

**DETERMINACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL SOBRE EL RECURSO  
HÍDRICO PARA CONSUMO HUMANO GENERADO POR EL  
ESTABLECIMIENTO DE ACTIVIDADES ANTRÓPICAS EN LA PARTE ALTA  
DE LA SUBCUENCA RIO SAN FRANCISCO, MUNICIPIO PURACÉ.  
DEPARTAMENTO DEL CAUCA**

**DIANA MARCELA RUIZ ORDOÑEZ**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN  
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA  
POPAYAN  
2009**

**DETERMINACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL SOBRE EL RECURSO  
HÍDRICO PARA CONSUMO HUMANO GENERADO POR EL  
ESTABLECIMIENTO DE ACTIVIDADES ANTRÓPICAS EN LA PARTE ALTA  
DE LA SUBCUENCA RIO SAN FRANCISCO, MUNICIPIO PURACÉ.  
DEPARTAMENTO DEL CAUCA**

**DIANA MARCELA RUIZ ORDOÑEZ**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de  
Bióloga**

**DIRECTOR.  
APOLINAR FIGUEROA CASAS. PhD.**

**ASESORES  
Biol. SAMIR JOAQUI D.  
Biol. JUAN PABLO MARTINEZ.**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN  
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA  
POPAYAN  
2009**

Nota de aceptación

---

---

---

Director

\_\_\_\_\_  
Apolinar Figueroa Casas. (Ph. D.)

Jurado

\_\_\_\_\_  
Mg. Hernando Vergara

Jurado

\_\_\_\_\_  
Mg. Sandra Carlina Rivas

Fecha de sustentación: Popayán Mayo 27 de 2009.

Este trabajo esta dedicado a todas aquellas personas que me han acompañado a lo largo de mi carrera, de quienes siempre he recibido apoyo amor y dedicación.

Mi familia; mis padres Deiro Alban y Nubia Ofelia  
Mis hermanos: Victoria, Eduardo, Juan Carlos.

Y especialmente a mis dos grandes amores; Nicolás y Juan Pablo.

## AGRADECIMIENTOS

A **Dios**, por su amor infinito y la bendición de ver realizados mis sueños.

A **mi hijo Nicolás**, mi compañerito, motivo y razón. **Mis padres y hermanos**, por su amor, apoyo, esfuerzo y compañía incondicional.

A mi novio, **Juan Pablo Martínez**, Biólogo, por su apoyo incondicional y colaboración en el desarrollo de la parte espacial de este trabajo.

**Al profesor Apolinar Figueroa Casas. Ph.D.** Director del trabajo, por la oportunidad, enseñanzas, valiosos aportes, constante preocupación y gestión para sacar adelante este proyecto.

Al Biólogo **Samir Joaqui**, por su apoyo, paciencia y colaboración en el desarrollo de este trabajo.

Al profesor **Bernardo Ramírez Padilla**, director del Herbario de la Universidad del Cauca-Museo de Historia Natural (CAUP), por su colaboración en la identificación del material vegetal colectado.

**Al profesor Edwin Rengifo**, por su valioso aporte en el análisis y procesamiento estadístico de los datos colectados en campo.

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

**A la Comunidad del Crucero (Puracé)**: Por su acogida y acompañamiento en las jornadas de campo.

**Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales Dirección Territorial Surandina. (UAESPNN)**. Especialmente al Parque Puracé por el apoyo logístico permanente y acompañamiento.

A **mis compañeros del Grupo de estudios Ambientales**, Universidad del Cauca. Por su amistad, oportunos y generosos aportes en la consolidación de este documento.

A **mis compañeros de trabajo de campo**, Angélica Mosquera, Fernando F. Muñoz, Heidi Urresti y especialmente a Juan Diego Otero.

A todas aquellas personas que resultaron involucradas en el desarrollo de este trabajo y estuvieron dispuestos a colaborar.

## TABLA DE CONTENIDO

	Página
RESUMEN.....	10
INTRODUCCION.....	11
1.JUSTIFICACION.....	12
2.OBJETIVOS .....	13
2.1 Objetivo general.....	13
2.2 Objetivos específicos.....	13
3. MARCO TEORICO.....	14
3.1 Pàramo en el departamento del Cauca.....	14
3.2 Manejo de cuencas hidrográficas.....	15
3.3 Evaluación de impacto ambiental.....	16
3.4 Calidad del agua.....	16
4. ANTECEDENTES.....	19
5. DISEÑO METODOLOGIO.....	21
5.1 Descripción del area de estudio .....	21
5.2 Metodologia.....	24
5.2.1 Descripción de los sitios de muestreo.....	25
5.2.2 Calidad del agua.....	31
5.2.3 Cambio de coberturas vegetales y uso del suelo-PDI.....	154
5.2.4 Inventario de la vegetación .....	176
5.2.5 Identificación y evaluación de actividades antrópicas.....	187
5.2.6 Análisis de datos.....	198
6. Analisis y discusión de resultados .....	39
6.2 Calidad del agua .....	39
6.2.1 Caracterización de parámetros fisicoquímicos.....	39
6.2.2 Caracterización biológica.....	52
6.2.3 Índices de calidad del agua (ICA).....	60
6.3 Cambio de coberturas y uso del suelo- PDI .....	66
6.3.1 Pérdida de coberturas y cambios en el uso del suelo.....	66
6.3.2 Inventario de vegetación para el área de estudio .....	74
6.4 Identificación y evaluación de actividades antrópicas .....	77
6.4.1 Información entrevistas.....	77
6.4.2 Evaluación de impacto ambiental .....	82
6.5 Propuesta de manejo del recurso hidrico en la zona .....	90
7. CONCLUSIONES.....	97
8. RECOMENDACIONES .....	99
9.BIBLIOGRAFIA.....	100

## LISTA DE TABLAS

	Pagina
Tabla 1. Características Morfométricas de la subcuenca rio San Francisco.....	23
Tabla 2. Características ambientales en la bocatoma.....	25
Tabla 3. Características ambientales en el tanque 1.....	26
Tabla 4. Características ambientales en el tanque 2.....	27
Tabla 5. Caracterización ambiental del tanque 3.....	28
Tabla 6. Características ambientales en el tanque 4.....	28
Tabla 7. Características ambientales en el tanque 5.....	29
Tabla 8. Caracterización de los sitios de muestreo .....	31
Tabla 9. Tonos para coberturas en una composición 4,5,3 Chuvieco (1996).....	35
Tabla 10. Demanda bioquímica de oxígeno.....	44
Tabla 11. Datos (medias) fisicoquímicos en superficie colectados en campo.....	49
Tabla 12. Datos (medias) fisicoquímicos en profundidad colectados en campo.....	50
Tabla 13. Recuento de coliformes totales en el laboratorio.....	53
Tabla 14. Recuento de coliformes fecales en el laboratorio.....	54
Tabla 15. Sinopsis taxonómica de los macroinvertebrados, Estación 1.....	56
Tabla 16. Sinopsis taxonómica de los macroinvertebrados, Estación 2.....	59
Tabla 17. Índices de calidad de agua para las estaciones de muestreo.....	61
Tabla 18. Comparación de los rangos de clasificación entre índices de calidad.....	61
Tabla 19. criterios de calidad para destinación del recurso hídrico: consumo humano.....	63
Tabla 20. Criterios de calidad para destinación del recurso hídrico: uso agrícola.....	63
Tabla 21. Índices en las estaciones de muestreo.....	63
Tabla 22. Coberturas vegetales y usos del suelo 1989 y 1999 LANDSAT (453).....	67
Tabla 23. Cambio porcentual y medio anual de las coberturas vegetales y usos del suelo identificadas para el periodo 1989 - 1999 en la ventana de estudio.....	71
Tabla 24. Inventario de especies vegetales por estación de muestreo.....	74
Tabla 25. Inventario de especies vegetales con fines Maderables.....	75
Tabla 26. Inventario de especies vegetales utilizadas para reforestación.....	75
Tabla 27. Inventario de especies utilizadas con fines medicinales.....	75
Tabla 28. Inventario de especies cultivadas en la zona de estudio.....	76
Tabla 29. Lista de Chequeo para actividades registradas en la zona de estudio.....	86
Tabla 30. Elaboración de la Matriz de Influencias- Dependencias.....	88
Tabla 31 . Relación del tipo identificada mediante Matriz Influencias- Dependencias.....	89
Tabla 32. Manejo de residuos líquidos.....	91
Tabla 33. Educación Ambiental.....	92
Tabla 34. Recuperación del suelo.....	93
Tabla 35. Recuperación de zonas riparianas.....	95
Tabla 36. Mejoramiento en la Calidad del agua.....	96
Tabla 37. Datos Fisicoquímicos en las cabañas de Pilimbalà.....	107
Tabla 38. Recuentos de colonias Análisis bacteriológicos.....	88

