *et al.* 1999, 2000). **Dieta:** Es una especie herbívora (Ortega-Lara *et al.* 1999, 2000).
- ***Trichomycterus chapmani*. Hábitat:** Especie de hábitos nocturnos que permanece oculta entre la vegetación sumergida, rocas y gravas; prefiere aguas torrentosas de pequeñas quebradas y ríos medianos (Ortega-Lara *et al.* 2002); se encuentra entre los 1085 m y 1900 m de altitud y temperaturas entre 16°C y 23°C (Vargas-Tisnes 1989). **Dieta:** Se alimenta de insectos acuáticos (Leptoceridae, Helicopsychidae, Hydropsychidae, Tricorythidae, Baetidae, Simuliidae, Culicidae, Tabanidae, Psychodidae, Chironomidae y Vellidae), artrópodos, Hydra, Anélida, Nemátoda y restos vegetales (Vargas-Tisnes 1989).
- ***Poecilia caucana*. Hábitat:** Esta especie se encuentra asociada a sitios con vegetación acuática y terrestre sumergida en zonas donde la velocidad de la corriente es baja y no se presenta turbulencia; prefiere sustratos con acumulación de material vegetal donde abundan los insectos inmaduros (Ortega-Lara *et al.* 1999, 2000, 2002). **Dieta:** Consume larvas de insectos especialmente de mosquitos (Ortega-Lara *et al.* 1999, 2000, 2002). Para la zona de la cuenca del río La Vieja presenta una dieta predominantemente algívora (Cuartas 2005). Presenta una plasticidad ecológica que le facilita explotar diferentes recursos como algas, fango e insectos del orden Chironomidae (García-Alzate *et al.* 2009)
- ***Priapichthys caliensis*. Hábitat y Dieta:** Se desconoce.
- ***Poecilia reticulata*. Hábitat:** El rango altitudinal de esta especie va desde los 1000 m hasta los 2500 m (Ortega-Lara *et al.* 2006). **Dieta:** Los Cyprinodontiformes generalmente presentan una boca terminal o superior, por lo cual aprovechan fuentes alimentarias que caen o están en la superficie de

los cuerpos de agua y también se caracterizan por el frecuente consumo de detrito (Helfman *et al.* 1997).

3.2.2 Estudios realizados sobre la relación de la cvr, el periodo hidrológico y la ictiofauna en otros lugares.

Existen pocos estudios en los que se haya evaluado la relación entre atributos de la comunidad de peces y el tipo de cvr. A continuación se resumen los resultados obtenidos de estas investigaciones.

Lee *et al.* (2001) evaluaron la relación de la composición de la comunidad de peces y la cobertura riparia en 18 riachos de la cuenca del río Minnesota (USA). Las dos escalas espaciales fueron: i) zonas locales riparias, de 200 m de ancho, de dos a tres kilómetros aguas arriba; y ii) la zona riparia aguas arriba, de 200 m de ancho en el cauce principal y todos los afluentes aguas arriba. El análisis de varianza indicó que los riachos con zonas locales riparias presentaron una mayor riqueza de ictiofauna y un Índice de Integridad Biótica (IBI) con mayores puntuaciones que la zona riparia aguas arriba. Este estudio sugiere que el mantenimiento de la cobertura riparia a lo largo de los arroyos podría ser eficaz en el mantenimiento o la mejora de la composición de la comunidad de peces en riachos que se encuentran en lugares donde se ejercen actividades agrícolas.

Por otro lado, Grown *et al.* (2003), estudiaron seis comunidades de peces en riachos asociados a la cuenca del río Hawkesbury-Nepean en Sídney (Australia) para determinar si las especies de peces se asocian a diferentes tipos de cvr. Fueron consideradas dos categorías de vegetación: i) la vegetación dominada por árboles y arbustos; y ii) la vegetación dominada por los pastizales. Se encontró que las comunidades de peces difieren entre las distintas partes del río, en diferentes estaciones y entre los tipos orilla del río. Tres especies pequeñas de peces Perciformes de la familia Eleotridae: *Hypseleotris compressa*, *H. galii* y *Philypnodon grandiceps*, fueron más abundantes en los riachos con cvr de pastizal. Se cree que las diferencias observadas en la distribución de las especies de peces se relacionan principalmente con la mayor densidad de macrófitas acuáticas que se encuentran cerca a los pastizales, las cuales les proporcionan un hábitat para su sobrevivencia.

Más recientemente y en cercanías al área de estudio, Chará (2003) estudió los efectos del pastoreo de ganado y la producción de café sobre las características bióticas y abióticas de los riachos. Para esto se estudiaron 12 riachos de primer a tercer orden; tres de los riachos presentaron cuencas dominadas por el café, otros tres presentaron cuencas dominadas por pastos y los restantes presentaron cuencas hidrográficas protegidas que se utilizaron como lugares de referencia. Los riachos se ubican en la zona cafetera, entre los 1000 y los 2000 m de altitud. El

Análisis de Correspondencia Canónica para evaluar las interacciones entre los peces y factores bióticos, mostró que los dos primeros ejes explicaron la mayoría de la variación observada (35,7%) en la comunidad de peces, lo cual se explica por la influencia de factores bióticos, tales como el tipo de vegetación riparia. El primer eje se relacionó principalmente con la altitud, la vegetación riparia y el flujo de corriente y el segundo con los sustratos finos. Las características de la vegetación riparia tuvieron una importante influencia en las características físicas y bióticas de los riachos.

Respecto al estudio de la variación temporal de atributos de las comunidades de peces, existe una mayor cantidad de literatura. Schlosser (1987) identificó que la variación temporal en los riachos es importante y puede suplir los factores locales abióticos y bióticos y puede llegar a convertirse en el control predominante de la comunidad. Por otra parte, Lowe-McConnell (1975) y Harvey y Stewart (1991) concluyeron que las interacciones bióticas de una comunidad íctica como la competencia y la depredación, tienden a aumentar durante el periodo hidrológico bajo, ya que los peces son más susceptibles a los depredadores debido al área reducida; de esta manera, si la densidad de peces aumenta, la competencia por espacio y por comida también incrementará.

Boulton *et al.* (2008) hicieron un paralelo entre los estudios realizados sobre las comunidades de riachos de zonas tropicales y templadas que incluían comparaciones hidrológicas y encontraron que la respuesta biológica a la sequía y a la inundación es similar. Estos autores sugieren que para este tipo de estudios debe tenerse en cuenta la escala espacial y la magnitud de los ríos, ya que esto puede determinar la composición, la estructura y las redes tróficas.

4. ASPECTOS METODOLÓGICOS GENERALES

4.1 Área de estudio

La cuenca hidrográfica “La Vieja” (figura 6), está ubicada en el centro-occidente de Colombia en jurisdicción territorial de tres departamentos: Quindío (69%), Valle del Cauca (21%) y Risaralda (10%) (IGAC 2005 y Amaya *et al.* 2005).

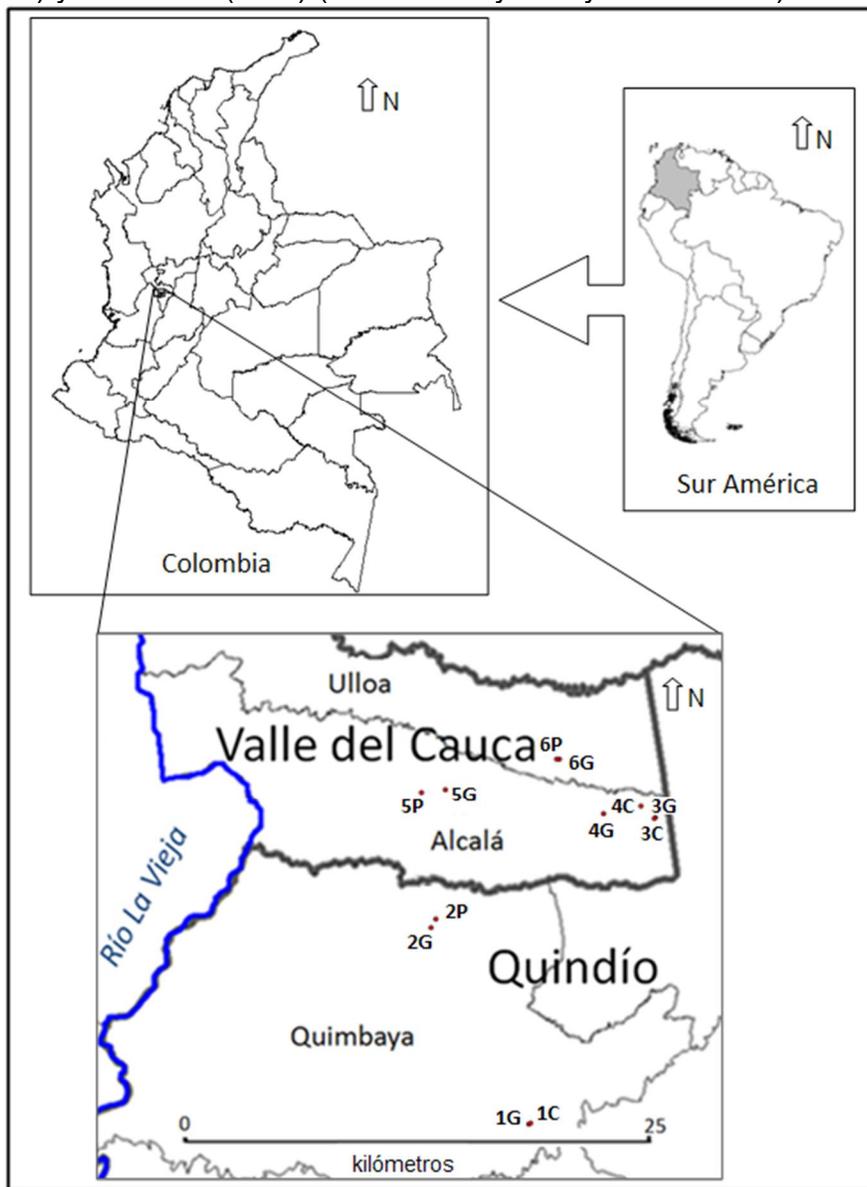


Figura 6. Ubicación del área de estudio donde se indican las estaciones de muestreo; los números corresponden a los riachos (Fincas) y las letras al tipo de cvr, especificadas en la tabla 1. Fuente: Elaboración propia, DIVA-GIS

El río La Vieja es uno de los principales tributarios del río Cauca; presenta un caudal promedio de 9.211 L por segundo, una longitud hidrológica de 750,27 Km, su cuenca tiene una extensión de 2.950 Km², la cual se subdivide en 23 subcuencas (IGAC 2005 y Amaya *et al.* 2005).

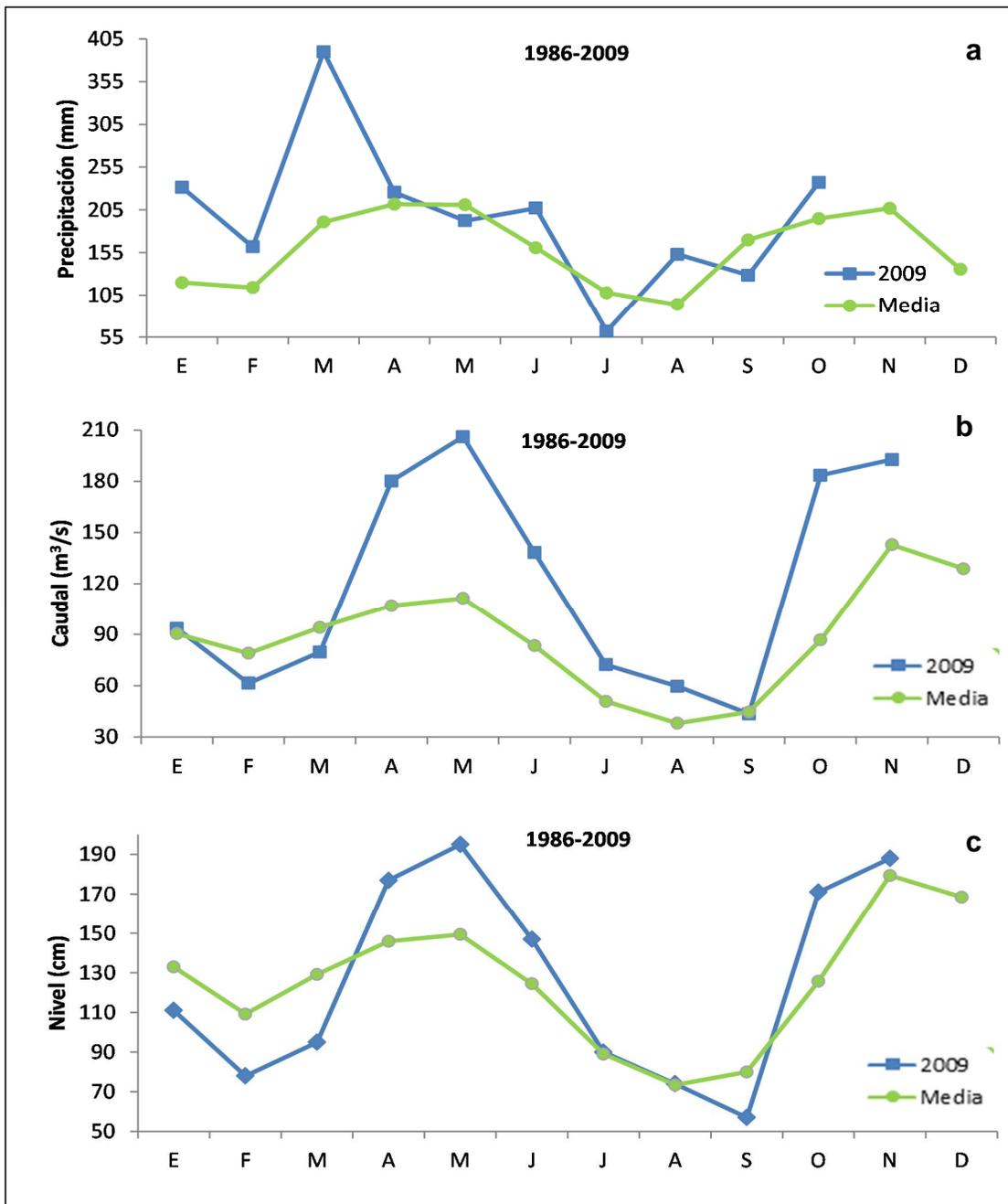
Este río se forma por la confluencia de los ríos Quindío y Barragán que nacen en las estribaciones del Volcán del Quindío en Salento (a más de 4.000 m) y en Génova (a 3.000 m) respectivamente. Una vez formado, en el sitio denominado Maravelez, La Vieja transcurre a manera de límite por los departamentos del Quindío, Valle y Risaralda. En esta cuenca, predominan las coberturas: café, guadual, pastos y frutales (Amaya *et al.* 2005).

Los principales problemas que sufre el recurso hídrico de la cuenca del río La Vieja están relacionados con el vertimiento de desechos domésticos, agrícolas y pecuarios y con la escasez de infraestructuras para el tratamiento de aguas residuales y saneamiento para las principales poblaciones que hacen parte de esta cuenca (Amaya *et al.* 2005).

Durante las últimas décadas los ecosistemas nativos de la cuenca del río La Vieja han sido transformados. En la década del 80 y comienzos de los 90 del siglo anterior se establecieron cultivos intensivos de café hasta la orilla de los riachos de la zona, lo cual ocasionó la destrucción de la vegetación riparia nativa; sin embargo, desde mediados de los 90, debido a la crisis de los precios internacionales del café, una parte importante de estos cultivos fue transformada en pastizales, los cuales también fueron sembrados hasta el margen de los riachos, pues en ese entonces no existía ninguna protección de las quebradas en los cultivos de café previamente establecidos (Chará *et al.* 2007).

Según Sadeghian *et al.* (1999) se estima que en cuatro años (1992 – 1996), más de 14.000 ha fueron convertidas en potreros. Estas transformaciones locales han generado impactos negativos sobre el ambiente y ocasionan el deterioro de los suelos (Sadeghian *et al.* 1999) y el deterioro de los recursos hídricos (Chará *et al.* 2004).

Respecto a datos existentes para la Corriente la Vieja, la precipitación media mensual multianual (n=24: 1986-2009) es de aproximadamente 126,6 mm y es bimodal con máximos en abril y noviembre: 211,6 y 206,9 mm, respectivamente; y mínimos en febrero y agosto: 113,8 y 93,8 mm, respectivamente (figura 7a). Los valores de caudales medios mensuales multianuales (n=24: 1986-2009) presentan máximos en mayo y noviembre: 111,4 y 142,9 m³/s, respectivamente; y mínimos en febrero y agosto: 78,9 y 38,0 m³/s, respectivamente (figura 7b). El nivel de agua medio mensual multianual (n=24: 1986-2009) presenta un comportamiento similar al de los caudales, con máximos en mayo y noviembre: 149,4 y 179,5 cm respectivamente; y mínimos en febrero y agosto: 109,1 y 73,4 cm, respectivamente (figura 7c).



Figuras 7: a. Fluctuación de la precipitación. Fuente: IDEAM; valores medios mensuales multianuales (n=24; 1986-2009); Departamento Valle del Cauca; Municipio Alcalá; Corriente La Vieja; Estación Alcalá; 1198 m. b. Fluctuación del caudal. Fuente: IDEAM; valores medios mensuales multianuales (n=24; 1986-2009); Departamento Valle del Cauca; Municipio Cartago; Corriente La Vieja; Estación Cartago; 914 m. c. Fluctuación del nivel. Fuente: IDEAM; valores medios mensuales multianuales (n=24; 1986-2009), Departamento Valle, Municipio Cartago, Corriente La Vieja, Estación Cartago, 914 m

4.2 Diseño experimental

Para conocer la respuesta de la comunidad de peces al tipo de cvr y al periodo hidrológico, se diseñó un muestreo que incluyó dos periodos hidrológicos: bajo y alto, en dos sistemas productivos: ganadería y cafetal; en diferentes tipos de cvr: guadual pastizal y guadual cafetal; donde el guadual fue el control. Las colectas de los peces fueron realizadas en marzo y mayo de 2010 y los muestreos fueron realizados en seis riachos del Eje Cafetero de Colombia (figura 8, tabla 1).

Las distancias entre los sitios de muestreo fueron calculadas en el programa DIVA-GIS (Tabla 1a).

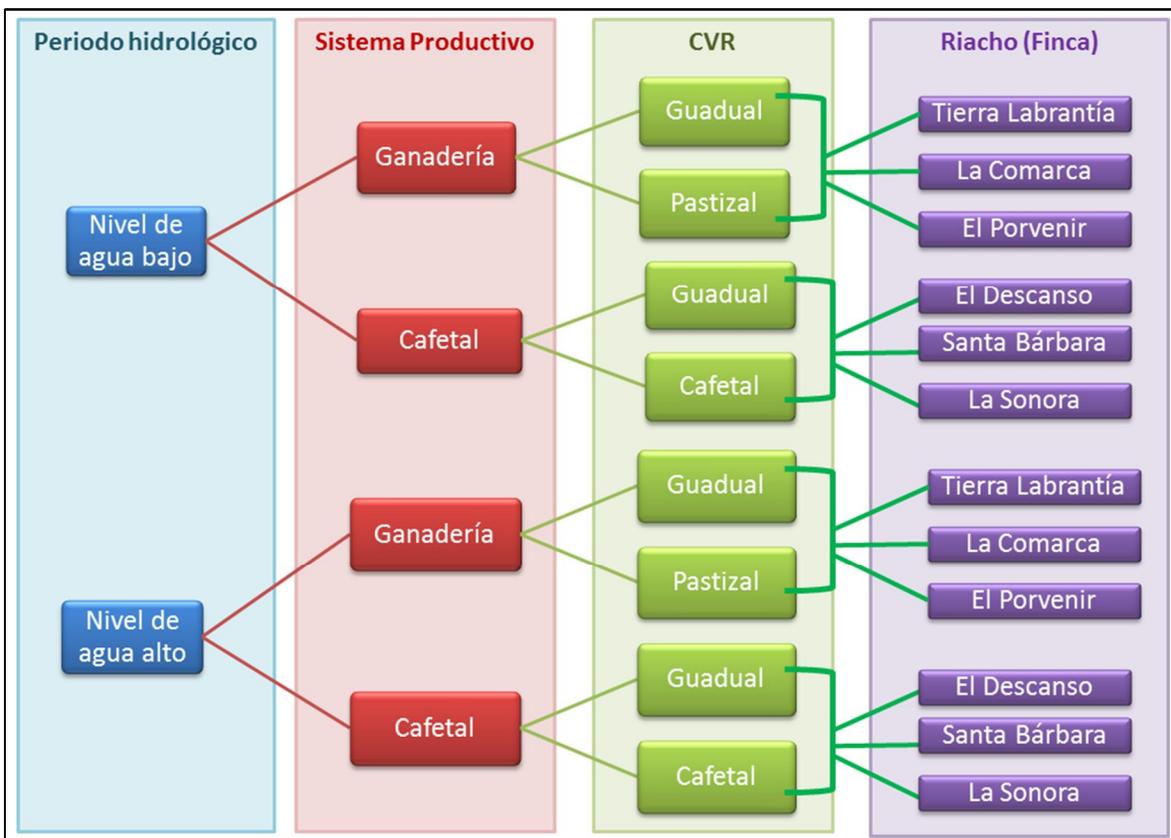


Figura 8. Diseño experimental

Tabla 1. Localización de los sitios de muestreo y tipo de cvr. El número de las coordenadas hace referencia a su ubicación en el mapa. G gradual; C cafetal y P pastizal

Departamento	Municipio	Riacho (Finca)	Coordenadas	Altitud (m)	CVR
Quindío	Quimbaya	1) Santa Bárbara	4° 35'42,1''N; 75° 46' 57,7''W	1210	G
			4° 35'42,94''N; 75° 46' 55,8''W	1215	C
		2) Tierra Labrantía	4° 39'1''N; 75° 48' 36,9''W	1247	G
			4° 39'09,3''N; 75° 48' 31,8''W	1351	P
Valle del Cauca	Alcalá	3) La Sonora	4° 40'51,6''N; 75° 44' 50,5''W	1364	G
			4° 40'51,4''N; 75° 45' 50,8''W	1362	C
		4) El Descanso	4° 40'56,4''N; 75° 45' 42,5''W	1306	G
	4° 41'03,2''N; 75° 45' 04,7''W		1286	C	
	Ulloa	5) El Porvenir	4° 41'21,4''N; 75° 48' 21,9''W	1224	G
			4° 41'18,5''N; 75° 48' 46,8''W	1197	P
6) La Comarca		4° 41'52,3''N; 75° 46' 27,5''W	1235	G	
	4° 41'52,1''N; 75° 46' 29,5''W	1235	P		

Adicionalmente se midieron las distancias entre los diferentes puntos de muestreo a través del programa DIVA-GIS V7.3.0 (tabla 1a).

Tabla 1a. Mediciones de la distancia (km) entre los puntos de muestreo. Los valores más bajos se resaltan en negrita

Cvr	1G	1C	2G	2P	3G	3C	4G	4C	5G	5P	6G	6P
1G												
1C	1,82											
2G	6,82	7,84										
2P	6,94	7,93	0,34									
3G	10,38	9,72	7,85	7,51								
3C	9,79	9,54	6,19	5,90	1,85							
4G	9,94	9,51	6,51	6,20	1,60	0,35						
4C	10,48	10,00	7,64	7,31	0,58	1,49	1,17					
5G	10,77	11,31	4,35	4,10	6,59	4,77	4,98	6,09				
5P	10,92	11,58	4,26	4,04	7,32	5,50	5,74	6,85	0,78			
6G	11,47	11,42	6,67	6,35	3,54	2,23	2,22	2,96	3,66	4,45		
6P	11,46	11,40	6,63	6,30	3,57	2,26	2,25	2,99	3,57	4,38	0,06	

Para la captura de los peces se utilizaron dos artes de pesca: i) un rapiché, con ojo de malla de 1mm, el cual consiste en una vara de metal liviana en forma de arco, que sostiene un liencillo que forma un pequeño bolsillo y ii) un equipo de electropesca, el cual consta de una nasa con ojo de malla de 1 mm y un diámetro interno de 46 cm; se empleó un voltaje de 300 a 400 voltios y una frecuencia de 60 pulsos por segundo.

La pesca eléctrica ha sido considerada como el método más adecuado para las condiciones que presentan los cuerpos de agua andinos, que son generalmente torrentosos y de fondos pedregosos (Maldonado-Ocampo *et al.* 2005).

Se siguieron los lineamientos propuestos por Barbour *et al.* (1992), para la obtención de una muestra representativa se muestreó una sección de 100 m por riacho, 50 m se efectuaron en la cvr de guadua durante una hora y los otros 50 m en la cvr de pasto o de café (anexo D) durante una hora. Se hicieron barridos contra corriente por cada tipo de cvr, en cada periodo hidrológico. Para prevenir el efecto de borde se evitó muestrear en los sitios donde se presentaban dos tipos de cvr.

Los peces capturados fueron fijados en una solución de formol al 10% dentro de bolsas resellables debidamente etiquetadas.

Adicionalmente, a modo de caracterización de los riachos se midió con un equipo multiparamétrico Hach HQ40D: la profundidad, la conductividad eléctrica, el Oxígeno disuelto, el potencial de Hidrógeno y la temperatura (anexo E).

4.3 Descripción de los puntos de muestreo.

A continuación se presenta una breve descripción de cada uno de los puntos de muestreo:

- **Finca Santa Bárbara.** El tipo de cvr predominante en este riacho fue gradual (Poaceae: *Guadua angustifolia*) y cafetal (Rubiaceae), dentro estos tipos de cvr se encontró en una menor proporción plantaciones de heliconias (Heliconaceae), de platanillo (Musaceae) y de jengibre (Zingiberaceae). En la cvr de gradual (1G) la profundidad del riacho oscilo entre 10 cm y 12 cm; la temperatura superficial del agua fluctuó entre 24,6 °C y 25,9 °C; el Oxígeno disuelto varió entre 5,2 ml/L y 6,5 ml/L; los valores de pH oscilaron entre 6,5 y 7,4 y la conductividad fluctuó entre 58 mS/cm y 60,5 mS/cm. Por otra parte, en la cvr de cafetal (1C) la profundidad del riacho oscilo entre 40 cm y 50 cm; la temperatura superficial del agua fluctuó entre 25,1 °C y 25,3 °C; el Oxígeno

disuelto varió entre 5,0 ml/L y 6,0 ml/L; los valores de pH oscilaron entre 6,3 y 7,8 y la conductividad fluctuó entre 46,3 mS/cm y 55,0 mS/cm (anexo E).

