

“EVALUACION DE LA ESTRUCTURA Y COMPOSICION DE LA COMUNIDAD DE
MACROINVERTEBRADOS ACUATICOS Y CALIDAD BIOLOGICA DEL AGUA EN TRES
ECOSISTEMAS LOTICOS PARAMUNOS SOMETIDOS A OBRAS EN LA VIA
COCONUCO-PALETARA-ISNOS DEPARTAMENTO DEL CAUCA”

NASLY J. ASTUDILLO E.

JOHN O. CAMARGO O.

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA
POPAYAN-CAUCA
2013.

“EVALUACION DE LA ESTRUCTURA Y COMPOSICION DE LA COMUNIDAD DE
MACROINVERTEBRADOS ACUATICOS Y CALIDAD BIOLOGICA DEL AGUA EN
TRES ECOSISTEMAS LOTICOS PARAMUNOS SOMETIDOS A OBRAS EN LA
VIA COCONUCO-PALETARA-ISNOS DEPARTAMENTO DEL CAUCA”

DIRECTOR

HILLDIER ZAMORA G.

NASLY J. ASTUDILLO E.

JOHN O. CAMARGO O.



UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA
POPAYAN-CAUCA
2013.

Nota de aceptación

Director _____
Mg. Sc. Hildier Zamora Gonzales

Jurado _____
Leónidas Zambrano Polanco

Jurado _____
José Beltrán Vidal

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedicamos a todas aquellas personas que nos apoyaron y acompañaron en el transcurso de toda nuestra carrera.

A Dios por darnos la oportunidad de vivir, por derramar grandes bendiciones sobre nosotros y nuestra familia y por hacer realidad nuestros sueños.

A nuestros padres Betty María Egas, Jorge Camargo y Amanda Orozco por la oportunidad, la confianza, enseñanzas, amor, paciencia, por enseñarnos el valor de la responsabilidad y entrega en cada meta y sueños propuestos y por ser ese apoyo incondicional en toda nuestra vida.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por bendecirnos y hacer realidad nuestros sueños.

A nuestros padres y hermanos, por su esfuerzo, colaboración y permanente compañía.

A nuestros familiares, por su acompañamiento y respaldo.

Al Cabildo Indígena de Paletara: Por la confianza depositada y aporte con sus conocimientos del territorio y acompañamiento en las largas jornadas de campo.

Al Profesor Hildier Zamora. Director del trabajo, por la oportunidad, confianza, enseñanzas y valiosos aportes para la realización de este proyecto.

A nuestros amigos, por su amistad, sinceridad y apoyo en estos años.

A mis compañeros de carrera, y profesores del departamento de Biología.

Y a todas aquellas personas que de una u otra forma nos colaboraron.

TABLA DE CONTENIDO

	PAG
RESUMEN	
1 .INTRODUCCION	1
2. FORMULACION DEL PROBLEMA	3
3. JUSTIFICACION	4
4. OBJETIVO GENERAL	5
5. OBJETIVOS ESPECIFICOS	5
6. MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES	6
6.1 GENERALIDADES.	6
6.1.1 Trabajos relacionados con el tema de investigación	7
6.1.2 Subhábitats	9
6.2 Diversidad Biológica	10
6.2.1 Métodos de medición al nivel de especies	10
6.2.1.1 Medición de la diversidad alfa	11
6.2.1.1.1 Medición de la riqueza específica	11
5.2.1.1.2 Índices de Diversidad	12
6.2.1.2 Medición de la diversidad beta	13
6.2.1.2.1 Índices de similitud/disimilitud	13
6.2.1.2.1.1 Índices con datos cualitativos	14
6.3 BMWP	14
7. METODOLOGIA	16
7.1 Descripción del área de estudio.	16
7.2 Fase de Campo	17
7.3 Fase de laboratorio	18
7.4 Análisis de datos	18
8. RESULTADOS	20
9. DISCUSION	52
10. CONCLUSIONES	55
11. RECOMENDACIONES	54
12. BIBLIOGRAFIA	58
13. ANEXOS	63

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Clases, valores y características para aguas naturales clasificadas mediante el índice BMWP.	15
Tabla 2.	Georreferenciación de los tres ecosistemas lóticos.	16
Tabla 3.	Cantidad de individuos encontrados en los tres ecosistemas.	25
Tabla 4.	Macroinvertebrados epicontinentales presentes en el estudio.	29
Tabla 5.	Índice de Margalef muestreo 1.	31
Tabla 6.	Índice de Margalef muestreo 2.	31
Tabla 7.	Índice de Margalef muestreo 3.	32
Tabla 8.	Índice de Margalef para todo el estudio.	33
Tabla 9.	Índice de Shanon – Weaver muestreo 1	34
Tabla 10.	Índice de Shanon - Weaver. muestreo 2	34
Tabla 11.	Índice de Shanon – Weaver muestreo 3	35
Tabla 12.	Índice BMWP para todo el estudio.	35
Tabla 13.	Índice BMWP para río Negro.	36
Tabla 14.	Índice de Jaccard muestreo 1.	38
Tabla 15.	Índice de Jaccard muestreo 2.	39
Tabla 16.	Índice de Jaccard muestreo 3.	41
Tabla 17.	Índice de Jaccard río Negro para todo el estudio.	42
Tabla 18.	Índice de Jaccard río Blanco para todo el estudio.	44
Tabla 19.	Índice de Jaccard quebrada Yerbabuena para todo el estudio.	46
Tabla 20.	Matriz FEARO proyecto de mejoramiento de la vía Coconuco-Paletara-Isnos.	48

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Mapa del departamento del Cauca, municipio de Púrace. corregimiento de Paletará escala 1:200000	21
Figura 2.	Rio Negro punto muestreo antes (aguas arriba).	27
Figura 3.	Rio Negro punto muestreo después (aguas abajo).	27
Figura 4.	Puente rio Negro.	27
Figura 5.	Rio Blanco punto de muestreo antes (aguas arriba).	29
Figura 6.	Rio Blanco punto de muestreo después (aguas abajo).	29
Figura 7.	Puente rio Blanco.	29
Figura 8.	Quebrada Yerbabuena punto de muestreo antes (aguas arriba). Quebrada Yerbabuena punto de muestreo después (aguas	31
Figura 9.	abajo).	31
Figura 10.	Puente quebrada Yerbabuena.	31
Figura 11.	Imagen coleóptero de la familia Ptilodactylidae	63
Figura 12.	Imagen tricoptero de la familia Hydrobiosidae	63
Figura 13.	Imagen de ephemeroptero de la familia Baetidae	63

LISTA DE GRAFICAS

Grafica 1.	Porcentaje de abundancia rio Negro.	22
Grafica 2.	Porcentaje de abundancia rio Blanco.	24
Grafica 3.	Porcentaje de abundancia quebrada Yerbabuena.	26
Grafica 4.	Índice de Jaccard muestreo 1.	37
Grafica 5.	Índice de Jaccard muestreo 2.	39
Grafica 6.	Índice de Jaccard muestreo 3.	40
Grafica 7.	Índice de Jaccard rio Negro.	42
Grafica 8.	Índice de Jaccard rio Blanco.	43
Grafica 9.	Índice de Jaccard quebrada Yerbabuena.	45

RESUMEN.

Este trabajo tuvo como objetivo principal la identificación del efecto causado por las obras de ampliación y pavimentación en la vía Paletará - Isnos a tres ecosistemas loticos paramunos: río Negro, río Blanco y Quebrada Yerbabuena; estableciendo dos puntos de muestreo (antes = aguas arriba y después = aguas abajo), sometidos al impacto de las obras viales; evidenciándose el efecto en la estructura y composición de los macroinvertebrados acuáticos. La toma de muestras se efectuó en los puntos delimitados con una maya de pantalla de 1m². Los individuos colectados fueron conservados en frascos con alcohol al 70% y posteriormente determinados. La valoración cuantitativa se realizó por medio de índices de diversidad -Margalef y Shannon- Weaver, mientras la valoración cualitativa se desarrolló con los índices de similitud - Jaccard y calidad biológica del agua - BMWP - Biological Monitoring Working Party Score System- (Zamora, 2007). Los resultados obtenidos indican el efecto causado por las obras realizadas en la vía, sobre los cuerpos de agua. El ecosistema lotico más diverso fue río Negro, presentando 5 órdenes y 11 familias. Los cuerpos de agua más similares entre sí fueron la quebrada Yerbabuena y río Blanco con una similitud de más del 50%. El ecosistema lotico más afectado fue río Negro debido a que las obras civiles alteraron directamente a este cuerpo de agua, causando una perturbación en el cauce, lo cual generó un aumento en el nivel y velocidad del agua, cambiando la estructura y composición de macroinvertebrados acuáticos, mientras que en los otros ecosistemas, el efecto fue indirecto y no generó grandes cambios en los macroinvertebrados acuáticos.

Palabras clave: macroinvertebrado, bioindicador, BMWP, proyecto vial, ecosistemas loticos.

INTRODUCCION

Los estudios biológicos en los cuerpos de agua ha tomado gran relevancia, debido a que el costo de un estudio de este tipo, es económico y no causa algún efecto significativo sobre la composición de comunidades que en el caso del presente trabajo, son los macroinvertebrados, arrojando datos importantes para la determinación de calidad biológica del agua, por medio de índices y bioindicación.

En los ecosistemas acuáticos, se evidencia una alta cantidad de organismos, los cuales interactúan en este medio requiriendo así condiciones específicas para su desarrollo, como lo son las fisicoquímicas (en especial corrientes y sustrato en arroyos y ríos), la disponibilidad de hábitat adecuado, fuentes de alimentación y la presencia de depredadores, competidores y parásitos (Roldán, 2003; Domínguez & Fernández, 2009).

Sin embargo, a pesar de que constituyen una fuente de abastecimiento para uso doméstico, industrial y recreativo, en las últimas décadas, el rápido crecimiento poblacional, la industrialización y urbanización, han provocado un paulatino aumento de las presiones sobre los recursos hídricos, y una degradación de los mismos (Walteros y Paiba, 2010).

Los sistemas dulce acuícolas son sensibles a las modificaciones antrópicas por el uso indiscriminado de los ecosistemas asociados al recurso hídrico, sobre todo en países latinoamericanos que no aplican instrumentos de planificación y tratamiento existentes y además carecen de un control estricto sobre la utilización, vertimientos y aprovechamiento del agua.

El municipio de Puracé – Cauca, hace parte de la llamada estrella fluvial del país con los ríos más caudalosos que aquí nacen: Magdalena, Cauca, Patía y Caquetá; como también, Anambío, Blanco, Bedón, Candelaria, Grande, Negro, San Andrés, Vinagre, Hierbabuena y numerosas pequeñas corrientes, de las cuales algunas de estas atraviesan la vía Coconuco – Paletará – Isnos; siendo esta última un tensor en estos ecosistemas y con mayor severidad en la acción de ampliar y pavimentar esta vía, como también la construcción de puentes por donde correrán los cuerpos de agua; generando cambios en la fisicoquímica del agua y en la composición de la comunidad desde los organismos que ahí habitan. La altura del municipio comprende desde 1650 hasta los 4700msnm, la temperatura media es de 13°C, con una

precipitación promedio de 2177mm de agua; encontrándose en la zona de vida de Bosque Húmedo Montano Bajo (bh-MB), zona paramuna y de amortiguación del Parque Natural Nacional Puracé.

Con este estudio se estableció el efecto en la comunidad de macroinvertebrados presente en los tres ecosistemas lóticos objetos de la presente investigación, en los puntos antes del cruce y después del cruce de la vía, permitiendo evidenciar el cambio en la composición y estructura de las comunidades de macroinvertebrados, un mes antes de iniciar las obras y dos meses después del inicio de la misma.

2. FORMULACION DEL PROBLEMA

Es importante reconocer el gran valor que tiene la bioindicación como método para evaluar la calidad del agua. La presencia de una comunidad en un cuerpo de agua determinado, es un índice inequívoco de las condiciones que allí están prevaleciendo y que las fluctuaciones de la contaminación que puedan presentarse, no son lo suficientemente fuertes como para provocar un cambio significativo en la misma (Roldán, 1999).

Las principales fuentes de perturbaciones causadas en los ecosistemas acuáticos por el hombre están relacionadas con la contaminación de origen doméstico, industrial, agrícola, minero y deforestación (Roldán, 1999). La perturbación en los ecosistemas acuáticos por la construcción de vías es de orden indirecto (Roldán, 1999).

La ampliación y pavimentación de la vía Isnos – Paletara, causa indirectamente perturbación a los cuerpos de agua que atraviesan esta estructura, generando cambios en las comunidades de macroinvertebrados, siendo estos los bioindicadores de la calidad del agua. El trabajo tiene el propósito de registrar los cambios en la estructura de las comunidades de macroinvertebrados y establecer las causas ocasionadas por la acción antrópica con la ampliación y pavimentación de vías terrestres.

¿Qué efecto genera la ampliación y pavimentación de la vía Paletará – Isnos en la estructura y composición de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos presentes en los tres ecosistemas lóticos, en el corregimiento de Paletará del municipio de Puracé – Cauca?

3. JUSTIFICACION

El municipio de Puracé, está conformado por los corregimientos de Coconuco (cabecera municipal) y Paletará, que están interconectados por una vía terrestre, en este trayecto son varios los ecosistemas lóticos que son atravesados por la vía, entre estas las que son objeto de estudio. El impacto generado por las obras del proyecto de la carretera Isnos-Paletara, produce una perturbación que modifica la naturaleza de los ecosistemas acuáticos; teniendo esta gran importancia dentro del ecosistema, siendo parte de la red de afluentes que alientan al río Cauca. Cabe resaltar que el lugar en que están ubicados los ecosistemas lóticos de esta investigación, es zona de amortiguación del Parque Natural Nacional Puracé, incrementando su importancia ecológica.