## LISTA DE FIGURAS

	Pagina
Figura 1. Área de estudio. ....	22
Figura 2. Diagrama metodología general de la propuesta.....	24
Figura 3. Estación de muestreo bocatoma.....	25
Figura 4. Estación de muestreo tanque 1. ....	26
Figura 5. Estación de muestreo tanque 2. ....	26
Figura 6. Estación de muestreo tanque 3. ....	27
Figura 7. Estación de muestreo tanque 4. ....	28
Figura 8. Estación de muestreo tanque 5. ....	29
Figura 9. Estación de muestreo Q. Rinconada. ....	30
Figura 10. Estación de muestreo Pajoy. ....	30
Figura 11. Variable temperatura en superficie y profundidad. ....	40
Figura 12. Variable potencial de hidrogeno (pH). ....	40
Figura 13. Variable turbidez (NTU). ....	41
Figura 14. Variable ORP en superficie y profundidad.....	42
Figura 15. Variable oxígeno disuelto. ....	43
Figura 16. Porcentaje de saturación de oxígeno.....	43
Figura 17 Variable amonio en superficie y profundidad. ....	45
Figura 18. Variable nitratos (mg/L). ....	46
Figura 19. Variable fosfatos (mg/L). ....	46
Figura 20. Conductividad en superficie y profundidad.....	47
Figura 21. Variable cloruros en superficie y profundidad. ....	48
Figura 22. Coliformes totales y fecales durante las épocas de muestreo. ....	54
Figura 23. Abundancia de macroinvertebrados en la estación 1.....	57
Figura 24. Abundancia de macroinvertebrados en la estación 2.....	60
Figura 25. Variación de los índices de calidad de agua. ....	62
Figura 26. Índice BMWP/Col en diferentes épocas.....	66
Figura 27. Mapa de coberturas vegetales y usos del suelo para el año 1989.....	68
Figura 28. Mapa de coberturas vegetales y usos del suelo para el año 1999.....	69
Figura 29. Unidades de paisaje identificadas en la zona de estudio. ....	70
Figura 30. Áreas ocupadas por tipo de coberturas vegetales y usos del suelo.....	72
Figura 31. Direccionalidad de ocupación en la ventana de estudio, periodo 1989-1999....	73
Figura 32. Realización de las entrevistas .....	77
Figura 33. Alteración del cauce. ....	83
Figura 34. Implementación de bocatoma. ....	83
Figura 35. Áreas de cultivo .....	83
Figura 36. Zonas de actividad Agropecuaria. ....	83
Figura 37. Reemplazo de vegetación nativa por cultivos .....	84
Figura 38. Interacción de las variables en la Matriz de Influencias-Dependencias. ....	89
Figura 39. Oxigeno Disuelto (mg/L) .....	105
Figura 40. Turbiedad (NTU) .....	105
Figura 41. pH.....	105
Figura 42. Nitratos (mg/L).....	105
Figura 43. Fosfato (mg/L).....	106

## LISTA DE ANEXOS

	Página
Anexo 1. Evaluación de la calidad del Agua en Pilimbalà PNN Puracé .....	105
Anexo 2. Estadística descriptiva para todos los datos colectados en campo: .....	108
Anexo 3. Macroinvertebrados colectados en la zona de estudio .....	113
Anexo 4. Información recabada en las entrevistas. ....	115

## RESUMEN

En el presente estudio se realizó un análisis integral del impacto de las actividades antrópicas sobre la calidad del agua para consumo humano y uso agrícola, en la parte alta de la microcuenca río San Francisco, teniendo como elemento clave por el uso del recurso en la microcuenca al acueducto de la vereda Campamento en el cual se realizó la evaluación de calidad del agua y de actividades antrópicas.

De este modo el análisis integró componentes biofísicos y de actividades antrópicas, en el primero se evaluó la calidad del agua mediante parámetros fisicoquímicos y biológicos, con aplicación de índices de calidad y teniendo en cuenta la normatividad vigente para los usos establecidos. De igual modo, se realizó un análisis de coberturas vegetales y usos del suelo mediante la utilización de imágenes satelitales de la ventana de estudio que comprende la microcuenca. El componente antrópico fue evaluado mediante la aplicación de entrevistas dirigidas a los usuarios del acueducto y una evaluación de impacto ambiental en la que se identificaron las principales actividades que ejercen presión sobre la microcuenca.

El análisis de coberturas y usos del suelo indicó que la pérdida de áreas de bosque – páramo y el aumento de zonas de actividad productiva ejercen presión sobre la calidad y oferta del recurso hídrico, en cuanto al desarrollo de la biota acuática la evaluación fisicoquímica de la calidad del agua y la aplicación de los índices demuestran que las variables se encuentran dentro de los rangos óptimos, sin embargo, las concentraciones de turbidez, de los nutrientes nitrato y fosfato en época de lluvia, y la presencia de bacterias coliformes totales y fecales indican que el agua no es apta para consumo humano debido a que no cumplen con las normas establecidas en la legislación Colombiana, aun así el agua si es apta para uso agrícola. La evaluación de las comunidades bénticas sugiere procesos de intervención sobre el sistema ya que se encontraron organismos que toleran ciertos niveles de contaminación.

Mediante la evaluación del componente antrópico se identificaron actividades productivas de tipo agrícola y pecuario como las principales variables que ejercen presión sobre la microcuenca ocasionando disturbios en la dinámica natural suelo-vegetación que se manifiestan en impactos como pérdida de fertilidad y de la cobertura protectora, disminución en la calidad del agua, pérdida de hábitats y disminución en la productividad primaria. Estas actividades se tienen en cuenta en las fichas de manejo del recurso propuestas en este trabajo.

Teniendo en cuenta la necesidad de mejorar las condiciones del recurso hídrico, es importante considerar los resultados de este trabajo en la formulación de estrategias de manejo dirigidas desde entes gubernamentales y no gubernamentales en las que se considere a la microcuenca como un sistema complejo.

## INTRODUCCION

La importancia de los ecosistemas paramunos radica en su capacidad de interceptar, almacenar y regular los flujos hídricos superficiales y subterráneos para mantener una continua provisión de agua, sin embargo, casi ningún ecosistema en el planeta resulta ajeno a la intervención humana. En Colombia el deterioro ambiental de la alta montaña esta enmarcado históricamente con procesos de uso, ocupación y poblamiento motivados por factores distintos. De este modo el ecosistema de páramo cumple una doble función ecológica y social.

El desarrollo de actividades antrópicas en zonas de páramo ocasiona modificaciones en el ecosistema y muy posiblemente en la salud de las comunidades locales; debido a que se altera la calidad del agua para consumo humano de sus afluentes y se genera reducción de la cobertura vegetal de las microcuencas.

En el área de estudio las actividades antrópicas desarrolladas se basan principalmente en la agricultura y ganadería para autoconsumo y comercio local (Corporación Autónoma Regional del Cauca, 2000), con la consecuente implementación de técnicas de producción en donde se incluye el uso de agroinsumos, sobrepastoreo, tala y quema para facilitar la siembra de cultivos, en este sentido los arreglos productivos de pequeña escala existentes en la zona interactúan directamente con los cuerpos de agua aportándoles sedimentos y elementos contaminantes, además en varias viviendas se vierten aguas servidas directamente sobre los afluentes. Esta situación afecta los sistemas de abastecimiento de agua en cantidad y calidad, de igual forma debe considerarse que estos no cuentan con tratamientos de potabilización.

Adicionalmente, y por condiciones propias del sistema, la zona también se encuentra expuesta a una gran actividad minera y volcánica aumentando su vulnerabilidad, en este sentido se hace necesaria la realización de un análisis integral del recurso hídrico como el que se llevó a cabo en este trabajo, donde se incluyó la determinación de la calidad de agua para consumo humano y para uso agrícola, de acuerdo con la normatividad vigente (resolución 2115 de 2007- decreto 1594 de 1984 del ministerios de la protección social), así como una identificación, evaluación y análisis de las actividades asociadas al uso del recurso hídrico, con soporte de trabajo en campo, utilización y creación de información digital (imágenes de satélite-SIG).

De esta forma los productos obtenidos, aportaron elementos que soportaron la formulación de estrategias de gestión integral participativa para el manejo del recurso hídrico, atendiendo las necesidades de la comunidad. Igualmente la inclusión al SIRA, sistema integrado de información regional sobre el agua de los resultados obtenidos en el análisis de calidad de agua, como una estrategia de planificación y horizontalización de la información generada.

## 1. JUSTIFICACION

Teniendo en cuenta la importancia de los ecosistemas paramunos por su función ecológica y social, es fundamental identificar aquellas variables en las que la acción del hombre ha generado presión sobre el ecosistema, especialmente en las cuencas hidrográficas que resultan afectadas por diferentes actividades antrópicas propias de sistemas agropecuarios y por la utilización de servicios ambientales como la captación de agua para consumo.