- **Finca Tierra Labrantía.** El tipo de cvr predominante en este riacho fue guadual (Poaceae: *Guadua angustifolia*) y pastizal (Poaceae), dentro estos tipos de cvr se encontró en una menor proporción plantaciones de heliconias (Heliconaceae) y de platanillo (Musaceae). En la cvr de guadual (2G) la profundidad del riacho oscilo entre 80 cm y 90 cm; la temperatura superficial del agua fluctuó entre 21,0 °C y 22,6 °C; el Oxígeno disuelto varió entre 3,0 ml/L y 7,7 ml/L; los valores de pH oscilaron entre 7,5 y 7,6 y la conductividad fluctuó entre 103,0 mS/cm y 137,0 mS/cm. Por otra parte, en la cvr de pastizal (2P) la profundidad del riacho oscilo entre 10 cm y 14 cm; la temperatura superficial del agua fluctuó entre 22,2 °C y 24,9 °C; el Oxígeno disuelto varió entre 4,4 ml/L y 5,5 ml/L; los valores de pH oscilaron entre 7,0 y 7,4 y la conductividad fluctuó entre 138,0 mS/cm y 152,9 mS/cm (anexo E).
- **Finca La Sonora.** El tipo de cvr predominante en este riacho fue guadual (Poaceae: *Guadua angustifolia*) y cafetal (Rubiaceae), dentro estos tipos de cvr se encontró en una menor proporción plantaciones de heliconias (Heliconaceae) y de platanillo (Musaceae). En la cvr de guadual (3G) la profundidad del riacho oscilo entre 60 cm y 70 cm; la temperatura superficial del agua fluctuó entre 20,5 °C y 20,9 °C; el Oxígeno disuelto varió entre 5,6 ml/L y 7,2 ml/L; los valores de pH oscilaron entre 5,6 y 7,2 y la conductividad fluctuó entre 53 mS/cm y 59,2 mS/cm. Por otra parte, en la cvr de cafetal (3C) la profundidad del riacho oscilo entre 20 cm y 30 cm; la temperatura superficial del agua fluctuó entre 21,0 °C y 21,8 °C; el Oxígeno disuelto varió entre 5,7 ml/L y 7,4 ml/L; los valores de pH oscilaron entre 6,6 y 7,3 y la conductividad fluctuó entre 53,0 mS/cm y 59,8 mS/cm (anexo E).
- **Finca El Descanso.** El tipo de cvr predominante en este riacho fue guadual (Poaceae: *Guadua angustifolia*) y cafetal (Rubiaceae), dentro estos tipos de cvr se encontró en una menor proporción plantaciones de platanillo (Musaceae) y naranjo (Rutaceae). En la cvr de guadual (4G) la profundidad del riacho oscilo entre 20 cm y 25 cm; la temperatura superficial del agua fluctuó entre 21,0 °C y 21,8 °C; el Oxígeno disuelto varió entre 4,5 ml/L y 6,1 ml/L; los valores de pH oscilaron entre 7,1 y 7,2 y la conductividad fluctuó entre 67,0 mS/cm y 68,6 mS/cm. Por otra parte, en la cvr de cafetal (4C) la profundidad del riacho oscilo entre 40 cm y 50 cm; la temperatura superficial del agua fluctuó entre 20,7 °C y 22,3 °C; el Oxígeno disuelto varió entre 5,3 ml/L y 7,6 ml/L; los valores de pH oscilaron entre 6,5 y 7,5 y la conductividad fluctuó entre 57,0 mS/cm y 67,9 mS/cm (anexo E).
- **Finca El Porvenir.** El tipo de cvr predominante en este riacho fue guadual (Poaceae: *Guadua angustifolia*) y pastizal (Poaceae), dentro estos tipos de cvr

se encontró en una menor proporción plantaciones de platanillo (Musaceae) y de jengibre (Zingiberaceae)). En la cvr de guadual (5G) la profundidad del riacho oscilo entre 5 cm y 10 cm; la temperatura superficial del agua fluctuó entre 22,6 °C y 23,6 °C; el Oxígeno disuelto varió entre 1,2 ml/L y 1,4 ml/L; los valores de pH oscilaron entre 7,1 y 7,4 y la conductividad fluctuó entre 91,0 mS/cm y 196,3 mS/cm. Por otra parte, en la cvr de pastizal (5P) la profundidad del riacho oscilo entre 40 cm y 50 cm; la temperatura superficial del agua fluctuó entre 23,0 °C y 24,8 °C; el Oxígeno disuelto fue constante con un valor de 4,7 ml/L; los valores de pH oscilaron entre 7,0 y 7,1 y la conductividad fluctuó entre 91,0 mS/cm y 161,2 mS/cm (anexo E).

- **Finca La Comarca.** El tipo de cvr predominante en este riacho fue guadual (Poaceae: *Guadua angustifolia*) y pastizal (Poaceae), dentro estos tipos de cvr se encontró en una menor proporción plantaciones de heliconias (Heliconaceae) y de platanillo (Musaceae). En la cvr de guadual (6G) la profundidad del riacho oscilo entre 80 cm y 85 cm; la temperatura superficial del agua fluctuó entre 20,8 °C y 23,4 °C; el Oxígeno disuelto varió entre 5,9 ml/L y 7,5 ml/L; los valores de pH oscilaron entre 6,9 y 7,6 y la conductividad fluctuó entre 70,0 mS/cm y 79,7 mS/cm. Por otra parte, en la cvr de pastizal (6P) la profundidad del riacho oscilo entre 80 cm y 90 cm; la temperatura superficial del agua fluctuó entre 21,1 °C y 23,2 °C; el Oxígeno disuelto varió entre 5,8 ml/L y 7,3 ml/L; los valores de pH oscilaron entre 6,9 y 7,7 y la conductividad fluctuó entre 54,0 mS/cm y 79,6 mS/cm (anexo E).

5. RELACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE LA COMUNIDAD ÍCTICA Y LA COBERTURA VEGETAL RIPARIA EN DOS PERIODOS HIDROLÓGICOS EN RIACHOS DE LA CUENCA DEL RÍO LA VIEJA, EJE CAFETERO DE COLOMBIA

5.1 Introducción

El desconocimiento de la ictiofauna dulceacuícola de Suramérica y el aumento de los impactos perjudiciales generados por el hombre sobre los ecosistemas acuáticos y los peces que allí habitan son preocupantes (Vari y Malabarba 1998). La mayoría de los cuerpos de agua que aún no se ha estudiado se intervienen de forma acelerada y esto causa que la fauna nativa se extinga localmente sin tener un solo registro de su presencia (Ortega-Lara *et al.* 1999).

Es prioritaria la realización de estudios que proporcionen información sobre la ictiofauna nativa pues además de constituirse en registros de valor histórico, podrían ser la base para adoptar medidas apropiadas para el manejo y la conservación (Cala 1987).

El estudio de las comunidades de peces en la región Andina cobra importancia no solo por la obtención de inventarios de especies sino con el fin de identificar los problemas generados por las actividades humanas sobre éstos y los posibles efectos recíprocos hacia la población humana desde las fuentes hídricas (Escobar 2004).

La zona hidrogeográfica del Magdalena-Cauca es una de las cuencas con mayor conocimiento de su ictiofauna. Específicamente para la cuenca del río La Vieja, los estudios ictiológicos se han centrado en: listados de especies (Román-Valencia 1995; Ortega-Lara *et al.* 1999, 2000, 2002, 2006; Ortega-Lara 2004 y Vargas-Tisnes 1989); taxonomía (García-Alzate *et al.* 2008; Román-Valencia 1988; Román-Valencia *et al.* 2009; Ruiz y Román-Valencia 2006), sistemática (Román-Valencia 2003) y biología de las especies (García-Alzate y Román-Valencia 2008; Román-Valencia y Botero 2006; Román-Valencia y Giraldo 2006; Román-Valencia y Muñoz 2001; Román-Valencia y Ruiz 2005 y García-Alzate *et al.* 2009).

Aunque los estudios sobre listados de especies, taxonomía y sistemática y biología constituyen un pilar fundamental, aún hace falta investigar el tipo de relaciones que se presentan entre los tipos de cobertura vegetal riparia y la composición íctica asociada en los riachos tropicales.

Si bien ya se conoce que el mantenimiento de la vegetación riparia juega un papel primordial sobre la composición la comunidad íctica (Lee *et al.* 2001, Grown *et al.*

2003, Chará 2003 y Chará *et al.* 2007), aún hace falta realizar estudios que indaguen sobre la ecología de las especies. Una aproximación para el entendimiento de esta problemática es evaluar la posible influencia que se da entre el tipo de cobertura vegetal riparia, el periodo hidrológico y la comunidad íctica y así poder recalcar su importancia para poder lograr el mantenimiento de estas coberturas en los ecosistemas que han sido transformados por las actividades humanas.

Observaciones recientes en riachos (ríos de primer orden) del Eje Cafetero de Colombia realizadas por Romero (2009), sugieren que la composición, aparentemente está más relacionada con el tipo de cobertura vegetal riparia que con el sistema productivo. Así, el objetivo principal de este estudio, pretende dilucidar si realmente existe dicha relación, a través del estudio de la relación entre la composición y el tipo de cvr (guadual, cafetal y pastizal) en seis riachos de la cuenca del Río La Vieja en el Eje Cafetero de Colombia, en dos periodos hidrológicos (en niveles de agua altos y bajos).

5.2 Aspectos metodológicos

Los peces fijados en formol al 10% posteriormente fueron inmersos en agua por un periodo de 24 horas y luego se preservaron en una solución de alcohol etílico al 70%. Las identificaciones taxonómicas se realizaron hasta nivel de especie con la ayuda de dos estereomicroscopios: Olympus SZH 10 y Olympus SD-ILK; y las claves taxonómicas: Dahl (1971); Géry (1977); Eigenmann (1924); Maldonado-Ocampo *et al.* (2005); Miles (1943 y 1947); y Román-Valencia (1988) y Román-Valencia *et al.* (2009). Posteriormente, fueron ingresados a la Colección de Peces de la Pontificia Universidad Javeriana bajo el acrónimo MPUJ. Para la elaboración del listado taxonómico se siguió la clasificación de Reis *et al.* (2003), donde las familias se encuentran en orden sistemático y los géneros y las especies de cada familia y subfamilia están listados alfabéticamente. La validez de los géneros y las especies citadas se corroboró a través de las fuentes: Reis *et al.* (2003) y Fishbase (www.fishbase.org).

Para analizar la relación entre la composición de especies, los tipos de cvr y el periodo hidrológico, se realizó un análisis descriptivo de la comunidad y posteriormente se utilizó un análisis de similitud de Bray-Curtis (1957) con la ayuda del programa PAST versión 1.8. La matriz de datos empleados fue de tipo Q, donde se incluyeron las cvr por periodo hidrológico como filas y las especies como columnas y se utilizaron los datos de abundancias. En este trabajo fue considerado como un valor de similitud alto aquel igual o superior a 0,7.

5.3 Resultados

En el periodo hidrológico de nivel de agua bajo, en los riachos con cvr de guadual pastizal 2P, 5G y 5P predominaron los Cyprinodontiformes; en el riacho 6G y 6P predominaron los Siluriformes y en el riacho 2G predominaron los Characiformes. Por otra parte, en los riachos con cvr de guadual cafetal 3G, 3C, 4G y 4C predominaron los Characiformes y en los riachos 1G y 1C predominaron los Cyprinodontiformes (figura 9).

En el periodo hidrológico de nivel de agua alto, en los riachos con cvr de guadual pastizal 2P 5G y 5P predominaron los Cyprinodontiformes; en los riachos 2G y 6G predominaron los Characiformes y en el riacho 6P predominaron los Siluriformes. Por otra parte, en los riachos con cvr guadual cafetal 1G, 1C y 4G predominaron los Siluriformes y en los riachos 3G, 3C y 4C predominaron los Characiformes (figura 9).

También se observó que entre los riachos con cvr de guadual existen diferencias, es decir, no es igual la composición íctica de un guadual junto a un pastizal que la de un guadual junto a un cafetal. Es decir, la composición por tipo de cvr varía también en función del tipo de cvr vecina. La composición a nivel de órdenes taxonómicos en las cvr de pastizal entre períodos hidrológicos no varía, lo que sí ocurre para las otras coberturas (figura 9).

En el listado taxonómico (tabla 2) se presentan las fotografías de las 12 especies distribuidas en 11 géneros, 6 familias y 3 órdenes y el número de Colección MPUJ (Acrónimo de la Colección de Peces del Museo Javeriano de Historia Natural "Lorenzo Uribe S.J.").

■ Characiformes ■ Siluriformes ■ Cyprinodontiformes

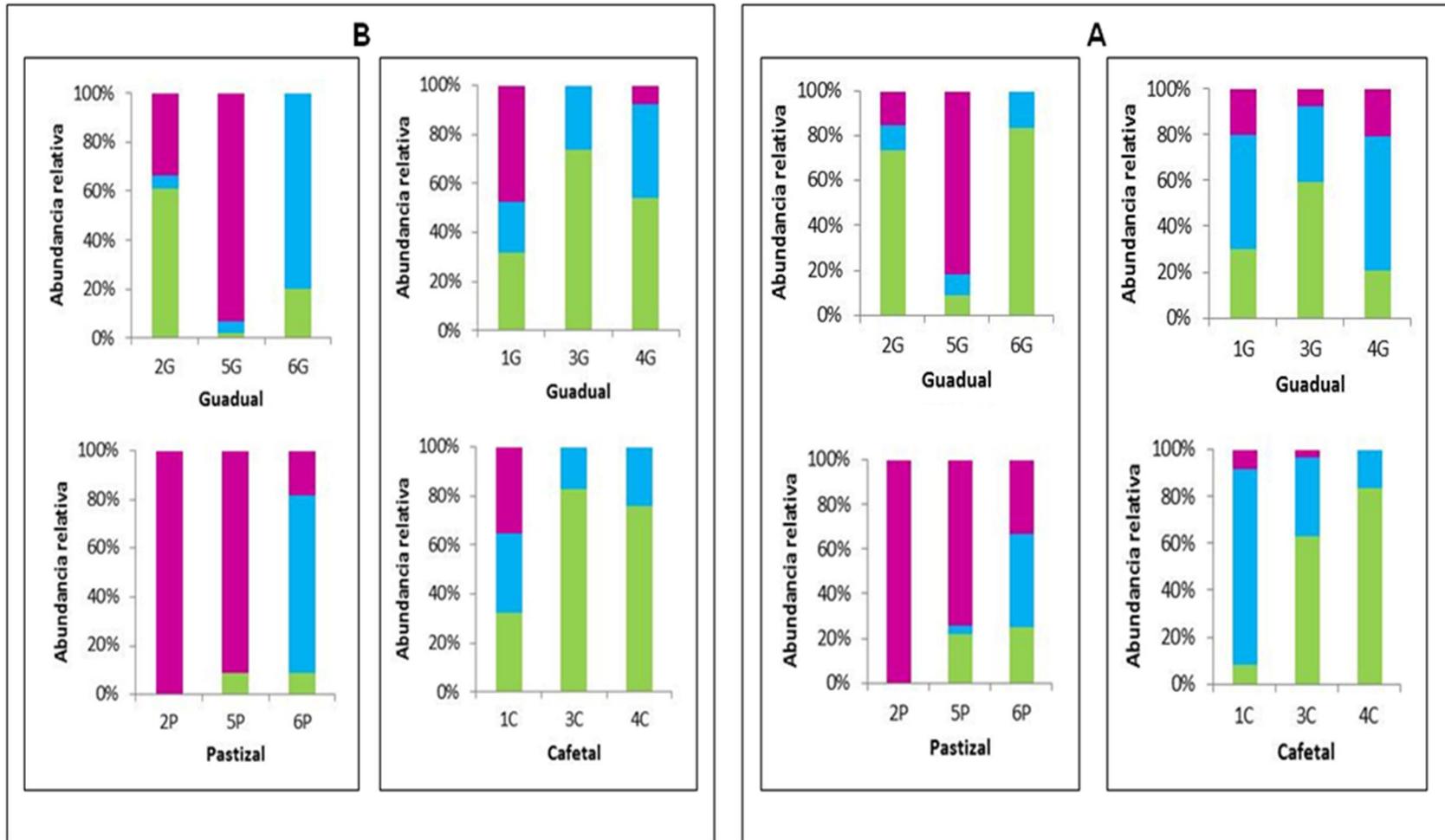
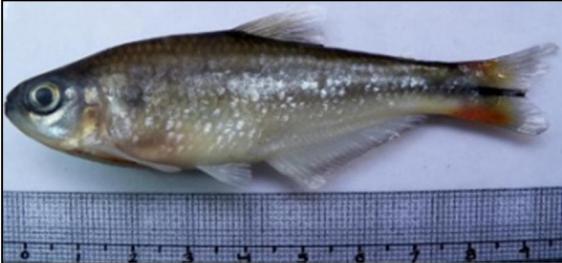


Figura 9. Abundancia relativa de individuos por órdenes por tipo de cvr para el periodo hidrológico nivel de agua bajo (B) y alto (A)

Tabla 2. Listado taxonómico de la comunidad de peces (Fotos: Pérez 2010)

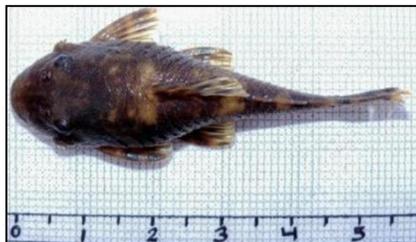
TAXÓN	MPUJ
<p>Characiformes Characidae <i>Astyanax aurocaudatus</i> Eigenmann, 1913</p>	<p>5245, 5251, 5257, 5261, 5268, 5285, 5289, 5293, 5299, 5304, 5308, 5334</p>
	
<p><i>Brycon henni</i> Eigenmann, 1913</p>	<p>5314, 5319, 5337</p>
	
<p><i>Bryconamericus caucanus</i> Eigenmann, 1913</p>	<p>5244, 5250, 5263, 5267, 5271, 5275, 5279, 5282, 5307, 5320, 5324, 5327, 5333, 5340</p>
	
<p><i>Hemibrycon boquiae</i> (Eigenmann, 1913)</p>	<p>5256, 5260, 5266, 5298, 5303, 5315, 5332, 5339,</p>
	

	TAXÓN	MPUJ
--	-------	------

Siluriformes

Loricariidae

Ancistrus caucanus Fowler, 1943



5247, 5253, 5318

Chaetostoma fischeri Steindachner, 1879



5297, 5338

Astroblepidae

Astroblepus grixalvii Humboldt, 1805



5259, 5262,
5270, 5301,
5305, 5310,
5317, 5336

Heptapteridae

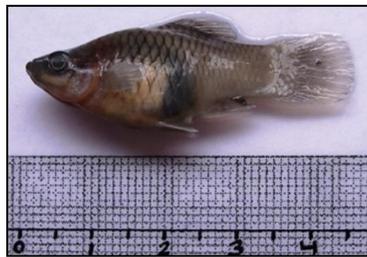
Cetopsorhamdia boquillae Eigenmann, 1922



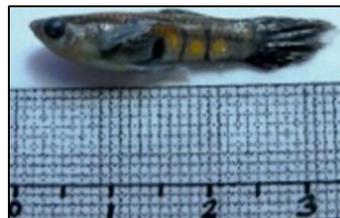
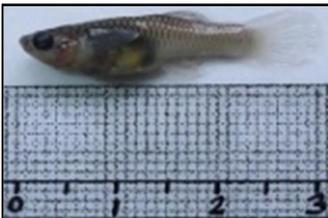
5248, 5254,
5284, 5287,
5291, 5295,
5311, 5329

Trichomycteridae*Trichomycterus chapmani* (Eigenmann, 1912)

5246, 5252,
5258, 5264,
5269, 5272,
5276, 5283,
5286, 5290,
5294, 5300,
5309, 5316,
5321, 5325,
5328, 5335, 5341

Cyprinodontiformes**Poeciliidae***Poecilia caucana* (Steindachner, 1880)

5277, 5289, 5330

Poecilia reticulata (Peters, 1859)

5249, 5255,
5273, 5274,
5278, 5281,
5288, 5292,
5296, 5302,
5306, 5313,
5322, 5323,
5326, 5331, 5342

Priapichthys caliensis (Eigenmann y Henn, 1916)

5265, 5312

Con respecto a la composición íctica, en el periodo hidrológico de nivel de agua bajo en los riachos con cvr de guadua (2, 5 y 6) fue común la presencia de *B. caucanus* y *T. chapmani*; en los riachos con cvr de pastos (2, 5 y 6) fue común la presencia de *P. reticulata*. Mientras que, en los riachos con cvr de guadua (1, 3 y 4) fue común la presencia *T. chapmani* y en los riachos con cvr de café (1, 3 y 4) fue común la presencia de *A. aurocaudatus* (tabla 3).

Por otra parte, en el periodo hidrológico de nivel de agua alto en los riachos con cvr de guadua (2, 5 y 6) fue común la presencia de *B. caucanus* y *T. chapmani*; en los riachos con cvr de pastos (2, 5 y 6) fue común la presencia de *P. reticulata*, al igual que en el periodo hidrológico de nivel de agua bajo, pero también fue común la presencia de *B. caucanus*. Mientras que, en los riachos con cvr de guadua (1, 3 y 4) fue común la presencia de *T. chapmani*, al igual que en el periodo hidrológico de nivel de agua bajo, pero también fue común la presencia de *A. aurocaudatus* y *P. reticulata*. Finalmente, en los riachos con cvr de café (1, 3 y 4) no hubo ninguna especie íctica en común (tabla 3).

Respecto a las diferencias encontradas entre las cvr de guadua, fue notorio que existen diferencias, pues la composición íctica de un guadua junto a un pastizal difiere a la de un guadua junto a un cafetal (figura 9). Al parecer, la composición íctica varía también en función de los tipos de cvr adyacentes, lo cual posiblemente pueda estar explicado por un efecto de borde. Un borde es la zona de contacto entre dos comunidades vegetales estructuralmente diferentes (Williams 1991 y Bierregaard *et al.* 1992) y el efecto de borde es el resultado de la interacción entre dos diferentes ecosistemas o hábitats adyacentes y yuxtapuestos, separados por un borde (Murcia 1995).

Puede existir una incidencia del tipo de cvr adyacente al guadua (figura 9); pues a través de los bordes se intercambian flujos de energía, nutrientes y especies. Por tal razón los mayores cambios ecológicos en la composición, estructura y procesos ecológicos de las especies de un ecosistema, como en la forma y función de las comunidades, se presentan en los puntos cercanos a la línea de contacto entre ecosistemas o comunidades (Bierregaard *et al.* 1992; Murcia 1995 y Laurance *et al.* 2000).

Tabla 3. Composición íctica por cvr y por periodo hidrológico (nivel de agua bajo/nivel de agua alto). 0= ausente; 1= presente.

CVR	Época hidrológica baja						Época hidrológica alta					
	Guadual			Guadual			Guadual			Guadual		
Riacho	2G	5G	6G	1G	3G	4G	2G	5G	6G	1G	3G	4G
<i>A. aurocaudatus</i>	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	
<i>B. henni</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
<i>B. caucanus</i>	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1
<i>H. boquiae</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0
<i>A. caucanus</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>A. grixalvii</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1
<i>C. boquillae</i>	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1
<i>C. fischeri</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>T. chapmani</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>P. caucana</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>P. reticulata</i>	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1
<i>P. caliensis</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
CVR	Pastizal			Cafetal			Pastizal			Cafetal		
Riacho	2P	5P	6P	1C	3C	4C	2P	5P	6P	1C	3C	4C
<i>A. aurocaudatus</i>	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0
<i>B. henni</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>B. caucanus</i>	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0
<i>H. boquiae</i>	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1
<i>A. caucanus</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>A. grixalvii</i>	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1
<i>C. boquillae</i>	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0
<i>C. fischeri</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>T. chapmani</i>	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1
<i>P. caucana</i>	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>P. reticulata</i>	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0
<i>P. caliensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

El análisis de similitud presentó un coeficiente de correlación alto (0,82). Dicho análisis evidenció que en el periodo hidrológico de nivel de agua bajo (*) existe una variación en la composición íctica. En todos los riachos con cvr de guadual pastizal: 2G* y 2P*; 5G* y 5P*; 6G* y 6P*, se presentaron valores bajos de similitud: 0,17; 0,12 y 0,29 respectivamente. Así mismo, en los riachos con cvr de guadual cafetal: 1G* y 1C*; 4G* y 4C*, se observaron variaciones en la composición íctica con valores de similitud iguales a 0,64 y 0,18 respectivamente; en contraste, en los riachos 3G* y 3C* no se presentó una variación en su composición, con un valor de similitud igual a 0,79 (figura 10 y anexo F).