La importancia de este estudio, radica en la generación de conocimiento acerca de los cuerpos de agua afectados por obras viales, arrojando datos estadísticos del comportamiento biológico y ecológico durante la ejecución de las obras, evidenciando los efectos que se pueden desencadenar por esta acción y entendiendo la complejidad y dinámica de los ecosistemas loticos de la zona, antes y después de ser alterados. Entre las comunidades que habitan los ecosistemas lóticos, se encuentran los macroinvertebrados acuáticos, que comprenden una gran parte de la diversidad biológica, siendo con frecuencia el principal componente animal de estos sistemas (Esteves, 1988).

La realización de estudios de esta índole, no son conocidos en la región, ya que es un tema poco abordado y la investigación en esta área del conocimiento es insuficiente ante la gran extensión de ecosistemas loticos que son atravesados por vías en nuestro país.

4. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el impacto sobre la composición y estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos y la calidad biológica del agua en tres ecosistemas lóticos alto andinos sometidos a la ampliación y pavimentación de la carretera Coconuco-Paletará- Isnos.

5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

5.1 Determinar la estructura y composición de la fauna de macroinvertebrados acuáticos, antes y después de las obras en cada uno de los ecosistemas lóticos.

5.2 Calcular los índices de riqueza específica, diversidad biológica, y abundancia.

5.3 Determinar la calidad biológica del agua en los tres ecosistemas lóticos, mediante bioindicación, empleando el índice biótico BMWP adaptado para Colombia por Zamora (2007).

5.4 Identificar y evaluar cualitativamente los impactos ocasionados por las actividades de construcción de la vía, por medio de la Matriz de FEARO.

6. MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES

6.1 Generalidades:

Se denominan macroinvertebrados los organismos que alcanzan a lo largo de su ciclo de vida un tamaño superior a 0.200 mm, lo que les puede hacer visibles a simple vista (Rosenberg y Resh, 1993). La fauna de macroinvertebrados recibe diferentes nombres, de acuerdo con que vivan en el fondo naden o floten en la superficie. El término bentos o fauna béntica se refiere a todos aquellos organismos que viven en el fondo de lagos y ríos adheridos a sustratos tales como rocas, planta acuáticas o residuos vegetales, o enterrados en el sustrato, son habitantes de dos tipos de ecosistemas de aguas dulces muy distintos entre sí: ecosistemas lénticos y lóticos (Roldán, 1988; 1992, 2008).

En los ecosistemas acuáticos, las perturbaciones causadas por el hombre son de tipo doméstico, industrial, agrícola, minero y deforestación (Roldan, 1999). En el caso de esta investigación, la perturbación indirecta es causada por la influencia de la vía que atraviesa las fuentes de agua.

Las características de un buen indicador, se observan en pocos organismos que llenan todos los requisitos. Para definir un indicador, primero se debe conocer la flora y la fauna acuática de la región motivo de estudio (Roldan, 1999). Los macroinvertebrados son los de más amplia aceptación dadas las siguientes ventajas:

Son abundantes, de amplia distribución y fáciles de coleccionar.

Relativamente fáciles de identificar, si se comparan con grupos menores.

Son sedentarios en su mayoría y reflejan las condiciones locales.

Ciclos de vida largos.

Son apreciables a simple vista.

Se pueden cultivar en el laboratorio.

Varían poco genéticamente.

Responden rápidamente a cambios ambientales.

Aceptación de diversos taxa como indicadores de la calidad del agua.

En la ecología de los ríos, la comunidad de macroinvertebrados bentónicos es de principal importancia para el entendimiento de la estructura y el funcionamiento de estos ecosistemas, como eslabón fundamental de la cadena trófica sirviendo de alimento a los peces, así como a las aves y anfibios asociados al medio acuático; como indicadores biológicos de la calidad del agua y como componentes del sistema acuático aportando riquezas y diversidad. Además, esta comunidad también provee una importante herramienta para monitoreo y programas de manejo (Rosenberg & Resh, 1993).

El conocimiento de la actividad biológica de estos organismos permite entender la dinámica del sistema que habitan y los estudios basados en su taxonomía y distribución, proveen información importante para comprender la ecología y el papel que desempeñan en el medio (Castellanos y Serrato, 2008).

El estado de conocimiento que aún se tiene en Colombia de la fauna de macroinvertebrados acuáticos, no permite llegar a un refinamiento que si se tiene en Estados Unidos y en Europa, donde se dispone de claves hasta el nivel de especie para la mayor parte de la fauna existente en estos países. (Roldan, 1999).

Es importante reconocer el gran valor que tiene la bioindicación como método para evaluar la calidad del agua. La presencia de una comunidad en un cuerpo de agua determinado, es un índice inequívoco de las condiciones que allí prevalecen.

6.1.1 Trabajos relacionados con el tema de investigación.

Hevia, (s.f) "Efectos de las carreteras en los ríos; estudio preliminar de producción y emisión de sedimentos en las obras de la A-63 en Asturias". En base al estudio piloto realizado en la autovía A-63 en Asturias, se pueden observar los efectos que la construcción de carreteras tiene sobre nuestros ríos. Los resultados son realmente preocupantes (erosión = 120- 500 t/ha/año; sedimentación 24 veces superior a la natural; sólidos en suspensión de 100-192 mg/l hasta 500mg/l, según casos) y sus efectos sobre el hábitat fluvial y las especies que de él dependen (disminución de supervivencia,

mortalidad, sellado de frezaderos, pérdida de hábitat, entre muchos otros). Todo esto justifica la ejecución de medidas tanto correctoras, como preventivas y de control para la protección de nuestros ríos.

Giacometti y Bersosa, (2006). Macroinvertebrados acuáticos y su importancia como bioindicadores de calidad del agua en el río Alambi. El estudio de Macroinvertebrados acuáticos (MAIA) para determinar su relación frente a un tipo de contaminación rutinaria, se realizó en el recorrido del río Alambi, desde la cota de los 2610 hasta la cota de 1120 m.s.n.m., estableciendo como estaciones referenciales entre los sitios Antes vs Después, los centros poblados de Nono, Tandayapa, Nanegalito y Nanegal. Se determinó la abundancia total de 6447 individuos ubicados dentro de 16 órdenes, 47 familias y 55 géneros.

Bernal et al., (2006).; El estudio “Caracterización de la comunidad de macroinvertebrados de la quebrada Palo blanco de la cuenca del río Otún (Risaralda, Colombia)”. Colectaron los macroinvertebrados de las unidades funcionales hojarasca, epilítion, musgo y grava, junto con una muestra de deriva y fauna general. Se encontraron 42 familias de *Insecta*, además de *Acari*, *Annelida*, *Crustaceae* *Hirudinea*. Igualmente familias de presencia exclusiva en cada punto, mostrando diferencias en la composición de las comunidades.

Rodríguez et al., (2006); “Variación diaria de la deriva de macroinvertebrados acuáticos y de materia orgánica en la cabecera de un río tropical de montaña en el departamento de Nariño, Colombia”. Contribuyen describiendo la variación de la deriva de macroinvertebrados acuáticos y de materia orgánica particulada gruesa (MOPG) durante un ciclo diario en dos tramos de un río de la vertiente occidental de la cordillera occidental en el departamento de Nariño, recolectando un total de 1.012 individuos.

Castellanos & Serrato (2008).; “Diversidad de macroinvertebrados acuáticos en un nacimiento de río en el páramo de Santurbán, Norte de Santander”. Determinan la diversidad de macroinvertebrados acuáticos en un nacimiento de río ubicado en el Páramo de Santurbán, Norte de Santander. La comunidad de macroinvertebrados encontrada estuvo conformada por 63 taxones, pertenecientes a 30 familias y 12 órdenes, siendo el Orden Díptera el más diverso.

Longo, Zamora, Guisande y Ramírez. El trabajo denominado: “Dinámica de la comunidad de macroinvertebrados en la quebrada Potrerillos (Colombia): Respuesta a los cambios estacionales de caudal”. Realizando colecta en cada zona de tres muestras, una por microhabitat (cantos, hojarasca y vegetación ribereña) de la quebrada Potrerillos del municipio Patía – Cauca, donde se colectaron en total 3417 individuos, distribuidos en 3 phyla, 3 clases, 11 ordenes, 37 familias y 55 géneros. El orden de insectos más rico fue Coleoptera (11 y 8 géneros en las zonas 1 y 2 respectivamente), seguido por Diptera (10 y 8 morfotipos y géneros), Odonata (6 y 7 géneros) y Ephemeroptera (5 y 4 géneros). La más abundante fue Chironomidae (18.54 %), seguida de Leptohyphidae (15.06 %), Hydropsychidae (12.78 %), Thiaridae (8.73 %) y Psephenidae (6.80 %).

Guía para el estudio de macroinvertebrados. II.- Introducción a la metodología de muestreo y análisis de datos. Maroñas, Miriam E. y Marzoratti, Graciana y Vilches, Alfredo y Legarralde, Teresa y Darrigran, Gustavo (2010) *Guía para el estudio de macroinvertebrados. II.- Introducción a la metodología de muestreo y análisis de datos.* La Plata, Argentina, Facultad de Ciencias Naturales y Museo (FCNyM), Universidad Nacional de La Plata (UNLP), 34pp. (Serie Técnica y Didáctica-ProBiota, 12)

Rivera, Camacho y Botero, (2008.); en el trabajo denominado: “Estructura numérica de la entomofauna acuática en ocho quebradas del departamento del Quindío-Colombia”. Realizaron un estudio de la entomofauna acuática de ocho quebradas del departamento del Quindío, Colombia en La Tebaida y Calarcá. Entre agosto y diciembre de 2004 donde se colectaron 1917 especímenes distribuidos así: Trichoptera con 524 (la familia más abundante fue Hydropsychidae con 425), Coleoptera 421 (Elmidae con 396 individuos), Heteróptera 391, Odonata 216, seguido por Ephemeroptera, Díptera y Neuróptera.

Molina, et al., 2008; desarrollan un trabajo donde describen la estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en un río altoandino de la cuenca amazónica boliviana, describen la variación anual y longitudinal.

6.1.2 Subhábitats:

Bernal, E., *et al.*, (2006); define el subhábitat así:

Grava: Incluye rocas que están en un rango de tamaño de 2-64 mm (revisado por Ospina *et al.*, 2004) y que son depositadas por la quebrada en las zonas de remansos o localizadas en zonas de corriente moderada. A diferencia de las rocas grandes este sustrato no ofrece la estabilidad mecánica suficiente para la configuración de abundantes comunidades de algas y macrófitas, pero en cambio dispone de muchos espacios intersticiales que son aprovechados por una comunidad compleja de autótrofos y heterótrofos.

6.2 Diversidad Biológica:

Por “diversidad biológica” se entiende la variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente, incluidos entre otras cosas, los ecosistemas terrestres y marinos y otros ecosistemas acuáticos y los complejos ecológicos de los que forman parte; comprende la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y de los ecosistemas. (“Convenio sobre la Diversidad Biológica”, hecho en Río de Janeiro el 5 de junio de 1992.)

6.2.1 Métodos de medición al nivel de especies.

Los estudios sobre medición de biodiversidad se han centrado en la búsqueda de parámetros para caracterizarla como una propiedad emergente de las comunidades ecológicas. Sin embargo, las comunidades no están aisladas en un entorno neutro. En cada unidad geográfica, en cada paisaje, se encuentra un número variable de comunidades. Por ello, para comprender los cambios de la biodiversidad con relación a la estructura del paisaje, la separación de los componentes alfa, beta y gamma puede ser de gran utilidad, principalmente para medir y monitorear los efectos de las actividades humanas. La diversidad alfa es la riqueza de especies de una comunidad particular a la que consideramos homogénea, la diversidad beta es el grado de cambio o reemplazo en la composición de especies entre diferentes comunidades en un paisaje (“Whittaker, 1972”. Tomado de Moreno, 2001).

6.2.1.1 Medición de la diversidad alfa

La gran mayoría de los métodos propuestos para evaluar la diversidad de especies se refieren a la diversidad dentro de las comunidades (alfa). Para diferenciar los distintos métodos en función de las variables biológicas que miden, se divide en dos grandes grupos: 1) Métodos basados en la cuantificación del número de especies presentes (riqueza específica); 2) Métodos basados en la estructura de la comunidad, es decir, la distribución proporcional del valor de importancia de cada especie (abundancia relativa de los individuos, su biomasa, cobertura, productividad, etc.). Los métodos basados en la estructura pueden a su vez clasificarse según se basen en la dominancia o en la equidad de la comunidad (Moreno, 2001).

6.2.1.1.1 Medición de la riqueza específica

La riqueza específica (S) es la forma más sencilla de medir la biodiversidad, ya que se basa únicamente en el número de especies presentes, sin tomar en cuenta el valor de importancia de las mismas. La forma ideal de medir la riqueza específica es contar con un inventario completo que nos permita conocer el número total de especies (S) obtenido por un censo de la comunidad. Esto es posible únicamente para ciertos taxa bien conocidos y de manera puntual en tiempo y en espacio. La mayoría de las veces se recurre a índices de riqueza específica obtenidos a partir de un muestreo de la comunidad. A continuación se describe un índice para medir la riqueza de especies (Moreno, 2001).

Riqueza específica (S)

Número total de especies obtenido por un censo de la comunidad.

Índice de diversidad de Margalef

$$D_{Mg} = \frac{S - 1}{\ln N}$$

Donde

S= número de especies

N= número total de individuos

Transforma el número de especies por muestra a una proporción a la cual las especies son añadidas por expansión de la muestra. Supone que hay una relación funcional entre el número de especies y el número total de individuos $S = k\sqrt{N}$ donde k es constante (Magurran, 1998). Si esto no se mantiene, entonces el índice varía con el tamaño de muestra de forma desconocida. Usando $S-1$, en lugar de S, da $D_{Mg} = 0$ cuando hay una sola especie (Moreno, 2001).

6.2.1.1.2 Índices de Diversidad

Algunos de los índices más reconocidos sobre diversidad se basan principalmente en el concepto de equidad (Moreno, 2001).

Índice de Shannon – Weaver (1949), H' .

Se usa en ecología u otras ciencias similares para medir la biodiversidad. Este índice se representa normalmente como H' y se expresa con un número positivo, que en la mayoría de los ecosistemas naturales varía entre 1 y 5. Excepcionalmente puede haber ecosistemas con valores mayores (bosques tropicales, arrecifes de coral) o menores (algunas zonas desérticas). La mayor limitante de este índice es que no tiene en cuenta la distribución de las especies en el espacio.