El cambio en el uso del suelo ocasiona reemplazo de la vegetación nativa de la zona de páramo fundamental en el equilibrio de la relación suelo y agua, esto conlleva a que diferentes especies vegetales sean retiradas del suelo para dar paso a cultivos; adicionalmente el uso de agroinsumos altera las propiedades físicas, químicas y biológicas del agua ya que por procesos de escorrentía e infiltración estos compuestos llegan a las corrientes cercanas. Como se planteó anteriormente la no implementación de sistemas de saneamiento básico y potabilización influyen sobre la calidad de recurso hídrico para consumo humano incidiendo en la salud de las comunidades locales.

Aunque las comunidades asentadas en la zona son pertenecientes en su mayoría a grupos indígenas que han ocupado ancestralmente estos territorios, y que obedeciendo a sus ideales de fortalecimiento de la relación hombre- naturaleza buscan preservar el medio, e incluso cuentan con la presencia institucional de la unidad administrativa de parques nacionales naturales, no se debe desconocer que se presentan problemas ambientales como se han mencionado anteriormente es por eso que se hace evidente la necesidad de identificar las principales variables que están alterando el ecosistema, especialmente en cuanto al recurso hídrico, debido a que para la zona no existen trabajos que incluyan sus componentes desde un enfoque integral que permita generar estrategias que se puedan concertar con la comunidad como principales actores en la conservación y protección de las cuencas hidrográficas.

El desarrollo del presente trabajo se encuentra enmarcado dentro del concepto de gestión integral del recurso hídrico, acerca del tratamiento y la ejecución de acciones a nivel de la cuenca para aprovechar, proteger y conservar los recursos naturales que esta ofrece, y tiene en cuenta los parámetros establecidos en la resolución 2115 de 2007 y los decretos; 1575 de 2007 (ministerio de la protección social y ministerios de ambiente, vivienda y desarrollo territorial), 3440 de 2004 (ministerio del medio ambiente), 1594 de 1984 (ministerio de salud), acerca del ordenamiento, manejo integral y monitoreo de cuencas hidrográficas y la ley 99 de 1993 por la cual el congreso de la república de Colombia crea el ministerio del medio ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables y se organiza el sistema nacional ambiental –SINA.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo general:**

Realizar un análisis integral del impacto de las actividades antrópicas sobre la calidad del agua destinada al consumo humano y agrícola en la parte alta de la microcuenca del río San Francisco vereda Campamento municipio de Puracé.

### **2.2 Objetivos Específicos:**

- 1.** Evaluar la calidad del agua destinada al consumo humano y agrícola mediante análisis de tipo fisicoquímico, biológico y bacteriológico en una microcuenca abastecedora de agua para el sector.
- 2.** Analizar la alteración de coberturas vegetales en la zona de estudio causada por la implementación de actividades antrópicas.
- 3.** Proponer estrategias de gestión integral con la comunidad para el manejo del recurso hídrico.

### 3. MARCO TEORICO

#### 3.1 Paramo en el departamento del Cauca.

La región de vida paramuna comprende las extensas zonas que coronan las cordilleras entre el bosque andino y el límite inferior las nieves perpetuas. Esta definida como región natural por la relación entre el suelo, el clima, la biota y la influencia humana. Los suelos tienen una capa espesa de materia orgánica, en algunos casos mayor a 1 m. de profundidad. Hay periodos contrastantes que se alternan, noches frías, húmedas y días muy soleados, en algunos casos con radiación intensa. La temperatura media anual fluctúa entre 4 y 10° C . En el subpáramo se alcanzan temperaturas entre 8 y 10° C y en el superpáramo 0° C. De acuerdo con la cantidad de lluvia recibida pueden ser pluviales con precipitación superior a los 4400 mm, superhúmedos (3000-4000 mm), húmedos (1771 –2344 mm) ó secos (623 – 1196 mm.); los cambios de radiación y temperatura son drásticos y en algunos casos son frecuentes las nieblas (Zambrano & Figueroa, 1999).

Las comunidades vegetales dominantes son los matorrales dominados por especies de Asteraceae, los frailejonales con especies de *Espeletia*, los pajonales con especies de *Calamagrostis* y los bosques achaparrados con especies de *Polylepis*. En la fauna de vertebrados la mayor expresión se da en el grupo de las aves, seguida por anfibios y mamíferos. Los reptiles son el grupo con menor representación. En la fauna de invertebrados hay 131 especies de mariposas y 24 de simúlidos (plan de manejo institucional, parque nacional Puracé, 2002).

Se distribuyen en los sistemas andinos de Ecuador, Colombia y Venezuela y en las cimas de las montañas de Costa Rica desde 3200 m hasta 4700-4800 m en el norte de los Andes (Rangel, 2000).

##### 3.1.1 Subdivisiones del páramo.

La zona paramuna se divide en tres subpisos subpáramo, páramo y superpáramo:

El subpáramo ó páramo bajo (3200-3500 m.), puede considerarse como la faja transicional entre la selva andina y el páramo. En esta franja predomina la vegetación de tipo arbustiva, con matorrales dominados por especies de *Diplostegium*, *Pentacalia* y *Gynoxys* (Asteraceae), *Hypericum*, *Pernettya*, *Vaccinium*, *Bejaria* y *Gaultheria* (Ericaceae). En casi todas las localidades se presentan zonas de ecotonía, formación de comunidades mixtas (Martínez, 2005).

Según otras clasificaciones equivale al matorral (denso o claro), sempervirente micrófilo o de bambú de la clasificación de UNESCO como lo menciona con Martínez, 2005 y se sobrepone a los conceptos de bosque húmedo montano, bosque muy húmedo montano y bosque pluvial montano y sus transiciones con el páramo, del sistema de Holdridge (1967) Citado por Martínez, 2005.

Páramo propiamente dicho (3500-4100 m.), se caracteriza por presentar una matriz de gramíneas entre las que sobresalen *Festuca sp* y *Calamagrostis sp*, con frailejones esparcidos en su estructura que son especies típicas de este paisaje, otras plantas importantes de los páramos caucanos son *Hypericum lancifolium*, *Senecio*, *Lupinus*, diversos *Pteridofitos* y *Sphagnum*, formando estructuras similares a colchones que contribuyen significativamente a la estructuración de las turberas, como se observa en el páramo de San Rafael y en los alrededores de las pequeñas lagunas en el ascenso al volcán Puracé (Zambrano & Figueroa, 1999). Corresponde también a la zona de páramo de Chapman (1917) citado por Rangel, 2002, a las comunidades alpinas tropicales abiertas de la clasificación de UNESCO (1973) según Martínez 2005, y al páramo o páramo pluvial de Holdridge (Hernández & Sánchez, 2000).

El superpáramo aparece reemplazando al páramo por encima de los 4100 m. hasta el límite de nieves, lo caracteriza la discontinuidad de la vegetación y la apreciable superficie de suelo desnudo, disminuye la cobertura y diversidad vegetal, prados con *Senecio* y matorrales con *Loricaria*. Los rigores climáticos son más pronunciados y los suelos poco evolucionados. Representa las comunidades alpinas tropicales de UNESCO (1973) y la tundra pluvial alpina de Holdridge de acuerdo con Martínez, 2005.

### **3.2 Manejo de cuencas hidrográficas.**

Se define una cuenca, como el área de la superficie terrestre drenada por un único sistema fluvial. En donde sus límites están formados por las divisorias de aguas que la separan de zonas adyacentes pertenecientes a otras cuencas fluviales. El tamaño y forma de una cuenca viene determinado generalmente por las condiciones geológicas del terreno. El patrón y densidad de las corrientes y ríos que drenan este territorio no sólo dependen de su estructura geológica, sino también del relieve de la superficie terrestre, el clima, el tipo de suelo, la vegetación y, cada vez en mayor medida, de las repercusiones de la acción humana en el medio ambiente de la cuenca (Espinoza, 2002).

El manejo de las cuencas es una herramienta que permite organizar sus componentes entre los cuales se involucra el uso de la tierra y la disponibilidad de agua de modo que se pueda proporcionar los bienes y servicios deseados sin alterar los componentes ambientales como el suelo y el agua, en términos de política el manejo de cuencas hidrográficas es el tratamiento y la ejecución de acciones que realiza el estado y la sociedad civil a nivel de la cuenca para aprovechar, proteger y conservar los recursos naturales que le ofrece, con el fin de obtener una producción óptima y sostenida para lograr el mejoramiento de la calidad de vida acorde a sus necesidades (corporación autónoma regional del Cauca, 2005), por lo tanto considera la planificación territorial como una herramienta para la conservación del agua, en donde es necesario determinar el uso prioritario del agua en la región y en función de ello su potencial de demanda.