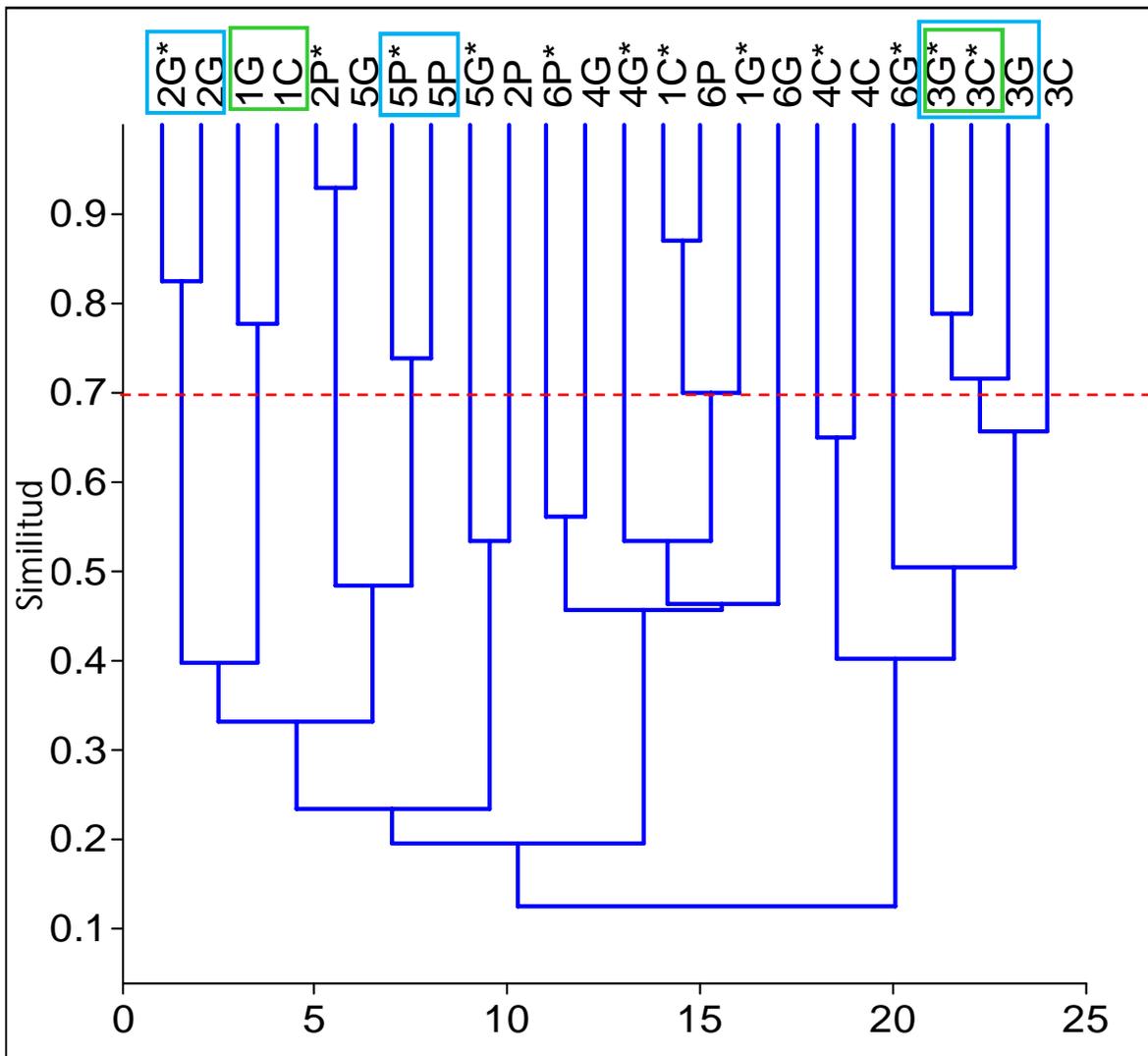


Figura 10. Análisis de similitud de Bray-Curtis de la composición íctica en el periodo hidrológico de nivel de agua bajo (*) y alto por tipo de cvr. Los números corresponden a los riachos y las letras simbolizan el tipo de cvr guadual (G),

cafetal (C) y pastizal (P). Los recuadros verdes corresponden a un mismo periodo hidrológico y los azules a diferentes periodos hidrológicos.

Por otra parte, de acuerdo a análisis de similitud, en el periodo hidrológico de nivel de agua alto en los riachos con cvr de gradual pastizal: 2G y 2P; 6G y 6P; 5G y 5P, no existe una variación en la composición íctica, los valores de similitud fueron: 0,13; 0,50; y 0,59 respectivamente. Así mismo, en los riachos con cvr de gradual cafetal: 4G y 4C y 3G y 3C no se observaron variaciones, los valores de similitud fueron: 0,25 y 0,65, respectivamente; al contrario, en los riachos 1G y 1C no se presentó una variación en su composición, con un valor de similitud alto, igual a 0,78 (figura 10 y anexo F).

Respecto a la variación temporal, se encontró que en los riachos 3G* y 3G; 5P* y 5P; 2G* y 2G; no existe una variación en la composición íctica, los valores de similitud para estos riachos fueron altos: 0,83; 0,74 y 0,71, respectivamente. En contraste, en los 9 riachos restantes, se evidenció una variación en la composición con valores bajos de similitud que oscilaron entre 0,18 y 0,65 (figura 10 y anexo F).

En síntesis, en 10 de los 12 muestreos (83,3%) se presentó una variación en la composición íctica, de acuerdo al tipo de cvr. Mientras que en 9 de los 12 muestreos (75%) se presentó una variación temporal en la composición íctica (figura 10 y anexo F).

5.4 Discusión

La composición de la comunidad de peces encontrada, coincide con los patrones registrados para la ictiofauna Neotropical, donde la mayoría de las especies que conforman la comunidad pertenece a los órdenes Characiformes y Siluriformes (Cala 1990; Lowe-McConnell 1975 y 1987). Resultados similares han sido reportados para otras comunidades del alto Cauca (Cardona *et al.* 1998; Jiménez *et al.* 1998; Lehmann 1999 y Román-Valencia 1995). Sin embargo, los Cyprinodontiformes dominaron en algunos riachos e inclusive por tipo de cobertura vegetal riparia dominaron en el pastizal y en el gradual adyacente a pastizal su presencia fue destacada.

La comunidad íctica encontrada coincide con los dos grupos de peces reportados para altitudes superiores a los 500 m según Maldonado-Ocampo *et al.* (2005); éstos son: i) torrentícolas, es decir, que presentan adaptaciones como ventosas bucales con las que se adhieren a las rocas para remontar los cauces, posesión de odontodes operculares que les permiten fijarse a las rocas, tamaño mediano o pequeño y presencia de vejigas natatorias reducidas para el aumento la densidad corporal y ii) fusiformes, es decir, que por su forma hidrodinámica son capaces de remontar las corrientes.

En el periodo hidrológico de nivel de agua bajo, los Characiformes predominaron en el riacho 2G (cvr gradual) y en los riachos 3 y 4 (cvr gradual cafetal); en el periodo hidrológico de nivel de agua alto, también predominó este orden en los riachos 2G y 6G (cvr gradual) y en los riachos 3 y 4C (cvr gradual cafetal). Según Pinto *et al.* (2006), los Characiformes son equivalentes a lo que Karr (1981) define como especies “sunfish”, las cuales aumentan cuando se reduce la cvr; esta afirmación no coincide con los resultados encontrados, ya que el orden Characiformes predominó en riachos con cvr de gradual cafetal y no en riachos con cvr de pastizal, que presentan una cvr reducida.

En el periodo hidrológico de nivel de agua bajo, los Siluriformes predominaron en el riacho 6 (cvr gradual pastizal); en el periodo hidrológico de nivel de agua alto, también predominó este orden en el riacho 6P (cvr pastizal) y en los riachos 1 y 4G (cvr gradual cafetal). Estos resultados difieren de lo reportado por Pinto *et al.* (2006), pues para estos autores los Siluriformes disminuyen por la sedimentación, y son equivalentes a lo que Karr (1981) define como especies “darter y sucker”; pero de acuerdo a los resultados de este estudio éste orden fue también predominante en el riacho 6 con cvr de pastizal, donde se supone que la sedimentación es mayor.

En el periodo hidrológico de nivel de agua bajo, los Cyprinodontiformes predominaron en los riachos 2 y 5G (cvr gradual pastizal) y en el riacho 1 (cvr gradual cafetal); en el periodo hidrológico de nivel de agua alto, también predominó este orden en los riachos 2P y 5 (cvr gradual pastizal). Según Pinto *et al.* (2006), los Cyprinodontiformes son equivalentes a lo que Karr (1981) define como especies “tolerant”, las cuales incrementan en ambientes con poca cvr; esta afirmación coincide con los resultados encontrados, excepto para el riacho 1 en el periodo hidrológico bajo.

Bajo condiciones fluctuantes algunas especies consiguen adaptarse, por tal razón es posible encontrar una misma especie en una misma localidad específica en periodos hidrológicos diferentes, pues su desarrollo se encuentra fuertemente ligado a las condiciones particulares del hábitat y microhábitat (Winemiller y Jepsen 2008), como es el caso de las especie *P. caliensis* que solo se encontró en el riacho 4G en los dos periodos hidrológicos muestreados. Por el contrario, se puede encontrar una misma especie en varios tipos de cvr y periodos hidrológicos, pues tienen unos requerimientos menos específicos que les permiten migrar y aprovechar diferentes tipos de microhábitat (Bejarano *et al.* 2006), como las especies: *B. caucanus* y *T. chapmani*.

Según Bejarano *et al.* (2006) los peces realizan migraciones longitudinales, pues hacen uso de la gran variedad de recursos disponibles para su refugio, alimentación y/o reproducción; es probable que en los riachos donde se presentó una similitud en la composición íctica superior a 0,7 ocurran dichas migraciones; como es el caso de los riachos 3G* y 3C* en la época hidrológica baja y los

riachos 1G y 1C en la época hidrológica alta; pues no se detectaron variaciones al interior de estos riachos de acuerdo al tipo de cvr con valores superiores de similitud de 0,7 (figura 10). Es posible que en estos riachos los cambios en composición no sean tan notorios puesto que en aquellos riachos la estructura de la vegetación de tipo arborescente es similar y quizás al proporcionar disponibilidad de hábitats y oferta de recursos similares, la comunidad de peces presente aprovecha los dos tipos de cvr indiscriminadamente.

Por otra parte, los riachos que evidenciaron una variación en la composición íctica a nivel taxonómico de especie, con los menores valores de similitud de acuerdo al tipo de cvr fueron: 5G* 5P*; 2G* 2P*; 6G* y 6P*, con valores iguales a 0,12; 0,17 y 0,29, respectivamente (figura 10). Sin embargo, en el caso del riacho 5G* y 5P* a nivel de orden taxonómico estas diferencias no se evidencian, pues es probable que exista un recambio de especies pertenecientes al mismo orden taxonómico; así, en términos de composición a nivel de especie serían diferentes, pero en términos ecológicos las especies reemplazantes podrían cumplir con la misma función ecológica. En estos riachos es más drástico el cambio en la composición de peces, probablemente porque la estructura del tipo de cvr en estos riachos es la más disímil, ya que en el gradual hay una mayor cantidad de recursos, sombra y hábitats disponibles, los cuales son propicios para el establecimiento de Characiformes y Siluriformes, mientras que en riachos con cvr de pastizal, los recursos son más limitados y por tanto, solo las especies ícticas más tolerantes como las del orden de los Cyprinodontiformes pueden establecerse en estos riachos.

Es probable que exista una influencia del gradiente lateral, dado por los diferentes tipos de cvr en el establecimiento de las especies. En el caso de las cvr de tipo arbustivo, al presentar un mayor porcentaje de cobertura vegetal, generan una mayor disponibilidad de microhábitats que regulan la temperatura del agua y posiblemente generan una oferta mayor de recursos, lo que permite que especies como *Astrolepus grixalvii*, sensibles a temperaturas altas (Tobar *et al.* 2006), se desarrollen y establezcan en estas coberturas. Esto se evidenció en el periodo hidrológico de nivel de agua bajo, en los riachos 6G, 3G, 3C y 4G; un patrón similar fue encontrado en el periodo hidrológico de nivel de agua alto, donde la especie se encontró en los riachos: 3G, 3C y 4G.

Otro ejemplo de esta influencia se pudo observar en la especie introducida *P. reticulata*; de acuerdo a su biología, esta especie consume principalmente fuentes autóctonas como algas y detrito y presenta preferencia por aguas donde generalmente hay un bajo porcentaje cvr, por ende, hay un mayor ingreso de radiación solar que incrementa sus fuentes alimentarias (Reznick y Endler 1982); *P. reticulata* fue capturada en los dos periodos hidrológicos en los riachos: 2G, 2P, 5G, 5P, 1G, 1C y en el periodo hidrológico de aguas altas en los riachos 3G y 3C. De esta manera es posible reconocer el efecto que los tipos de cvr pueden ejercer sobre las especies en los ecosistemas acuáticos lóticos a nivel de composición.

En síntesis, no se rechaza la hipótesis planteada H_1 : “la composición de la comunidad íctica cambia de acuerdo al tipo de cobertura vegetal riparia y al periodo hidrológico”.

Se encontró que existen cambios en la composición de peces de acuerdo al tipo de cvr, pues en las cvr de pastizal hay predominio del orden Cyprinodontiformes; mientras que en los riachos con cvr de gradual y de cafetal hay predominio de los órdenes Characiformes y Siluriformes, esto coincide con el patrón reportado por Pinto *et al.* (2006).

De acuerdo al análisis de similitud, se evidenció que sí existe una variación en la composición íctica de acuerdo al tipo de cvr y al periodo hidrológico. Esto puede estar relacionado con la teoría del pulso inundación planteada por Junk *et al.* (1989), la cual afirma que las comunidades ícticas varían en función de la disponibilidad de microhábitats, al cambio en la disponibilidad de ítems alimentarios autóctonos en los riachos por el aumento en el nivel del agua o bien por ser arrastrados por la lluvia, por lo que hay un aumento de su proporción en los riachos y de esta forma quedan disponibles para ser aprovechados por la comunidad íctica.

5.5. Conclusiones

De acuerdo con el análisis de los resultados obtenidos en este estudio y la discusión realizada a la luz de las teorías ecológicas de la dinámica de los ríos y la biología de las especies, se puede concluir que:

- Si bien no se puede rechazar la hipótesis planteada H_1 , es decir, la composición de especies en los riachos estudiados está relacionada con el tipo de cvr y la época hidrológica, los resultados obtenidos no permiten aceptarla absolutamente.
- En la mayoría de los riachos con cvr de gradual pastizal predominan las especies *P. caucana* y *P. reticulata* del orden Cyprinodontiformes. Es probable que en ecosistemas altamente transformados predominen las especies introducidas invasoras, pues estas aprovechan los disturbios en el ambiente para su establecimiento.
- En riachos con cvr de gradual cafetal predominan las especies *A. aurocaudatus*, *B. henni*, *B. caucanus* y *H. boquiae* del orden Characiformes y las especies *A. caucanus*, *A. grixalvii*, *C. boquillae* y *T. chapmani* del orden Siluriformes.

6. RELACIÓN DE LA ESTRUCTURA Y DIETA DE LA COMUNIDAD ÍCTICA Y LA COBERTURA VEGETAL RIPARIA EN DOS PERIODOS HIDROLÓGICOS EN RIACHOS DE LA CUENCA DEL RÍO LA VIEJA, EJE CAFETERO DE COLOMBIA

6.1 Introducción

Las corrientes de baja magnitud presentan una fuerte asociación con los ecosistemas terrestres, donde se genera un mosaico de hábitats dinámicos en donde las comunidades acuáticas responden a estas variaciones de manera adaptativa (Winemiller y Jepsen 1998). Así, para los riachos o ríos de primer orden, el gradiente lateral o zona riparia determina la estructura y función de las comunidades acuáticas, reduce la producción autotrófica por la sombra que genera y contribuye con el aporte de cargas de materia de origen alóctono. A medida que el orden de magnitud de la corriente aumenta se reduce la importancia del efecto del gradiente lateral y se realza el efecto de la productividad primaria autóctona y el transporte de materia orgánica proveniente de la cabecera (Vannote *et al.* 1980). Es así como esta transición entre la cabecera y el aumento de órdenes de magnitud de la corriente, es dependiente de la entrada de energía desde los ecosistemas terrestres y produce cambios importantes, de condiciones heterotróficas a autotróficas, causados principalmente por la sombra de la vegetación riparia (Vannote *et al.* 1980). De esta manera, los ríos de primer orden dependen principalmente en su funcionalidad ecológica de los ecosistemas que los rodean. De acuerdo a las características planteadas, las diferentes comunidades bióticas responden y se establecen o no en las diferentes partes del río, lo cual afecta los patrones de distribución, estructura y función particulares.

Aparentemente, la estructura de la comunidad de peces cambia por la fluctuación en el nivel del agua, la cual puede alterar la disponibilidad de hábitats y la oferta de recursos alimentarios y esto afecta diferentes atributos de la estructura de la comunidad, tales como la riqueza, diversidad, equidad y dominancia (Junk *et al.* 1985 y 1989). La estructura de la comunidad íctica de riachos también puede variar de acuerdo al tipo de cobertura vegetal riparia, ya que de acuerdo a la fisonomía de las coberturas riparias varían: la oferta de recursos y la heterogeneidad espacial (Vannote *et al.* 1980, Goeking y Crowl 1999 y Lee *et al.* 2001).

Por otra parte, la dieta de la comunidad íctica también puede cambiar de acuerdo al periodo hidrológico debido al incremento de ítems alóctonos en los riachos durante el periodo hidrológico de nivel de agua alto, ya que al aumentar el nivel del agua, las fuentes energéticas alóctonas terrestres de origen vegetal y animal pueden quedar disponibles en el medio acuático (Junk *et al.* 1989). De acuerdo a la teoría del río como un continuo, en los riachos predominan los hábitos alimentarios de tipo detritívoro e invertívoro (Vannote *et al.* 1980).

Existen vacíos en la información sobre la ecología de peces en el Eje Cafetero ya que los estudios en esta área son escasos (Chará 2003 y Chará *et al.* 2004), y la mayoría de las investigaciones se ha centrado en otras áreas tales como: listados de especies (Román-Valencia 1995; Ortega-Lara *et al.* 1999, 2000, 2002, 2004 y 2006 y Vargas-Tisnes 1989); taxonomía (García-Alzate *et al.* 2008; Román-Valencia 1988; Román-Valencia *et al.* 2009; Ruiz y Román-Valencia 2006); sistemática (Román-Valencia 2003) y biología de las especies (García-Alzate y Román-Valencia 2008; Román-Valencia y Botero 2006; Román-Valencia y Giraldo 2006; Román-Valencia y Muñoz 2001; Román-Valencia y Ruiz 2005; Román-Valencia *et al.* 2008 y García-Alzate *et al.* 2009). De esta manera, los estudios ecológicos sobre la estructura y dieta de las comunidades ícticas son de gran importancia, ya que permiten obtener registros temporales en áreas que pueden verse afectadas por la utilización desmesurada y por cambios en el paisaje. Este estudio pretende evaluar la relación entre la comunidad íctica y el tipo de cobertura vegetal riparia (guadual, cafetal y pastizal) en riachos de la cuenca del Río La Vieja, Eje Cafetero de Colombia, en dos periodos hidrológicos diferentes.

6.2 Aspectos metodológicos

6.2.1 Descripción de la estructura de la comunidad de peces

- **Estimación de los índices ecológicos.** Se realizó una matriz de abundancias, es decir, número de individuos por especie, por tipo de cvr y por periodo hidrológico. A través del programa estadístico PAST versión 1.8, se estimaron los índices ecológicos de riqueza, equidad, dominancia y diversidad; se emplearon los índices riqueza específica (R), Pielou (J'), Simpson (D') y Shannon y Weaver (H') respectivamente, para cada uno de los tipos de cvr y para cada periodo hidrológico. La descripción de cada uno de estos índices se presenta en la sección de Marco Teórico (páginas 14-15).
- **ANOVA.** Se realizó una prueba de Cochran, para corroborar que los datos presentaban homogeneidad de varianzas y que cumplían con el supuesto de normalidad, para así poder aplicar un ANOVA. Las variables independientes fueron las cvr: guadual cafetal y guadual pastizal y los periodos hidrológicos: nivel de agua bajo y alto. Por otra parte, las variables dependientes fueron los valores de los índices: riqueza específica, equidad, dominancia y diversidad.

6.2.2 Análisis de la dieta de la comunidad de peces

- **Selección de individuos.** El número establecido de individuos para el análisis de los contenidos gastrointestinales fue de diez. Así, cuando las abundancias lo permitían, fueron analizados hasta diez individuos por especie. La selección de estos se realizó mediante histogramas de frecuencia por tallas (LT) de cada

una de las especies, en cuatro o siete rangos de tamaño, por tipo de cvr y por periodo hidrológico (anexos G-J), para garantizar que en el análisis quedaran incluidos de manera proporcional todos los rangos de tamaño.

- **Extracción del sistema gastrointestinal.** Se realizaron disecciones ventrales para la extracción completa del sistema gastrointestinal. Los individuos diseccionados fueron marcados con una etiqueta, envueltos en una gasa y depositados en frascos de vidrio debidamente etiquetados en una solución de etanol al 70%.
- **Preservación e identificación de contenidos gastrointestinales.** El sistema gastrointestinal de cada individuo y su respectiva etiqueta, fue introducido en frascos entomológicos con una solución de alcohol etílico al 70% para su preservación. La identificación de los ítems alimentarios encontrados en los estómagos se realizó hasta el nivel taxonómico de familia, cuando el grado de digestión de éstos lo permitió. Para esto se emplearon dos estereomicroscopios: Olympus SZH 10 y Olympus SD-ILK; un microscopio óptico Nikon Eclipse E400 y claves taxonómicas y literatura especializada: Borrór *et al.* (1992); White (1993); Liévano y Ospina (2007) y Roldán-Pérez (1996).
- **Coeficiente de vacuidad.** Se estimó el coeficiente de vacuidad por periodo hidrológico de acuerdo a los lineamientos establecidos por Hyslop (1980) y Hureau (1970). La descripción de este índice se presenta en la sección de Marco Teórico (página 17).
- **Origen del ítem alimentario y asignación de categorías tróficas.** De acuerdo con su origen, los ítems fueron clasificados en alóctono (terrestre) o autóctono (acuático). Posteriormente, los ítems fueron agrupados en las categorías tróficas: detrito, algas, invertebrados terrestres, invertebrados acuáticos y material vegetal terrestre.
- **Estimación del volumen de los ítems alimentarios.** El volumen de la mayoría de los ítems alimentarios fue estimado a través del estereomicroscopio, sobre una cámara volumétrica cúbica formada por celdas de volumen fijo (modificada de Hyslop 1980 y Marrero 1994). Su volumen fue estimado a través de la fórmula del volumen de un cubo; mientras que para la estimación del volumen de otros ítems alimentarios, tales como las algas se realizaron conteos en el microscopio óptico, sobre una lámina y su volumen fue estimado a través de la fórmula del volumen de un cilindro. La descripción de estas fórmulas se presenta en la sección de Marco Teórico (página 18).

- **Método de frecuencia de ocurrencia, volumétrico e Índice de importancia alimentaria.** Se empleó el método de frecuencia de ocurrencia (*F*) de Hynes (1950) y el método volumétrico (*V*) de Hyslop (1980). Con los resultados obtenidos de estos métodos se estimó el índice de importancia alimentaria (*IA*) de Kawakami y Vazzoler (1980), para poder identificar la importancia de las categorías tróficas consumidas. Estos índices se estimaron de dos formas: i) por riacho y por periodo hidrológico y ii) por especie, por riacho y por periodo hidrológico. La descripción de estos índices se presenta en la sección de Marco Teórico (páginas 17-19).

Este índice también fue empleado para la identificación del hábito alimentario de las especies. Los ítems con valores superiores a 0,5 definieron su hábito (Abes *et al.* 2006 y Silva *et al.* 2008).

- **Análisis de regresión.** Con el fin de estudiar las semejanzas del patrón de consumo a nivel de especie, se realizó un análisis de regresión entre los valores obtenidos del Índice de importancia alimentaria para cada una de las especies encontradas por tipo de cvr y por periodo hidrológico.
- **Análisis de Correspondencia Canónica.** Finalmente, con el fin de estudiar las semejanzas del patrón de consumo a nivel de comunidades, fue realizado un Análisis de Correspondencia Canónica (ACC). La matriz de datos fue de tipo R, la cual incluyó a las especies como filas, y a las cvr y categorías tróficas (*IA_i*) como columnas. El ACC fue realizado de manera independiente de acuerdo al periodo hidrológico: bajo y alto, a través del programa Xlstat versión 8.0.

6.3 Resultados

6.3.1 Descripción de la estructura de la comunidad de peces

- **Abundancia.** En total se colectaron 951 peces pertenecientes a 12 especies, 11 géneros, 6 familias y 3 órdenes. En el periodo hidrológico de nivel de agua bajo se colectaron 420 individuos pertenecientes a 10 especies. *P. caliensis*, *A. caucanus* y *C. boquillae* fueron las especies menos abundantes, mientras que *H. boquiae*, *B. caucanus* y *P. reticulata* fueron las especies más abundantes. Por otra parte, en el periodo hidrológico de nivel de agua alto se colectaron 531 individuos pertenecientes a 12 especies; *A. caucanus*, *C. fischeri* y *P. caliensis* fueron las especies menos abundantes, mientras que *B. caucanus*, *H. boquiae*, y *P. reticulata* fueron las especies más abundantes (figura 11, tabla 4).

Tabla 4. Especies y sus abundancias por tipo de cvr y por periodo hidrológico

CVR	Época hidrológica baja						Época hidrológica alta					
	Guadual			Guadual			Guadual			Guadual		
	2G	5G	6G	1G	3G	4G	2G	5G	6G	1G	3G	4G
Riacho												
<i>A. aurocaudatus</i>				8	11				7	3	12	1
<i>B. henni</i>									10			3
<i>B. caucanus</i>	34	1	1	4		7	39	1	4			1
<i>H. boquiae</i>					6				10		11	
<i>A. caucanus</i>				2								
<i>A. grixalvii</i>					3				1		11	1
<i>C. boquillae</i>			1	2						1		1
<i>C. fischeri</i>									1			
<i>T. chapmani</i>	3	2	3	4	3	5	6	1	4	4	2	12
<i>P. caucana</i>		2										
<i>P. reticulata</i>	19	41		18			8	9		2	3	2
<i>P. caliensis</i>						1						3
CVR	Pastizal			Cafetal			Pastizal			Cafetal		
Riacho	2P	5P	6P	1C	3C	4C	2P	5P	6P	1C	3C	4C
<i>A. aurocaudatus</i>			1	10	8	6				1	13	
<i>B. henni</i>												5
<i>B. caucanus</i>		9		1		4		38	2			
<i>H. boquiae</i>					16	34			1		4	69
<i>A. caucanus</i>				1								1
<i>A. grixalvii</i>					5	8					9	9
<i>C. boquillae</i>			2	4				4		2		
<i>C. fischeri</i>										1		
<i>T. chapmani</i>			6	6		6		3	5	7		6
<i>P. caucana</i>		41						43				
<i>P. reticulata</i>	4	53	2	12			40	88	4	1	1	
<i>P. caliensis</i>												

- **Riqueza.** En el periodo hidrológico de nivel de agua bajo, en los riachos con cvr de guadual pastizal el valor más bajo de riqueza se presentó en el riacho 2P y el más alto en los riachos 6P y 5G; por otra parte, en las cvr de guadual cafetal el valor más bajo se presentó en los riachos 4G y 3C y el más alto en los riachos 1G y 1C (figura 12, tabla 5).

En el periodo hidrológico de nivel de agua alto, en los riachos con cvr de guadual pastizal el valor más bajo de riqueza se presentó en el riacho 2P y el más alto en los riachos 6G y 5P; por otra parte, en las cvr de guadual cafetal el valor más bajo se presentó en el riacho 3C y el más alto en el riacho 4G (tabla 5, figura 12).