La fórmula del índice de Shannon-Weaver (1949) es la siguiente:

$$H' = - \sum p_i \ln p_i$$

Dónde:

p_i = proporción de individuos de la especie i respecto al total de individuos (es decir la abundancia relativa de la especie i) se halla de la siguiente manera:

$$p_i = n_i/N$$

Dónde:

n_i = número de individuos por especie.

N = número total de individuos en la muestra.

De esta forma, el índice contempla la cantidad de especies presentes en el área de estudio (riqueza de especies), y la cantidad relativa de individuos de cada una de esas especies (abundancia)

Los rangos para este índice en cuanto a diversidad son:

0 - 1.5: Poca Diversidad.

1.6 – 3: Mediana Diversidad.

3.1 – 5: Alta Diversidad.

(Zamora, 2007).

6.2.1.2 Medición de la diversidad beta

La diversidad beta 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 está basada en proporciones o diferencias (Magurran, 1988). Estas proporciones pueden evaluarse con base en índices o coeficientes de similitud, de disimilitud o de distancia entre las muestras a partir de datos cualitativos (presencia-ausencia de especies) o cuantitativos (abundancia proporcional de cada especie medida como número de individuos, biomasa, densidad, cobertura, etc.) (Moreno, 2001).

6.2.1.2.1 Índices de similitud/disimilitud

Expresan el grado en el que dos muestras son semejantes por las especies presentes en ellas, por lo que son una medida inversa de la diversidad beta, que se refiere al cambio de especies entre dos muestras (Moreno, 2001)

Sin embargo, a partir de un valor de similitud (s) se puede calcular fácilmente la disimilitud (d) entre las muestras: $d=1-s$ (Magurran, 1988). Estos índices pueden obtenerse con base en datos cualitativos o cuantitativos directamente o a través de métodos de ordenación o clasificación de las comunidades (Moreno, 2001).

6.2.1.2.1.1 Índices con datos cualitativos

Coeficiente de similitud de Jaccard

$$I_J = \frac{c}{a + b - c}$$

Donde

a = número de especies presentes en el sitio A.

b = número de especies presentes en el sitio B.

c = número de especies presentes en ambos sitios A y B (Moreno, 2001).

6.3. BMWP

El Índice BMWP, es un método de bioindicación que solo requiere llegar hasta nivel de familia y los datos son de tipo cualitativo (presencia o ausencia), el puntaje utilizado para la ordenación de los grupos de macroinvertebrados acuáticos va de 1 a 10, de acuerdo con la tolerancia de los diferentes grupos a la contaminación o alteraciones de las condiciones naturales de los cuerpos de agua. Al estar ubicada Colombia en el trópico y gracias a sus características físicas, lo hace un país rico en diversidad de climas, que a su vez, enriquece a este territorio con gran número de especies en flora y fauna, por lo que, diferentes investigadores se dieron a la tarea de adaptar esta metodología en los diferentes ecosistemas epicontinentales lénticos y lóticos de Colombia, por lo cual se cita a los investigadores Zamora (2007) y Roldán (2003), quienes presentan adaptaciones para los niveles de bioindicación.

Tabla 1. Clases, valores y características para aguas naturales clasificadas mediante el índice BMWP, adaptado para Colombia (Zamora, 2007).

Clase	Rango	Calidad	Características	Color Cartográfico
I	≥121	Muy Buena	Aguas muy limpias	Azul oscuro
II	101 -120	Buena	Aguas limpias	Azul claro
III	61 - 100	Aceptable	Aguas medianamente contaminadas	Verde
IV	36 - 60	Dudosa	Aguas Contaminadas	Amarillo
V	16 - 35	Crítica	Aguas muy contaminadas	Naranja
VI	≤ 15	Muy crítica	Aguas Fuertemente contaminadas	Rojo

7. METODOLOGIA

7.1 Descripción del área de estudio

En la siguiente tabla se encuentran detalladas las coordenadas y el corregimiento en donde esta ubicados los ecosistemas lóticos de la investigación, en el área de estudio.

Tabla 2. Georreferenciación de los tres ecosistemas lóticos de investigación.

Nombre	Autoridad	Obra	Longitud	Latitud	Corregimiento
Quebrada Hierbabuena	CRC	Box coulvert	76°29'54"	2°12'24''	Paletará
Río Negro	CRC	Pontón	76°29'27.62"	2°12'5.07"	Paletará
Río Blanco	CRC	Pontón	76°29'46.04"	2°12'17.50"	Paletará

Los ecosistemas lóticos de la presente investigación se encuentran en el municipio de Puracé, en el corregimiento Paletará; entre los 2400 y 3000msnm, el relieve es quebrado, con pendientes medianas y fuertes; de acuerdo con el sistema de clasificación de Holdridge, corresponde a la zona de vida de bosque húmedo Montano Bajo (bh-MB); el clima es frío húmedo y una biotemperatura de 12 a 18°C; la precipitación promedio es de 2177mm, hay dos periodos de lluvias: uno moderado entre enero y abril y otro de precipitación máxima entre octubre y diciembre; la temporada seca se presenta entre los meses de mayo y septiembre.

Microcuenca del río Negro. Esta microcuenca es un eje hídrico de gran importancia; ocupa un área de 25.723,16 hectáreas que representan el 29.37% del territorio municipal. Nace del extremo suroeste cerca de los 3400 msnm, en un paisaje conformado por planicies lacustres y montículos glaciares con relieve cóncavo a ondulado, en su recorrido cruza paisaje de montañas de origen volcánico y erosional. Desde la zona media hasta la desembocadura en los Ullucos, los suelos se tornan de profundos a muy superficiales, limitado por rocas, cascajo, piedra y pedrejones en sectores, son de bien a excesivamente drenados.

La microcuenca de río Blanco: la subcuenca es relativamente pequeña, sus vertientes se encuentran en el subparamo, su longitud es de aproximadamente 7,0 km.

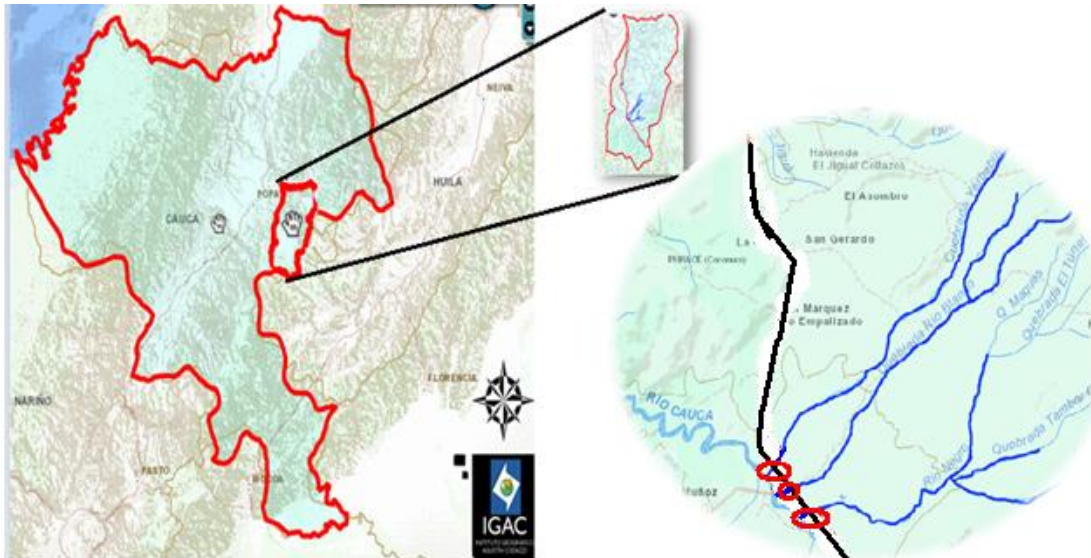


Figura 1. a).Mapa departamento del Cauca; b). municipio de Purace. c).Corregimiento Paletará. Rio Negro; río Blanco y rio Yerbabuena. Escala 1:200000

7.2 Fase de Campo

El trabajo de campo inició con el reconocimiento de la región donde se llevó a cabo el estudio, durante el mes de mayo, esto incluye el establecimiento de los dos tramos de muestreo, que correspondieron a cada ecosistema lótico:

Tramo 1: Aguas arriba (Antes del cruce de la vía).

Tramo 2: Aguas abajo.(Después del cruce de la vía)

Posteriormente se realizó la descripción del ecosistema y registro de los principales impactos antrópicos que afectan el ecosistema lótico, empleando una lista de chequeo y la matriz de FEARO.

Los muestreos se desarrollaron durante los meses de julio a septiembre. Se efectuó un muestreo mensual en los puntos denominados antes (aguas arriba) y después (aguas abajo) representando 2 muestreos por ecosistema lótico, sumando 6 muestreos mensuales; para un total de 18 muestreos durante tres meses en los tres cuerpos de agua.

Para la recolección de macroinvertebrados acuáticos se usó una red pantalla de 1m² en total el área de muestreo por subhábitat. En cada tramo, se tomaron muestras: 1 muestreo de macroinvertebrados acuáticos por cada sitio, cada uno con tres replicas.

En las partes de los ecosistemas loticos donde se encuentran las aguas con corrientes poco profundas se utilizó la red de mano es el artefacto más sencillo y eficiente para obtener una abundante y variada fauna béntica (Roldán, 1999). El tiempo de muestreo con la red de pantalla fue de 10 minutos, removiendo el sustrato para la captura de macroinvertebrados acuáticos, los cuales se preservaron en recipientes con alcohol al 70% por cada tramo de muestreo y subhábitat con las respectivas etiquetas que incluyen: localización geográfica, tramo de muestreo, tipo de sustrato y fecha.(Roldan 1999).

7.3 Fase de laboratorio

Para la determinación de los macroinvertebrados presentes en las muestras, se realizó la separación manual bajo estereoscopio en el laboratorio de Recursos Hidrobiológicos Continentales (RHC) de la Universidad del Cauca, y la identificación con la ayuda de guías y claves específicas para el estudio de estos organismos (Merritt y Cummins, 1979; Mc Cafferty y Provansha, 1981; Needham y Needham, 1982; Roldan, 1988; Machado, 1989; Schuh y Slater, 1995; Epler, 1996; Wiggins, 1996; Domínguez y Fernández, 2009.). Se determinaron las familias y géneros presentes en los tres ecosistemas loticos objetos de estudio.

7.4 Análisis de datos

Los resultados se presentaron en tablas donde se incluya: clase, orden, familia, género, número de individuos y tramo de muestreo al cual se asocian los macroinvertebrados acuáticos. Estos datos se analizaron de manera cuantitativa empleando Índice de Diversidad de Shannon-Weaver (1949), índice de riqueza de Margalef. Finalmente el coeficiente de similitud de Jaccard ya que es un índice que toma en cuenta datos cualitativos. Se aplicó el software Past.exe y BioDiversity Pro versión 2.10.

Los datos obtenidos permitió realizar una matriz de densidad de macroinvertebrados, con el fin de establecer el comportamiento de los resultados obtenidos en los tres sitios de monitoreo, además del análisis descriptivo, se aplicó una prueba de componentes principales y un dendrograma de similitud Jaccard empleando el software de procesamiento estadístico (PAST.exe; versión 2).

En cuanto al análisis estadístico de los datos obtenidos en el muestreo de macroinvertebrados se empleó el software de procesamiento estadístico (BioDiversity Pro versión 2.10), en el cual se realizaron las pruebas de Margalef y Shanon-Weaver,

El BMWP fue calculado manualmente con la lista del sistema para la determinación del índice de monitoreo biológico; por Zamora (2007).

8. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos en los tres componentes de estudio.

El trabajo realizado se colectaron un total de 17 géneros de 12 familias y 6 órdenes con predominancia de tres órdenes: Ephemeroptera (Baetidae) con un total de 540 individuos (81,57 %), Díptera (9,97 %) y Trichoptera (5,74 %). Entre tanto el orden más diverso fue el Trichoptera con 5 familias (tabla 4).

En el río Negro se encontró la diversidad más alta entre los ecosistemas estudiados con 16 géneros, seguido de la quebrada Yerbabuena con 10 géneros y por último río blanco con 7 géneros; contrastando con lo anterior el ecosistema con mayor abundancia es río Blanco (50,15 %) seguido de la quebrada Yerbabuena (41,08 %) y finalmente río Negro (8,77 %).

Cabe destacar que durante el tiempo que se realizaron los muestreos, hubo diferentes sucesos climáticos, que retrasaron la toma de las muestras, entre estas una época de lluvia que duró aproximadamente dos semanas, estas lluvias se presentan en pleno tiempo seco, pero es normal según los habitantes de Paletará; los muestreos no se realizaron por que los ecosistemas loticos presentaban fuertes corrientes, lo cual ponía en riesgo la integridad de los investigadores.