### **3.3 Evaluación de impacto ambiental.**

Es la herramienta mediante la cual se evalúan los impactos negativos y positivos de las actividades antrópicas sobre el ambiente. Las metodologías de evaluación de impacto ambiental se aplican a los diferentes componentes del sistema: agua, suelo, vegetación y fauna, en relación a estos componentes encontramos una serie de criterios para analizar el estado del sistema y las relaciones con el medio en estudio, estos criterios hacen referencia a los flujos de energía, redes de interacción y actividades promotoras de los impactos en el medio (Figueroa, A. *et al*, 1998).

Algunas herramientas en la evaluación de impacto ambiental son:

**3.3.1 Lista de Chequeo:** su principal utilidad es identificar todas las posibles consecuencias ligadas a la acción propuesta, asegurando en una primera etapa de la evaluación de impacto ambiental que ninguna alteración relevante sea omitida. Una lista de chequeo esta conformada por elementos que permiten identificar impactos sobre: suelo, agua, atmósfera, flora, fauna, recreación, cultura, y en general sobre todos los elementos del ambiente que sean de interés especial (Espinoza, 2002).

**3.3.2 Matriz de Influencias - Dependencias:** las matrices de causa-efecto consisten en un listado de acciones humanas y otro de indicadores de impacto ambiental, que se relacionan en un diagrama matricial. Son muy útiles cuando se trata de identificar el origen de ciertos impactos, pero tienen limitaciones para establecer interacciones, definir impactos secundarios o terciarios y realizar consideraciones temporales o espaciales. Se han desarrollado diversos tipos de matrices de interacción, en un principio constituyeron cuerpos estáticos que había que considerar en bloque pero, con cada vez mayor frecuencia, se ha consolidado la práctica de adaptarlas a las necesidades de problemas particulares, a las características de ciertos medios, o a las posibilidades de los diferentes países para aplicarlas, especialmente cuando la información disponible es insuficiente.

### **3.4 CALIDAD DEL AGUA:**

Se refiere a las características físicas, químicas y biológicas que puede presentar un cuerpo de aguas naturales, con el propósito de determinar su estado trófico sanitario, que se tienen en cuenta en la determinación de una buena o mala calidad del agua para un uso dado. En Colombia se clasifican los usos del agua en el decreto 1594 de 1984 (ministerio de salud), y las normas de calidad para agua potable están contempladas en la resolución 2115 de 2007 (ministerio de la protección social y ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial). Teniendo en cuenta los diferentes usos, el contenido de algunas sustancias presentes en el agua, pueden variar sensiblemente sus propiedades y hasta convertirla en no apta, para determinados usos.

**Calidad biológica.** En un ecosistema acuático, está determinada por la dominancia de las poblaciones de organismos adaptados, característicos, o propios de la calidad de sus aguas, los cuales utilizamos como bioindicadores bien sea cualitativamente o cuantitativamente,

según el índice que se aplique, estos pueden ser de diversidad Shannon Weaver o BMWP entre otros {Zamora, 2003}.

**Calidad ecológica.** Está determinada por el nivel de estabilidad (Homeostasis), del ecosistema en un momento determinado. Evalúa entonces, los efectos de las sustancias extrañas sobre la estabilidad de los ecosistemas.

De este modo, existen métodos que resultan complementarios en la evaluación de la calidad de aguas {Prat citado por Roldan, 2003}, como los que se mencionan:

**Métodos químicos:** con los cuales se determinan diferentes parámetros específicos, que proporcionan información puntual sobre la calidad del agua en un momento dado, estos parámetros son entre otros:

**Temperatura:** efecto que se deriva de la penetración lumínica debido a que la radiación solar no solamente determina la calidad y cantidad de luz sino que también afecta en su aspecto térmico al agua y por consiguiente de la cantidad de energía calórica que es absorbida por el cuerpo de aguas naturales (Roldan citado por Vásquez, 2001).

**Turbiedad:** se define como el grado de opacidad producido en el agua por la materia particulada en suspensión, debido a que los materiales que provocan la turbiedad son los responsables del color; la concentración de sustancias determina la transparencia del agua, puesto que limita el paso a través de ella (Roldan, 2003).

**Oxígeno:** en el ecosistema acuático las fuentes principales de oxígeno son el intercambio con el medio atmosférico y el proceso de fotosíntesis generado por el fitoplancton y las macrophytas acuáticas y esta concentración varía constantemente con procesos físicos, químicos y biológicos, depende de tres factores fundamentales, la temperatura, presión parcial de los gases atmosféricos en contacto con el agua y la concentración de las sales disueltas (Roldan, 2003).

**pH:** definido como la concentración de iones de hidrógeno en el agua expresada por el logaritmo del inverso de la concentración (Margalef citado por Muñoz, 2004), En aguas naturales los valores de pH varían en función de: estado trófico del sistema, concentración de gas carbónico, presencia de iones que determinan la alcalinidad y acidez mineral, factores edáficos, presencia de ácidos orgánicos (ácidos húmicos), columna de agua (Roldan, 2003).

**Conductividad:** se define como el recíproco de la resistencia entre dos electrodos de  $1.0\text{cm}^2$  y distanciados entre sí por  $1.0\text{cm}$ , su valor se expresa en microsiemens por  $\text{cm}$  ( $\mu/\text{cm}$ ) y mide la cantidad total de iones presentes en el agua y por ende se relaciona con la salinidad, actividad iónica, diversidad biótica (relación inversa), procesos de osmoregulación y balance hídrico, productividad neta primaria entre otros (Roldan, 2003).

**Nitrógeno:** su principal fuente es el aire atmosférico, resulta de gran importancia ya que hace parte fundamental de las proteínas y por tanto de los seres vivos; en su ciclo el nitrógeno pasa a través de bacterias, plantas y algas, en el agua puede estar presente en las siguientes formas: nitrato ( $\text{NO}_3$ ), nitrito ( $\text{NO}_2$ ), amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), amonio ( $\text{NH}_4$ ), óxido nítrico ( $\text{N}_2\text{O}$ ), aminoácidos, nitrógeno orgánico disuelto, péptidos, purinas, aminas, zooplancton y detritus (Roldan, 2003).

**Ventajas de los métodos químicos:** observación de los cambios temporales detallados, determinación precisa de un contaminante detallado y la fácil estandarización.

**Desventajas de los métodos químicos:** posible contaminación de las muestras, la no integración temporal y los elevados costos.

**Métodos biológicos:** se relacionan con algunos organismos acuáticos que son propios de un tipo de agua o hábitat (bioindicadores), en este caso los macroinvertebrados bentónicos que han recibido gran atención en los estudios de los ecosistemas de aguas corrientes, principalmente por su importancia como eslabones tróficos intermediarios entre los productores primarios y consumidores por ser transformadores e integradores de la materia orgánica alóctona principal entrada de energía a los sistemas fluviales (Roldan, 2003).

Como bioindicadores ofrecen una serie de características favorables que permiten un acertado análisis en la calidad biológica del agua tales como:

Tamaño relativamente grande, muestreo fácil, fácil identificación, no se requiere de equipos costosos. Ciclos biológicos lo suficientemente largos, reflejan las alteraciones en corto tiempo, alta diversidad, amplia distribución, sedentarios en su mayoría, se pueden cultivar en laboratorio. Atendiendo a estas ventajas se hace cálculo del índice de monitoreo biológico para Colombia BMWP/Col (Zamora, 2003).

**Ventajas de los métodos biológicos:** este tipo de métodos permiten hacer integraciones espaciales y temporales, estudios de bioacumulación, medir la degradación del hábitat y son capaces de dar respuesta a contaminaciones crónicas y puntuales y medir la degradación del hábitat (Roldan, 2003).

**Desventajas de los métodos biológicos:** presentan sensibilidad temporal baja, dificultad de cuantificación y estandarización.

Así mismo, es necesario el análisis bacteriológico del agua para determinar su calidad orientada al consumo humano, así como para controlar la eficacia de los sistemas de potabilización del agua.

#### 4. ANTECEDENTES

Los estudios sobre los ecosistemas de páramo en el país se inician de forma práctica desde finales del Siglo XVIII y principios del XIX. Sólo a partir de 1965 se intensifican con énfasis en la descripción y conocimiento natural de los ecosistemas de montaña considerando entre otros aspectos, la historia evolutiva; determinación de páramos azonales; estructura y composición de fauna y flora del páramo, subpáramo y bosque altoandino; y procesos de paramización, entre otros (ministerio del medio ambiente. 2001). En el departamento del Cauca, el parque nacional Puracé ha sido el escenario de diversos estudios.