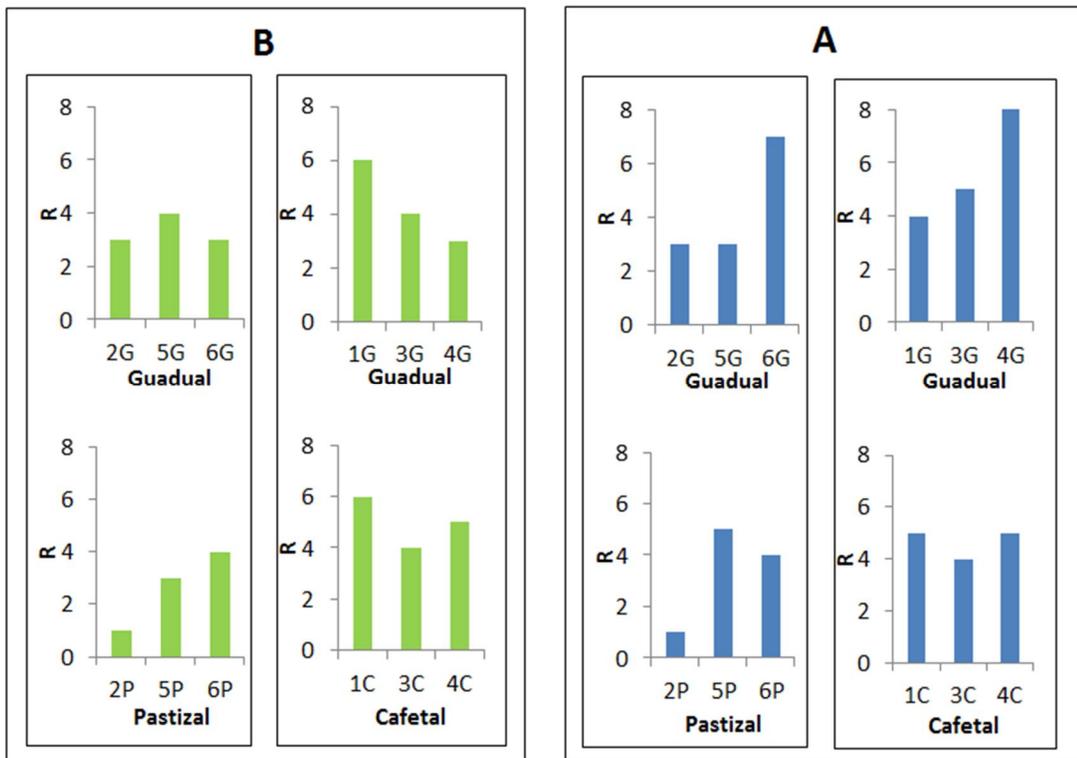


Figura 12. Valores de riqueza de la comunidad íctica en el periodo hidrológico de nivel de agua bajo (B) y nivel de agua alto (A), por tipo de cvr

Tabla 5. Índices ecológicos de la comunidad de peces por tipo de cvr y por periodo hidrológico (nivel de agua bajo/ nivel de agua alto). Individuos (n); riqueza (R); equidad (J'); dominancia (D') y diversidad (H')

CVR	Época hidrológica baja						Época hidrológica alta					
	Guadual			Guadual			Guadual			Guadual		
Riacho	2G	5G	6G	1G	3G	4G	2G	5G	6G	1G	3G	4G
n	56	46	5	38	23	13	53	11	37	10	39	24
R	3	4	3	6	4	3	3	3	7	4	5	8
J'	0,8	0,3	0,9	0,8	0,9	0,8	0,7	0,5	0,9	0,9	0,9	0,8
D'	0,5	0,8	0,4	0,3	0,3	0,4	0,6	0,7	0,2	0,3	0,3	0,3
H'	0,8	0,5	1,0	1,5	1,2	0,9	0,8	0,6	1,7	1,3	1,4	1,6
CVR	Pastizal			Cafetal			Pastizal			Cafetal		
Riacho	2P	5P	6P	1C	3C	4C	2P	5P	6P	1C	3C	4C
n	4	103	11	34	29	58	40	176	12	12	27	90
R	1	3	4	6	3	5	1	5	4	5	4	5
J'	0	0,8	0,8	0,8	0,9	0,8	0	0,7	0,9	0,8	0,8	0,5
D'	1,0	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	1,0	0,4	0,3	0,4	0,4	0,6
H'	0	0,9	1,2	1,5	1,0	1,2	0	1,2	1,2	1,2	1,1	0,8

- **Equidad.** En el periodo hidrológico de nivel de agua bajo, en los riachos con cvr de gradual pastizal el valor más bajo de equidad se presentó en el riacho 2P y el más alto en el riacho 6G; por otra parte, en las cvr de gradual cafetal el valor más bajo se presentó en los riachos 4G, 4C y 1C y el más alto en los riachos 3G y 3C (tabla 5, figura 13).

En el periodo hidrológico de nivel de agua alto, en los riachos con cvr de gradual pastizal el valor más bajo de equidad se presentó en el riacho 2P y el más alto en los riachos 6G y 5P; por otra parte, en las cvr de gradual cafetal el valor más bajo se presentó en el riacho 4C y el más alto en los riachos 1G y 3G (tabla 5, figura 13).

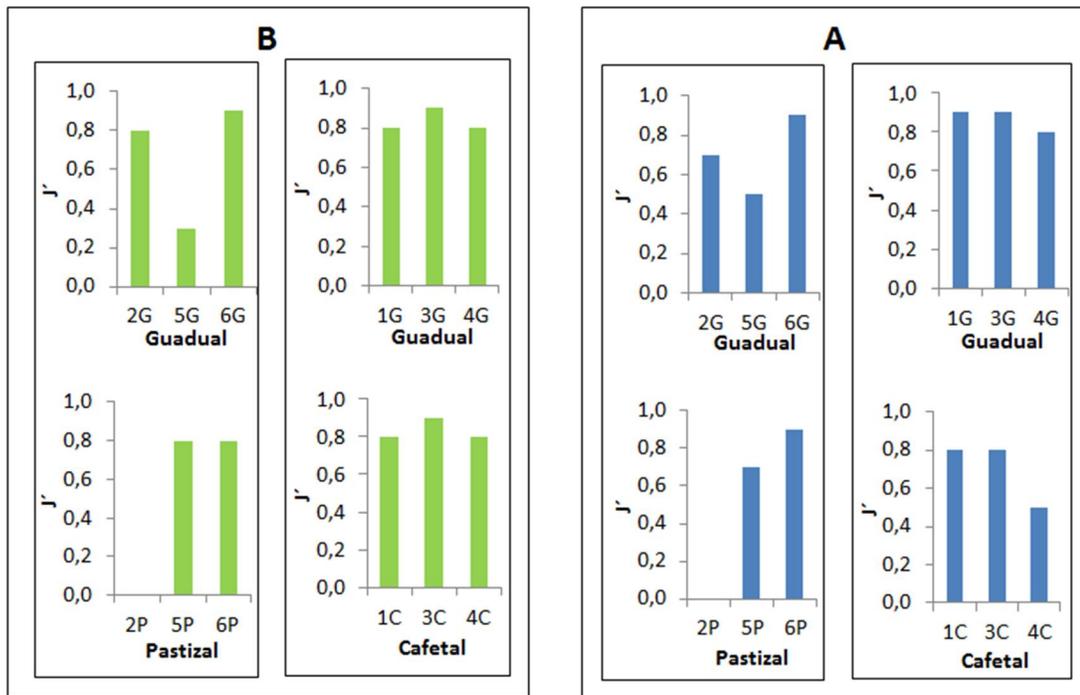


Figura 13. Valores de equidad de la comunidad íctica en el periodo hidrológico de nivel de agua bajo (B) y nivel de agua alto (A), por tipo de cvr

- **Dominancia.** En el periodo hidrológico de nivel de agua bajo, en los riachos con cvr de guadual pastizal el valor más bajo de dominancia se presentó en los riachos 5P, 6P y 6G y el más alto en el riacho 2P; por otra parte, en las cvr de guadual cafetal el valor más bajo se presentó en los riachos 1G, 1C y 3G y el más alto en los riachos 3C, 4G y 4C (tabla 5, figura 14).

En el periodo hidrológico de nivel de agua alto, en los riachos con cvr de guadual pastizal el valor más bajo de dominancia se presentó en el riacho, 6G y el más alto en el riacho 2P; por otra parte, en las cvr de guadual cafetal el valor más bajo se presentó en los riachos 1G, 3G y 4G y el más alto en el riacho 4C (tabla 5, figura 14).

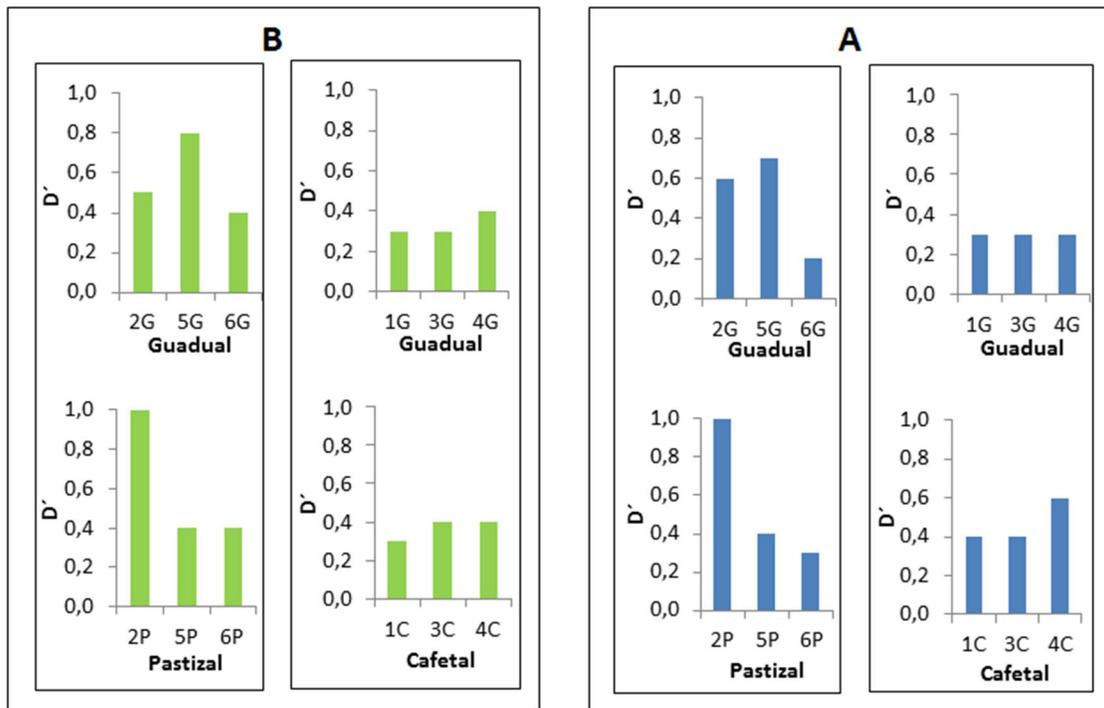


Figura 14. Valores de dominancia de la comunidad íctica en el periodo hidrológico de nivel de agua bajo (B) y nivel de agua alto (A), por tipo de cvr

- **Diversidad.** En el periodo hidrológico de nivel de agua bajo, en los riachos con cvr de guadual pastizal el valor más bajo de diversidad se presentó en el riacho 2P y el más alto en el riacho 6P; por otra parte, en las cvr de guadual cafetal el valor más bajo se presentó en el riachos 4G y el más alto en los riachos 1G y 1C (tabla 5, figura 15).

En el periodo hidrológico de nivel de agua alto, en los riachos con cvr de guadual pastizal el valor más bajo de equidad se presentó en el riacho 2P y el más alto en los riachos 6G, 5P y 6P; por otra parte, en las cvr de guadual cafetal el valor más bajo se presentó en el riacho 4G y el más alto en los riachos 1G y 1C (tabla 5, figura 15).

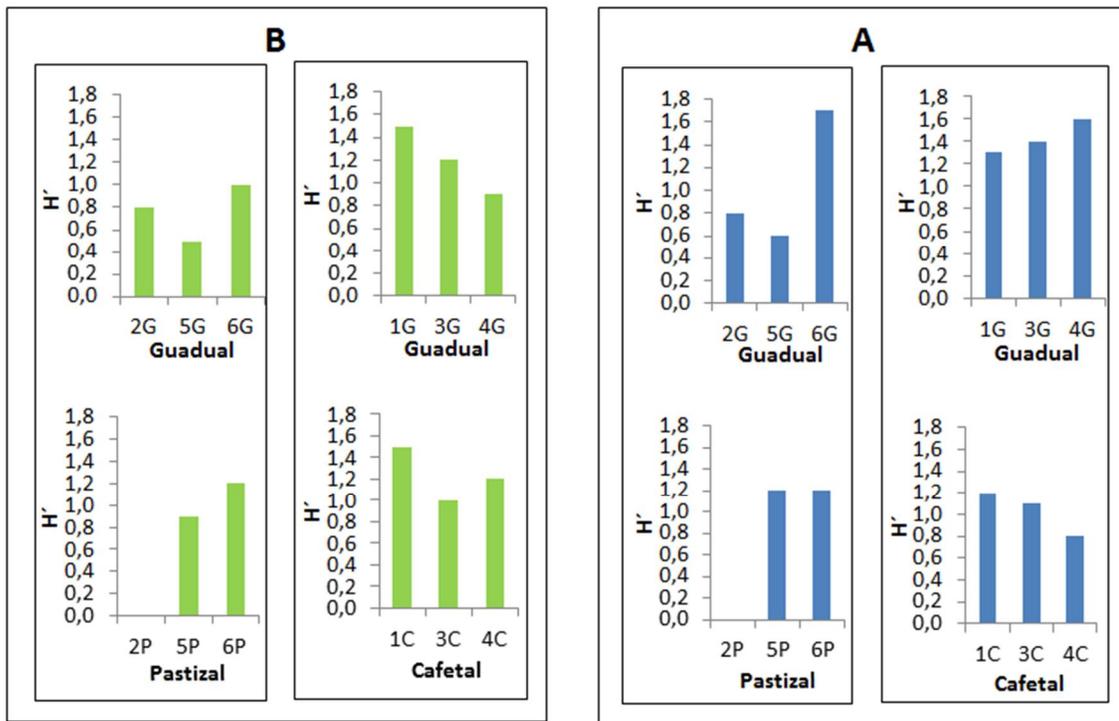


Figura 15. Valores de diversidad de la comunidad íctica en el periodo hidrológico de nivel de agua bajo (B) y nivel de agua alto (A), por tipo de cvr.

- **ANOVA.** Respecto a la prueba de Cochran (tabla 6), se encontró que los datos analizados presentaron homogeneidad de varianzas ($p > 0,05$). El análisis de varianza ANOVA de una vía evidenció que la estructura de la comunidad no presentó diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre los tipos de cvr estudiados, ni entre los periodos hidrológicos (tabla 6, figura 16).

Sin embargo, se observó que las variaciones entre los datos de los riachos con cvr guadual pastizal fue mucho mayor que las variaciones presentadas entre los datos de los riachos con cvr de guadual cafetal (tabla 6, figura 16). Así mismo se observó que los valores de riqueza, equidad y diversidad en las cvr de guadual pastizal fueron menores respecto a los valores de estos índices para las cvr de guadual cafetal. Por otra parte, como era lo esperado, la dominancia presentó un patrón inverso (figura 16).

Tabla 6. Pruebas de homogeneidad de varianzas y de significancia univariada para los índices ecológicos por tipo de cvr y por periodo hidrológico. R riqueza; H' diversidad; D' dominancia y J' equidad. SS suma de cuadrados; GL grados de libertad; MS media de cuadrados; F Estadístico F y p valor

Efecto	Índice ecológico	Prueba de homogeneidad de varianzas	Prueba de significancia univariada				
		p Cochran	SS	GL	MS	F	p
CVR: Guadual, pastizal. Época hidrológica: Nivel de agua bajo y alto.	R	0,44	0,08	1	0,08	0,03	0,87
	Error		24,67	8	3,08		
	H'	0,68	0,02	1	0,02	0,06	0,81
	Error		2,57	8	0,32		
	D'	0,83	0,00	1	0,00	0,02	0,91
	Error		0,74	8	0,09		
	J'	0,55	0,00	1	0,00	0,03	0,87
	Error		1,14	8	0,14		
CVR: Guadual, cafetal. Época hidrológica: Nivel de agua bajo y alto.	R	0,53	1,33	1	1,33	0,57	0,47
	Error		18,67	8	2,33		
	H'	0,91	0,13	1	0,13	2,39	0,16
	Error		0,43	8	0,05		
	D'	0,26	0,02	1	0,02	2,92	0,13
	Error		0,06	8	0,01		
	J'	0,36	0,02	1	0,02	1,91	0,20
	Error		0,08	8	0,01		

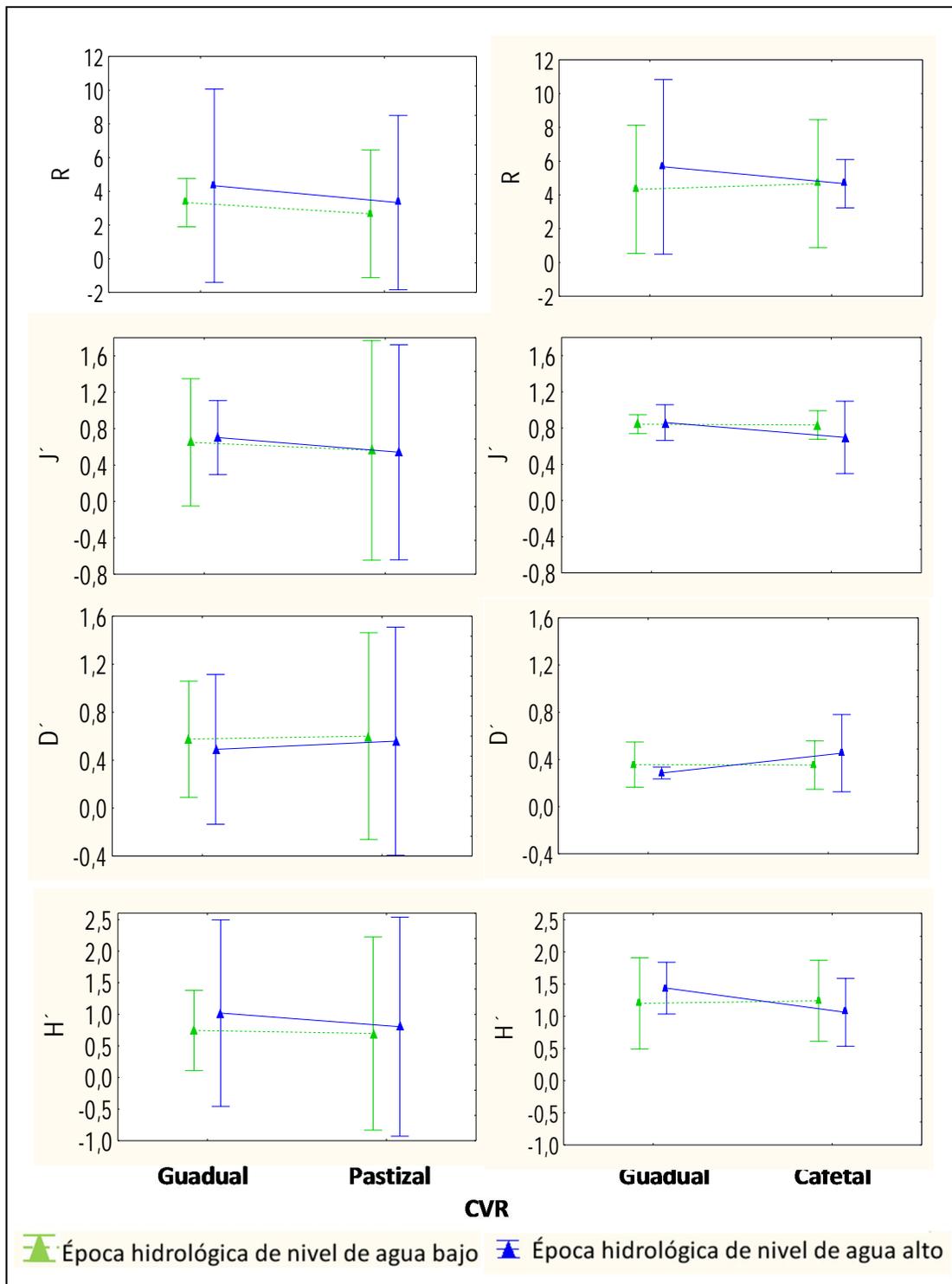


Figura 16. Análisis de varianza (ANOVA) factorial. Riqueza (R); equidad (J'); dominancia (D') y diversidad (H') para el periodo hidrológico de nivel de agua bajo y alto ; las barras verticales denotan los intervalos de confianza al 0,95

6.3.2 Análisis de la dieta de la comunidad de peces. De los 951 peces colectados, se examinaron 506 contenidos gastrointestinales, 241 pertenecientes al periodo hidrológico de nivel de agua bajo y 265 al periodo hidrológico de nivel de agua alto (tabla 7).

Tabla 7. Estómagos analizados por tipo de cvr y por periodo hidrológico

CVR	Época hidrológica baja						Época hidrológica alta					
	Guadual			Guadual			Guadual			Guadual		
	2G	5G	6G	1G	3G	4G	2G	5G	6G	1G	3G	4G
Riacho												
<i>A. aurocaudatus</i>				8	10				7	3	10	1
<i>B. henni</i>									10			3
<i>B. caucanus</i>	10	1	1	4		7	10	1	4			1
<i>H. boquiae</i>					6				10		10	
<i>A. caucanus</i>				2								
<i>A. grixalvii</i>					3				1		10	1
<i>C. boquillae</i>			1	2					0	1		1
<i>C. fischeri</i>									1			
<i>T. chapmani</i>	3	2	3	4	3	5	6	1	4	4	2	10
<i>P. caucana</i>		2										
<i>P. reticulata</i>	10	10		10			8	9		2	3	2
<i>P. caliensis</i>						1						3
CVR	Pastizal			Cafetal			Pastizal			Cafetal		
Riacho	2P	5P	6P	1C	3C	4C	2P	5P	6P	1C	3C	4C
<i>A. aurocaudatus</i>			1	10	8	6				1	10	
<i>B. henni</i>												5
<i>B. caucanus</i>		9		1		4		10	2			
<i>H. boquiae</i>					10	10			1		4	10
<i>A. caucanus</i>				1								1
<i>A. grixalvii</i>					5	8					9	9
<i>C. boquillae</i>			2	4				4		2		
<i>C. fischeri</i>										1		
<i>T. chapmani</i>			6	6		6			3	5	7	6
<i>P. caucana</i>		10							10			
<i>P. reticulata</i>	4	10	2	10			10	10	4	1	1	
<i>P. caliensis</i>												

- **Coefficiente de vacuidad.** Se encontró que en el periodo hidrológico de nivel de agua bajo fue mayor, donde se hallaron 17 estómagos vacíos, equivalentes al 7,1%; mientras que en el periodo hidrológico de nivel de agua alto se encontraron tan sólo 4 estómagos vacíos, equivalentes al 1,5%.
- **Origen del ítem alimentario y asignación de categorías tróficas.** En total se identificaron 65 ítems alimentarios, pertenecientes a 7 Filos, 23 órdenes y 49 familias. La mayoría de los ítems pudo ser identificada a nivel taxonómico de familia (anexo K); estos ítems fueron clasificados en cinco categorías: invertebrados de origen autóctono y de origen terrestre, material alóctono vegetal, detrito y algas (figura 17).
- **Índice de importancia alimentaria (IAI).** La estimación de éste índice por riacho y por periodo hidrológico, evidenció que existen diferencias en cuanto a la proporción consumida por categoría trófica, pero las tendencias en el consumo de categorías tróficas son similares por tipo de cvr de los riachos y por periodo hidrológico (figura 17).

En las cvr 2G, 5G y 6G los peces mostraron el mismo patrón de consumo, donde los invertebrados terrestres y material vegetal terrestre consumidos fueron menores en el periodo de nivel de agua bajo y fueron mayores en el periodo de nivel de agua alto; mientras que los invertebrados acuáticos, las algas y el detrito consumido presentaron el patrón inverso al descrito. Por otra parte, en los riachos 2P, 5P y 6P, la tendencia en la mayoría de los casos, fue un menor consumo de invertebrados terrestres y acuáticos en el periodo de nivel de agua bajo y un mayor consumo en el periodo de nivel de agua alto. Con respecto al consumo de material vegetal alóctono, algas y detrito se presentó un patrón inverso al descrito anteriormente. Fue notorio, que las algas fueron la categoría trófica menos consumida, presente solo en los riachos con cvr de pastizal 2G y 5P en el periodo hidrológico de aguas bajas (figura 17).

En las cvr 1G, 3G y 4G los peces mostraron el mismo patrón de consumo de categorías tróficas. En la mayoría de los casos, los invertebrados terrestres, acuáticos y material vegetal terrestre consumidos fueron menores en el periodo de nivel de agua bajo y mayores en el periodo de nivel de agua alto, mientras que el detrito presentó un patrón inverso al descrito. Por otra parte, en los riachos 1C, 3C y 4C, la tendencia en la mayoría de los casos, fue un menor consumo de invertebrados acuáticos y detrito en el periodo de nivel de agua bajo y un mayor consumo en el periodo de nivel de agua alto; con respecto al consumo de invertebrados terrestres y material vegetal alóctono, se presentó un patrón inverso al descrito (figura 17).

Se observó que los hábitos alimentarios parecen variar en función al tipo de cvr vecina, es decir, la comunidad íctica del guadual junto al pastizal presenta hábito alimentario dominante detritívoro; mientras que la comunidad íctica del guadual junto al cafetal presenta un hábito alimentario dominante invertívoro. Es decir, la oferta alimentaria de una determinada cvr, como es el caso del guadual parece cambiar en función de la cobertura vecina, como es el caso del pastizal o del cafetal (figura 17).