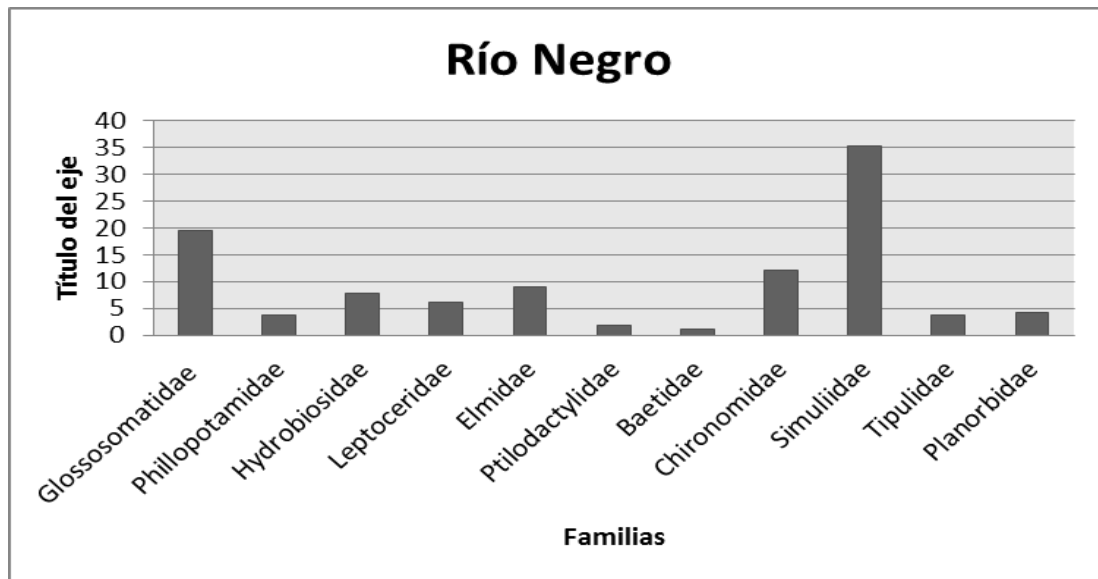
Las obras realizadas sobre la vía, también afectaron directamente a los ecosistemas loticos del estudio, ya que los vertimientos de materiales para la ampliación y construcción de puentes, se convirtieron en modificadores de la conformación y estructura biótica de estos cuerpos de agua. Pero no solo en la parte biótica se refleja los cambios, sino también en la morfología de los cauces, esto debido a que al ampliar la vía y los puentes, el espacio de canal se reduce, haciendo que sus corrientes sean más rápidas en estos puntos.

La siguiente tabla, muestra la cantidad de macroinvertebrados encontrados en cada cuerpo de agua.

Tabla 3. Cantidad de individuos encontrados en los tres ecosistemas en todo el estudio, en el área de estudio.

Orden	Familias	Rio Negro	Rio Blanco	Q. Yerbabuena
Trichoptera	Glossosomatidae	32	6	
	Phillopotamidae	6		
	Hydrobiosidae	13	8	2
	Leptoceridae	10		
Coleoptera	Elmidae	15	6	3
	Ptilodactylidae	3		6
Ephemeroptera	Baetidae	2	306	232
Diptera	Chironomidae	20		11
	Simuliidae	58	1	7
	Tipulidae	6	1	4
Gasteropoda	Planorbidae	7		
Tricladida	Planaridae			1
Total		172	328	266

Las familias de macroinvertebrados encontrados en cada ecosistema lotico, registraron una abundancia, el cual será relacionado en las siguientes gráficas.



Grafica 1. Porcentaje de abundancia – Río Negro

La abundancia de las familias durante todo el muestreo en el río Negro, muestra el porcentaje de las más abundantes, entre ellos la familia Simuliidae (32%), seguida por la familia Glossosomatidae (21.5%) y finalmente la familia Leptoceridae con un (10%). Es de destacar que este ecosistema, presenta un tensor importante, como es el paso de la vía Paletará – Isnos, siendo este uno de los principales factores del cambio de la estructura acuática antes (aguas arriba) y después (aguas abajo) del cruce de la vía. Las características de este ecosistema son particulares, debido a que la forma de su cauce es en cañón, lo cual genera aumento en la velocidad del agua; la coloración es oscura, de ahí el nombre río Negro. La cobertura vegetal circundante son arbustos y es muy denso, ha sido difícil la intervención antrópica, como se muestran en las siguientes figuras.



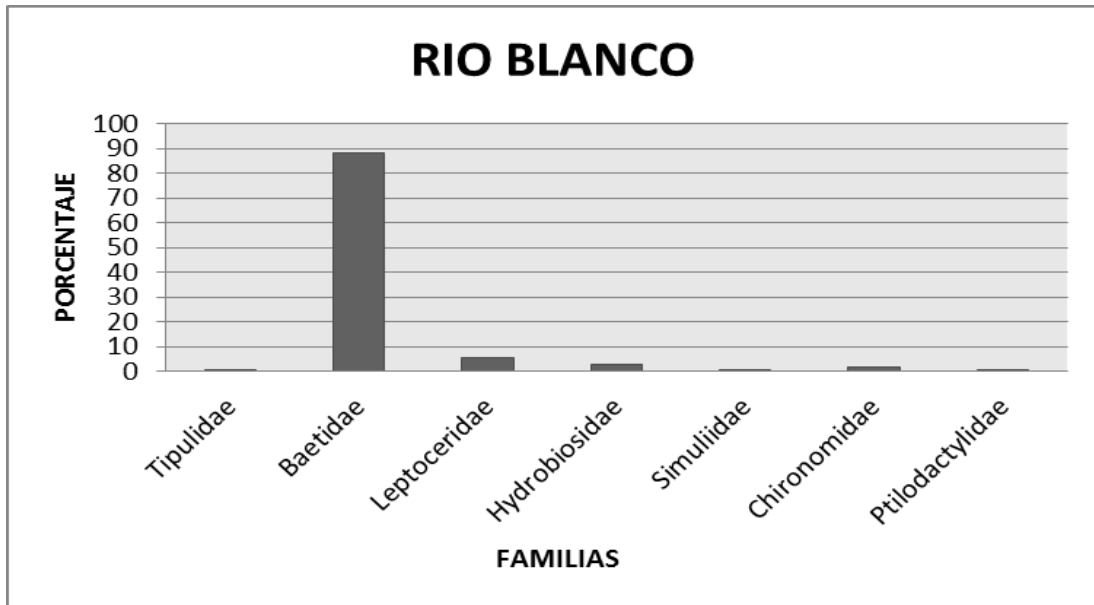
Figura 2. Rio Negro punto de muestreo Antes (águas arriba)



Figura 3. Rio Negro punto de muestreo Después (aguas abajo)



Figura 4. Puente Rio Negro



Gráfica 2. Porcentaje de Abundancia – Rio Blanco

La abundancia de los macroinvertebrados acuáticos en el río Blanco está dominada por la familia Baetidae (88.02%), siendo esta familia la más representativa de todo el estudio a través del tiempo, seguida por la familia Leptoceridae (5.28%). Este ecosistema lótico, presenta grandes diferencias con los otros dos ecosistemas de estudio, debido a que su ubicación está contigua al cacero de Paletará, generando un gran impacto sobre la calidad biológica del agua; presenta el mismo tensor; la vía Paletará – Isnos, atravesado por un puente vehicular. Las características morfológicas y paisajísticas de los puntos de muestreo, dan cuenta que las márgenes del río son utilizadas para la ganadería, encontrándose totalmente cubierto de vegetación herbácea y arbustiva en menor densidad a lo largo de los puntos de muestreo como se observa en las siguientes figuras.



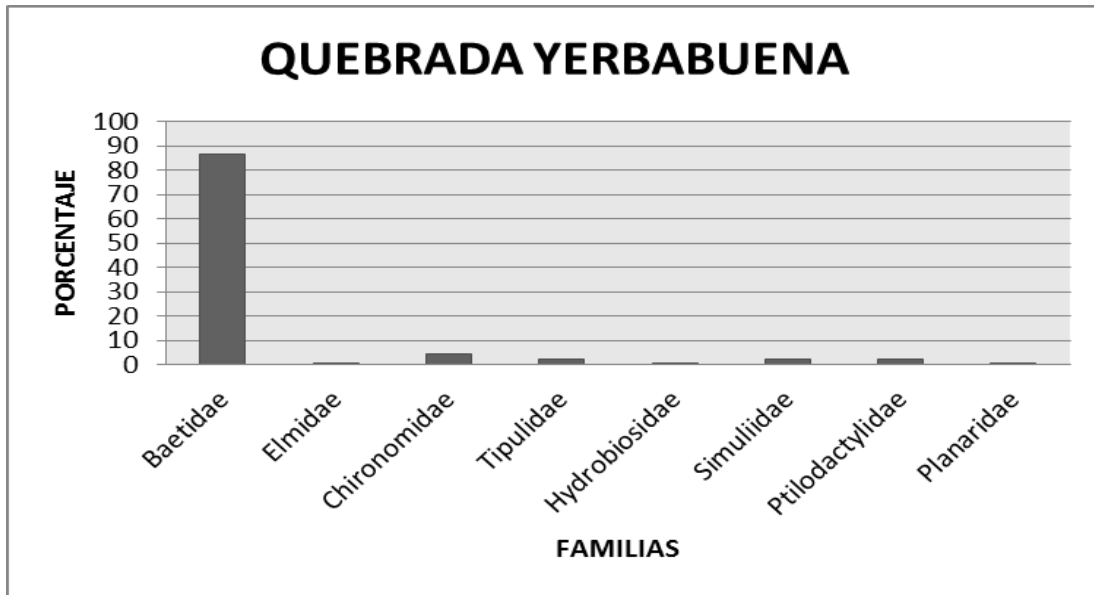
Figura 5. Rio Blanco punto de muestreo Antes (aguas arriba)



Figura 6. Rio Blanco punto de muestreo despues (aguas abajo).



Figura 7. Puente rio Blanco



Grafica 3. Porcentaje de abundancia – Quebrada Yerbabuena

La abundancia de la quebrada Yerbabuena, esta conformada por ocho familias de macroinvertebrados encontrados en los diferentes muestreos que se realizarón, siendo la mas abundante la familia Baetidae (86.56%), seguido de la familia Chironomidae (4.34%). La quebrada Yerbabuena también es atravezada por la via Paletará – Isnos, siendo este tensor el causante del cambio de la conformacion de la estructura de macroinvertebrados en los puntos de muestreo antes (aguas arriba) y despues (aguas abajo). La conformación paisajista es la típica de una zona de ganadería, debido a que la cobertura vegetal en las márgenes del rio están constituidas por pastos, permitiendo un cambio drástico en la composición biológica del cuerpo de agua.



Figura 8. Quebrada Yerbabuena punto de muestreo antes (aguas arriba)



Figura 9. Quebrada Yerbabuena punto de muestreo después (aguas abajo).



Figura 10. Puente Quebrada Yerbabuena.

En la totalidad del muestreo, se notó que la familia más representativa con respecto al número de individuos colectados, fue la familia Baetidae, pero es de resaltar que esta familia solo se presentó en gran abundancia en río Blanco y en la quebrada Yerbabuena, estableciendo una gran diferencia con río Negro, que posteriormente será observada en cada uno de los índices analizados en este estudio.

**Tabla 4. Macroinvertebrados Epicontinentales presentes en el estudio.
Muestreo 1.**

Orden	Familia	Genero	Río Negro antes (aguas arriba)	Rio Negro después(a guas abajo)	Rio Blanco antes (aguas arriba)	Rio Blanco después (aguas abajo)	Q. Yerba- buena antes (aguas arriba)	Q. Yerba- buena después (aguas abajo)
Trichoptera	Glossosomidae	Mortoniella	9	0	0	0	0	0
Diptera	Tipulidae	Tipule	6	0	0	0	0	0
Coleoptera	Elmidae	Sp1	3	4	0	0	0	0
Gasteropoda	Planorbidae	Gyraulus	1	0	0	0	0	0
Ephemeroptera	Baetidae	Baetis	1	0	0	0	0	0
Ephemeroptera	Baetidae	Baetodes	1	0	44	32	57	59
Coleoptera	Elmidae	Cylloems	2	2	0	0	0	0
Coleoptera	Elmidae	Macrelmis	0	4	0	0	0	0
Trichoptera	Phillopotamidae	Chimarra	0	6	0	0	0	0
Diptera	Chironomidae	Tanyponidae	0	1	0	0	0	0
Diptera	Tipulidae	Molophilus	0	0	3	0	1	0
Trichoptera	Hydrobiosidae	Atopsiche	0	0	0	5	0	1
Diptera	Simuliidae	Simulium	0	0	0	2	0	0
Coleoptera	Ptilodactylidae	Anchitarsus	0	0	0	0	2	0

Muestreo 2

Diptera	Choronomidae	Sp2	2	3	0	0	1	0
Diptera	Simuliidae	Simulium	5	4	0	1	0	1
Trichoptera	Glossosomidae	Mortoniella	9	0	0	0	0	0
Trichoptera	Leptoceridae	Atanatolica	5	8	0	0	0	0
Trichoptera	Hydrobiosidae	Atopsiche	0	1	2	1	0	0
Gasteropoda	Planorbidae	Gyraulus	0	6	0	0	0	0
Trichoptera	Glossosomatidae	Mortoniella	0	2	0	0	0	0
Ephemeroptera	Baetidae	Baetodes	0	0	56	54	24	14
Diptera	Tipulidae	Molophilus	0	0	0	0	2	0
Trichoptera	Ptilodactylidae	Anchytarsus	0	0	0	0	0	1

Continuación.

Muestreo 3.

Orden	Familia	Genero	Rio Negro antes (águas arriba)	Rio Negro después (aguas abajo)	Rio Blanco antes (aguas arriba)	Rio Blanco después (aguas abajo)	Q. Yerba-buena antes (aguas arriba)	Q. Yerba-buena después (aguas abajo)
Diptera	Simuliidae	Simulium	28	21	0	1	0	5
Díptera	Chironomidae	Sp2	10	4	0	0	10	0
Trchoptera	Glossosomatidae	Mortoniella	2	10	0	0	0	0
Coleoptera	Ptilodactylidae	Anchytarsus	0	3	0	0	2	1
Trichoptera	Leptoceridae	Atanatolica	0	2	0	0	0	0
Ephemeroptera	Baetidae	Baetodes	0	0	29	41	27	38
Trichoptera	Hydrobisidae	Atopsyche	0	0	3	2	0	1
Diptera	Tipulidae	Molophilus	0	0	1	0	1	2
Dipptera	Tipulidae	Tipula	0	0	0	1	0	3
Coleptera	Elmidae	Cylloems	0	0	0	0	1	1
Coleóptera	Elmidae	Sp1	0	0	0	0	0	0
Tricladida	Planariidae	Sp3	0	0	0	0	1	0

Diversidad Biológica.

Índice de diversidad de Margalef:

El índice de Margalef, realizado en cada uno de los sitios de muestreo arroja los siguientes datos (tabla 6).

Tabla 5. Índice de Margalef. Muestreo 1.