Algunos de ellos enfocados hacia el análisis de coberturas y de actividades antrópicas, al respecto Joaqui, (2005) evaluó el comportamiento de las coberturas vegetales identificando las alteraciones a las que estuvieron sometidas y sus causas para un sector del parque, mediante la utilización de imágenes satelitales LANDSAT-TM (1989-1999), así mismo, realizó un análisis del sistema antrópico para determinar actividades que afectan el ecosistema mediante el uso de indicadores y la elaboración de una matriz causa- efecto que resultó en: cultivos, ganadería y quema como las principales actividades adversas; por su parte, Martínez (2005) realizó un estudio de los procesos de fragmentación en una zona del parque, mediante análisis de comunidades vegetales, haciendo uso de herramientas tecnológicas como los sistemas de información geográfica (SIG), para cuantificar la fragmentación, este análisis interrelacional de los índices de fragmentación permite identificar que el cambio de uso en el suelo y los patrones aleatorios de ocupación han sido los factores desencadenantes del proceso de fragmentación en la zona, afectando principalmente las coberturas arbóreas-arbustivas; alcanzando inclusive el área protegida por el PNN Puracé.

En esta área, en el componente hidrológico, Vidal (2004) realizó el estudio físico-químico del agua que se precipita dentro de una ventana de estudio del parque nacional natural Puracé, ya que este refleja las alteraciones que entran al ecosistema, con este fin por evaluación conductimétrica de la alcalinidad se valora la capacidad buffer (amortiguadora), del agua de precipitación comparándola con estándares de acidez, se obtuvo que la actual acidificación es producida por ácidos fuertes como sulfúrico y nítrico. El sulfato principal ión aportado por el agua de precipitación en el parque es la causa primordial a largo plazo. Así mismo, el elevado valor de depósito total para los iones  $SO_4^-$ ,  $Cl^-$  y en el agua de lluvia del parque responde a la marcada influencia volcánica y en menor grado a la influencia marina. Los valores promedios de la concentración de esos iones, son elevados y esto puede estar relacionado con la pluviosidad, que facilita el lavado atmosférico de los iones y por ende la dilución de los mismos.

Con el ánimo de identificar amenazas y oportunidades en cada uno de los sectores que conforman el parque nacional de Puracé para ser acogidos dentro de un plan de manejo

ambiental integrado, la unidad especial del sistema de parques naturales (UAESPNN, 2003), realizó el proyecto de desarrollo sostenible ECOANDINO, involucrando en el manejo institucional las oportunidades y necesidades de la población local.

Como complemento en el desarrollo del presente estudio se tienen en cuenta trabajos elaborados dentro del marco de la gestión integral del recurso hídrico, desarrollados en el departamento del Cauca, mencionados a continuación:

El proyecto estrategia integral para la gestión y uso sostenible del recurso hídrico en el sur occidente colombiano, soportado en la consolidación del sistema de información regional del agua (SIRA), desarrollado por la universidad del Cauca y COLCIENCIAS, a través del grupo de estudios ambientales (GEA), en el año 2005, en el cual, se han conformado redes regionales de actores del recurso hídrico como unidades funcionales de participación equitativa e integral, partiendo de la identificación conjunta de prioridades y necesidades en torno al agua. Como resultado de este ejercicio la red genera estrategias, acciones y proyectos que permiten gestionar, conservar y ofertar el agua como potencialidad regional, por medio de la implementación de la línea base y el sistema de información del agua como tal.

Concha, C. *et al.* (2005). Realizó un diagnóstico ambiental de las actividades antrópicas que ejercen presión en la parte media de la cuenca del río Molino con el fin de formular un plan de manejo ambiental (PMA), que incluye una caracterización ambiental, de actividades antrópicas, identificación y evaluación de impactos ambientales, además se organizó el plan de gestión a través de programas estructurados en fichas. El análisis ambiental mostró que la diversidad biótica (vegetal y béntica), disminuye considerablemente de acuerdo al grado de antropización del sistema y al aumento de los factores tensionantes como el depósito y vertimiento de residuos líquidos y sólidos, extracción de material aluvial, explotación de canteras y urbanización.

De igual modo, la evaluación de la calidad del agua en sus componentes biológico y fisicoquímico en el municipio de Puracé, sobre en el río Grande, realizado por Campuzano (2004), quien concluye que como consecuencia de actividades antrópicas las poblaciones de macroinvertebrados se ven afectadas en número y diversidad a lo largo del recorrido por las diferentes estaciones de muestreo, y que los parámetros fisicoquímicos no constituyen un factor limitante para el normal desarrollo de la biota acuática, contrario a la actividad humana, que resulta en un tipo de contaminación baja a moderada para consumo humano.

## 5. DISEÑO METODOLOGIO

### 5.1 DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

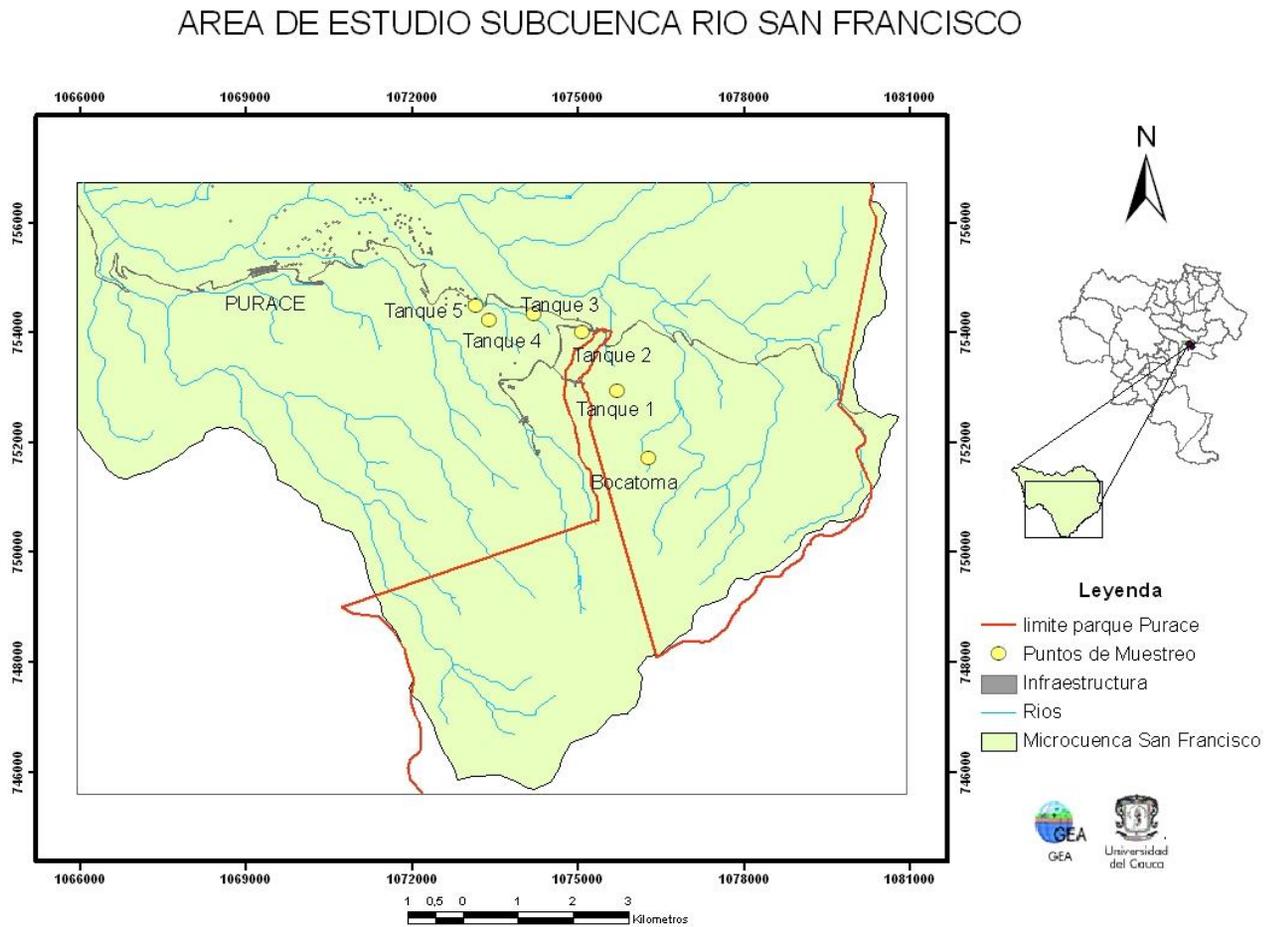
El acueducto que surte la vereda Campamento hace parte de la red de drenaje de la subcuenca río San Francisco sobre la cual se encuentra asentado el resguardo indígena de Puracé; se desprende por el flanco nororiental de la cadena volcánica de los Coconucos y es tributario de la cuenca alta del río Cauca. Esta área se encuentra en el macizo Colombiano conformando así un importante ente dentro del territorio protegido por la unidad especial de parques naturales, ocupando parte de la zona de traslape con el PNN Puracé, en el sector de Pilimbalá; se constituye en un factor estratégico para el desarrollo regional. Los valles altos de los ríos Magdalena y Cauca, el pie de monte que cruza el río Caquetá hacia la Amazonia y el corredor de páramos que se extiende a lo largo de la cordillera central, están geográficamente articulados al área protegida y son soportes del desarrollo regional del sur de Colombia (plan de manejo institucional del parque nacional natural de Puracé, 2002).