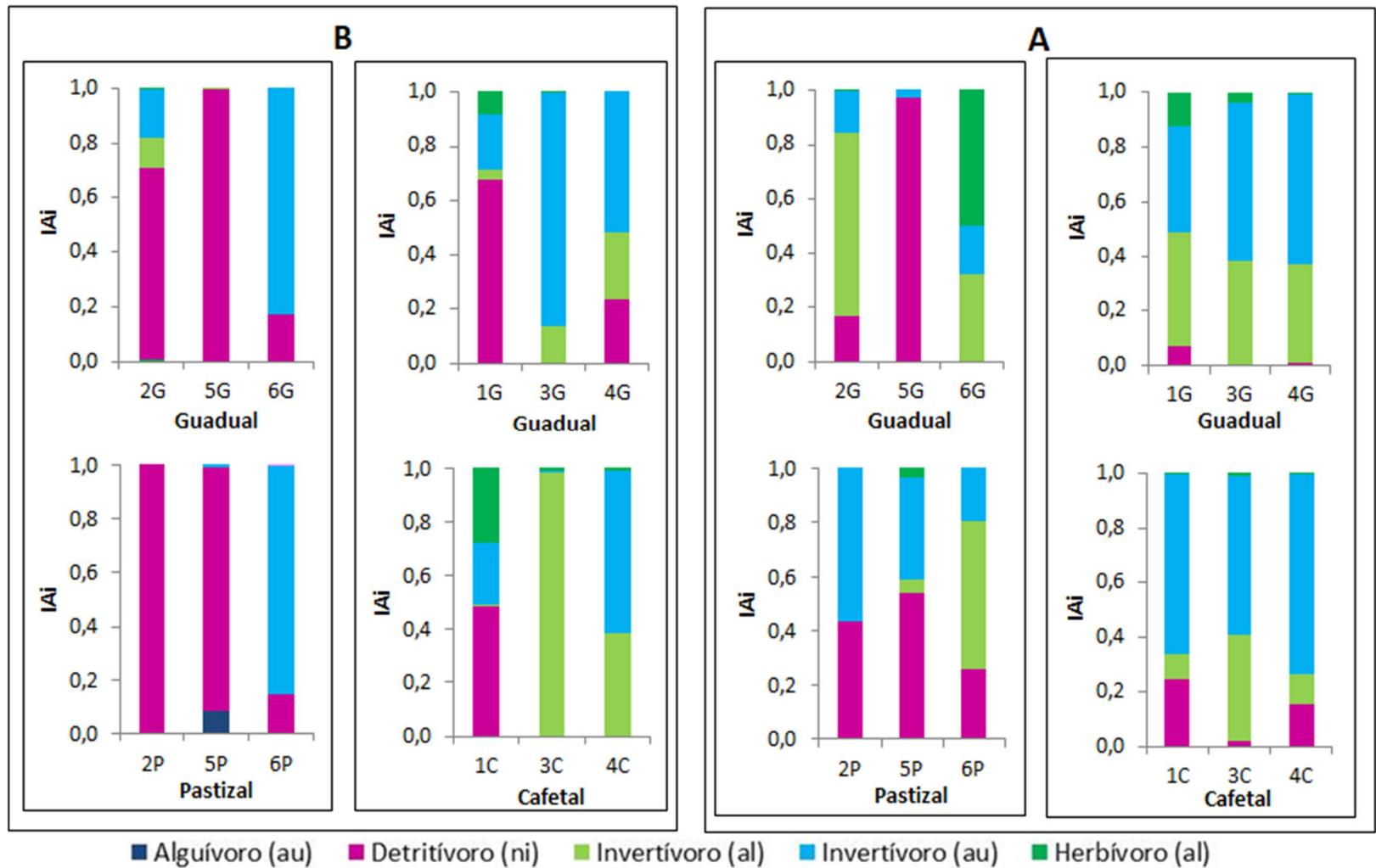


Figura 17. Índice de importancia alimentaria (IAi) de los peces por tipo de cvr para el periodo hidrológico de nivel de agua bajo (B) y alto (A). Los colores corresponden a los hábitos alimentarios de la comunidad íctica y la fuente de origen de los ítems consumidos: autóctona (au), alóctona (al) y no identificada (ni)

- **Análisis de regresión (a nivel de especie).** De 64 casos analizados (tablas 8 y 9), fue posible comparar 35, pues la composición íctica no fue siempre la misma en los dos periodos hidrológicos. Un caso hace referencia a la comparación del índice de importancia alimentaria (IAi) de una misma especie por tipo de cvr y por periodo hidrológico, por ejemplo, si una especie no estaba presente en un tipo de cvr en los dos periodos hidrológicos, no era posible realizar la comparación. El análisis de regresión (coeficiente de determinación r^2) evidenció que la mayoría de las especies mantuvo la misma dieta en los dos periodos hidrológicos, lo que indica semejanzas en el patrón de consumo. Así, 62,9 % de los casos analizados (22 casos de 35) presentaron un r^2 alto, mayor a 0,75 (tabla 8).

Por el contrario, 37,1% de los casos analizados (13 casos de 35) evidenciaron un cambio en el hábito alimentario de las especies, con un r^2 bajo, menor a 0,52, pues en el periodo hidrológico de nivel de agua alto se observó una tendencia hacia el consumo de material alóctono, constituido por material vegetal o invertebrados, únicamente en las cvr de gradual (2G, 6G, 1G, 3G y 4G); mientras que la tendencia en las cvr de cafetal (1C, 3C y 4C) fue el cambio de su hábito alimentario hacia el consumo de invertebrados de tipo autóctono (tabla 9).

Al comparar al interior de los riachos, es decir por tipo de cvr en el mismo riacho, en el periodo hidrológico de nivel de agua bajo, se observó que sólo *B. caucanus* cambió de hábito alimentario al interior de los riachos 1 y 5; en el riacho con cvr 1G fue invertívora terrestre, mientras que en 1C fue detritívora (tabla 8). De igual manera *B. caucanus* cambió de hábito alimentario, ya que fue invertívora terrestre en riacho con cvr 5G, mientras que en 5P fue alguívora (tabla 9).

Al comparar al interior de los riachos, es decir por tipo de cvr en el mismo riacho, en el periodo hidrológico de nivel de agua alto, se observó que sólo *T. chapmani* cambió de hábito alimentario al interior del riacho 5, pues en el riacho con cvr 5G fue detritívora, mientras que en 5P fue invertívora acuática (tabla 8).

Tabla 8. Análisis de regresión de las especies que no cambiaron de hábito alimentario. CVR cobertura vegetal riparia; N número de estómagos analizados; LT longitud total (mm); CT Categoría trófica; r^2 Coeficiente de determinación (Regresión) del índice de importancia alimentaria entre los periodos hidrológicos. Las especies resaltadas en negrita son aquellas que cambiaron de categoría trófica al interior del mismo riacho

CVR	ESPECIE	AGUAS BAJAS			AGUAS ALTAS			r^2
		N	LT (Min - Max)	CT	N	LT (Min - Max)	CT	
2G	<i>B. caucanus</i>	10	25,82 - 78,70	Invertívoro terrestre	10	21,82 - 71,00	Invertívoro terrestre	0,90
	<i>P. reticulata</i>	10	22,7 - 41,68	Detritívoro	8	23,00 - 37,22	Detritívoro	1,00
5G	<i>T. chapmani</i>	2	70,80 - 126,40	Detritívoro	1	48,52 - 48,52	Detritívoro	1,00
	<i>P. caucana</i>	2	21,00 - 24,92	Detritívoro				
	<i>P. reticulata</i>	10	13,3 - 24,00	Detritívoro	9	14,00 - 24,42	Detritívoro	1,00
5P	<i>C. boquillae</i>				4	38,62 - 56,42	Invertívoro acuático	
	<i>T. chapmani</i>				3	67,42 - 86,28	Invertívoro acuático	
	<i>P. caucana</i>	10	15,22 - 39,72	Detritívoro	10	16,00 - 44,32	Detritívoro	1,00
	<i>P. reticulata</i>	10	13,60 - 40,10	Detritívoro	10	15,00 - 40,42	Detritívoro	1,00
6G	<i>A. aurocaudatus</i>				7	39,00 - 60,00	Herbívoro terrestre	
	<i>B. henni</i>				10	51,62 - 230,92	Herbívoro terrestre	
	<i>H. boquiae</i>				10	53,00 - 94,62	Invertívoro terrestre	
	<i>A. grixalvii</i>				1	104,00 - 104,00	Invertívoro terrestre	
	<i>C. boquillae</i>	1	77,00 - 77,00	Invertívoro acuático				
	<i>C. fischeri</i>				1	52,00 - 52,00	Herbívoro terrestre	
	<i>T. chapmani</i>	3	53,40 - 94,40	Invertívoro acuático	4	66,00 - 101,82	Invertívoro acuático	1,00
6P	<i>A. aurocaudatus</i>	1	48,70 - 48,70	Invertívoro acuático				
	<i>B. caucanus</i>				2	48,22 - 70,00	Invertívoro terrestre	
	<i>H. boquiae</i>				1	51,78 - 51,78	Invertívoro terrestre	
	<i>C. boquillae</i>	2	56,76 - 59,52	Invertívoro acuático				
	<i>T. chapmani</i>	6	45,00 - 76,50	Invertívoro acuático	5	32,24 - 92,30	Invertívoro acuático	0,90
	<i>P. reticulata</i>	2	16,36 - 23,00	Detritívoro	4	21,52 - 44,44	Detritívoro	1,00
1G	<i>A. aurocaudatus</i>	8	32,00 - 52,92	Herbívoro terrestre	3	40,62 - 45,32	Herbívoro terrestre	0,83
	<i>B. caucanus</i>	4	41,70 - 71,00	Invertívoro terrestre				
	<i>A. caucanus</i>	2	56,58 - 56,58	Detritívoro				
	<i>C. boquillae</i>	2	59,30 - 68,00	Invertívoro acuático	1	49,84 - 49,84	Invertívoro acuático	0,98
	<i>P. reticulata</i>	10	19,00 - 31,70	Detritívoro	2	20,82 - 25,12	Detritívoro	0,76
1C	<i>A. aurocaudatus</i>	10	37,00 - 49,62	Herbívoro terrestre	1	40,00 - 40,00	Herbívoro terrestre	1,00
	<i>B. caucanus</i>	1	76,48 - 76,48	Detritívoro				
	<i>A. caucanus</i>	1	59,00 - 59,00	Detritívoro				
	<i>C. boquillae</i>	4	61,00 - 79,24	Invertívoro acuático	2	54,34 - 64,52	Invertívoro acuático	0,99
	<i>C. fischeri</i>				1	58,62 - 58,62	Detritívoro	
	<i>T. chapmani</i>	6	44,32 - 129,72	Invertívoro acuático	7	45,52 - 113,52	Invertívoro acuático	0,96
3G	<i>A. grixalvii</i>	3	109,26 - 117,94	Invertívoro acuático	10	24,82 - 91,18	Invertívoro acuático	0,86
	<i>T. chapmani</i>	3	26,50 - 101,00	Invertívoro acuático	2	73,72 - 91,42	Invertívoro acuático	1,00
	<i>P. reticulata</i>				3	21,52 - 42,00	Detritívoro	
3C	<i>A. aurocaudatus</i>	8	34,00 - 51,00	Invertívoro acuático	10	18,92 - 60,00	Invertívoro acuático	0,79
	<i>H. boquiae</i>	10	50,00 - 11,45	Invertívoro terrestre	4	64,22 - 81,92	Invertívoro terrestre	0,91
	<i>P. reticulata</i>				1	28,00 - 28,00	Detritívoro	
4G	<i>A. aurocaudatus</i>				1	45,82 - 45,82	Herbívoro terrestre	
	<i>B. henni</i>				3	77,82 - 85,62	Invertívoro terrestre	
	<i>A. grixalvii</i>				1	64,42 - 64,42	Invertívoro acuático	
	<i>C. boquillae</i>				1	53,82 - 53,82	Invertívoro acuático	
	<i>P. caliensis</i>	1	31,08 - 31,08	Detritívoro	3	27,00 - 32,56	Detritívoro	0,94
	<i>P. reticulata</i>				2	21,00 - 24,22	Detritívoro	
4C	<i>A. aurocaudatus</i>	6	32,80 - 55,18	Invertívoro acuático				
	<i>B. caucanus</i>	4	50,42 - 104,72	Invertívoro terrestre				
	<i>B. henni</i>				5	67,12 - 83,32	Invertívoro terrestre	
	<i>A. caucanus</i>				1	71,34 - 71,34	Detritívoro	
	<i>A. grixalvii</i>	8	41,00 - 91,20	Invertívoro acuático	9	30,22 - 92,54	Invertívoro acuático	1,00
	<i>T. chapmani</i>	6	44,62 - 93,44	Invertívoro acuático	6	27,78 - 73,54	Invertívoro acuático	0,75

Tabla 9. Análisis de regresión de las especies que si cambiaron de hábito alimentario. Número de estómagos analizados (N); LT longitud total (mm); Categoría trófica (CT); Regresión (Coeficiente de determinación r^2) del índice de importancia alimentaria (IAi) entre los periodos hidrológicos. Las especies resaltadas en negrita son aquellas que cambiaron de categoría trófica al interior del mismo riacho

CVR	ESPECIE	AGUAS BAJAS			AGUAS ALTAS			r^2
		N	LT (Min - Max)	CT	N	LT (Min - Max)	CT	
2G	<i>T. chapmani</i>	3	29,5 - 82,50	Invertívoro acuático	6	31,82 - 106,72	Invertívoro terrestre	0,08
2P	<i>P. reticulata</i>	4	23,64 - 28,32	Detritívoro	10	11,00 - 33,00	Invertívoro acuático	0,22
5G	<i>B. caucanus</i>	1	38,90 - 38,90	Invertívoro terrestre	1	48,42 - 48,42	Detritívoro	0,06
5P	<i>B. caucanus</i>	9	47,80 - 74,00	Alguívoro	10	30,26 - 91,00	Detritívoro	0,03
6G	<i>B. caucanus</i>	1	68,50 - 68,50	Detritívoro	4	54,60 - 80,00	Invertívoro terrestre	0,13
1G	<i>T. chapmani</i>	4	40-50 - 92,00	Invertívoro acuático	4	26,22 - 136,00	Invertívoro terrestre	0,03
1C	<i>P. reticulata</i>	10	25,74 - 35,32	Detritívoro	1	20,00 - 20,00	Invertívoro acuático	0,06
3G	<i>A. aurocaudatus</i>	10	20,28 - 59,82	Invertívoro acuático	10	27,42 - 63,84	Herbívoro terrestre	0,10
	<i>H. boquiae</i>	6	50,9 - 60,50	Invertívoro acuático	10	54,82 - 91,82	Invertívoro terrestre	0,20
3C	<i>A. grivalvii</i>	5	44,22 - 88,00	Invertívoro terrestre	9	39,92 - 139,00	Invertívoro acuático	0,05
	<i>B. caucanus</i>	7	21,28 - 56,20	Invertívoro acuático	1	69,00 - 69,00	Invertívoro terrestre	0,05
4G	<i>T. chapmani</i>	5	17,30, 45,00	Invertívoro acuático y Detritívoro	10	40,00 - 123,22	Invertívoro acuático	0,35
4C	<i>H. boquiae</i>	10	43,42 - 104,72	Invertívoro terrestre	10	45,22 - 104,24	Invertívoro terrestre y acuático	0,52

- **Análisis de Correspondencia Canónica (a nivel de comunidad).** El ACC evidenció que existe una variación del hábito alimentario de la comunidad de peces según el tipo de cvr en los dos periodos hidrológicos. En el periodo hidrológico bajo, de los 12 riachos estudiados, 8 (66,6%) presentaron un comportamiento alimentario diferente; mientras que en la época hidrológica alta, de los 12 riachos estudiados 10 (83,3%) presentaron un comportamiento alimentario diferente.

A través del ACC se evidenció que en el periodo hidrológico de aguas bajas, existe una relación entre las especies, su dieta, y la cvr; esto muestra que la variabilidad de los datos es explicada en un 72,23% (tabla 10, figura 18). De igual manera, se evidenció que en la cvr en el periodo hidrológico de aguas altas, existe una relación entre las especies, su dieta y la cvr; pues la variabilidad de los datos es explicada en un 83,74% (tabla 10, figura 19).

En el periodo hidrológico de nivel de agua bajo se observó la conformación de tres agrupaciones: i) el grupo constituido por la comunidad de peces de los riachos 6G, 6P, 3G y 4C, la cual en su mayoría consumió principalmente invertebrados acuáticos; ii) el grupo constituido por la comunidad de peces de los riachos 2P, 5P, 1G y 4G, la cual en su mayoría consumió principalmente detrito y iii) el grupo constituido por la comunidad de peces de los riachos 5G y

3C, la cual en su mayoría consumió principalmente invertebrados terrestres (figura 18).

Por otra parte, en el periodo hidrológico de nivel de agua alto se observó la conformación de tres agrupaciones: i) el grupo constituido por la comunidad de peces de los riachos 5P, 1C, 3C, 3G, 4C y 4G la cual en su mayoría consumió principalmente invertebrados acuáticos; ii) el grupo constituido por la comunidad de peces de los riachos 5G y 2P, la cual en su mayoría consumió principalmente detrito y iii) el grupo constituido por la comunidad de peces de los riachos 2P y 6P, la cual en su mayoría consumió principalmente invertebrados terrestres (figura 19).

Tabla 10. Convenciones y códigos asignados a los riachos y cvr; especies y categorías tróficas para el Análisis de Correspondencia Canónico

Δ Riacho y cvr	◇ Especies	○ Categorías tróficas
1G: Santa Bárbara, Guadual	Aa: <i>Astyanax aurocaudatus</i>	ALG: Algas
1C: Santa Bárbara, Cafetal	Bc: <i>Bryconamericus caucanus</i>	DET: Detrito
2G: Tierra Labrantía, Guadual	Bh: <i>Brycon henni</i>	INA: Invertebrados acuáticos
2P: Tierra Labrantía, Pastizal	Hb: <i>Hemibrycon boquiae</i>	INT: Invertebrados terrestres
3G: La Sonora, Guadual	Ac: <i>Ancistrus caucanus</i>	MAV: Material Vegetal
3C: La Sonora, Cafetal	Ag: <i>Astroblepus grixalvii</i>	
4G: El Descanso, Guadual	Cb: <i>Cetopsorhamdia boquillae</i>	
4C: El Descanso, Cafetal	Cl: <i>Chaetostoma leucomelas</i>	
5G: El Porvenir, Guadual	Tc: <i>Trichomycterus chapmani</i>	
5P: El Porvenir, Pastizal	Pc: <i>Poecilia caucana</i>	
6G: La Comarca, Guadual	Prc: <i>Priapichthys caliensis</i>	
6P: La Comarca, Pastizal	Pr: <i>Poecilia reticulata</i>	

Además de las agrupaciones observadas (figuras 18 y 19) en el ACC, se evidencian gradientes tróficos. En el periodo hidrológico bajo se observan dos gradientes: i) un gradiente que inicia desde los hábitos invertívoros terrestres en las cvr de guadual y cafetal hasta los hábitos alguívoros en los pastizales y ii) un gradiente que inicia desde los invertívoros terrestres hasta los invertívoros acuáticos asociados a las cvr de guadual y de cafetal (figura 18).

Por otra parte, en el periodo hidrológico alto se observa un gradiente trófico que inicia desde las comunidades de hábito detritívoro hasta los invertívoros y herbívoros alóctonos (figura 19)

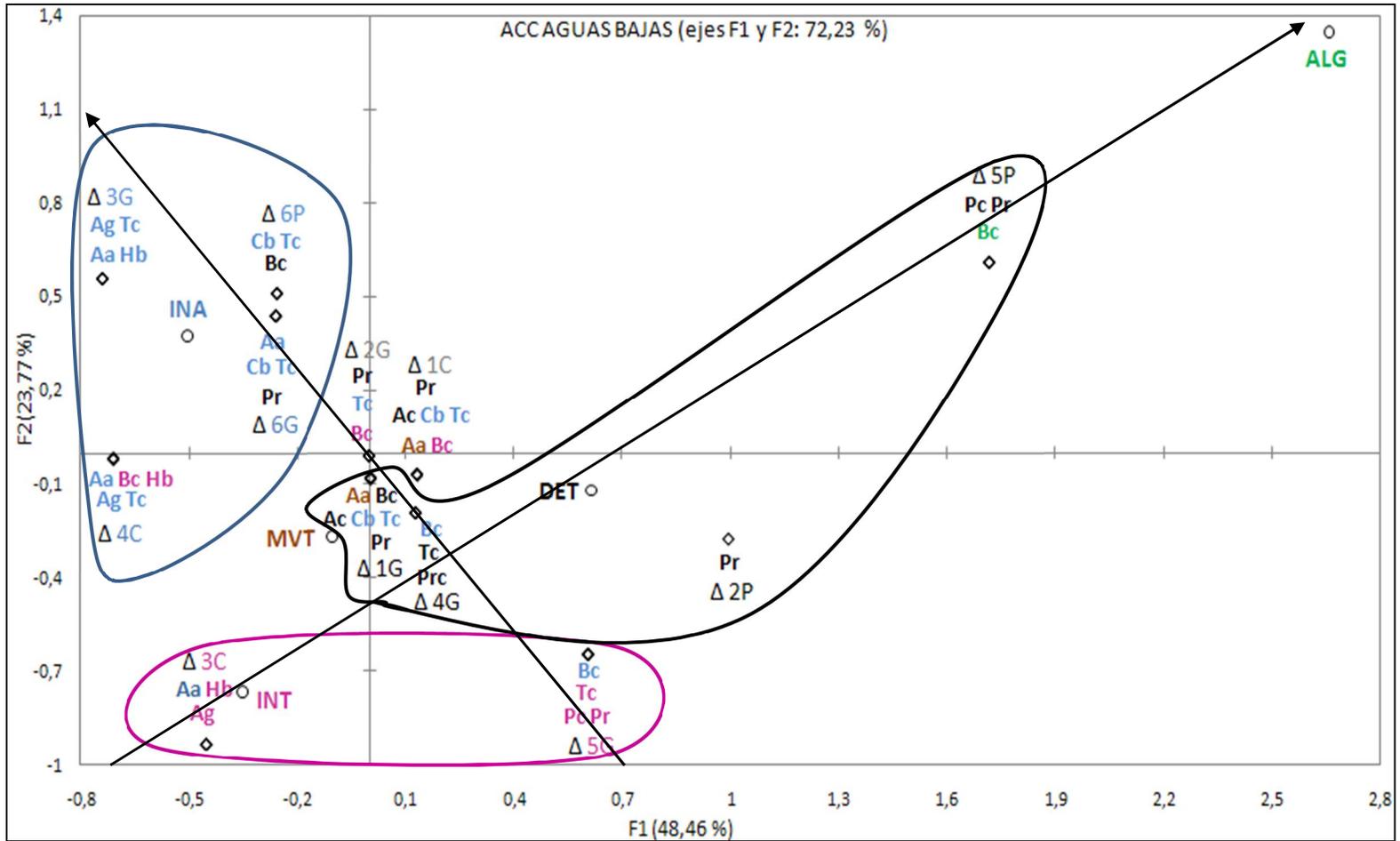


Figura 18. Análisis de Correspondencia Canónica de las cvr, las especies y las categorías tróficas para el periodo hidrológico de nivel de agua bajo. Los colores de las especies y las cvr indican la categoría trófica principal.

6.4 Discusión

6.4.1 Descripción de la estructura de la comunidad de peces. A pesar de observar diferencias matemáticas en los índices ecológicos, no se hallaron diferencias significativas en ninguno de estos índices cuando fueron comparados entre tipos de cvr o entre periodos hidrológicos (tabla 6, figura 11). Esto indica que la variación dentro de los tipos de cvr y dentro de los periodos hidrológicos es mayor que entre éstos. Por este motivo, las interpretaciones de los resultados se realizarán en función de la tendencia matemática observada en cada índice por tipo de cobertura y por periodo hidrológico.

- **Abundancia.** La especie más abundante fue la especie introducida *P. reticulata*; los mayores valores de abundancia se encontraron en las cvr guadual (2G y 5G) y pastizal (2P, 5G) en los dos periodos hidrológicos.

P. reticulata presenta reproducción ovovivípara, por lo cual invierte más en reproducción que en crecimiento, para poder compensar la competencia interespecífica y las presiones que se presentan en ambientes fluctuantes (Reznick y Endler 1982). Los guaduales de la zona andina colombiana se encuentran muy intervenidos debido al aprovechamiento no técnico, lo cual afecta su acción reguladora y el efecto de equilibrio ecológico (Giraldo y Sabogal 1999). Por otra parte, los pastizales son ecosistemas dinámicos debido a que están expuestos a diferentes perturbaciones como la sequía, quema y herbivoría (Rebollo y Gómez 2003). Probablemente, en las cvr de guadual y de pastizal existe un ambiente más fluctuante y por ende allí se presentan las más altas abundancias de *P. reticulata*.

- **Riqueza.** La ictiofauna de peces tropicales de alta montaña no es muy rica; en los Andes de América del Sur es común la presencia de bagres bentónicos insectívoros de los géneros *Astroblepus* y *Trichomycterus* (Jacobsen 2008). Para Colombia se ha reportado que la riqueza íctica disminuye rápidamente en sentido altitudinal; si en el piedemonte orinoquense a 400 m de altitud hay aproximadamente 100 especies de peces, a una altitud de 1000 m no hay más de 15 especies (Maldonado-Ocampo *et al.* 2005). De las 12 especies colectadas en los riachos estudiados, 11 representan el 16,2% de las especies nativas y una especie (*P. reticulata*) representa el 6,7% de las especies introducidas de la ictiofauna registrada por Ortega-Lara *et al.* (2006), para la cuenca del alto Cauca.

Por tanto, el valor de riqueza íctica encontrado en los riachos estudiados (12 especies), es un valor alto, pues corresponde a una gran proporción de la ictiofauna reportada para la cuenca del Río La Vieja, por tanto el número de especies encontradas es representativo si se tiene en cuenta el orden de

magnitud de las corrientes muestreadas. Los ambientes acuáticos muestreados son muy valiosos ya que estos alojan una riqueza íctica alta.

- **Equidad.** Las comunidades que presentaron una distribución de abundancias más uniforme, es decir, con valores de equidad altos, generalmente fueron aquellas encontradas en los riachos 1G, 1C, 3G, 3C, 4G y 4C, es decir los riachos con tipo de cvr de gradual cafetal. Los valores más altos de equidad se asocian a las cvr gradual cafetal, pues estos ambientes al presentar una cvr de tipo arborescente y arbórea ofrecen un ambiente menos hostil por lo cual la distribución de las abundancias de las especies es más equitativa.

Sin embargo, en el riacho 5P en el periodo hidrológico alto también se presentó un valor alto de equidad. En este lugar, el pastizal ha tenido más tiempo de desarrollo representado por su altura, la cual era de más de 1 m. Esto igualmente ha permitido el establecimiento de una comunidad de peces en donde la distribución de las abundancias de las especies es más equitativa.

Los menores valores, se asociaron a las comunidades ícticas de los riachos con cvr de pastizal, ya que estos se caracterizaron por presentar una o dos especies altamente dominantes del orden Cyprinodontiformes, el cual según Pinto *et al.* (2006) se asocia a riachos con escasa cvr.

- **Dominancia.** Los valores más altos de dominancia en los dos periodos hidrológicos se presentaron en los riachos 2G (0,5/0,6); 5G (0,8/0,7) y 2P (1/1), donde la especie dominante fue *P. reticulata*. El orden de los Cyprinodontiformes del grupo Atherinomorpha es uno de los más exitosos en los hábitats dulceacuícolas debido a que muestra una alta tolerancia a condiciones extremas (Helfman *et al.* 1997); es probable que *P. reticulata* predomine en ecosistemas fluctuantes como lo son el gradual y el pastizal.