Índice - Margalef	Rio Negro	Rio Blanco	Q. Yerbabuena
Antes (aguas arriba)	1.914	0.2597	0.4885
Después (aguas abajo)	1.412	0.5459	0.2442

El ecosistema acuático que obtuvo mayor puntaje del índice de Margalef, en el primer muestreo, fue Rio Negro; (antes, 1.914 – después 1.412), seguido por de rio Blanco (antes, 0.2597 – después, 0.5459) y por último la quebrada Yerbabuena (antes, 0.4885 – después, 0.2442). Teniendo en cuenta que el índice de Margalef considera que los puntajes menores a dos, se relacionan con zonas de baja diversidad, debido a que los ecosistemas acuáticos de estudio se encuentran es zona de paramo, encontrando una baja diversidad y no necesariamente por efecto antropogénico.

En el muestreo 2 (tabla 7.) se observa que el comportamiento de la diversidad cambió en río Negro.

Tabla 6. Índice de Margalef. Muestreo 2.

Índice – Margalef	Rio Negro	Rio Blanco	Q. Yerbabuena
Antes (aguas arriba)	0.9854	0.52463	0.6068
Después (aguas abajo)	1.573	0.4969	0.7213

En el comportamiento de la diversidad de río Negro hubo una disminución de la diversidad (antes, 0.9854 – después, 1.573), respecto al muestreo anterior, pero se mantuvo como el más diverso entre los ecosistemas acuáticos muestreados; seguido de la quebrada Yerbabuena (antes, 0.6068 – después, 0.7213) y por último río Blanco (antes, 0.52463 – después, 0.4969). Estos cambios se relacionan con un alto nivel de precipitación que se presentó por dos semanas a finales de agosto y principios de septiembre, generando arrastre y esto causó cambios en la distribución de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos.

En el tercer muestreo (tabla 8), se observó un cambio en el comportamiento de la diversidad.

Tabla 7. Índice de Margalef Muestreo 3.

Índice - Margalef	Río Negro	Río Blanco	Q. Yerbabuena
Antes (aguas arriba)	0.5422	0.572	1.338
Después (aguas abajo)	1.084	0.7881	1.526

En este muestreo se presentó como el ecosistema acuático más diverso la quebrada Yerbabuena (antes, 1.338 – después, 1.526), seguido de río Negro (antes, 0.5422 – después, 1.084) y por último río Blanco (antes, 0.572 – después, 0.7881). Estos cambios se relacionan, con los impactos generados por la construcción de la vía; en el caso de río Negro en el cual se estaban realizando procesos de ampliación en el puente, fue depositado material del relleno en la zona que denominamos como punto antes (aguas arriba); se infiere que por esta razón la diversidad disminuye debido a la reducción del cauce, aumentando el nivel del agua y su velocidad. En cuanto a río Blanco la variación es mínima, respecto a los muestreos anteriores y la variación en la quebrada Yerbabuena puntó en el índice debido que en este ecosistema acuático no hubo intervención de la vía.

Tabla 8. Índice de Margalef muestreo general.

Índice - Margalef	Rio Negro	Rio Blanco	Q. Yerbabuena
	2.945	1.034	1.605

El puntaje general de todo el estudio, manifiesta que el ecosistema acuático más diverso según el índice de Margalef fue río Negro (2.945), seguido por la quebrada Yerbabuena (1.605) y finalmente por río Blanco (1.034). Estos datos, dan cuenta de la diferencia de familias de macroinvertebrados que presenta cada ecosistema lotico, se le atribuyen estas diferencias esencialmente a la ubicación de los cuerpos de agua, respecto a los asentamientos humanos.

Se realizó el índice de diversidad de Shannon – Weaver y Margalef porque la cantidad de individuos muestreados fueron muy pocos, lo cual disminuye la efectividad de los índices y con esto se pudo comparar los valores teniendo la certeza del resultado que se obtuvo.

Índice de Diversidad

Índice de Shannon – Weaver (1949), H' .

El índice de Shannon, realizado en cada uno de los sitios de muestreo arroja los siguientes datos (ver tabla 10). El ecosistema acuático que obtuvo mayor puntaje del índice de Shannon, en el primer muestreo, fue río Negro; (antes (aguas arriba), 1.605 – después (aguas abajo), 1.467), seguido por de río Blanco (antes (aguas arriba), 0.2374 – después (aguas abajo), 0.578) y por último la quebrada Yerbabuena (antes (aguas arriba), 0.2303 – después (aguas abajo), 0.08477). Teniendo en cuenta que el índice de Shannon considera que los puntajes, 0 - 1.5: son de poca diversidad, de 1.6 – 3: mediana diversidad y de 3.1 – 5: alta diversidad; la mayoría de los puntos de muestreo se observó que son de baja diversidad biológica, puesto que sus valores están por debajo de 1.5; menos el punto antes de Río Negro, que mostro un índice de 1.605, indicando una diversidad biológica media. Debido a que los ecosistemas acuáticos de estudio se encuentran es zona de paramo, encontrando una baja diversidad y no necesariamente por efecto antropogénico.

Tabla 9. Índice de Shannon. Muestreo 1.

Índice de Shannon	Rio Negro	Rio Blanco	Q. Yerbabuena
Antes (aguas arriba)	1.605	0.2374	0.2303
Después (aguas abajo)	1.467	0.578	0.08477

En el muestreo 2 (tabla 11) se observa que el comportamiento; en rio Negro (antes (aguas arriba), 1.27 – después (aguas abajo), 1.611), seguido de la quebrada Yerbabuena (antes (aguas arriba), 0.4196 – después (aguas abajo), 0.4634) y por ultimo rio Blanco (antes (aguas arriba), 0.15 – después (aguas abajo), 0.1788). La mayoría de los puntos de muestreo, determinaron que la diversidad biológica es baja, puesto que los valores están por debajo de 1.5; menos el punto después río Negro con un puntaje de 1.611 muestra una diversidad biológica media. Los pequeños cambios se relacionan con un alto nivel de precipitación que se presentó por dos semanas a finales de julio y principios de septiembre.

Tabla 10. Índice de Shannon. Muestreo 2.

Índice de Shannon	Rio Negro	Rio Blanco	Q. Yerbabuena
Antes (aguas arriba)	1.27	0.15	0.4196
Después (aguas abajo)	1.611	0.1788	0.4634

En el tercer muestreo (tabla 12), se observó un cambio en el comportamiento de la diversidad, presentándose como el ecosistema acuático más diverso la Quebrada Yerbabuena (antes (aguas arriba), 1.038 – después (aguas abajo), 0.9719), seguido de rio Negro (antes (aguas arriba), 0.746 – después (aguas abajo), 1.259) y por ultimo rio Blanco (antes (aguas arriba), 0.4375 – después (aguas abajo), 0.3924). Estos cambios se relacionan, con los impactos generados por la construcción de la vía; en el caso de Rio Negro en el cual se estaban realizando procesos de ampliación en el puente, fue depositado materia del relleno en la zona que denominamos como punto antes; se infiere que por esta razón la diversidad disminuye debido a la reducción del cauce en la parte antes del puente, aumentando el nivel del agua y su

velocidad. En cuanto a Rio Blanco la variación es mínima, respecto a los muestreos anteriores, mientras la Quebrada Yerbabuena punteo en el índice debido a que sobre este ecosistema acuático no hubo intervención de la vía.

Tabla 11. Índice de Shannon Muestreo 3.

Índice de Shannon	Rio Negro	Rio Blanco	Q. Yerbabuena
Antes (aguas arriba)	0.746	0.4375	1.038
Después (aguas abajo),	1.259	0.3924	0.9719

BMWP

Según el BMWP el comportamiento de los tres ecosistemas loticos estudiados es el siguiente:

Tabla 12. BMWP para todo el estudio, adaptado para Colombia (Zamora, 2007).

Ecosistema	Rio Negro	Rio Blanco	Q. Yerbabuena
Número de Familias	12	4	8
BMWP	90	30	55
Clave del Agua Cartografía	Clase III	Clase V	Clase IV
Significado	Agua medianamente contaminada	Aguas muy contaminadas	Aguas contaminadas

La calidad biológica del agua calculada con el índice de biondicación como es el BMWP adaptado para Colombia por Zamora. (2.007), dio como resultado que las aguas rio Negro son medianamente contaminadas, las de rio Blanco aguas muy contaminadas y las de la quebrada Yerbabuena aguas contaminadas, estos dos últimos ecosistemas están próximos al caserío de Paletará. Se evidencia que los ecosistemas acuáticos de río Negro, río Blanco y quebrada Yerbabuena, están bajo tensores antrópicos que generan

cambios en la estructura y composición de las comunidades bentónicas presentes en el cauce.

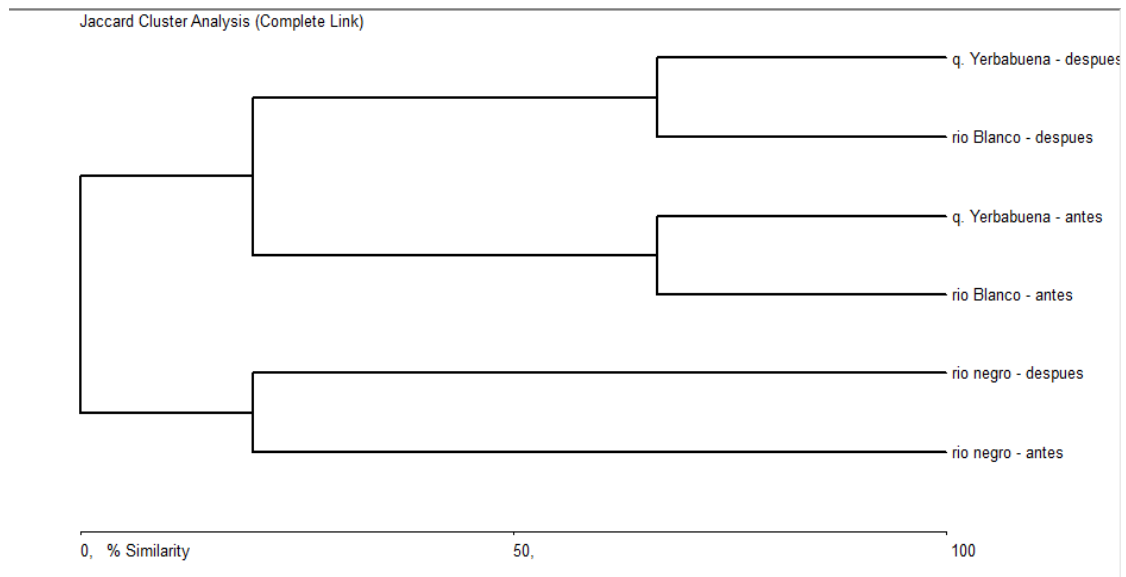
Tabla 13. Índice BMWP para río Negro en tiempo y espacio, adaptado para Colombia (Zamora, 2007).

Ecosistema río Negro		Muestreo 1		Muestreo 2		Muestreo 3	
Número de Familias	de	Antes (aguas arriba)	Después (aguas abajo)	Antes (aguas arriba)	Después (aguas abajo)	Antes (aguas arriba)	Después (aguas abajo)
				7	5	3	5
BMWP		50	32	19	34	19	37
Clave del Agua Cartografía		Clase IV	Clase V	Clase v	Clase V	Clase V	Clase IV
Significado		Aguas contami- nadas	Aguas muy contami- nadas	Aguas muy contami- nadas	Aguas muy contami- nadas	Aguas muy contami- nadas	Aguas contamina- das

La anterior tabla muestra los cambios durante el tiempo del ecosistema lotico río Negro que fue el único que tuvo una modificación significativa en la estructura y composición de los macroinvertebrados acuáticos, causado por las obras efectuadas en la vía como fueron la remoción de suelo y estructura vegetal el cual fue rellenado con material (triturado) donde se alteró el nivel del agua en el punto antes (aguas arriba) y aumento de la velocidad en el punto después (aguas abajo),arrastrando individuos de un punto a otro. En el primer muestreo el índice fue de aguas contaminadas en el punto antes, mientras en el punto después paso a ser aguas muy contaminadas; en el segundo muestreo los dos puntos de estudio indicaron aguas muy contaminadas, en este muestreo las obras viales ya habían iniciado y para el tercer muestreo para el punto antes indico aguas muy contaminadas y en el punto después ya son aguas contaminadas, empezando un proceso de autodepuración propio del cuerpo de agua.

INDICE DE JACCARD.

Teniendo en cuenta que este índice, se basa en la presencia – ausencia de especies, en este caso familias, para determinar una similitud entre diferentes sistemas, se procede inicialmente a la relación de cada uno de los ecosistemas loticos estudiados con los muestreos realizados durante el tiempo. La similitud encontrada se observa en la siguiente grafica.



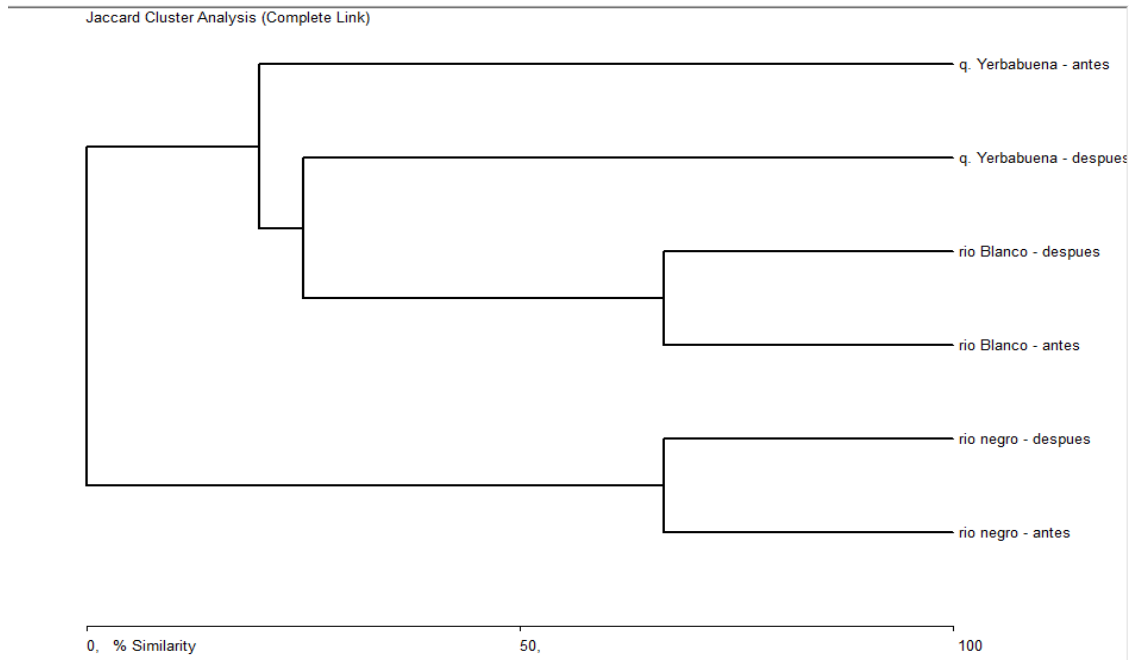
Grafica 4. Dendrograma indice de Jaccard Muestreo 1.