La malla hidrográfica en la zona es muy diversificada gracias a la heterogeneidad de su relieve y configuración del sistema montañoso, está conformada por las cuencas altas del río Cauca y río Magdalena, acompañados de numerosos ríos, lagunas y corrientes menores, los suelos específicamente del conjunto Puracé (Typic Distrandept), tienen como principal limitante en sus unidades las pendientes fuertes y largas, el relieve irregular, la baja fertilidad en algunos suelos, alta saturación de aluminio, susceptibilidad a la erosión y pedregosidad. Cuenta con una variación climática que va desde unidades de tierras moderadamente cálidas hasta el nival (EOT Puracé, 2000), aunque el clima es bimodal con dos periodos máximos y dos de mínimos relativos que vienen acompañados de disminución de la radiación solar y cambios en la temperatura las variaciones climáticas se presentan también debido a efectos orográficos como la presencia de la cadena volcánica de los Coconucos y la Serranía del Buey; de este modo, se presentan precipitaciones que van desde los 1600 a 2500 mm, regularmente las épocas de verano se presentan en los meses de junio, julio, agosto y parte de diciembre y enero, el resto del año es invierno intermitente.

Como complemento a la descripción del área de estudio en la tabla 1. Se presentan los datos morfométricos de la microcuenca río San Francisco (utilizando la plataforma SWAT). Con características de un río alargado en forma rectangular con un cauce principal más bien largo en comparación con su ancho, con tendencia a concentrar el escurrimiento, recargado a la margen derecha aguas arriba en su red de drenajes, altitudinalmente su distribución es uniforme, con características de montaña principalmente y a pesar de la pendiente del 3.22%, lo cual revierte en un caudal permanente.

La forma de la superficie tributaria es rectangular alargada, alimentada en su parte media y superior por nacimientos y pequeñas quebradas. Esta configuración y sus pendientes son características de los ríos de régimen torrencial con tiempos de concentración cortos.

Figura 1. Área de estudio.



Fuente: Elaboración propia (software ArcGis versión 9.2).

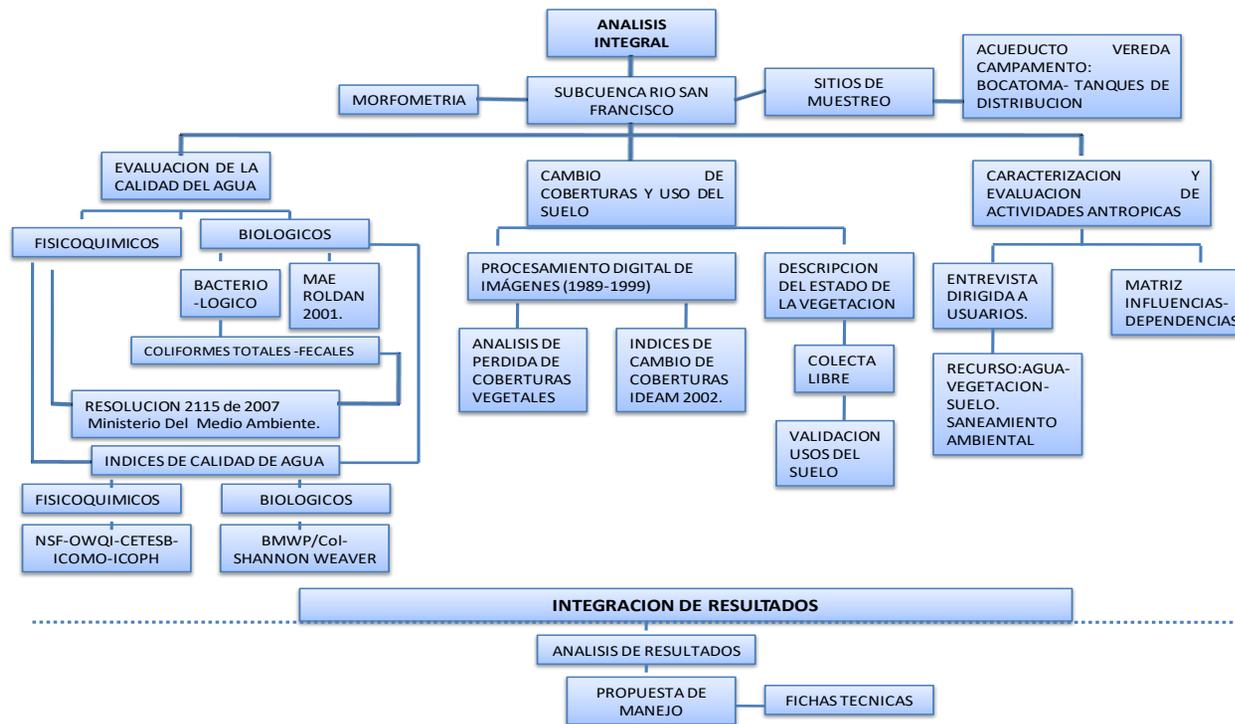
Tabla 1. Características Morfométricas de la subcuenca rio San Francisco.

<b>ANALISIS MORFOMETRICO</b>				
<b>Cuenca:</b>	<b>San Francisco</b>			
<b>Características Morfométricas</b>		<b>(Método)</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Área ( <b>A</b> )			<b>144,93</b>	Km <sup>2</sup>
Perímetro ( <b>P</b> )			<b>59,36</b>	Km
Longitud Axial ( <b>La</b> )			<b>18,77</b>	Km
Ancho Promedio ( <b>Anp</b> )			<b>7,72</b>	Km
Factor de Forma ( <b>Kf</b> )			<b>0,41</b>	S/U
Coefficiente de Compacidad ( <b>Kc</b> )			<b>1,38</b>	S/U
Índice de Alargamiento ( <b>Ia</b> )			<b>2,25</b>	S/U
Índice Asimétrico ( <b>Ias</b> )			<b>1,66</b>	S/U
Coefficiente de masividad ( <b>Km</b> )			<b>0,00</b>	
Pendiente de la Cuenca ( <b>S</b> )		Alvord	<b>3,22</b>	%
Rectángulo equivalente Longitud			<b>19,33</b>	km
Rectángulo equivalente Ancho			<b>1</b>	km
Tiempo de Concentración ( <b>Tc</b> )		Ruiz	<b>11,67</b>	horas
		Kirpich	<b>0,75</b>	horas
		Guaire	<b>1,48</b>	horas
		Bureo Of reclamation	<b>1,69</b>	horas
Orden de la Cuenca ( <b>Oc</b> )			<b>5</b>	S/U
Densidad de drenaje ( <b>Dd</b> )			<b>1,10</b>	S/U
Coefficiente de torrencialidad ( <b>Ct</b> )			<b>2,97</b>	
Sinuosidad ( <b>Si</b> )			<b>1,73</b>	S/U
Pendiente del Cauce ( <b>Sc</b> )		Valores extremos	<b>8,11</b>	%
Vertiente mayor ( <b>Vmayor</b> )			<b>90,46</b>	Km
Vertiente menor ( <b>Vmenor</b> )			<b>54,46</b>	Km
Cota max ( <b>cmax</b> )			<b>4640</b>	m
Cota min ( <b>cmin</b> )			<b>2010</b>	m
Altura de la cuenca ( <b>H</b> )			<b>2630</b>	m
Longitud máxima ( <b>Lmax</b> )			<b>32,44</b>	km
Ancho máximo ( <b>Anmax</b> )			<b>14,41</b>	km
Longitud Cauce principal ( <b>Lcp</b> )			<b>32,4</b>	km
Longitud de las corrientes ( <b>Lc</b> )			<b>159,14</b>	km
Numero de cauces de orden 1 ( <b>O1</b> )			<b>431</b>	S/U
Longitud de todas las curvas de nivel ( <b>Lcn</b> )			<b>4669,3</b>	km
Distancia del centro de gravedad al rio ( <b>Lo</b> )			<b>16,5</b>	km
Diferencia de cotas ( <b>Dcota</b> )			<b>0,001</b>	km

Fuente: Datos obtenidos mediante utilización de la plataforma SWAT.

## 5.2 METODOLOGIA

Figura 2. Diagrama metodología general de la propuesta.



Fuente: Elaboración propia.

**5.2.1 Descripción de los sitios de muestreo (Figura 1).** Los datos que corresponden a la localización y características ambientales de los sitios de muestreo son información primaria.

**1. Sitios de muestreo para el análisis fisicoquímico y bacteriológico:**

**Bocatoma del acueducto vereda Campamento:**

Figura 3. Estación de muestreo bocatoma.



Localización Geográfica: 02°21'12.9"N 76°23'43,0"O      Altitud: 3581 msnm

El sitio de captación se encuentra rodeado por un relicto de bosque aislado sobre la quebrada Rinconada, el tanque cuenta con un sistema de toma por rejilla para la captación del agua (ministerio del medio ambiente, 2002), y es cerrado, con dos tapas que permanecen bajo llave, desde este sitio los tubos de conducción y distribución son plásticos y están expuestos sobre el terreno. Las actividades antrópicas registradas en la zona son de ocupación y establecimiento de áreas productivas de tipo agrícola y pecuario.