Por el contrario, en los riachos 1G, 1C, 3G, 3C, 4G y 4C, los valores de dominancia variaron muy poco y siempre fueron bajos en los dos periodos hidrológicos.

- **Diversidad.** Los riachos 2G, 2P, 5G, 5P, 6G y 6P, presentaron los menores valores de diversidad, mientras que en los riachos con cvr de gradual cafetal dichos valores aumentaron; esto corrobora la teoría del río como un continuo, que postula que los riachos son influenciados por la cvr (de tipo arbustivo), la cual contribuye con recursos de origen alóctono y genera una mayor oferta de hábitats (Vannote *et al.* 1980); probablemente, en los riachos con cvr de gradual cafetal la diversidad sea mayor por la oferta de los recursos que ofrecen este tipo de ambientes.

Por otra parte, los registros de diversidad varían de acuerdo a las condiciones ambientales (Thioulouse y Chessel 1992); las variaciones del índice de diversidad pueden reflejar diferencias en la complejidad del hábitat ofertado (Lasso 1992). Estas afirmaciones podrían explicar los patrones evidenciados, ya que se encontraron variaciones en los valores del índice de diversidad de acuerdo al tipo de cvr en los dos periodos hidrológicos.

6.4.2 Análisis de la dieta de la comunidad de peces. Las especies no son piezas de una máquina con propiedades constantes o fijas, más bien, las especies responden de manera diferente en diferentes lugares o momentos a los retos de la supervivencia (Margalef 2002). La mayoría de peces tropicales usualmente no muestra especializaciones tróficas, sino que cambian a menudo su dieta, así como sus biotopos, de acuerdo con la fluctuación de las estaciones (Lowe-McConnell 1987); de acuerdo a esto se espera encontrar variaciones respecto a la composición y proporción del consumo de ítems alimentarios.

- **Coefficiente de vacuidad.** Los periodos hidrológicos influyen la disponibilidad de los recursos en los ecosistemas acuáticos, donde la mayor oferta de recursos ocurre durante el periodo de nivel de aguas altas por la acción del incremento en el nivel de las aguas y por la escorrentía, lo cual incrementa la oferta de recursos alóctonos en los ríos (Junk *et al.* 1985 y 1989); esto coincide con el coeficiente de vacuidad estimado, pues hubo un mayor porcentaje en el periodo hidrológico de aguas bajas que en el de aguas altas.
- **Índice de importancia alimentaria (IA).** El ítem alimentario de menor consumo fue el alga *Spirogyra*; este ítem solo fue encontrado en los peces colectados en los riachos 2G y 5P. Es probable que la penetración de la luz sobre estos riachos es mayor que en el resto y por tanto la oferta de este recurso se a mayor. Según Davies *et al.* (2008), los requerimientos de luz óptima varían en las plantas acuáticas, de esta manera la intensidad lumínica es un factor determinante en la composición de las comunidades algales. Tal es el caso de *Spirogyra*, un alga incapaz de tolerar condiciones de poca luz.

La mayoría de especies analizadas consumieron una cantidad menor de ítems en la periodo hidrológico de nivel de agua bajo, mientras que durante el periodo hidrológico de nivel de agua alto hubo un mayor consumo de ítems. Este patrón coincide con la hipótesis planteada por Winemiller *et al.* (2008), la cual explica que los peces de riachos tropicales presentan una menor amplitud de su dieta durante el periodo hidrológico bajo como consecuencia de una menor disponibilidad de recursos; mientras que durante la estación húmeda hay un aumento en la amplitud de su dieta ya que hay una mayor abundancia de recursos que pueden ser explotados.

En este estudio se encontró que durante el periodo hidrológico bajo los peces presentaron hábitos alimentarios, en orden de importancia, de tipo: invertívoro acuático, detritívoro, invertívoro terrestre y herbívoro terrestre. Según Winemiller *et al.* (2008) en el trópico, los peces de riachos parecen haber tomado, en términos evolutivos, algunos de los nichos espaciales ocupados por los invertebrados acuáticos en las regiones templadas, pues se ha documentado que los peces con hábito alimentario detritívoro y herbívoro son más comunes y diversos en los trópicos. En el presente estudio se observó el patrón descrito anteriormente, pues se hallaron peces que presentaron estos hábitos alimentarios. Durante el periodo hidrológico bajo se hallaron seis especies detritívoras: *P. reticulata*, *T. chapmani*, *P. caucana*, *A. caucanus*, *B. caucanus* y *P. caliensis* y una herbívora: *A. aurocaudatus*. En el periodo hidrológico alto se hallaron siete especies detritívoras: *P. reticulata*, *T. chapmani*, *P. caucana*, *A. caucanus*, *B. caucanus*, *C. fischeri* y *P. caliensis* y tres herbívoras: *A. aurocaudatus*, *B. henni* y *C. fischeri*.

También se encontró que *B. henni* presentó hábitos herbívoros terrestres e invertívoros terrestres. Según Winemiller *et al.* (2008), el género *Brycon* consume tejidos de flores, frutos y semillas de plantas terrestres gracias a su dentadura especializada para triturar, pero también consume invertebrados, lo cual depende de la temporada y del hábitat en el que se encuentre.

- **Análisis de regresión (a nivel de especie).** Los resultados obtenidos con el análisis de regresión sugieren que en la mayoría de las especies no presentan un cambio de hábito alimentario, a pesar de la reconocida plasticidad trófica de la ictiofauna tropical reportada por Lowe-McConnell (1975) y Abelha *et al.* (2001).

El análisis realizado a nivel de especies evidenció que la mayoría de las especies de las comunidades ícticas conservaron su hábito alimentario sin importar el periodo hidrológico, lo cual podría deberse a dos situaciones: i) el ambiente ofrece los mismos recursos en los dos periodos hidrológicos o ii) el ambiente a pesar de ofrecer diferentes recursos, aún ofrece, así sea en menor cantidad, el alimento preferido por las especies.

Es probable que los peces estudiados presenten un comportamiento especializado, que les impida alterar sus hábitos alimentarios, tal como lo sugieren Agostinho *et al.* (2009), en el estudio realizado sobre las alteraciones en la disponibilidad de recursos alimentarios en la dieta de una comunidad íctica del río Tocantins (Brasil). El objetivo de dicho estudio fue dimensionar el impacto del represamiento sobre la calidad del ambiente disponible de los peces, a través del análisis de contenidos estomacales, por lo que se cuantificaron las alteraciones de la dieta de las especies en dos fases: sin el

represamiento y después del represamiento y se encontró que la mayoría de las especies se ajustaron a las nuevas condiciones ya que conservaron su dieta.

Respecto a los peces que sí cambiaron de hábito alimentario de acuerdo al periodo hidrológico, posiblemente éstos presentan una elevada plasticidad trófica, que les permite escoger los recursos momentáneamente abundantes, como lo señalan Agostinho *et al.* (2009).

- **Análisis de Correspondencia Canónica (a nivel de comunidad).** Las agrupaciones dadas y los gradientes tróficos observados en los dos periodos hidrológicos confirman los datos obtenidos a partir de los índices alimentarios. Este análisis corrobora que los hábitos alimentarios de los peces y la fuente de los ítems consumidos se relacionan con el tipo de cvr, por lo que es común la presencia de ítems alimentarios que proceden desde el sistema terrestre en sitios donde la vegetación es de tipo arbustiva, como es el caso de los riachos 3C y 5G en el periodo hidrológico de aguas bajas.

Por otra parte, en sitios donde la vegetación riparia es de tipo herbácea predominan las fuentes autóctonas; aunque se encontró que en el periodo hidrológico de nivel de agua alto en los riachos 2G y 2P predominó el hábito alimentario invertívoro terrestre. Según Winemiller *et al.* (2008), es común que los peces de riachos tropicales consuman invertebrados terrestres, pues los recursos alóctonos cobran mayor importancia allí; esto además puede ser sustentado a la luz de la teoría del pulso inundación (Junk *et al.* 1985 y 1989), ya que durante las aguas altas hay un incremento de las fuentes autóctonas en el medio acuático.

Los invertebrados acuáticos fueron el ítem más consumido y esto coincide con lo reportado por Winemiller *et al.* (2008), quienes sugieren que estos ítems son importantes fuentes alimentarias para los peces de riachos tropicales.

Finalmente, es importante resaltar que los resultados del análisis de regresión a nivel de especie no contradicen los resultados obtenidos del Análisis de Correspondencia Canónica a nivel de comunidad; pues se debe tener en cuenta que son dos escalas de análisis diferente. El análisis realizado a nivel de comunidad (ACC), refleja la tendencia, es decir representa un patrón de los hábitos alimentarios predominantes de la mayoría de las especies para una comunidad en particular y por ende este enfoque es el que se elige para el estudio de la hipótesis planteada H₃

6.5 Conclusiones

De acuerdo con el análisis de los resultados obtenidos en este estudio y la discusión realizada a la luz de las teorías ecológicas de la dinámica de los ríos y la biología de las especies, se puede concluir que:

6.5.1 Descripción de la estructura de la comunidad de peces

- Se rechaza la hipótesis H_2 planteada, pues las diferencias matemáticas observadas en la estructura de la comunidad no fueron estadísticamente significativas en ninguno de los índices ecológicos estimados entre los diferentes tipos de cvr, ni entre los periodos hidrológicos, esto indica que la variación dentro de los riachos fue mayor que entre éstos.
- La abundancia de las especies puede estar influenciada por el tipo de cvr.
- Los valores de riqueza íctica encontrados en los riachos altoandinos estudiados están dentro de lo esperado.
- Los valores de equidad más altos se presentaron en los riachos con cvr de guadal y de cafetal: 1G, 1C, 3G, 3C, 4G Y 4C en los dos periodos hidrológicos.
- Los valores de dominancia más altos se presentaron en los riachos con cvr guadal pastizal en los dos periodos hidrológicos. Fue notorio que en las cvr de tipo herbáceo hay una tendencia a que las especies introducidas sean las dominantes, como es el caso de *P. reticulata*.
- Los valores de diversidad más altos se presentaron en los riachos con cvr guadal cafetal en los dos periodos hidrológicos.
- Si la composición íctica está relacionada con el tipo de cvr, se debería incentivar la protección de las cvr procurando que en las laderas de los ríos predomine la vegetación de tipo arbustivo y arborescente, la cual favorece el número de especies integrantes de la comunidad y a su vez incrementa los valores de equidad y diversidad pues estos ambientes facilitan su establecimiento y una distribución de abundancias más equitativa.

6.5.2 Análisis de la dieta de la comunidad de peces

- No se rechaza la hipótesis planteada H_3 , teniendo en cuenta el análisis realizado a nivel de comunidad (ACC), pues se observaron variaciones en la dieta de acuerdo al tipo de cvr y de acuerdo al periodo hidrológico.
- La mayoría de las especies presentó un hábito alimentario de tipo invertívoro y detritívoro.
- El coeficiente de vacuidad es afectado por los periodos hidrológicos ya que éstos influyen la disponibilidad de recursos en el medio acuático.
- La mayoría de los peces presentaron hábitos alimentarios de tipo invertívoro acuático o terrestre.
- De acuerdo con el análisis de regresión a nivel de especie, en la mayoría de las especies no se evidencian cambios en sus hábitos alimentarios de acuerdo al tipo de cvr y de acuerdo al periodo hidrológico, pues a pesar de consumir en diferentes cantidades los recursos, conservaron su hábito alimentario.
- De acuerdo con el análisis a nivel de comunidad (ACC), la mayoría de las comunidades ícticas cambiaron de hábito alimentario de acuerdo al tipo de cvr y al periodo hidrológico.
- Probablemente, las cvr vecinas afectan la dieta de la comunidad íctica, pues se encontraron diferencias de los hábitos alimentarios del guadual junto al pastizal, respecto a lo encontrado en el guadual junto al cafetal.

7. SÍNTESIS GENERAL

Este último capítulo muestra de manera integrada los resultados globales de los artículos presentados en los capítulos 5 y 6, las nuevas hipótesis que surgieron con el análisis de los datos obtenidos y las proyecciones a futuro.

a) Resultados globales.

Se corrobora que tanto la teoría del río como un continuo como la del pulso inundación son aplicables para el entendimiento de la dinámica ecológica de las comunidades ícticas de riachos altoandinos tropicales.

Se comprueba que la comunidad de peces de los riachos estudiados responde más en función del tipo de cvr que en función del sistema productivo.

En cuanto a la composición íctica se observó que existió variación en la mayoría de los casos por tipo de cvr y por periodo hidrológico, por tanto no se puede afirmar categóricamente que no se rechaza la hipótesis H_1 , es decir, que la composición íctica cambia de acuerdo al tipo de cvr y al periodo hidrológico.

Por otra parte, se evidenció que a pesar de que se observaron diferencias matemáticas en todos los índices de estructura, no existieron diferencias estadísticas significativas en ninguno de los índices ecológicos estimados: riqueza, equidad, diversidad y dominancia de acuerdo al tipo de cvr y al periodo hidrológico, por tanto se rechaza la hipótesis H_2 , es decir, la estructura de la comunidad íctica no cambia de acuerdo al tipo de cvr ni al periodo hidrológico.

Respecto a la dieta de la comunidad se encontró que en la mayoría de las comunidades existen cambios de hábito alimentario, por lo cual no se rechaza la hipótesis H_3 , es decir, la dieta de la comunidad íctica cambia de acuerdo al tipo de cvr ni al periodo hidrológico.

En todos los atributos de la comunidad íctica, tales como composición, estructura y dieta se observó que probablemente las cvr vecinas ejercen un efecto sobre estos.

b) Nuevas hipótesis.

- **H₄:** La composición de la comunidad íctica cambia de acuerdo al tipo de cvr vecina.
- **H₅:** La estructura de la comunidad íctica cambia de acuerdo al tipo de cvr vecina.
- **H₆:** La dieta de la comunidad íctica cambia de acuerdo al tipo de cvr vecina.

c) Recomendaciones.

- Se recomiendan realizar estudios complementarios sobre la oferta alimentaria para compararlos con los estudios de dieta para tener una idea más aproximada a la realidad sobre la explotación de los recursos.
- Ya que los riachos estudiados se encuentran en una región altamente transformada, se recomienda monitorear las comunidades ícticas de los riachos para así poder corroborar las relaciones encontradas a una escala multianual.

BIBLIOGRAFÍA

Abelha MDF, Agostinho AA y Goulart E. Plasticidade trófica em peixes de água doce. *Acta Scientiarum*. 2001; 23(2): 425-434.

Abes SS, Agostinho AA, Okada EK y Gomes LC. Diet of *Iheringichthys labrosus* (Pimelodidae, Siluriformes) in the Itaipu Reservoir, Paraná River, Brazil-Paraguay. *Braz. arch. biol. technol.* 2001; 44(1): 101-105.

Agostinho CS, Pelicice FM, Marques EE. Reservatório de Peixe Angical: bases ecológicas para o manejo da ictiofauna. São Carlos: Rima. 2009. 188 p.

Alberico M. La medición de diversidad biológica. *Cespedesia suplemento*. 1982; 3(41-42): 21-29.

Amaya H, Bedoya L, Herrera G, Ospina G, Salazar T, Rodríguez A, Gaviria C, Montealegre J, Bernal M, Valencia M, Sánchez R. Plan de ordenamiento territorial de la Cuenca del Río La Vieja. 2005. 197 p.

Angermeier PL y Karr JR. Fish communities along environmental gradients in a system of tropical streams. *Env. Biol. Fish.* 1983; 9(2): 117-135.

Barbour MT, Plafkin JL, Bradley BP, Graves CG y Wiseman RW. Evaluation of the EPA's rapid bio assessment benthic metrics: Metric redundancy and variability among reference stream sites. *Environ. Toxicol. Chem.* 1992; 1(4): 437-449.

Bayley P. Understanding Large River-Floodplain Ecosystems. *Biosc.* 1995; 45(3): 154.

Begon M, Townsend CR y Harper JL. Ecology: From individuals to ecosystems. Cuarta Edición. Blackwell Publishing. USA. 2006. 469-470.

Bejarano I, Blanco MDP y Mojica JI. La Comunidad íctica del río Mesay durante el periodo de aguas altas (Caquetá, Amazonía Colombiana). *Caldasia*. 2006; 28(2): 359-370.

Bierregaard R, Lovejoy T, Kapos V, Dos Santos A y Hutchings R. The Biological Dynamics of Tropical Rainforest Fragments. *Bioscience*. 1992; 42(11): 859-866.

Biowest. Diamond Fork and Sixth Water Creeks Riparian Vegetation and Ute Ladies'-tresses 2006 Monitoring Report. USA. 2008. 192 p.

Bó RF, Malvárez AI. Las inundaciones y la biodiversidad en humedales. Un análisis del efecto de eventos extremos sobre la fauna silvestre. En Malvárez, A.I.

(Ed): Tópicos sobre humedales subtropicales y templados de Sudamérica. Oficina Regional de Ciencia y Técnica para América Latina y el Caribe (ORCyT) MAB/UNESCO. Montevideo, Uruguay. 1999. 147-168.

Borror D, Triplehorn C y Johnson N. An introduction to the study of insects. Sixth Edition. Florida, New York: Saunders College Publishing. 1992. 876 p.

Boulton AJ , Boyero L, Covich AP, Dobson M, Lake S y Pearson R. Are Tropical Streams Ecologically Different from Temperate Streams? En: Dudgeon D. (Ed). Tropical Stream Ecology. Elsevier. San Diego. 2008. 257-284.

Bray JR, Curtis JT. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecol. Monogr.* 1957; (27): 325-349.

Briñez-Vásquez GN. Distribución altitudinal, diversidad y algunos aspectos ecológicos de la familia Astroblepidae (Pisces: Siluriformes) en la cuenca del río Coello (Tolima). Trabajo de Grado. Programa de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad del Tolima. Ibagué, Colombia. 2004. 134 p.

Cala P. Diversidad, adaptaciones ecológicas y distribución geográfica de las familias de peces de agua dulce de Colombia. 1990; 17(67): 726-739.

Cala P. La ictiofauna dulceacuícola de Colombia: Una visión histórica y su estado actual. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 1987; 16(62): 69-84.

Cardona M, Román-Valencia C, Jiménez JL y Hurtado H. Composición y diversidad de los peces de la quebrada San Pablo Alto Cauca, Colombia. *Bol. Ecotropica Ecosistemas Trop.* 1998; (32): 11-24.

Chará JD, Baird D, Telfer T. Effects of land use on biotic and abiotic aspects of low-order streams of the Colombian Andes. *Bulletin of the North American Benthological Society.* 2004; 21(1): 268.

Chará JD, Pedraza G, Giraldo L e Hincapié D. Efecto de los corredores ribereños sobre el estado de quebradas en la zona ganadera del río La Vieja, Colombia. *Agroforestería en las Américas.* 2007; 45: 72-78.

Chará JD. Interactions between biodiversity and land use in low-order stream catchments of the Colombian Andes. Tesis de doctorado, Ecología Acuática, Instituto de Acuicultura, Universidad de Stirling, Gran Bretaña. 2003. 217 p.

Chará-Serna AM, Chará JD, Zúñiga MDC, Pedraza GX, Giraldo LP. Clasificación trófica de insectos acuáticos en ocho quebradas protegidas de la ecorregión cafetera colombiana. *Univ. Sci.* 2010; 15(1): 27-36.

Cuartas D. Ecología trófica y reproductiva de “*Poecilia caucana*” (especie nativa) y “*Xiphophorus helleri*” (especie exótica) (Pisces: Poeciliidae), en la cuenca alta del río La Vieja, Colombia. Trabajo de grado, Universidad del Quindío, Colombia. 2005. 172 p.

Dahl G. Los peces del norte de Colombia. Ministerio de Agricultura, Instituto de Desarrollo de los Recursos Naturales Renovables (INDERENA). Talleres Litografía Arco. Bogotá D.C., Colombia. 1971. 391 p.

Davies PM, Bunn SE y Hamilton SK. Primary Production in Tropical Streams and Rivers. En: Dudgeon D. (Ed). Tropical Stream Ecology. Elsevier. San Diego. 2008. 23-42.

Daza E. Comunidades de macroinvertebrados y su relación con variables físicas, químicas e hidrológicas en 18 ríos de la región cafetera. Trabajo de grado. Bogotá, Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ciencias Básicas, Departamento de Biología. 2007. 78 p.

Devore J. Probabilidad y Estadística para Ingenieros y Ciencia. Editorial Thomson Learning. México. 2001. 762 p.

DIVA-GIS. Sistema de Información Geográfica para el Análisis de Datos de Distribución de Especies. Versión 4. LizardTech, Inc and University of California. 1998.

Eigenmann CH. The Fishes of Northwestern South America. *Mem. Carnegie. Mus.* 1924; (9): 1-357.

Eigenmann CH. The fishes of Western South America. Part 1. The fresh-water fishes of Northwestern South America. Including Colombia, Panamá, and the pacific slopes of Ecuador and Perú, together with an appendix upon the fishes of the río Meta en Colombia. *Mem. Carnegie. Mus.* 1922; (9): 1-346.

Escobar J. Síndromes de sostenibilidad ambiental del desarrollo en Colombia. Serie Seminarios y Conferencias. CEPAL. 2004; 21-38.

Etter A, van Wyngaarden W. Patterns of landscape transformation in Colombia, with emphasis in the Andean Region. *Ambio.* 2000; 29(7): 432-439.

Ferry LA, GM Cailliet. Sample size and data analysis: are we characterizing and comparing diet properly? En: MacKinlay D. and Shearer Karl (Eds.) Gutshop' 96: Feeding Ecology and Nutrition in Fish Symposium Proceedings, *Am. Fish. Soc.* 1996; 71-80.

Galizzi MC, Marchese M. Decomposition and Invertebrate colonization of *Tessaria integrifolia* (Asteraceae) leaves in a secondary channel of the middle Paraná River. *Intersc.* 2007; 32(8): 535-540.

García Alzate RJ, García-Alzate CA y Botero-Botero A. Composición, estacionalidad y hábitat de los peces de la quebrada Cristales, afluente del Río la Vieja, Alto Cauca, Colombia. *Rev. invest. Univ. Quindío.* 2009; 19: 115-121.

García-Alzate C, Román-Valencia C, Taphorn D. *Hyphessobrycon oritoensis* (Characiformes: Characidae), a new species from the Putumayo River drainage, Colombian Amazon. *Zootaxa.* 2008; 1813: 42-50.

García-Alzate C, Román-Valencia C. Biología alimentaria y reproductiva de *Hyphessobrycon poecilioides* (Pisces: Characidae) en la cuenca del río La Vieja, alto Cauca, Colombia. *Rev. Mus. Argentino Cienc. Nat., n.s.* 2008; 10(1): 17-27.

Géry J. Characoids of the world. TFH Publications, Inc., Neptune City. Nueva Jersey. 1977. 672 p.

Giraldo E y Sabogal A. Una Alternativa sostenible: La Guadua. Corporación Autónoma Regional del Quindío CRQ. Quindío. 1999. 192 p.

Goeking SA, Crowl TA. Long-term spatiotemporal dynamics of riparian vegetation along the Green River in Utah's Uinta Basin. En: Hendrickson DA. Editorial Proceedings of the desert fishes Council. 1999; 31: 54-55.

Gómez M. Relación entre sistemas productivos y comunidades de macrófitas en las cuencas de los ríos La Vieja y Otún Ecorregion cafetera de Colombia. Trabajo de Grado. Pontificia Universidad Javeriana, Departamento de Biología, Maestría en Ciencias Biológicas, Bogotá. 2007. 117 p.

Gómez-Tobar MC. Dinámica de la comunidad fitoplanctónica en dos ecosistemas de planos inundables del Trapecio Amazónico colombiano. *Errantes Acuáticos.* 2008; 1: 16-24.

Goulding M. The fishes and the forest: explorations in Amazonian natural history. University of California Press. Berkeley. 280 p. 1980.

Gregory SV, Swanson FJ, McKee WA, Cummins KW. An Ecosystem Perspective of Riparian Zones. *Bioscience.* 1991; 41: 540-551.

Growns I, Gehrke PC, Astles KL, Pollard DA. A comparison of fish assemblages associated with different riparian vegetation types in the Hawkesbury-Nepean River system. *Fish. Manag. Ecol.* 2003; 10: 209-220.

Harvey BC y Stewart AJ. Fish size and habitat depth relationships in headwater streams. *Oecol.* 1991; 87: 336-342.

Helfman GS, Collette BB, Facey DE. The diversity of fishes. Blackwell Science: Oxford. 1997. 528 p.

Henderson PA, Walker I. Spatial organization and population density of the fish community of the litter banks within a central Amazonian blackwater stream. *J. Fish Biol.* 1990; 37: 401-411.

Hureau JE. *Biologie comparée de quelques poissons antarctiques (Nothothenidae).* *Bull. Inst. Ocean. Monaco.* 1970; 68(1391): 1-224.

Hynes HBN. The food of freshwater sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus* and *Pygosteus pungitius*) with a review of methods used in studies of the food of fishes. *J. Anim. Ecol.* 1950; 19: 36-58.

Hyslop E. Stomach contents analysis. A review of methods and their applications. *J. Fish. Biol.* 1980; 17: 411-429.

IGAC. Reservas Forestales Protectoras Nacionales de Colombia- Atlas Básico. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá. 2005. 127 p.

Jacobsen D, Cressa C, Mathooko JM y Dudgeon D. Macroinvertebrates: Composition, Life Histories and Production. En: Dudgeon D. (ed). *Tropical Stream Ecology.* Elsevier. San Diego. 2008. 66-106.

Jacobsen D. Tropical High-Altitude Streams. En: Dudgeon D. (ed). *Tropical Stream Ecology.* Elsevier. San Diego. 2008. 219-256.

Jiménez J, Román-Valencia C y Cardona M. Distribución y constancia de las comunidades de peces del río San Pablo, Cuenca del río la Paila, Alto Cauca, Colombia. *Actual. Biol.* 1998; 20(68): 21-27.

Junk W, Furch K. The physical and chemical properties of the Amazonian waters and their relationship with the biota. In Prance and Lovejoy (eds.) *Keys environments: Amazonia.* Pergamon Press, Oxford. 1985. 3-17.

Junk WJ, Bayley P, Sparks RE. The flood pulse concept in river floodplain systems. En: Proc. of the Internat. Large River. *Symp. Canad. Spec. Publ. Fish Aquatic. Sci.* 1989; 106: 101-127.

Karr JR. Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries.* 1981; 6(6): 21-27.

Kawakami E y Vazzoler G. Método gráfico e estimativa de Índice Alimentar aplicado no estudo de alimentação de peixes. *Bol. Inst. Oceanogr.* 1980; 29(2): 205-207.