Tabla 14. Índice de Jaccard muestreo 1.

	R. N. a (aguas arriba)	R. N. d (aguas abajo)	R. B. a (aguas arriba)	R. B. d (aguas abajo)	Q. Y a (aguas arriba)	Q. Y. d (aguas abajo)
R. N. a (aguas arriba)	*	28,57	33,33	12,5	28,57	14,28
R. N. a (aguas arriba)	*	*	0	0	0	0
R. N. a (aguas arriba)	*	*	*	25	66,6667	33,3333
R. N. a (aguas arriba)	*	*	*	*	20	66,6667
R. N. a (aguas arriba)	*	*	*	*	*	25
R. N. a (aguas arriba)	*	*	*	*	*	*

R. N: Rio Negro, R. B: Rio Blanco, Q. Y: Quebrada Yerbabuena, a: antes, d: después.

Los resultados que se tienen con el índice de Jaccard muestra que en los sitios (rio Blanco antes(aguas arriba) y quebrada Yerbabuena antes(aguas arriba)) con 66% de similitud en el cual no hay intervención o es muy mínima por parte de las obras de mejoramiento de la carretera el cual es un resultado que se esperaba, y también los sitios (rio Blanco después(aguas abajo) y quebrada Yerbabuena después(aguas abajo)) con un porcentaje del 66% lo cual también es un resultado que se esperaba al ser sitios con intervención por la construcción de la carretera, esto nos indica que en los de los sitios de muestreo son muy similares con los organismos encontrados, los dos sitios restantes (rio negro antes(aguas arriba) y rio negro después(aguas abajo)) tiene una similitud de 28% que también es un resultado esperado, pero tienen una similitud de cero con los demás puntos de muestreo, esto se puede explicar por qué el sitio del rio negro está más alejado de los dos sitios de muestreo rio Blanco y quebrada Yerbabuena.



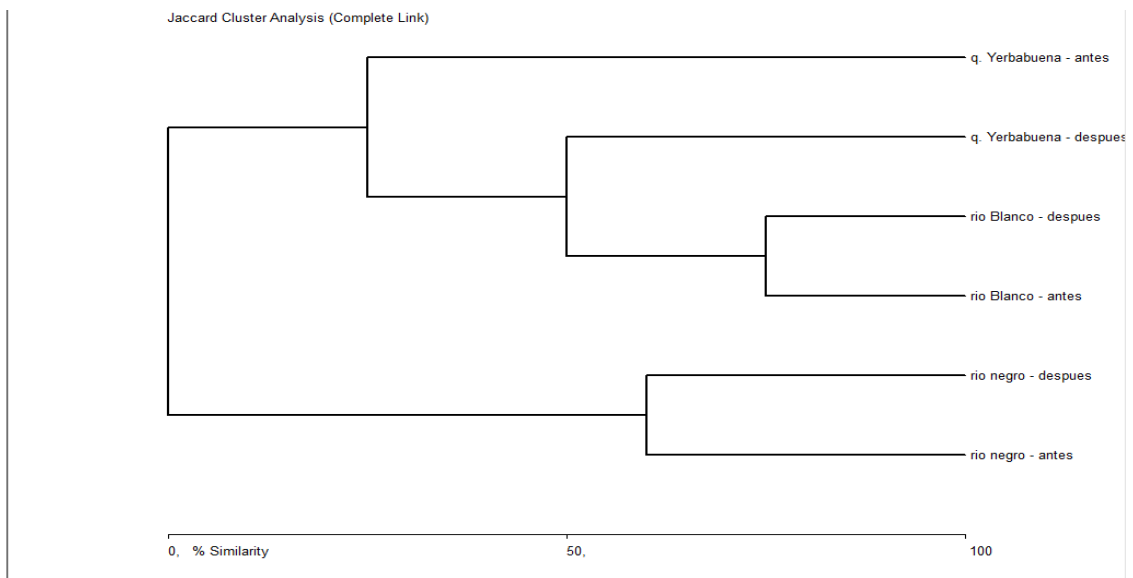
Grafica 5. Muestreo 2. Dendrograma índice de Jaccard.

Tabla 15. Índice de Jaccard muestreo 2.

	R. N. a (aguas arriba)	R. N. d (aguas abajo)	R. B. a (aguas arriba)	R. B. d (aguas abajo)	Q. Y. a (aguas arriba)	Q. Y. d (aguas abajo)
R. N. a. (aguas arriba)	*	66,6667	0	16,6667	16,6667	16,666 7
R. N. d. (aguas abajo)	*	*	14,2857	28,5714	12,5	12,5
R. B. a (aguas arriba)	*	*	*	66,6667	25	25
R. B. d. (aguas abajo)	*	*	*	*	20	50
Q. Y. a (aguas arriba)	*	*	*	*	*	20
Q. Y. d (aguas abajo)	*	*	*	*	*	*

R. N: Rio Negro, R. B: Rio Blanco, Q. Y: Quebrada Yerbabuena, a: antes, d: después.

En el segundo muestreo indica que cambian con respecto al primer muestreo, en los sitios (rio Negro antes(aguas arriba) y rio Negro después(aguas abajo)) y (rio Blanco antes (aguas arriba) y rio Blanco después (aguas abajo)) con una similitud del 66% esto se puede explicar porque hubo unos días de lluvias muy fuertes en la zona y esto pudo arrastrar algunos organismos de la parte antes (aguas arriba) de rio negro y rio blanco hasta el sitio de muestreo (aguas abajo) por lo cual se tiene una similitud más alta con relación al anterior muestreo, en los sitios (quebrada Yerbabuena antes (aguas arriba) y Yerbabuena después (aguas abajo)) con un porcentaje de similitud de 20% y con relación a los diferentes (rio Negro antes(aguas arriba) y rio Negro después(aguas abajo)) 16% y 12,5% y (rio Blanco antes (aguas arriba) y rio Blanco después (aguas abajo)) de 20% y 25% respectivamente.



Gráfica 6. Dendrograma índice de Jaccard. Muestreo 3.

Tabla 16. indice de Jaccard Muestreo 3.

	R. N. a (aguas arriba)	R. N. d (aguas abajo)	R. B. a (aguas arriba)	R. B. d (aguas abajo)	Q. Y a (aguas arriba)	Q. Y. d (aguas abajo)
R. N. a (aguas arriba)	*	60	0	16,6667	12,5	12,5
R. N. a (aguas arriba)	*	*	0	12,5	22,2222	22,2222
R. N. a (aguas arriba)	*	*	*	75	28,5714	50
R. N. a (aguas arriba)	*	*	*	*	25	66,6667
R. N. a (aguas arriba)	*	*	*	*	*	50
R. N. a (aguas arriba)	*	*	*	*	*	*

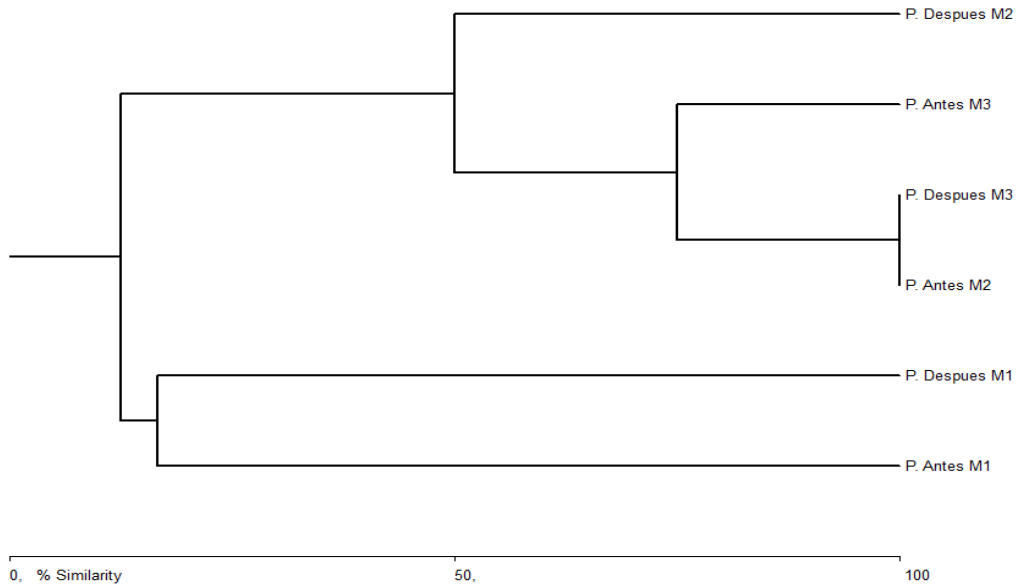
R. N: Rio Negro, R. B: Rio Blanco, Q. Y: Quebrada Yerbabuena, a: antes, d: después.

En los sitios (rio Blanco antes(aguas arriba) y rio Blanco después (aguas abajo)) hay un porcentaje de 75% de similitud, con respecto a los sitios (quebrada Yerbabuena antes (aguas arriba) y quebrada Yerbabuena después(aguas abajo)) con 66% y el sitios (rio Negro antes y rio Negro después) 60% y con relación entre rio Negro y los sitios de rio Blanco y quebrada Yerbabuena son muy bajos y se mantiene la explicación de la distancia que hay entre el sitio rio Negro y los dos sitios.

La siguiente comparación, por medio del índice de similitud de Jaccard, se realiza en cada ecosistema lotico respectivamente a través del tiempo de muestreo, con la realización de este índice, se observan los cambios en la composición de macroinvertebrados, logrando así, sustentar los eventos ocurridos para que se dieran cambios y localizar en el tiempo, los momentos en que las obras civiles comenzaron a generar impacto sobre los cuerpos de agua estudiados.

Comparación a través del tiempo en cada ecosistema lotico.

Jaccard Cluster Analysis (Complete Link)



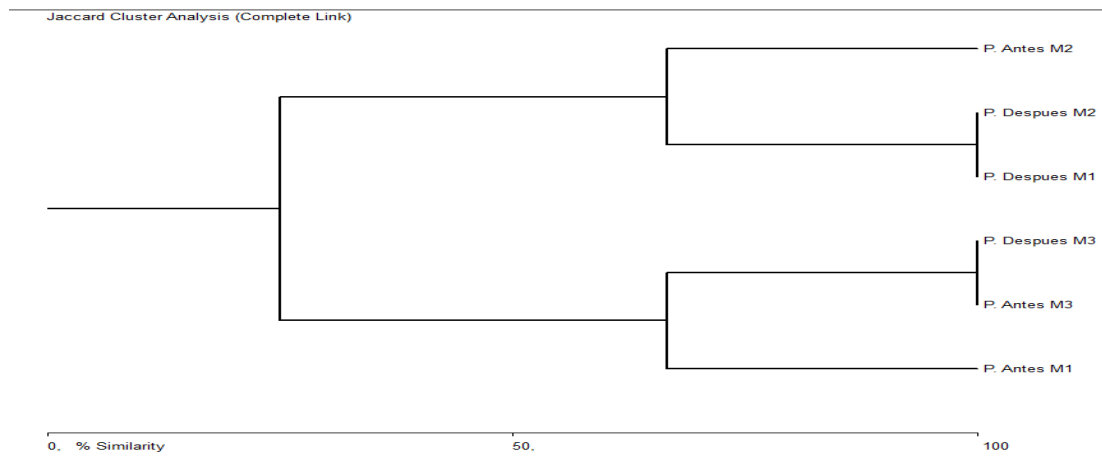
Gráfica 7. Dendograma Índice de Jaccard río Negro.

Tabla 17. Rio Negro indice de Jaccard para todo el estudio.

	R. N. a (aguas arriba). M1	R. N. d (aguas abajo) M1	R. B. a (aguas arriba) M2	R. B. d (aguas abajo) M2	Q. Y a (aguas arriba) M3	Q. Y. d (aguas abajo) M3
R. N. a (aguas arriba). M1	*	16,6667	14,2857	25	16,6667	14,2857
R. N. a (aguas arriba). M1	*	*	16,6667	12,5	20	16,6667
R. N. a (aguas arriba). M1	*	*	*	66,6667	75	100
R. N. a (aguas arriba). M1	*	*	*	*	50	66,6667
R. N. a (aguas arriba). M1	*	*	*	*	*	75
R. N. a (aguas arriba). M1	*	*	*	*	*	*

R. N: Rio Negro, R. B: Rio Blanco, Q. Y: Quebrada Yerbabuena, a: antes, d: después.

El comportamiento del Rio Negro, mostró una variación en cada muestreo, debido que no todos son significativamente similares; el punto antes del muestreo 2 con el punto antes del muestreo 3, presenta una similitud del 75% al igual que el punto antes y después del muestreo 3, siendo estos puntos los que más se parecen entre sí, puesto que la cantidad de individuos encontrados es muy parecida tanto en el numero como en la familia.