Tabla 2. Características ambientales en la bocatoma.

<b>Características ambientales del sitio</b>	<b>bocatoma Rinconada</b>	
	Valor máximo	Valor mínimo
Temperatura °C	15.0	9.2
Porcentaje de humedad	62	57
Intensidad lumínica	1486 lux escala 20000	

**Tanque 1:**

El agua que se almacena en este sitio proviene tanto de la bocatoma por la red de distribución y de la quebrada Pajoy. Está conformado por dos tanques, el primero que es abierto recibe el agua de las dos fuentes y el segundo la almacena y permanece bajo llave, aquí también se encuentran las llaves de paso que se cierran durante el lavado de los tanques suspendiendo el servicio en el sector de el Crucero.

Figura 4. Estación de muestreo tanque 1.



Localización Geográfica: 2.º21'52,5"N , 76º24'00,9" O. Altitud: 3523 msnm

El sitio se encuentra aislado y se ha reforestado con pino, los tubos de conducción y distribución están enterrados, las actividades que se desarrollan en el sector son de ocupación, área de cultivo y pastoreo con caminos veredales.

Tabla 3. Características ambientales en el tanque 1.

<b>Características ambientales del sitio</b>	<b>Tanque 1</b>	
	Valor máximo	Valor mínimo
Temperatura °C	15.2	10.9
Porcentaje de humedad	95	78
Intensidad lumínica	486 lux escala 50000	

### Tanque 2:

Figura 5. Estación de muestreo tanque 2.



Localización Geográfica: 2º22'27,0"N , 76º.24'21,4"O. Altitud: 3323 msnm

Se localiza en el sector del cruce de Campamento, por lo que se le llama tanque del Crucero, es uno de los mas grandes en la red de distribución (8mx4m), y se encuentra aislado, es una estructura cerrada, conformada por una entrada, una salida y un rebose, las

actividades que se desarrollan alrededor son de pastoreo, ocupación, y las vías intermunicipal, hacia la mina y cabañas de Pilimbalà, por lo que se constituye en un sector bastante concurrido.

Tabla 4. Características ambientales en el tanque 2.

<b>Características ambientales del sitio</b>	<b>Tanque 2</b>	
	Valor máximo	Valor mínimo
Temperatura °C	16.3	12.4
Porcentaje de humedad	93	91
Intensidad lumínica	296 lux escala 20000	

### Tanque 3:

Figura 6. Estación de muestreo tanque 3.



Localización Geográfica: 2°22'38,3"N, 76°24'50,3"O. Altitud: 3270 msnm

Se trata de un tanque pequeño (4mx3m), y 2 m de altura, se encuentra aislado y permanece bajo llave, esta localizado en el margen derecho del camino que conduce el centro poblado de Campamento con el sector de Pilimbalà, en la zona se registran actividades productivas de tipo agrícola y ganadero y pocas viviendas con huertas caseras, se encuentra muy próximo a la vía intermunicipal y es conocido con el nombre de tanque tubo verde o Buenavista; a partir de este tanque la red de distribución se divide en dos ramales, el del margen izquierdo sobre la vía y el derecho del que se surten unas pocas familias, esta división se hace por medio de un tubo galvanizado que esta ubicado sobre la carretera como se observa en la figura 6.

Tabla 5. Caracterización ambiental del tanque 3.

<b>Características ambientales del sitio</b>	<b>Tanque 3</b>	
	Valor máximo	Valor mínimo
Temperatura °C	16.4	12.0
Porcentaje de humedad	98	89
Intensidad lumínica	226 escala 20000	

#### Tanque 4:

Conocido como tanque de Monterredondo, se localiza en una zona dedicada a actividad pecuaria para ganado vacuno y ovino; dadas las condiciones geomorfológicas, la agricultura es semitecnificada con el uso en algunas viviendas de maquinas de arado, alrededor se desarrollan actividades de extracción de especies maderables como pino y eucalipto y viviendas con huertas caseras.

Figura 7. Estación de muestreo tanque 4.



Localización Geográfica: 02°22'34,2"N, 76°25'15,8"O.

Altitud:3208 msnm

Es un tanque pequeño (4mx3m), y 2 m de altura, que se encuentra aislado y permanece bajo llave.

Tabla 6. Características ambientales en el tanque 4.

<b>Características ambientales del sitio</b>	<b>Tanque 4</b>	
	Valor máximo	Valor mínimo
Temperatura	16.5	13.3
Porcentaje de humedad	98	90
Intensidad lumínica	1548 escala 20000	

### Tanque 5:

Es el más cercano al centro poblado de Campamento, por lo que es conocido con este nombre por ello se desarrollan a mayor escala actividades agrícolas, pecuarias de uso y ocupación así como el establecimiento de caminos veredales y la influencia de la vía intermunicipal. Es un tanque aislado y al igual que los demás permanece bajo llave.

Figura 8. Estación de muestreo tanque 5.



Localización Geográfica: 2°22'43,0"N, 76°25'24,2"O.

Altitud:3129 msnm

Tabla 7. Características ambientales en el tanque 5.

<b>Características ambientales del sitio</b>	<b>Tanque 5</b>	
	Valor máximo	Valor mínimo
Temperatura	17	14.6
Porcentaje de humedad	98	90
Intensidad lumínica	1066 escala 20000	

## 2. Sitios de muestreo para análisis biológico.

Bocatoma sobre la quebrada Rinconada.

El muestreo se realiza 100 m arriba de la bocatoma del acueducto de Campamento, se trata del nacimiento de la quebrada Rinconada su cauce con un ancho no mayor a 1m y con una profundidad entre 0.1 y 0.5 m mantiene una velocidad de la corriente moderada, con poco arrastre de sedimento independientemente del sustrato que se encuentra conformado por piedras, barro y abundante material alóctono como raíces, hojas, ramas caídas producto de la vegetación riparia la cual ha resultado favorecida por el aislamiento que la comunidad hizo de este relicto de bosque por tratarse de un nacimiento de agua, dando como resultado un cauce parcialmente cubierto. La vegetación de tipo acuática es escasa, fuera del aislamiento encontramos áreas dedicadas a actividades agrícolas y pecuarias.

Figura 9. Estación de muestreo Q. Rinconada.



Localización geográfica: 2 ° 21'03``Norte y 76 ° 23'44.1`` Oeste

**Altitud:** 3605 msnm.

**Área muestreada:** 6 m.

### **Tanque 2 sobre la quebrada Pajoy.**

El sitio de muestreo se encuentra ubicado 50 m debajo del tanque de captación que tiene la particularidad de ser el sitio de unión de la quebrada Pajoy y la bocatoma, se trata de un canal entre 3-5 m de ancho, con una profundidad de 1.5 m que presenta una velocidad de la corriente rápida, el sustrato esta conformado por piedras y barro. En este sitio la vegetación riparia esta constituida por gramíneas y herbáceas, con algunos arbustos por lo cual presenta una exposición abierta, las áreas aledañas son utilizadas para siembra de cultivos y pastizales, encontramos también viviendas y caminos veredales dada la actividad productiva que se desarrolla en el sector.

Figura 10. Estación de muestreo Pajoy.



Localización geográfica: 2°·21'57.1``Norte y 76°·24'02`` Oeste

**Altitud:** 3430 msnm.

**Área muestreada:** 10 m.

Tabla 8. Caracterización de los sitios de muestreo (quebrada Rinconada y quebrada Pajoy).

Parámetro físico-químico	Q. Rinconada	Q. Pajoy	CARACTERÍSTICAS DEL SITIO				
			Q. Rinconada		Q. Pajoy		
Variable	valor	valor	Variable Ambiental	Valor Máx.	Valor Mín.	Valor Máx.	Valor Mín.
% OD	98.7	100.2	Temperatura	14.9	9.4	15.3	11.1
Oxígeno Disuelto mg/l	7.70	7.41	% humedad	98	83	98	83
pH	6.68	6.9	Intensidad lumínica	1406 escala		290 escala	
Conductividad	44.63	50.3		20000		50000	
Temperatura	10.5	16.3					

Teniendo en cuenta las características del área de estudio y su problemática ambiental se evaluaron e identificaron las principales variables que ejercen presión en el ecosistema mediante la integración de variables bióticas, antrópicas y espaciales.

### 5.2.2 Calidad del agua.

El concepto de calidad de agua, se aplica siempre en relación con un uso o aplicación previamente establecida, para Colombia los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso humano y doméstico se relacionan en el decreto 1575 de 2007 la resolución 2115 de 2007 del ministerio de la protección social y ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, a su vez indica que clase de tratamientos se requiere para su potabilización (artículo 5/ decreto 1594-84 del ministerio de salud).