Knopell A. Food of Central Amazonian Fishes. Contribution to the nutrient ecology of Amazonian rain forest streams. *Amazoniana II.* 1970; 3: 257-351.

Krebs CJ. Ecological Methodology. University of British Columbia. New York. 1989. 654 p.

Krebs CJ. Ecología. Estudio de la distribución y la abundancia. Oxford University Press. México. 451-452.

Lasso A. Composición y aspectos ecológicos de la ictiofauna del bajo río Suapure, Serranía de los Pijiguaos. En: *Mem. Soc. Cienc. Nat. La Salle.* 1992; 2(138): 5-56.

Laurance W, Delamonica P, Laurance S, Vasconcelos H y Lovejoy T. Rainforest fragmentation kills big trees. *Nature.* 2000; 404: 836.

Lee KE, Goldstein RM, Hanson PE. Relation between fish communities and riparian zone conditions at two spatial scales. *JAWRA.* 2001; 37: 1465-1473.

Lehmann P y Usma S. *Carlastyanax aurocaudatus*. pp. 191 – 192. En: Mojica J. I., C. Castellanos, S. Usma y R. Álvarez (eds). Libro Rojo de Peces Dulceacuícolas de Colombia. La Serie Libro Rojos de Especies Amenazadas de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Ministerio del Medio Ambiente, Bogotá, D.C., Colombia. 2002. 285 p.

Lehmann P. Composición y estructura de las comunidades de peces de los tributarios en la parte alta del río Cauca, Colombia. Trabajo de Grado. Facultad de Ciencias, Universidad del Valle. Cali, Colombia. 1999. 111 p.

Liévano A y Ospina R. Guía ilustrada de los macroinvertebrados acuáticos del río Bahamón. Primera edición. Universidad El Bosque e Instituto Alexander von Humboldt. Bogotá D.C. 2007. 130 p.

Lowe-McConnell RH. Ecological studies in tropical fish communities. Cambridge University Press, Cambridge. 1987. 382 p.

Lowe-McConnell RH. Fish Communities in Tropical Fresh waters: Their Distribution, Ecology and Evolution. Longman, London. 1975. 387 p.

Lucinda PHF. Family Poeciliidae (Livebearers). pp. 555 – 581. En: Reis R. E., S. O. Kullander y C. J. Ferraris Jr. (eds). 2003. Checklist of the Freshwater Fishes of South and Central America. Edipucrs. Porto Alegre, Brasil. 2003. 729 p.

Magurran AE. Diversidad ecológica y su medición. Editorial Vedral, España. 1989. 210 p.

Magurran AE. Ecological Diversity and its measurement. Princeton University Press. USA. 192 p.

Magurran AE. Measuring biological diversity. Oxford: Blackwell Science. 2004. 256 p.

Maldonado-Ocampo JA, Ortega-Lara A, Usma JS, Galvis G, Villa-Navarro FA, Vásquez L, Prada-Pedrerros S, Ardila C. Peces de los Andes de Colombia. Instituto de Investigación de recursos Biológicos “Alexander von Humboldt”. Bogotá. 2005. 346 p.

Margalef R. Teoría de los sistemas ecológicos. Alfaomega grupo editor S.A. México D. F. 2002. 290 p.

Marrero C. Métodos para cuantificar contenidos estomacales en peces. Editorial Talleres Gráficos de Liberil S.R.L, Venezuela. 1994. 37 p.

McIntosh RP. An index of diversity and the relation of certain concepts to diversity. *Ecology* 1967; 48: 392-404.

Miles C. Los peces del río Magdalena. Tesis Doctoral. Facultad de Filosofía y Letras, Pontificia Universidad Católica Javeriana. Bogotá, D.C., Colombia. 1947. 242 p.

Miles C. Peces de agua dulce del Valle del Cauca. Publicaciones de la Secretaría de Agricultura del Departamento del Valle. Cali, Colombia. 1943. 97 p.

Moreno C. Métodos para medir la biodiversidad. M & T Manuales y Tesis SEA Vol. 1. Zaragoza, 2001. 84 p.

Murcia C. Edge effects in fragmented forest. Implications for Conservation. *TREE*. 1995; 10: 58-62.

Murgueito E. Impacto ambiental de la ganadería de leche en Colombia y alternativas de solución. *Livestock Research for Rural Development*. 2003; 15(10): 98-115.

Naiman RJ, Décamps H, McClain ME. Riparian ecology, conservation, and management of streamside communities. Editorial Elsevier Academic, Boston. 2005. 448 p.

Naiman RJ, Décamps H. The Ecology of Interfaces: Riparian Zones. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 1997; 28: 621-658.

Nelson JS. Fishes of the World. Cuarta Edición. John Wiley & sons, Inv. Nueva Jersey. 2006. 601 p.

Newbold JD, Elwood JW, O'Neill RV y Vamn Winkle W. Measuring nutrient spiralling in streams. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1981; 38: 860-863.

Ortega-Lara A, Aguiño A y Sánchez GC. Caracterización de la ictiofauna nativa de los principales ríos de la cuenca alta del río Cauca en el departamento del Cauca. Informe presentado a la Corporación Autónoma Regional del Cauca, CRC. Fundación para la Investigación y el Desarrollo Sostenible, Funindes. Popayán, Colombia. 2002. 139 p.

Ortega-Lara A, Murillo O, Pimienta C y Sterling E. Los peces del alto Cauca. Catálogo de especies. Informe presentado a la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, CVC. Cali, Colombia. 1999. 122 p.

Ortega-Lara A, Murillo O, Pimienta C y Sterling E. Los peces del alto Cauca, riqueza ictiológica del Valle del Cauca. Editorial Imagen Corporativa. Cali, Colombia. 2000. 69 p.

Ortega-Lara A, Usma JS, Bonilla PA y Santos NL. Peces de la cuenca alta del río Cauca, Colombia. *Biot. Col.* 2006; 7(1): 39-54.

Ortega-Lara A. Continuación de la caracterización de la ictiofauna nativa de los ríos faltantes de la cuenca alta del río Cauca, Departamento del Cauca. Informe presentado a la Corporación Autónoma Regional del Cauca, CRC. Popayán, Colombia. 2004. 210 p.

Parker TJ y Haswell WA. Zoología de cordados. Editorial Reverté. Barcelona. 1991. 981 p.

PAST. Paleontological Statistics. Versión 1.8. Hammer Ø, Harper DAT, Ryan PD. 2009.

Pielou EC. An introduction to mathematical ecology. New York. 1969. 326 p.

Pinto BC, Araujo FG, Hughes RM. Effects of Landscape and Riparian Condition on a Fish Index of Biotic Integrity in a Large Southeastern Brazil River. *Hydrobiol.* 2006; 556: 69-83.

Putz R, Junk W. Phytoplankton and periphyton. En: Junk W. (ed). The Central Amazon Floodplain. Ecology of pulsing system. Springer. Berlin. 1997. 207- 222.

Ramírez A y Viña G. Limnología Colombiana, aportes a su conocimiento estadístico de análisis. 1998. 293 p.

Ramírez A. Ecología Aplicada, Diseño y Análisis estadístico. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Bogotá. 1999. 325 p.

Rao CR. Convexity Properties of Entropy Functions and Analysis of Diversity. IMS Lecture Notes-Monograph Series. *Inequalities in Statistics and Probability.* 1984; 5: 68-77

Rebollo S y Gómez A. Aprovechamiento sostenible de los pastizales. Ecosistemas. 2003; 12(3): 1679-2473.

Reis RE, Kullander SO, Ferraris Jr. CJ. (Eds). Checklist of the freshwater fishes of South and Central America. EDIPUCRS. Porto Alegre, Brasil. 2003. 729 p.

Reznick D y Endler JA. 1982. The impact of predation on life history evolution in Trinidadian guppies (*Poecilia reticulata*). *Evol.* 1982; 36: 160-77.

Roldán-Pérez G. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. Ediciones Fondo para la Protección del Medio Ambiente “José celestino Mutis” FEN COLOMBIA; Fondo Colombiano de Investigaciones Científicas y proyectos Especiales “Francisco José de Caldas” COLCIENCIAS y Universidad de Antioquia. 1996. 217 p.

Román- Valencia C y Botero A. Trophic and reproductive ecology of a species *Hemibrycon* (Pisces: Characidae) in Tinajas creek, Quindío River drainage, upper Cauca basin, Colombia. *Rev. Mus. Argentino Cienc. Nat., n.s.* 2006; 8(1): 1-8.

Román- Valencia C, Arcila-Mesa DK y García MD. Diversidad fenotípica en peces del género *Hemibrycon* (Characiformes: Characidae) del sistema del río Magdalena-Cauca, Colombia. *Brenesia.* 2009; 72: 27-40.

Román-Valencia C y Giraldo PA. Ecología trófica y reproductiva de *Cetopsorhamdia boquillae* (Pisces: Pimelodidae) en el río La Vieja, Alto Cauca, Colombia. *Rev. Invest. Univ. Quindío.* 2006; 16: 33-45.

Román-Valencia C y Muñoz A. Ecología trófica y reproductiva de *Bryconamericus caucanus* (Pisces: Characidae). *Boll. Mus. Reg. Sci. Nat. Torino*. 2001; 182: 459-467.

Román-Valencia C y Ruiz R. Diet and reproduction aspects of *Astyanax aurocaudatus* (TELEOSTEI: CHARACIDAE) from the upper part of the Río Cauca, Colombia. *Dahlia Rev. Asoc. Colomb. Ictiol.* 2005; (8): 9-17.

Román-Valencia C, Ruiz R y Giraldo A. Dieta y Reproducción de dos especies sintópicas: *Hemibrycon boquiae* y *Bryconamericus caucanus* (Pisces: Characidae) en la quebrada Boquía, río Quindío, Alto Cauca, Colombia. *Rev. Mus. Argentino Cienc. Nat., n.s.* 2006; 10(1): 55-62.

Román-Valencia C. Clave taxonómica para la determinación de peces nativos del departamento del Quindío, subsistema alto Río Cauca, Colombia. *Actual. Biol.* 1988; 17: 107-114.

Román-Valencia C. Lista anotada de los peces de la cuenca del río La Vieja, Alto Cauca, Colombia. *Bol. Ecotrop. Ecosist. Trop.* 1995; 29: 11-20.

Román-Valencia C. Sistemática de las especies colombianas de *Bryconamericus* (Characiformes, Characidae). *Dahlia Rev. Asoc. Colomb. Ictiol.* 2003; 6: 17-58.

Romero AT. Caracterización de la comunidad íctica asociada a sistemas productivos de la Ecorregion Cafetera para dos periodos hidrológicos en riachos de las cuencas de los ríos La Vieja y Otún-Quimbaya, Colombia. Trabajo de grado. Bogotá, Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ciencias Básicas, Departamento de Biología. 2009. 111 p.

Rosecchi E y Nouaze Y. Comparaison de cinq indices alimentaires utilisés dans l'analyse des contenus stomacaux. *Trav. Doc. Inst. Sci. Peches Marit.* 1987; (49): 11-123.

Ruiz RI y Román-Valencia C. Aspectos taxonómicos de *Cetopsorhamdia boquillae* y *C. nasus* (Pisces, Heptapteridae), con anotaciones sobre su ecología en la cuenca alta de los ríos Magdalena y Cauca, Colombia. *Anim. Biodivers. Conserv.* 2006; 29(2): 123-131.

Sadeghian S, Rivera J, Gómez M. Impacto de sistemas de ganadería sobre las características físicas, químicas y biológicas de suelos en los Andes de Colombia. En: Sánchez M, Rosales M. Eds. Agroforestería para la Producción Animal en América Latina. Roma. 1999. 123-142.

Saul W. An ecological study of fishes at a site in upper Amazonian Ecuador. *Proc. Acad. Nat. Sci. Phila.* 1975; 12: 93-134.

Schlosser IJ. A conceptual framework for fish communities in small warmwater streams. En: Matthews WJ and Heins DC (eds), Community and Evolutionary Ecology of North American Stream Fishes. University of Oklahoma Press, Norman. 1987. 17-24.

Shannon CE, Weaver W. The mathematical theory of communication. Urbana Univ. Illinois Press. 1949. 117 p.

Shelford VE. Ecological succession. I. Stream fishes and the method of physiographic analysis. *Biol. Bull.* 1911; 21: 9-35.

Silva CC, Ferreira EJG y Deus CP. Dieta de cinco espécies de Hemiodontidae (Teleostei, Characiformes) na área de influência do reservatório de Balbina, rio Uatumã, Amazonas, Brasil. *Iheringia, Sér. Zool.* 2008; 98(4): 465-468.

Simpson EH. Measurement of Diversity. *Nature.* 1949. 163: 688.

Steel RGD y Torrie JH. Bioestadística: Principios y procedimientos. Segunda edición. McGraw-Hill. México. 1996. 622 p.

Strahler AN. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Trans. Am. Geophys. Union.* 1957; 38: 913-920.

Swanston DN, Meehan WR y McNutt JA. A quantitative geomorphic approach to predicting productivity of pink chum salmon in Southeast Alaska: USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station Research Paper. 1977. 16 p.

Tobar G, Vasquez L y Zamora H. Caracterización bioecológica de la especie íctica *Astroblepus chapmani* (Siluriformes, Astroblepidae) en el río Grande, municipio de Puracé-Coconuco, departamento del Cauca. *Neolimnos.* 2006; 1(1): 56-62.

Thioulouse J y Chessel D. A Method for reciprocal scaling of species tolerance and sample diversity. *Ecology.* 1992; 73(2): 670-680.

Usma JS y Ortega-Lara A. Peces del río Barbas. pp. 13. En: Osorio J. E. Resultados segundo día de la biodiversidad. Mecanismo de Facilitación, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Arfo Editores e Impresores. Bogotá, Colombia. 2003. 52 p.

Usma JS, Arias BE, Vásquez L, Mesa LM, Arias WF, Araque MC y Gutiérrez HM. Gestión intercorporativa para la formulación de lineamientos para el manejo del recurso hídrico en la cuenca del río La Vieja. Capítulo 2: Implementación de un plan de monitoreo del recurso hídrico e hidrobiológico. Análisis biológico. Informe presentado al Ministerio del Medio Ambiente, Corporación Autónoma Regional del

Quindío, Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, Corporación Autónoma Regional de Risaralda. Armenia, Colombia. 2002. 171 p.

Vannote RL Minshal GW, Cummins KW, Sedell KR, Cushing CE. The River Continuum Concept. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1980; 37: 130-137.

Vargas-Tisnes IC. Inventario preliminar de la ictiofauna de la hoya hidrográfica del Quindío. Corporación Autónoma Regional del Quindío. Editorial Icnografía. Armenia, Colombia. 1989. 96 p.

Vari RP, Malabarba LR. Neotropical Ichthyology: An Overview. En: Malabarba LR, Reis RE, Vari RP, Lucena CAS, Lucena ZMS (eds.). *Phylogeny and Classification of Neotropical Fishes*. EDIPUCRS. Porto Alegre, Brazil. 1998. 1-11

Vazzoler A, Agostinho A, Segatti N. A Planície de inundação do alto rio Paraná: Aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos. *Nupelia*. 1997. 460 p.

Walker I. The biology of streams as part of Amazonian forest ecology. *Experienti*. 1987; 43: 279-287.

Walker I. The food spectrum of the cardinal - tetra (*Paracheirodon axelrodi*, Characidae) in its natural habitat. *Acta Amaz.* 2004; 34(1): 69-73.

Walpole R y Myers R. Probabilidad y Estadística. McGraw-Hill, México. 1992. 797 p.

Walter I. Population dynamics of Chironomidae (Diptera) in the Central Amazonian blackwater river Tarumã-Mirim (Amazonas, Brazil). *Oecol. Bras.* 1998; 5: 235-252.

Wantzen KM, Yule CM, Mathooko JM y Pringle CM. Organic Matter Processing in Tropical Streams. En: Dudgeon D. (ed). *Tropical Stream Ecology*. Elsevier. San Diego. 2008. 44-65.

Webster JR y Patten BC. Effects of watershed perturbation on stream Potassium and Calcium dynamics. *Ecol. Monographs*. 1979; 49: 51-72.

Welcomme RL. Pesca fluvial. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO. Roma. 1992. 303 p.

White R. A Field Guide to the Beetles. Houghton Mifflin Company. Boston. 1983. 368 p.

Williams G. Los bordes de selvas y bosques. *Ciencia y Desarrollo*. 1991; 17(97): 65-71.

Winemiller KO, Agostinho AA, y Caramaschi EP. Fish Ecology in Tropical Streams. En: Dudgeon D. (ed). Tropical Stream Ecology. Elsevier. San Diego. 2008. 107-146.

Winemiller KO, Jepsen NDB. Effects of seasonality and fish movement on Tropical River. *J. Fish Biol.* 1998; 53 (Supplement A): 267-296.

XLSTAT. Versión 8.0. Complemento de Microsoft Excel. Addinsoft. 2008.

Zar JH. Biostatistical Analysis. Cuarta Edición. Prentice Hall, New Jersey. 1999. 663 p.

ANEXOS

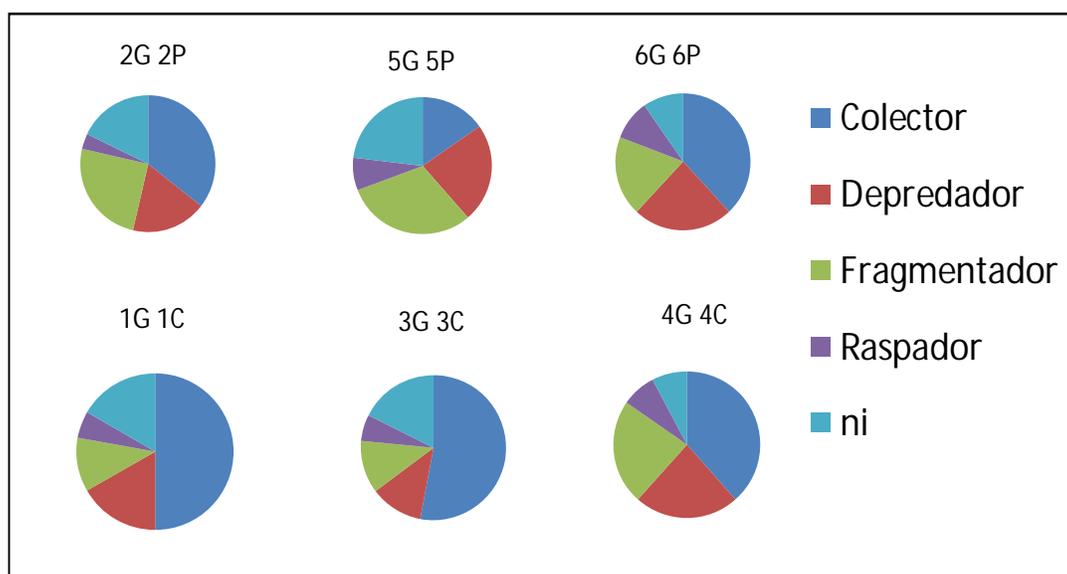
Anexo A. Taxones de macroinvertebrados colectados en los riachos de las Fincas: Tierra Labrantía (2); La Comarca (5); El Porvenir (6); Santa Bárbara (1); La Sonora (3) y El Descanso (4). Cvr: gradual (G); pastizal (P) y cafetal (C). Grupo funcional: no identificado (ni). Datos tomados de Daza (2007).

Taxones	Grupo funcional	Riachos G P			Riachos G C		
		2	5	6	1	3	4
Acari	ni	1	1				
Collembola	Colector	1			1	1	1
Gastropoda	ni	1	1	1	1	1	1
Curculionidae	Fragmentador	1	1				
Dryopidae	Fragmentador			1			
Elmidae	Colector	1		1	1	1	1
Haliplidae	Depredador		1				
Hydrophilidae	Fragmentador	1					
Psephenidae	Raspador			1			
Staphylinidae	ni	1			1		1
Blepharoceridae	Raspador						1
Ceratopogonidae	Depredador	1		1	1	1	1
Chironomidae	Colector	1	1	1	1	1	1
Dixidae	Colector	1					
Empididae	Fragmentador	1		1	1		1
Muscidae	Colector	1	1		1		
Mycetophilidae	Fragmentador						1
Psychodidae	Colector	1			1	1	1
Simuliidae	Colector	1		1	1	1	1
Tabanidae	Fragmentador	1					
Tipulidae	Fragmentador		1	1			1
Baetidae	Colector	1		1	1	1	
Leptohyphidae	Colector			1	1	1	1
Leptophlebiidae	Colector	1					1
Naucoridae	Depredador				1		1
Veliidae	Colector			1		1	1
Pyralidae	Fragmentador	1	1				1
Corydalidae	Depredador			1			
Calopterygidae	Depredador			1		1	
Coenagrionidae	Depredador	1	1				
Gomphidae	Depredador						1
Libellulidae	Depredador	1	1	1			1
Perlidae	Depredador	1		1			1
Calamoceratidae	Fragmentador	1					
Glossosomatidae	Fragmentador					1	1
Helicopsychidae	Colector			1			1
Hydroptilidae	Raspador	1	1	1	1	1	1
Leptoceridae	Colector	1		1	1	1	1
Philopotamidae	ni			1			
Hydropsychidae	Fragmentador	1	1	1	1	1	1
Hydrobioscidae	Depredador						1
Isopoda	ni				1	1	
Pseudothelphusidae	Depredador	1			1		
Nematoda	ni	1	1			1	
Planaridae	ni	1					
Totales		28	13	21	18	17	26

Anexo B. Valores de riqueza (R) (Tomado de Daza 2007) para cada riacho por grupo dietario y su respectivo porcentaje Fincas: 2 Tierra Labrantía; 5 La Comarca; 6 El Porvenir; 1 Santa Bárbara; 3 La Sonora y 4 El Descanso.

Riacho	2		5		6		1		3		4	
Grupo dietario	R	% R	R	% R	R	% R	R	% R	R	% R	R	% R
Colector	10	35,7	2	15,4	8	38,1	9	50,0	9	52,9	10	38,5
Depredador	5	17,9	3	23,1	5	23,8	3	16,7	2	11,8	6	23,1
Fragmentador	7	25,0	4	30,8	4	19,0	2	11,1	2	11,8	6	23,1
Raspador	1	3,6	1	7,7	2	9,5	1	5,6	1	5,9	2	7,7
ni	5	17,9	3	23	2	9,5	3	17	3	18	2	7,7
Totales	28	100	13	100	21	100	18	100	17	100	26	100

Anexo C. Valores de riqueza (Tomado de Daza 2007) para cada riacho por grupo dietario y su respectivo porcentaje. G gradual; P pastizal y C cafetal.



Anexo D. Fotografías de los riachos estudiados (Fotos: Pérez 2010)



Finca Santa Bárbara: Guadual (1G) y cafetal (1C)



Finca Tierra Labrantía: Guadual (2G) y pastizal (2P)



Finca La Sonora: Guadual (3G) y cafetal (3C)



Finca El Descanso: Guadual (4G) y cafetal (4C)



Finca El Porvenir: Guadual (5G) y pastizal (5P)



Finca La Comarca: Guadual (6G) y pastizal (6P)

Anexo E. Caracterización físico química de los riachos estudiados. Cvr: guadual (G), cafetal (C) y pastizal (P). Periodo hidrológico de nivel de agua bajo (B) y de nivel de agua alto (A). Profundidad (Z), Temperatura (T), Oxígeno (O₂) y potencial de hidrógeno (pH)

CVR	EH	Z (cm)	T (°C) ambiente	T (°C) agua	O ₂ disuelto (ml/L)	pH	Conductividad (mS/cm)
1G	B	10	25,9	22,1	6,5	7,4	60,5
	A	12	24,6	22,6	5,2	6,5	58,0
1C	B	40	25,1	21,1	6,0	7,8	46,3
	A	50	25,3	22,0	5,0	6,3	55,0
3G	B	60	22,6	20,5	7,2	7,4	59,2
	A	70	22,0	20,9	5,6	6,5	53,0
3C	B	20	22,1	20,2	7,4	7,3	59,8
	A	30	21,3	20,7	5,7	6,6	53,0
4G	B	20	22,6	21,0	4,5	7,2	68,6
	A	25	22,5	21,8	6,1	7,1	67,0
4C	B	40	26,9	22,3	7,6	7,5	67,9
	A	50	23,9	20,7	5,3	6,5	57,0
2G	B	80	22,0	21,0	7,7	7,5	137,0
	A	90	23,6	22,6	3,0	7,6	103,0
2P	B	10	23,2	22,2	5,5	7,4	152,9
	A	14	25,7	24,9	4,4	7,0	138,0
5G	B	5	23,5	23,6	1,4	7,1	196,3
	A	10	23,8	22,6	1,2	7,4	91,0
5P	B	40	25,6	24,8	4,7	7,1	161,2
	A	50	22,8	23,0	4,7	7,0	91,0
6G	B	80	24,7	23,4	7,5	7,6	79,7
	A	85	21,4	20,8	5,9	6,9	70,0
6P	B	80	24,0	23,2	7,3	7,7	79,6
	A	90	21,4	21,1	5,8	6,9	54,0

Anexo F. Matriz del índice de similitud de Bray-Curtis entre periodos hidrológicos: nivel de agua bajo (*) y alto y entre tipos de cvr. Los recuadros verdes corresponden a un mismo periodo hidrológico y los azules a diferentes periodos hidrológicos.