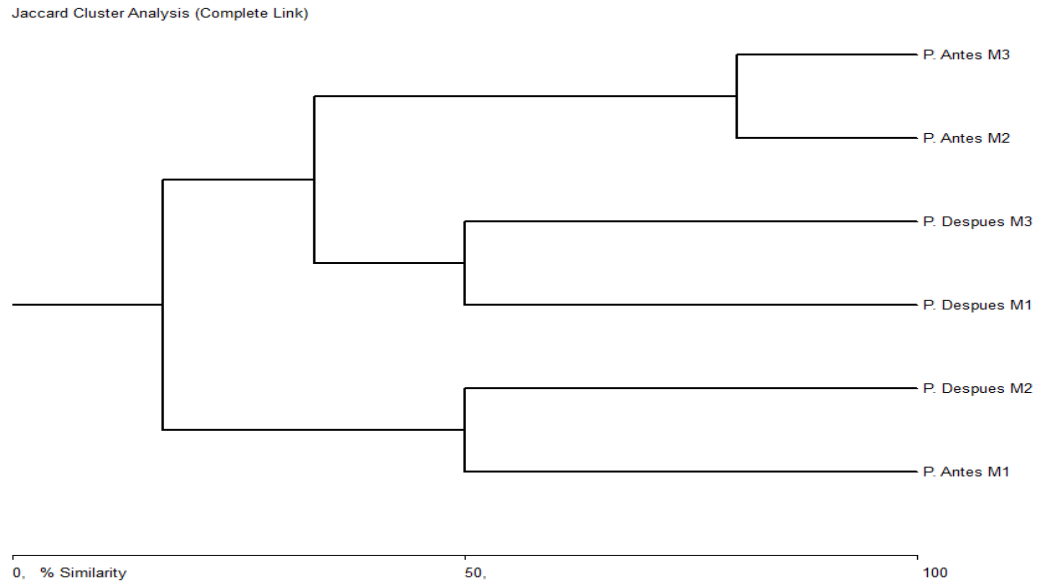
Grafica 8. Rio Blanco indice de Jaccard para todo el estudio.

Tabla 18. Rio Blanco indice de Jaccard para todo el estudio.

	R. N. a (aguas arriba). M1	R. N. d (aguas abajo) M1	R. B. a (aguas arriba) M2	R. B. d (aguas abajo) M2	Q. Y a (aguas arriba) M3	Q. Y. d (aguas abajo) M3
R. N. a (aguas arriba). M1	*	25	33,3333	25	66,6667	66,6667
R. N. a (aguas arriba). M1	*	*	66,6667	100	50	50
R. N. a (aguas arriba). M1	*	*	*	66,6667	66,6667	66,6667
R. N. a (aguas arriba). M1	*	*	*	*	50	50
R. N. a (aguas arriba). M1	*	*	*	*	*	100
R. N. a (aguas arriba). M1	*	*	*	*	*	*

R. N: Rio Negro, R. B: Rio Blanco, Q. Y: Quebrada Yerbabuena, a: antes, d: después.

En el caso de Rio Blanco, la mayoría de los puntos presentan una similiaridad superior al 50% a diferencia de la comparacion entre el punto antes de muestreo 1 con los puntos despues M1, antes M2 y despues M2, que presenta una similiaridad de 25%, 33.33% y 25% respectivamente en cuanto a las conformacion de las familias de macroinvertebrados encontrados.



Grafica 9 Quebrada Yerbabuena indice de Jaccard para todo el estudio.

Tabla 19. Quebrada Yerbabuena. Índice de Jaccard para todo el estudio.

	R. N. a (aguas arriba). M1	R. N. d (aguas abajo) M1	R. B. a (aguas arriba) M2	R. B. d (aguas abajo) M2	Q. Y a (aguas arriba) M3	Q. Y. d (aguas abajo) M3
R. N. a (aguas arriba). M1	*	20	16,6667	50	33,3333	28,5714
R. N. a (aguas arriba). M1	*	*	40	20	33,3333	50
R. N. a (aguas arriba). M1	*	*	*	16,6667	80	42,8571
R. N. a (aguas arriba). M1	*	*	*	*	33,3333	50
R. N. a (aguas arriba). M1	*	*	*	*	*	57,1429
R. N. a (aguas arriba). M1	*	*	*	*	*	*

R. N: Rio Negro, R. B: Rio Blanco, Q. Y: Quebrada Yerbabuena, a: antes, d: después.

La Quebrada yerbabuena, muestra que los puntos más similares son el punto antes del muestreo 2 y punto antes del muestreo 3 con 80% de similitud, seguido por el punto antes del muestreo 3 y el punto después del muestreo 3, con una similitud del 57.14 %, el resto de los puntos, presentan una similitud inferior al 50%.

ACTIVIDADES QUE MAS IMPACTO TIENE EL AREA DE ESTUDIO.

Los seres humanos constantemente estamos alterando la estructura del paisaje debido a las actividades como adecuación de carreteras; es por ello que en este trabajo se identifican las principales actividades que están ejerciendo presión sobre el sistema de paramo acarreado su transformación.

Para esta caracterización de actividades antrópicas se utilizó una lista de chequeo y luego la matriz de FEARO con el propósito de identificar y dar un valor cualitativo a los impactos asociados a las actividades presentes en la zona de estudio que están creando cambios en diferentes sistemas.

Las principales actividades que se identificaron en la zona del tramo Paletara-Isnos para el análisis de impactos ambientales en el área de estudio fueron la extracción de material vegetal, aumento del ruido en la zona, aumento de partículas en el aire y en el agua, material de arrastre (Erosión) y aumento económico en la zona.

Finalmente, con base en la información tomada de la zona de estudio y la descripción del proceso de construcción de pavimentos rígidos, los diferentes materiales utilizados para la determinación de los impactos generados durante el tiempo de este estudio.

Se determinaron los siguientes impactos generados por la ampliación y pavimentación de la vía Paletara-Isnos:

Etapas: CONSTRUCCIÓN

Actividad: Aprovechamiento de fuentes de material.

Impacto: Disminución de la calidad del aire.

Incremento de ruido laboral y ambiental.

Disminución en la calidad del suelo e incremento en la erosión.

Modificación de la calidad del agua de los acuíferos.

Afectaciones a la salud.

Modificación del microclima.

Modificación de la topografía.

Modificación del patrón de drenaje superficial.

Deterioro de la calidad del agua superficial.

Eliminación de la cubierta vegetal.

Actividad: Colocación y extensión de la superficie de rodamiento.

Impacto: Cambios en el microclima.

Modificación del patrón de drenaje del agua superficial.

Disminución en la recarga de acuíferos.

Disminución de las poblaciones faunísticas en la zona (abundancia).

Actividad: Curado.

Impacto: Cambios en el microclima.

Contaminación de suelo y agua superficial.

Actividad: Transporte de material y operación de la maquinaria.

Impacto: Disminución de la calidad del aire.

Elevación de los niveles de ruido.

Actividad: Manejo y almacenamiento de combustibles para maquinaria y equipos.

Impacto: Contaminación de suelo.

Generación de empleos.

Actividad: Apertura al público.

Impacto: Aumento de la infraestructura y servicios para la comunidad.

Disminución de la abundancia de la fauna.

Actividad: Todas las actividades de construcción provocan el siguiente impacto.

Impacto: Generación de empleos.

Daños a la salud de la población y de los trabajadores expuestos.

Crecimiento urbano.

Matriz FEARO para la ampliación y pavimentación de la carretera.

Al analizar la matriz de FEARO se puede evidenciar que los componentes más afectados producto de la construcción de la carretera son la vegetación, la fauna, el suelo y el agua.

El aire se afecta debido a la pérdida de la superficie del suelo, tala y remoción de cobertura vegetal; ya que se incrementa la emisión de gases (CO₂) por contacto de la atmosfera con el carbono y la utilización de la maquinaria, de igual manera hay un aumento en la velocidad del viento producto de la perdida de comunidades vegetales, cobertura, disminuyendo de esta forma el efecto barrera.

La vegetación se ve gravemente alterada por esta actividad, producto de la ampliación de la carretera debido a la adecuación de áreas para los escombros.

Lo mencionado anteriormente tiene una gran influencia sobre la fauna debido a que la alteración de la vegetación, transforma sus hábitats naturales, aumento del ruido esto provoca con ello un desplazamiento de especies (perdida de hábitat), modificando las relaciones inter e intra específicas induciendo con ello la aparición de especies oportunistas y la posible desaparición de especies endémicas.

El componente agua se ve afectado por cambios en la escurrentía y nivel freático producto de las modificaciones en la estructura del suelo y el cambio de las coberturas, incrementado con ello procesos erosivos y material de arrastre (remoción del suelo), los desechos de la maquinaria utilizada para esta construcción (Residuos de aceite, ACPM) alterando las propiedades físicas, químicas y biológicas del agua y por ende las comunidades acuáticas.

En el suelo se presenta una pérdida de la protección debido a la remoción de la cubierta vegetal, lo que ocasiona el aumento de los procesos erosivos y alteración en los horizontes del suelo, modificándose con ello las características físicas, químicas y biológicas, generando pérdida de nutrientes y cambios en la temperatura y humedad del suelo.

El patrón visual refleja cambio de cobertura y uso del suelo, generando con ello una pérdida de la calidad visual para la zona.

Los beneficios que presenta esta actividad son de tipo económico hacia la población de la zona, debido a que el proyecto les genera empleo directo, como indirecto, como la comercialización de los productos que genera esta región como leche y sus derivados y prestación de servicios como restaurante, hospedaje entre otros; generando ingresos que mejoran la de calidad de vida.

Se identificaron impactos beneficiosos en el proyecto los cuales son:

La generación de empleo para la comunidad de la zona y la comunicación de las comunidades.

Debido a que la extracción de material es importante para el proyecto, especialmente para los agregados que requiere la superficie, por esto se incluyó en la evaluación porque son las que mayor número de impactos generan sobre los cuerpos de agua. Es por eso que se trae a colación,

porque todos estos procesos de construcción genera efectos no solo en los ecosistemas loticos, sino también en los ecosistemas terrestres

Los elementos ambientales que sufren mayores impactos adversos son el suelo, aire y el agua; este último se identifica más por el valor ambiental que por el daño que puede sufrir durante la construcción de la vía.

La utilización de las materias primas empleadas para la adecuación de la carretera, no implica un alto riesgo a la salud de los trabajadores del proyecto, por sus características de toxicidad que son bajas; debido que en la exposición no es alta y la zona por ser tan húmeda el factor dilución que baja la cantidad de partículas en el aire, ya que se trabaja a la intemperie.

La utilización de los pavimentos rígidos es una ventaja importante y muy notable ya que no se requieren ni generan sustancias toxicas como solventes y residuos de asfaltos y gases generados durante el calentamiento de materiales asfálticos.

9. DISCUSION

En este estudio se observaron diferencias en la composición de las comunidades de macroinvertebrados, provocadas principalmente por el impacto de las actividades antrópicas diferentes a las actividades constructivas de la carretera, especialmente en la quebrada Yerbabuena donde el impacto es generado por actividades pecuarias, específicamente ganadería y por la disminución de la cantidad de vegetación ribereña en este punto de muestreo, las cuales pueden ocasionar alteraciones a la comunidad de macroinvertebrados en su riqueza, composición, abundancia o densidad de individuos, siendo este factor un tensor importante para la composición y estructura de los macroinvertebrados acuáticos, constituyéndose en una afectación indirecta sobre el cuerpo de agua (Roldan, 1999) .

La diversidad local se limita al punto de muestreo de río Negro y disminuye en los puntos de muestreo del río Blanco y la quebrada Yerbabuena, en donde ordenes de reconocida sensibilidad como Trichoptera y Ephemeroptera no toleran las condiciones de estrés que tienen estos sitios, mientras que grupos oportunistas como Chironomidos son capaces de tolerar altas concentraciones de carga orgánica y pueden alcanzar una alta tasa reproductiva, según Jacobsen *et al* (1997); los dos órdenes anteriormente mencionados, habitan los ecosistemas loticos estudiados debido a la autodepuración rápida de estos ecosistemas, mitigando la contaminación rutinaria (Giacometti y Bersosa, s. f), siendo estos exigentes en cuanto a la calidad de agua.

También se determinó que la comunidad de macroinvertebrados es diferente en los 3 puntos, pero que la baja diversidad y riqueza de los mismos no ha sido afectada considerablemente por la ampliación y construcción del tramo de la carretera Coconuco-Paletara-Isnos, si no por las actividades antrópicas que se dan en la zona como el pastoreo en la quebrada Yerbabuena y la disposición de residuos líquidos (aguas residuales del asentamiento) en el punto río Blanco, lo que nos daría una posible respuesta de que en la fase de construcción el daño no es tan grave, tal vez al término de esta las características cambien y afecte con más fuerza la comunidad de macroinvertebrados, como lo explica Roldan (1999), cuando manifiesta que las principales fuentes de perturbaciones causadas en los ecosistemas

acuáticos por el hombre están relacionadas con la contaminación de origen doméstico, industrial, agrícola, minero y la deforestación. También hace referencia a la contaminación de los cuerpos de agua a través de vertimientos por parte de los asentamientos humanos (Reyes y Silva, 2012).

A diferencia de los anteriores ecosistemas loticos, en los puntos muestreados en el río Negro, se infiere que el impacto generado al cuerpo de agua y a la composición de macroinvertebrados es causado por la ampliación y pavimentación de la vía, ya que las obras civiles, como la ampliación de la carretera y por ende la ampliación del puente, donde se utilizó material de relleno, generó una disminución en el cauce y por esto hay un aumento en el nivel y en la velocidad del agua, el cual es un impacto directo a la comunidad de macroinvertebrados, así como lo considera Roldán (1999), cuando expone que la perturbación en los ecosistemas acuáticos por la construcción de vías es de orden indirecto y directo, siendo la disposición del material de relleno la causa de la perturbación directa al ecosistema.

Los materiales utilizados (lozas de concreto), para la adecuación de la carretera, no generan un gran impacto en la composición química del agua, como tampoco en la conformación de las comunidades bentónicas, por sus características de toxicidad que son bajas comparándolas con la tradicional pavimentación blanda, que si genera residuos de derivados de petróleo.

La utilización de los pavimentos rígidos en los proyectos viales es una ventaja ya que no requieren ni producen sustancias tóxicas como solventes y residuos de asfaltos y gases generados durante el calentamiento de cementos asfálticos, siendo una gran mejoría para la conservación de la calidad de los cuerpos de agua, tanto física, química como biológica, durante la construcción y operación de vías.

En cuanto a la similitud entre los ecosistemas loticos, tanto en espacio como en tiempo, fue muy variado debido a dos factores importantes que causaron estas diferencias: las condiciones climáticas que se presentaron durante el tiempo de muestreo, las obras de adecuación de la carretera y la segunda la distancia entre los cuerpos de agua, ya que río Negro es el más distante del caserío de Paletará en comparación a río Blanco y quebrada Yerbabuena donde están a menos de 100 metros entre ellos y la zona poblada.

Las principales actividades que se identificaron en la zona del tramo Coconuco-Paletara-Isnos para el análisis de la matriz FEARO en el área de estudio fueron la extracción de material vegetal, aumento del ruido en la zona, como también de partículas en el aire y en el agua, material de arrastre (Erosión). Los beneficios que presenta esta actividad son de tipo económico hacia la población de la zona, debido a que el proyecto les crea empleos directos, como indirectos, también la comercialización de los productos que genera esta región como leche y sus derivados y la prestación de servicios como restaurante, hospedaje entre otros; generando ingresos que mejoran la de calidad de vida.

10. CONCLUSIONES

Se observó un impacto directo en el sitio de muestreo de río Negro por la remoción de cobertura vegetal y la agregación de material de relleno, causando cambios en el nivel y velocidad del agua, el cual generó un cambio en la estructura y composición de los macroinvertebrados; en los dos cuerpos de agua restantes los impactos fueron generados por actividades del modelo pecuario en el sitios muestreados en la quebrada Yerbabuena y en río Blanco por los vertimientos e impactos asociados a la cercanía con el asentamiento de Paletará.

En el sitio río Negro, se colectaron 163 individuos de macroinvertebrados acuáticos, correspondiente al 21,25% del total del material colectado, donde los órdenes Trichoptera y Díptera, fueron los que presentaron el mayor número de familias. En el sitio río Blanco, se encontraron 332 especímenes, correspondiente a un 43,28% del total de individuos, donde los órdenes Trichoptera y Díptera presentan un mayor número de familias. Para la quebrada Yerbabuena, se colectó un total de 272 individuos, representando un 35,46% de la muestra; en donde se reportó una dominancia de las familias pertenecientes a los órdenes Coleóptera y Díptera.

Los cambios registrados para río Negro en el índice de Shannon - Weaver y Margalef, variaron a través del tiempo; en el primer muestreo para Shannon-Weaver los valores fueron en el punto antes (aguas arriba) fue más alto que en el punto después (aguas abajo); en el segundo y tercer muestreo se observaron cambios en los puntos antes (aguas arriba) su diversidad baja y en los puntos después (aguas abajo) aumenta. Demostrando con estos cambios, que después del segundo muestreo la estructura y composición de los macroinvertebrados acuáticos se modificó al ser afectado por las obras en la vía, ya que se iniciaron días después de la toma de la primera muestra.

En los sitios de muestreo el índice biológico (BMWP) indica que en río Blanco la calidad biológica presenta unas de características de aguas muy contaminadas debido a los vertimientos residuales del caserío de Paletará; la quebrada Yerbabuena posee una calidad con características de aguas contaminadas el cual es causado por el pastoreo pecuario a lo largo de las orillas de la quebrada, estos dos sitios de muestreo mantuvieron las características de calidad de agua durante el estudio y por ultimo río Negro, en el primer muestreo nos indica que posee una calidad de aguas

medianamente contaminadas, en el segundo muestreo sus características cambian a muy contaminadas y se mantiene igual en el tercer muestreo, esto indica que las obras de mejoramiento de la vía impactan negativamente en la calidad de sus aguas.

El comportamiento que se observó en río Blanco y la quebrada Yerbabuena fueron muy parecidos ya que la mayoría de puntos tienen una similaridad mayor o igual al 50% lo cual indica que la estructura y composición de macroinvertebrados no cambió significativamente durante el tiempo del estudio; ya que los trabajos que se realizaron no tuvieron un impacto directo sobre estos cuerpos de agua.

La matriz FEARO coincide que los componentes con un mayor grado de impacto son el agua, el aire y el suelo causado por las actividades asociadas a las obras de mejoramiento como la deforestación, remoción de suelos, disposición de material de relleno todo esto produce arrastre de sedimentos y erosión y alteración en la estructura del suelo y del agua.

11. RECOMENDACIONES.

- ✓ Se recomienda un estudio posterior ya que durante este trabajo no se concluyó el proyecto vial.
- ✓ Complementar la investigación evaluando la calidad físico-química del agua, en cada uno de los puntos muestreados en los tres ecosistemas loticos.

12. BIBLIOGRAFÍA

ABELLÁN, P. et al.; Biodiversidad de macroinvertebrados acuáticos del valle salado de Añana: Especies con Interés de Conservación. Grupo de investigación Ecología Acuática. Departamento de Ecología e Hidrología, Universidad de Murcia. Departamento de Biodiversidad y Biología Evolutiva. Museo Nacional de Ciencias Naturales. José Gutiérrez Abascal, España. 1984.

ANDERSON, N. H.; SEDELL J. R.; Detritus Processing by Bacteria in Stream Ecosystems. *Annu Rev Entomol.* 1979; 24:351-357.

BERNAL, E., et al.; Caracterización de la comunidad de macroinvertebrados de la quebrada Paloblanco de la cuenca del río Otún (Risaralda, Colombia). Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. 2006.

CASTELLANOS, P. M., SERRATO, C.; Diversidad de macroinvertebrados acuáticos en un nacimiento de río en el Páramo de Santurbán, Norte de Santander. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga Colombia. Universidad de la Amazonía, Programa de Biología. Florencia, Caquetá. 2008.

CONGRESO DE COLOMBIA; Ley 165 de 1994 Por medio de la cual se aprueba el “Convenio sobre la Diversidad Biológica”, hecho en Rio de Janeiro el 5 de junio de 1992. Convenio sobre la Diversidad Biológica, Naciones Unidas 1992.

CUATRECASAS, J.; Aspectos de la vegetación natural de Colombia. *Rev. Acad. Col. Cs. Ex. Fis. Nat.* 1958.

DOMÍNGUEZ, E., FERNÁNDEZ, H. R.; Macroinvertebrados bentónicos de Suramérica. Sistemática y biología. Tucumán, Argentina: Fundación Miguel Lillo. 2009.

EPLER, J. H.; Identification manual for the water Beetles of Florida. Editorial Florida-Department of environmental protection. Research Associate, Florida State Collection of Arthropods. Gainesville, FL. United State of American. 1996.

ESTEVEES, F. A.; Fundamentos de limnología. Rio de Janeiro, Brasil: Ed. Interciencias. FINEP. 1988.

HALFFTER, G.; A strategy for measuring landscape biodiversity. *Biology International*, 36: p 3-17. 1998.

HEVIA, Joaquín NAVARRO, et al. Efectos de las carreteras en los ríos; estudio preliminar de producción y emisión de sedimentos en las obras de la A-63 en Asturias.

HOLDRIDGE, L. R.; Life Zone Ecology. Tropical Science Center. San José, Costa Rica. 1967. (Traducción del inglés por Humberto Jiménez Saa: «Ecología Basada en Zonas de Vida». San José, Costa Rica: IICA, 1982).

GIACOMETTI, J.; BERSOSA, F. Macroinvertebrados acuáticos y su importancia como bioindicadores de calidad del agua en el río Alambi. *Boletín Técnico*, 2006, vol. 6, p. 17-32

MACHADO, T. A.; Distribución ecológica e identificación de los coleópteros acuáticos en diferentes pisos altitudinales del departamento de Antioquia. Medellín: Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Departamento de Biología. Universidad de Antioquia. 1989.

MAGURRAN, A. E.; Ecological diversity and its measurement., New Jersey: Princeton University Press 1988.

Mc CAFFERTY, P. W., PROVANSHA, A. V.; The Fishermen's and Ecologists'. Illustrated Guide to Insects and their Relatives. Aquatic Entomology. Boston, Massachusetts. United State of American: Editorial Science Books International, 1981.

MERRITT, R. W., CUMMINS, K. W.; An Introduction to the Aquatic Insects of North American. Michigan State University, Oregon State University. 3 edition. Editorial Kendall/Hunt Publishing Company. Iowa, United State of American. 1979.

MILLET, X., PRAT, N.; Las comunidades de macroinvertebrados a lo largo del río Llobregat. Departamento de ecología. Facultad de Biología. Universidad de Barcelona. 1984.

MOLINA, C. I. et al.; Estructura de macroinvertebrados acuáticos en un río altoandino de la cordillera real, Bolivia: Variación Anual y Longitudinal en Relación a Factores Ambientales. *Ecología Aplicada*, Vol. 7, Núm. 1-2 pp. 105-116., Universidad Nacional Agraria La Molina. Perú. 2008.

MORENO, C.; Métodos para Medir la Biodiversidad. Zaragoza (España): CYTED, ORCYT/UNESCO y SEA, 2001.

MUNICIPIO DE PURACÉ. Geografía, <http://www.purace-cauca.gov.co/nuestromunicipio.shtml?apc=M-xx-1-&m=f&s=m#geografia>. (Consulta. 8 de febrero de 2012.)

NEEDHAM, J. G., NEEDHAM, P. R.; Guía para el estudio de los seres vivos de las aguas dulces. (Versión española y adaptación por: ALTAMIRA, C., *et al.*). 5 ed. España: Editorial Reverté. 1982.

OSPINA, R. et al.; Proyecto tipología de pequeños ríos en Cundinamarca y la validez de los conceptos ecológicos actuales en los ríos tropicales de montaña. Colciencias-Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. 2004.

PIELOU, E. C.; Ecological diversity. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1975.

REYES, C y SILVA, J; Diagnostico ambiental y criterios para el diseño de la red metropolitana de calidad del recurso hidrico en el distrito metropolitano de Quito. Quito – Ecuador: Escuela Politecnica Nacional. 2012.

RIVERA-USME, J. J., CAMACHO-PINZÓN, D. L., BOTERO-BOTERO, A.;Estructura numérica de la entomofauna acuática en ocho quebradas del departamento del Quindío-Colombia Universidad del Quindío. Fundación Neotrópica-Colombia, Quindío-Colombia. 2008.

RODRÍGUEZ, J., et al.;Variación diaria de la deriva de macroinvertebrados acuáticos y de materia orgánica en la cabecera de un río tropical de montaña en el departamento de Nariño, Colombia.Universidad del Magdalena, Santa Marta, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Universidad de Nariño, Pasto, Universidad del Valle, Cali, Colombia. Agosto de 2006.

ROLDAN G., RESTREPO y RAMÍREZ, J.; Fundamentos de limnología neotropical. 2 ed. Medellín: Universidad de Antioquia. 2008.

ROLDAN, G., POSADA, J., GUTIERREZ, J.; Estudio limnológico de los recursos hídricos del parque de Piedras Blancas. Bogotá: Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Colección Jorge Alvarez Lleras No. 18, 2001.

ROLDAN, G.; Bioindicación de la calidad del agua en Colombia; Uso del método BMWP/Col. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia. 2003.

ROLDAN, G.; Fundamentos de limnología neotropical. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia. 1992.

ROLDAN, G.; Guía para el estudio de macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia. Fondo FEN- Colombia. , Santa Fe de Bogota: Colciencias-Universidad de Antioquia. Ed. Presencia. 1988.

ROLDÁN, G.; Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. 1996.

ROSENBERG, D. M., RESH, V. H.; Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. Chapman & Hall, Londres. 1993.

SCHUH, R. T., SLATER, J. A.; True bugs of the world (Hemiptera: Heteroptera). Classification and Natural History. United States of American: Cornell University Press. United. 1995.

WADE, K. R., ORMEROD, J. J.; Classification and ordination of macroinvertebrate assemblages to predict stream acidity in upland Wales. Hydrobiologia. 1989.

WALTEROS-RODRIGUEZ, J.M; PAIBA-ALZATE, J. E. Preliminary Study Of Aquatic Macroinvertebrate Communities In The Torre Cuatro Forest Reserve. *Bol. Cient. Mus. Hist. Nat. Univ. Caldas* [online]. 2010, vol.14, n.1.

WALLACE, J. B., WEBSTER, J. R.; The role of macroinvertebrates in stream ecosystem function. *Annu. Rev. Entomol.* 1996.

WALLACE, J.B., et al.; Multiple trophic levels of a forest stream linked to terrestrial litter inputs. *Science*, 1997.

WHITTAKER, R. H.; Evolution and measurement of species diversity. *Taxon*, 21(2/3): 213-251. 1972.

WIGGINS, G. B.; Larvae of North American Caddisfly Genera (Trichoptera). 2a edición. Editorial University of Toronto Press. Toronto, Canada. 1996

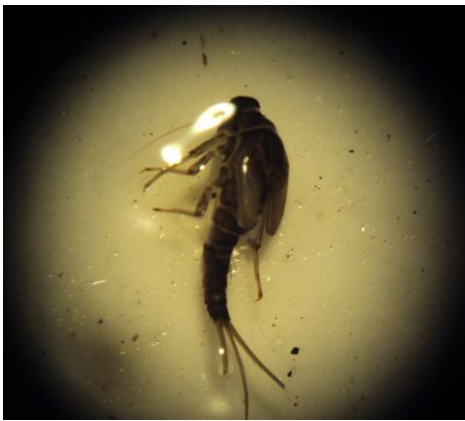
ZAMORA, H.; El índice BMWP y la evaluación biológica de la calidad del agua en los ecosistemas acuáticos epicontinentales naturales de Colombia. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, 19. 73-81. I.

13. ANEXOS



Figura 11. Imagen coleóptero de la familia figura 12. Imagen trichoptero de la familia Ptilodactylidae.

Hydrobiosidae.



Anexo 10. Imagen de ephemeroptero de la familia Baetidae