Cvr	1G*	1C*	3G*	3C*	4G*	4C*	2G*	2P*	5G*	5P*	6G*	6P*												
1G*	1,00																							
1C*	0,64	1,00																						
3G*	0,29	0,16	1,00																					
3C*	0,22	0,10	0,79	1,00																				
4G*	0,47	0,56	0,19	0,12	1,00																			
4C*	0,08	0,12	0,34	0,22	0,18	1,00																		
2G*	0,19	0,22	0,11	0,03	0,23	0,08	1,00																	
2P*	0,08	0,04	0,08	0,03	0,06	0,00	0,17	1,00																
5G*	0,29	0,17	0,16	0,05	0,23	0,02	0,31	0,35	1,00															
5P*	0,06	0,06	0,05	0,01	0,07	0,02	0,43	0,37	0,12	1,00														
6G*	0,30	0,24	0,53	0,38	0,33	0,31	0,18	0,00	0,08	0,07	1,00													
6P*	0,55	0,50	0,24	0,10	0,44	0,12	0,34	0,15	0,52	0,10	0,29	1,00	1G	1C	3G	3C	4G	4C	2G	2P	5G	5P	6G	6P
1G	0,42	0,32	0,34	0,28	0,29	0,08	0,35	0,46	0,45	0,25	0,40	0,40	1,00											
1C	0,45	0,43	0,41	0,36	0,38	0,11	0,34	0,32	0,49	0,19	0,34	0,43	0,78	1,00										
3G	0,36	0,23	0,71	0,72	0,21	0,21	0,08	0,00	0,06	0,03	0,57	0,23	0,36	0,46	1,00									
3C	0,15	0,05	0,71	0,61	0,08	0,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,55	0,05	0,24	0,25	0,65	1,00								
4G	0,35	0,40	0,08	0,00	0,38	0,10	0,36	0,00	0,17	0,11	0,32	0,56	0,31	0,26	0,17	0,00	1,00							
4C	0,21	0,20	0,56	0,42	0,22	0,65	0,18	0,00	0,06	0,06	0,53	0,23	0,29	0,28	0,44	0,62	0,25	1,00						
2G	0,15	0,12	0,11	0,02	0,15	0,04	0,83	0,40	0,33	0,48	0,15	0,26	0,53	0,36	0,08	0,00	0,29	0,12	1,00					
2P	0,29	0,13	0,14	0,06	0,14	0,00	0,14	0,18	0,53	0,04	0,00	0,50	0,19	0,21	0,00	0,00	0,00	0,13	1,00					
5G	0,14	0,10	0,12	0,03	0,14	0,03	0,22	0,93	0,39	0,41	0,07	0,24	0,50	0,38	0,06	0,00	0,10	0,06	0,43	0,16	1,00			
5P	0,04	0,02	0,04	0,02	0,05	0,00	0,22	0,56	0,18	0,74	0,06	0,10	0,31	0,19	0,00	0,00	0,12	0,05	0,35	0,07	0,59	1,00		
6G	0,53	0,47	0,09	0,00	0,34	0,06	0,14	0,00	0,25	0,06	0,19	0,47	0,23	0,26	0,21	0,00	0,44	0,13	0,13	0,00	0,12	0,02	1,00	
6P	0,76	0,87	0,20	0,11	0,57	0,12	0,25	0,08	0,27	0,07	0,21	0,61	0,37	0,49	0,24	0,05	0,42	0,20	0,15	0,27	0,14	0,04	0,50	1,00

Anexo G. Tallas de los peces (LT) por tipo de cvr para el periodo hidrológico de nivel de agua bajo. Cvr: gradual (G); pastizal (P) y cafetal (C).

Especie	1G	1C	3G	3C	4G	4C	2G	2P	5G	5P	6G	6P
<i>A. aurocaudatus</i>	32,00	37,00	20,28	34,00		32,80						48,70
	38,60	38,22	38,32	35,00		34,00						
	38,74	39,60	38,64	39,80		34,70						
	40,00	39,92	42,64	41,00		40,82						
	46,18	40,60	43,32	42,40		40,82						
	48,82	42,56	45,84	44,72		55,18						
	49,84	47,00	49,22	45,50								
	52,92	48,00	52,02	51,00								
		48,75	52,04									
		49,62	59,52									
			59,82									
<i>B. caucanus</i>	41,70	76,48			21,28	46,46	25,82		38,90	47,80	68,50	
	47,36				22,44	50,42	36,00			52,00		
	69,00				23,00	64,84	38,42			55,60		
	71,00				29,32	65,44	38,52			62,00		
					32,32		39,72			65,30		
					50,70		40,00			66,00		
					56,20		42,00			68,60		
							42,32			73,40		
							42,84			74,00		
							43,22					
							43,44					
							43,44					
							44,52					
							44,54					
							44,80					
							46,50					
							46,84					
							46,84					
							47,64					
							48,00					
							48,92					
							50,42					
							52,32					
							53,02					
							53,18					
							53,42					
							55,42					
							55,80					
							57,52					
							59,52					
							60,80					
							64,00					
							70,30					
							78,70					
<i>H. boquiae</i>			50,90	50,00		43,42						
			51,20	55,00		44,12						
			53,32	55,00		47,28						
			53,32	58,20		47,76						
			55,32	60,48		47,96						
			60,50	60,90		47,98						
				61,38		48,34						
				61,65		48,62						
				64,00		49,22						

Especie	1G	1C	3G	3C	4G	4C	2G	2P	5G	5P	6G	6P
				65,20		49,66						
				65,70		51,12						
				70,00		51,66						
				75,50		52,46						
				75,90		52,84						
				92,42		53,44						
				111,45		53,66						
						54,52						
						55,00						
						55,22						
						58,78						
						59,00						
						59,54						
						59,62						
						59,98						
						60,98						
						61,46						
						73,03						
						74,04						
						94,92						
						95,52						
						98,00						
<i>A. caucanus</i>	56,58	59,00										
	56,68											
<i>A. grivalvii</i>			109,26	44,22		41,00						
			115,38	50,00		50,50						
			117,94	50,52		54,00						
				58,32		55,00						
				88,00		57,00						
						59,00						
						59,30						
						91,20						
<i>C. boquillae</i>	59,30	61,00									77,00	56,76
	68,00	68,34										59,52
		74,72										
		79,24										
<i>T. chapmani</i>	40,50	44,32	26,50		17,30	44,62	29,50		70,80		53,40	45,00
	52,20	56,88	35,10		22,80	53,16	42,90		126,40		68,70	46,18
	66,00	56,98	101,00		24,72	64,80	82,50				94,40	51,72
	92,00	61,18			28,62	73,00						60,42
		86,38			45,00	80,42						63,00
		129,72				93,44						76,50
<i>P. caucana</i>									21,00	15,22		
									24,92	17,32		
										19,00		
										19,12		
										19,56		
										20,52		
										20,52		
										21,00		
										21,98		
										22,40		
										22,80		
										22,84		
										23,00		
										23,00		
										23,38		
										24,12		

Especie	1G	1C	3G	3C	4G	4C	2G	2P	5G	5P	6G	6P
										24,32		
										24,34		
										24,74		
										24,82		
										25,00		
										25,04		
										25,12		
										25,72		
										26,18		
										26,28		
										26,28		
										26,48		
										26,86		
										27,34		
										27,44		
										28,34		
										28,54		
										29,54		
										30,22		
										31,02		
										31,62		
										31,96		
										32,22		
										39,70		
										39,72		
<i>P. reticulata</i>	19,00	25,74					22,70	23,64	13,30	13,60		16,36
	20,72	28,88					23,00	25,00	14,00	18,24		23,00
	21,00	29,72					23,54	26,48	15,32	18,42		
	21,00	30,42					23,72	28,32	15,34	18,44		
	21,72	31,40					24,42		16,00	19,22		
	22,32	31,70					24,80		16,52	19,32		
	22,36	31,80					25,00		16,82	19,62		
	22,70	33,10					25,02		16,92	19,82		
	26,34	33,10					25,12		17,00	20,00		
	27,34	33,50					25,44		17,00	20,00		
	27,56	34,60					27,00		17,20	20,00		
	28,70	35,32					27,96		17,30	20,52		
	29,00						28,58		17,32	20,62		
	29,00						31,96		17,38	20,82		
	29,52						33,00		17,60	21,00		
	30,40						33,62		17,60	21,32		
	31,00						38,74		17,70	21,48		
	31,70						39,62		17,86	21,52		
							41,68		17,88	21,86		
									18,00	22,90		
									18,32	23,00		
									18,92	23,00		
									19,00	23,00		
									19,30	23,32		
									19,42	23,50		
									19,60	25,20		
									19,80	25,20		
									19,80	25,60		
									20,00	26,00		
									20,00	26,72		
									20,00	27,00		
									20,22	27,20		
									20,50	29,30		

Espece	1G	1C	3G	3C	4G	4C	2G	2P	5G	5P	6G	6P
									21,40	29,42		
									21,48	29,80		
									22,00	30,40		
									22,36	30,40		
									22,62	31,92		
									22,80	32,34		
									23,00	33,24		
									24,00	33,32		
										34,00		
										34,00		
										34,52		
										34,72		
										35,42		
										36,00		
										36,00		
										36,00		
										36,00		
										36,90		
										37,50		
										40,10		
<i>P. caliensis</i>												31,08

Anexo H. Tallas de los peces (LT) por tipo de cvr para el periodo hidrológico de nivel de agua alto. G gradual; P pastizal y C cafetal.

Especie	1G	1C	3G	3C	4G	4C	2G	2P	5G	5P	6G	6P
<i>A. aurocaudatus</i>	40,62	40,00	27,42	18,92	45,82						39,00	
	45,00		33,52	27,00							43,84	
	45,32		41,32	37,52							47,34	
			47,32	37,62							55,18	
			47,82	40,52							57,00	
			48,52	41,68							58,22	
			48,64	48,00							60,00	
			52,16	48,82								
			53,00	52,00								
			55,82	55,22								
			60,00	57,00								
			63,84	57,52								
				60,00								
<i>B. caucanus</i>					69,00		21,82		48,42	30,26	54,60	48,22
							31,40			30,36	61,72	70,00
							32,24			40,52	62,52	
							42,00			41,32	80,00	
							42,12			42,24		
							42,32			43,60		
							43,22			44,00		
							43,40			49,00		
							43,44			50,22		
							43,50			50,50		
							44,32			51,22		
							44,32			51,32		
							44,48			51,42		
							45,00			52,34		
							45,10			53,32		
							45,50			54,42		
							45,52			54,52		
							45,70			55,62		
							47,22			56,00		
							47,70			57,60		
							48,22			59,52		
						48,62			60,42			
						48,90			61,90			
						49,00			62,82			
						49,00			64,52			
						49,00			64,62			
						50,00			65,52			
						50,32			67,82			
						51,62			68,00			
						51,92			70,00			
						52,00			70,62			
						53,50			73,00			
						53,90			76,00			
						56,48			80,72			
						56,72			83,24			
						59,42			83,62			
						60,72			83,72			
						62,24			91,00			
						71,00						
<i>B. henni</i>					77,82	67,12					51,62	
					83,72	67,42					69,42	

Especie	1G	1C	3G	3C	4G	4C	2G	2P	5G	5P	6G	6P
					85,62	71,02					74,00	
						74,24					74,86	
						83,32					78,00	
											80,82	
											85,00	
											102,44	
											191,00	
											230,92	
<i>H. boquiae</i>			54,82	64,22		45,22					53,00	51,78
			58,42	70,52		47,50					53,48	
			64,00	73,88		47,50					54,62	
			66,72	81,92		47,52					55,72	
			67,20			47,62					65,32	
			68,62			47,68					68,42	
			78,72			47,68					69,54	
			79,00			48,00					72,54	
			79,52			48,22					89,32	
			79,62			48,22					94,62	
			91,82			48,22						
						48,82						
						50,00						
						50,30						
						50,42						
						50,70						
						50,86						
						51,00						
						51,00						
						51,72						
						51,80						
						52,42						
						52,72						
						53,20						
						53,22						
						54,00						
						54,00						
						54,00						
						54,12						
						54,12						
						54,24						
						54,42						
						54,48						
						54,72						
						55,00						
						55,00						
						55,44						
						55,72						
						55,82						
						55,82						
						56,22						
						56,52						
						57,12						
						57,18						
						57,92						
						59,00						
						59,74						
						59,84						
						60,22						
						61,32						

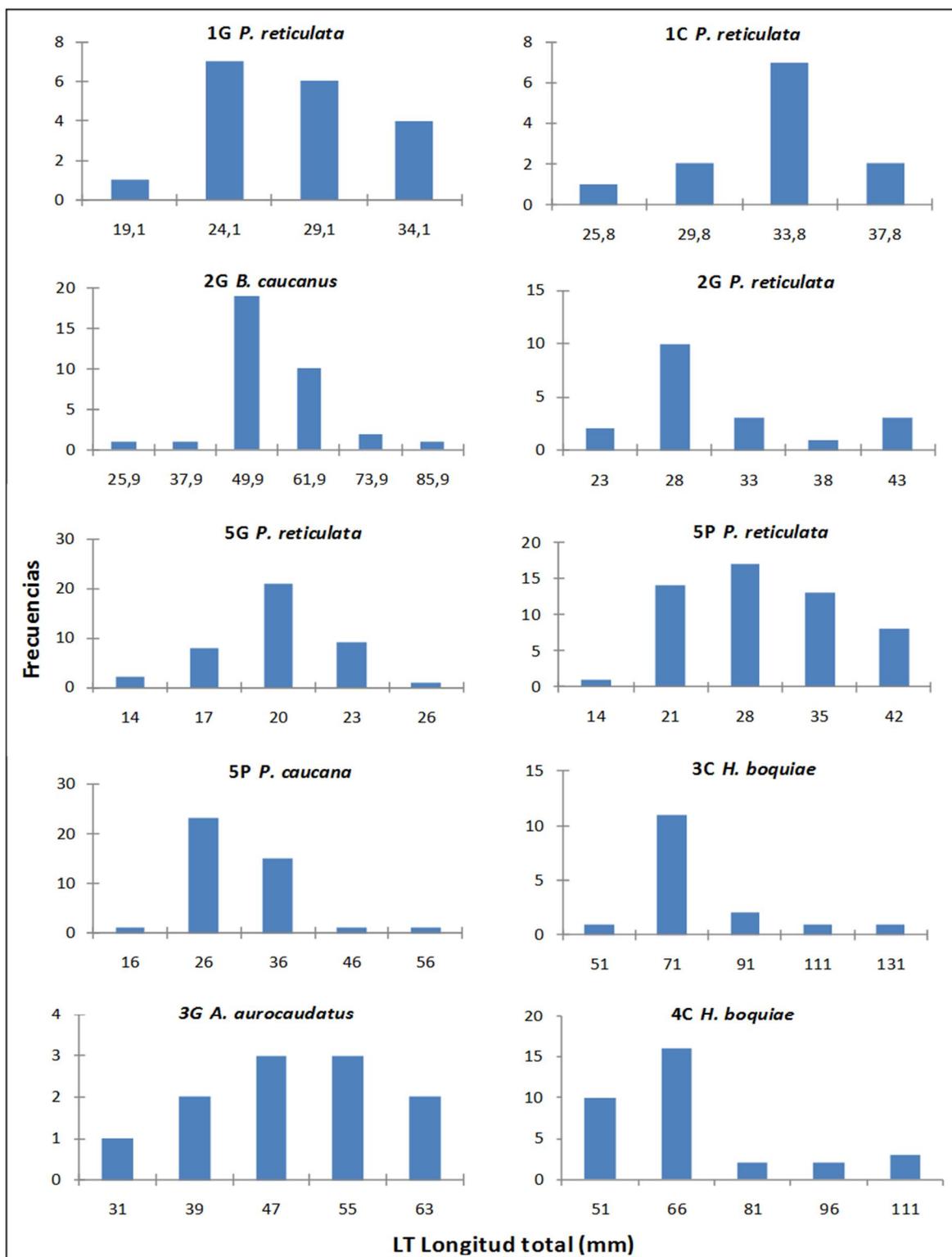
Especie	1G	1C	3G	3C	4G	4C	2G	2P	5G	5P	6G	6P
						61,52						
						62,00						
						62,52						
						64,50						
						65,62						
						69,22						
						78,14						
						81,22						
						81,22						
						81,62						
						83,24						
						85,00						
						85,30						
						86,80						
						89,00						
						90,00						
						98,38						
						100,78						
						104,24						
<i>A. caucanus</i>						71,34						
<i>A. grivalvii</i>			24,82	39,92	64,42	30,22					104,00	
			46,72	64,92		33,22						
			49,62	92,34		38,44						
			50,42	97,00		41,64						
			53,00	104,62		54,72						
			61,34	106,82		60,22						
			73,52	120,22		75,82						
			82,72	129,42		76,62						
			83,02	139,00		92,54						
			90,00									
			91,18									
<i>C. boquillae</i>	49,84	54,34			53,82					38,62		
		64,52								40,60		
										45,00		
										56,42		
<i>C. leucomelas</i>											52,00	
<i>T. chapmani</i>	26,22	45,52	73,72		40,00	27,78	31,82		48,52	67,42	66,00	32,24
	27,00	58,32	91,42		52,24	29,62	72,00			71,52	68,32	39,54
	76,62	65,32			57,00	50,62	83,22			86,28	97,14	46,44
	136,00	85,32			60,82	57,84	90,22				101,82	64,90
		95,22			66,88	71,18	100,52					92,30
		103,00			70,12	73,54	106,72					
		113,52			71,00							
					74,82							
					79,00							
					99,22							
					110,42							
					123,22							
<i>P. caucana</i>											16,00	
											16,50	
											16,68	
											17,00	
											20,22	
											22,00	
											22,42	
											22,86	
											23,82	
											24,00	

Especie	1G	1C	3G	3C	4G	4C	2G	2P	5G	5P	6G	6P
										24,82		
										25,00		
										25,38		
										25,62		
										25,72		
										26,54		
										26,64		
										27,62		
										27,82		
										28,42		
										28,58		
										29,54		
										30,10		
										30,50		
										30,60		
										31,00		
										31,44		
										31,72		
										31,72		
										31,80		
										32,00		
										32,00		
										32,52		
										33,00		
										33,00		
										33,42		
										34,72		
										35,32		
										36,52		
										37,00		
										40,22		
										40,72		
										44,32		
<i>P. reticulata</i>	20,82	20,00	21,52	28,00	21,00		23,00	11,00	14,00	15,00		21,52
	25,12		23,00		24,22		24,20	12,00	18,00	15,30		23,32
			42,00				24,72	14,22	18,24	16,00		33,62
							24,72	14,62	18,80	17,22		44,44
							26,68	14,72	19,90	18,00		
							30,62	15,00	23,48	18,12		
							35,42	15,34	23,52	19,30		
							37,22	15,50	23,62	19,42		
								16,00	24,42	19,52		
								16,44		19,62		
								16,62		20,00		
								17,00		20,00		
								17,00		20,00		
								17,00		20,32		
								17,00		20,50		
								18,00		21,00		
								18,32		21,00		
								18,62		21,52		
								18,76		21,58		
								19,00		21,66		
								19,00		21,72		
								19,42		21,72		
								19,70		22,16		
								20,00		22,16		
								20,00		22,82		

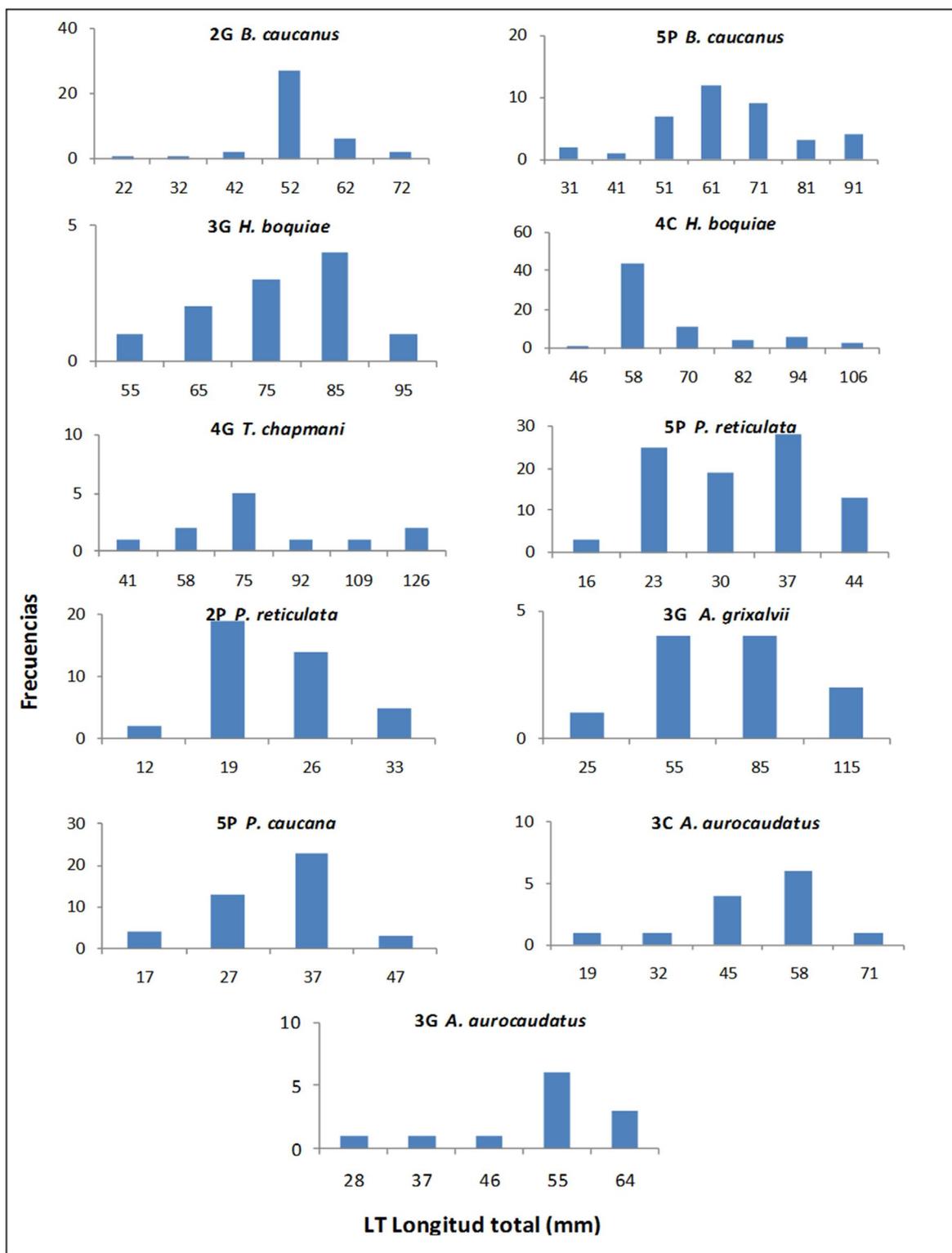
Especie	1G	1C	3G	3C	4G	4C	2G	2P	5G	5P	6G	6P
								20,44		22,82		
								20,62		23,00		
								22,36		23,00		
								22,72		23,54		
								23,52		23,74		
								24,22		24,42		
								24,32		24,62		
								25,00		25,00		
								25,00		25,00		
								25,12		25,80		
								26,78		26,00		
								27,00		26,00		
								27,56		26,50		
								29,72		26,62		
								33,00		27,32		
										27,68		
										27,82		
										28,52		
										28,72		
										29,00		
										29,62		
										30,00		
										30,32		
										30,52		
										31,00		
										31,42		
										31,82		
										32,00		
										32,00		
										32,00		
										32,24		
										32,34		
										32,42		
										32,82		
										33,00		
										33,48		
										33,52		
										33,60		
										34,00		
										34,00		
										34,32		
										34,40		
										34,52		
										34,62		
										34,72		
										35,14		
										36,30		
										36,50		
										36,82		
										37,00		
										37,42		
										37,42		
										37,60		
										37,62		
										38,00		
										38,00		
										38,00		
										38,62		

Especie	1G	1C	3G	3C	4G	4C	2G	2P	5G	5P	6G	6P
										38,62		
										39,20		
										39,62		
										39,64		
										40,42		
<i>P. caliensis</i>					27,00							
					30,22							
					32,56							

Anexo I. Histogramas de frecuencia de los peces por tallas (LT), con abundancias superiores a 10 para el periodo hidrológico de nivel del agua bajo.



Anexo J. Histogramas de frecuencia de los peces por tallas (LT), con abundancias superiores a 10 para el periodo hidrológico de nivel del agua alto.



Anexo K. Taxonomía de los ítems alimentarios encontrados en los contenidos gastrointestinales de los peces. Larva (L); Adulto (A); Autóctono (AU); Alóctono (AL); Invertebrados acuáticos (INA); Invertebrados terrestres (INT); Algas (ALG); Detrito (DET) y Material Vegetal terrestre (MVT).

PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	L	A	ORIGEN	CATEGORÍA				
Annelida	Oligochaeta	Haplotaxida	Tubificidae	X	X	AU	INA				
	Arachnida	Araneae			X	AL	INT				
	Diplopoda	Chordeumatida			X	AL	INT				
	Chilopoda				X	AL	INT				
Arthropoda	Insecta	Blattaria				X	AL	INT			
		Coleoptera	Carabidae				X	AL	INT		
			Chrysomelidae				X	AL	INT		
			Coccinellidae				X	AL	INT		
			Dryopidae				X	AU	INA		
			Elmidae				X	X	AU	INA	
			Lutrochidae				X		AU	INA	
			Hydrophilidae				X	X	AU	INA	
			Ptilodactylidae				X		AU	INA	
			Ptilodactylidae					X	AL	INT	
			Scirtidae				X		AU	INA	
		Collembola	Hypogastruridae					X	AL	INT	
			Ceratopogonidae					X		AU	INA
			Chironomidae					X	X	AU	INA
			Culicidae					X		AL	INT
			Empididae					X		AU	INA
								X		AL	INT
			Diptera					X		AU	INA
								X		AU	INA
								X		AU	INA
								X		AU	INA
								X		AU	INA
								X		AL	INT
								X		AU	INA
			Ephemeroptera					X	X	AU	INA
								X	X	AU	INA
								X	X	AU	INA
								X	X	AU	INA
			Hemiptera					X		AL	INT
								X		AU	INA
								X		AL	INT
								X		AL	INT
	Homoptera					X		AL	INT		
						X		AU	INA		
	Hymenoptera	Formiicidae				X		AL	INT		
		Vespidae				X		AL	INT		
						X		AU	INA		
	Lepidoptera					X		AL	INT		
		Pyralidae				X		AL	INT		
	Odonata	Coenagrionidae				X		AL	INT		
		Gomphidae				X	X	AU	INA		

PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	L	A	ORIGEN	CATEGORÍA
			Libellulidae	X	X	AU	INA
		Orthoptera			X	AL	INT
		Plecoptera	Perlidae	X	X	AU	INA
		Trichoptera	Helicopsychidae	X		AU	INA
			Hydropsychidae	X		AU	INA
			Leptoceridae	X		AU	INA
			Odontoceridae	X		AU	INA
			Philopotamidae	X		AU	INA
			Polycentroporidae	X		AU	INA
	Malacostraca	Decapoda	Pseudothelphusidae	X		AU	INA
		Isopoda		X		AL	INT
Clorophyta	Zygnematophyceae	Zygnematales	Zygnemataceae	-	-	AU	ALG
Detrito				-	-		DET
Heterokontophyta	Bacillariophyceae			-	-	AU	ALG
	Bivalvia	Heterodonta	Sphaeriidae	X		AU	INA
			Physidae	X		AU	INA
Mollusca	Gastropoda	Basommatophora	Planorbidae	X		AU	INA
			Thiaridae	X		AU	INA
Nematomorpha	Gordioida	Gordioidea	Gordiidae	X	X	AU	INA
Plantae	Magnoliopsida	Laurales	Monimiaceae	-	-	AL	MVT