#### Análisis físico-químico:

En condiciones naturales los parámetros físico-químicos hídricos están en constante variación, demuestran cambios de la caracterización y están en función de pisos altitudinales, zonas fitogeográficas, relacionadas directamente con el ambiente la biota acuática en general y flujos de energía en sus niveles trofodinámicos.

Los puntos de monitoreo (seis puntos de muestreo), sobre los cuales se realizaron los análisis planteados, tienen en cuenta los sectores críticos de contaminación tales como las fuentes abastecedoras del acueducto en la bocatoma y los tanques de almacenamiento que conforman la red de distribución.

En el desarrollo del trabajo se tuvo en cuenta los siguientes indicadores básicos de calidad, los cuales sirven para determinar índices de calidad de aguas (ICA) y están incluidos en la resolución 2115 de 2007.

- pH
  - Temperatura
  - Turbidez
  - Nitratos - Nitritos
  - Amonio- Amoniaco
  - Cloruros
  - Fosfatos
  - Oxígeno disuelto
  - Sólidos disueltos
  - Salinidad
  - Porcentaje de saturación de oxígeno
  - Potencial de Oxido reducción
  - Conductividad
  - DBO<sub>5</sub>
- Se realizaron muestreos durante un periodo de 9 meses que incluyeron épocas de verano (septiembre- diciembre), de invierno (mayo- julio) y transición (noviembre- febrero); por cada sitio de muestreo se tomaron dos muestras de agua una en superficie y otra en profundidad.

**En campo:** se realizaron mediciones in situ de los siguientes parámetros: temperatura del agua y del ambiente, pH, oxígeno disuelto, porcentaje de saturación de oxígeno, conductividad. Para estas mediciones se utilizó la sonda portátil HACH HQ30 del laboratorio del grupo de estudios ambientales.

#### **En el laboratorio:**

A continuación se relacionan las variables analizadas en el laboratorio:

- Turbidez
- Nitratos-nitritos
- Amonio- Amoniaco
- Fosfatos
- Sólidos disueltos
- Salinidad
- Potencial de Oxido reducción
- Conductividad

Se colectaron muestras de agua (1litro), de cada una de las estaciones, se mantuvieron refrigeradas y el análisis en laboratorio se hizo con equipos como la sonda múltiparamétrica de referencia YSI Serie 6, el espectroquant del laboratorio del grupo de estudios ambientales GEA, el análisis de DBO<sub>5</sub> se realizó en el laboratorio de la CRC.

#### **Análisis biológico.**

**Análisis bacteriológico:** mediante determinación de coliformes totales y fecales; teniendo en cuenta que el agua de la zona de estudio es utilizada para consumo humano, resulta de vital importancia evaluar su calidad especialmente mediante análisis bacteriológicos.

La metodología para determinar coliformes totales y fecales en este trabajo fue por la técnica de filtración por membrana, el cual es un método valido según la normatividad colombiana (capitulo III, resolución 2115 de 2007 del ministerio de la protección social y ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial), teniendo en cuenta las temporadas en las que se realizaron los muestreos para macroinvertebrados y para el análisis fisicoquímico (invierno, verano, transición); para la toma de muestras se dispuso de frascos

estériles de 100 mL, que se conservaron refrigerados con un tiempo no mayor a 8 horas, y se llevaron al laboratorio de biología en donde se realizó el proceso de determinación.

A continuación se detalla el proceso para la determinación de coliformes totales y fecales por el método de filtración por membrana según la guía de laboratorio para análisis bacteriológico, del programa de biología, universidad del Cauca.

**Preparación de diluciones:** teniendo en cuenta el rango recomendado para realizar el recuento de colonias (30-300) y que se trata de agua cruda, es necesario realizar dos diluciones a partir de la muestra original:

- Se toma asépticamente 20 mL de la muestra original y se llevan a un frasco que contiene 180mL de agua de dilución (agua peptonada estéril). Corresponde a la dilución  $10^{-1}$ , luego se repite el procedimiento a partir de esta muestra para obtener la dilución  $10^{-2}$ .

**Filtración y siembra:**

-Se Procede a ensamblar el embudo de filtración sobre el erlenmeyer con desprendimiento lateral y se coloca la membrana de filtración (poro de  $0.45\mu\text{m}$ ), estéril, con la ayuda de una pinza estéril.

- Con una probeta estéril se miden 100 mL de la dilución  $10^{-2}$  y se filtra. Se realizan dos filtraciones por cada dilución.

- Se lava el embudo con agua estéril después de cada filtración y se filtra nuevamente para dejar limpio.

- Se remueve el filtro con una pinza estéril y se coloca sobre el medio contenido en la caja de petri. Se hace lo mismo para cada dilución y muestra original.

-Se rotulan cada una de las cajas y se llevan a la incubadora a  $35^{\circ}\text{C}$  por 18-24 horas para los coliformes totales, la otra caja de la misma dilución se incuba a  $44.5^{\circ}\text{C}$  por 18-24 horas para los coliformes fecales.

Recuento: el número total de bacterias para una muestra de agua se expresa en unidades formadoras de colonias UFC/100ml mediante el cálculo:

$$\text{UFC/100 ml} = \frac{\text{Número de colonias}}{\text{Mayor dilución o volumen de muestra filtrada}} \times 100$$

El muestreo se realizó en los seis puntos de monitoreo planteados en el análisis fisicoquímico durante los meses de invierno (mayo); verano (diciembre) y transición (octubre). Por cada sitio de muestreo se tomaron dos muestras de agua una en superficie y otra en profundidad.

## **Análisis de macroinvertebrados acuáticos (MAE):**

### **Método de recolección y tratamiento de las muestras en campo:**

Con el objeto de recolectar la mayor diversidad posible de macroinvertebrados, se exploró cada uno de los hábitats posibles para el lugar de muestreo, teniendo en cuenta que no es recomendable muestrear después de lluvias intensas.

La recolección en general se realizó atendiendo el método de flotación (Campuzano, 2004), en el que se utiliza una red (de bentos), el muestreo fue manual levantando rocas, piedras, ramas sumergidas en cuya superficie se encontraron organismos adheridos, que se tomaron con ayuda de pinzas y se guardaron en frascos con alcohol al 70% (Roldan, 2003).

Como complemento al método de recolección manual se colectaron muestras del sustrato, lodo u hojarasca; estas muestras se almacenaron en bolsas herméticas y se revisaron en el laboratorio.

El muestreo se realizó durante los meses de mayo (invierno) diciembre (verano) y octubre (transición) sobre las fuentes de agua abastecedoras del acueducto, en la bocatoma sobre la quebrada Rinconada y en el tanque 1 sobre la quebrada Pajoy.

**En el laboratorio:** Las muestras se organizaron en bandejas blancas iluminadas, para remover cualquier tipo de sustrato de los organismos, bajo estereoscopio y con ayuda de guías y claves taxonómicas (Roldan, 1996), se identificaron los especímenes; hasta familia como lo requiere el índice biológico y hasta género para el índice de Shannon Weaver posteriormente se cuantificaron de acuerdo con el índice BMWP/Col para poder analizar el estado biológico de las aguas evaluadas.

### **5.2.3 Cambio de coberturas vegetales y uso del suelo-procesamiento digital de imágenes.**

Mediante la utilización del programa SWAT e información secundaria se determinaron los datos relacionados con la morfometría de la subcuenca del río San Francisco, como complemento en la descripción del área de estudio.

### **Análisis de pérdida de coberturas vegetales**

Para estimar la pérdida de vegetación en la ventana de estudio se utilizó un proceso de clasificación supervisada de imágenes Landsat, a nivel de análisis semidetallado sobre una composición 453, atendiendo la metodología implementada en los trabajos realizados por Martínez (2005) y Joaqui (2005) en el área de influencia del PNN Puracé. Esta combinación facilita la interpretación visual de imágenes, realzando y discriminando diferentes coberturas vegetales, diferenciándolas de las coberturas de agua, suelo (o roca), desnudo, zonas urbanas, entre otras. En la siguiente tabla se presentan las diferencias de tonos en este tipo de composición.

El análisis digital de datos, y específicamente, imágenes digitales de percepción remota orbital, ha posibilitado el desarrollo de las técnicas orientadas al análisis de datos multidimensionales, adquiridos por diversos tipos de sensores. Estas técnicas han recibido el nombre de procesamiento digital de imágenes (PDI), (Martínez et al, 2003).

El procesamiento digital de imágenes puede ser dividido en tres etapas independientes:

- El preprocesamiento se refiere al procesamiento inicial de los datos brutos para la calibración radiométrica de la imagen, la corrección de distorsiones geométricas.
- Las técnicas de realce más comunes en PDI son, realce de contraste, filtraje, operación aritmética, entre otros.
- Las técnicas de clasificación pueden ser divididas en clasificación supervisada (por píxel) y clasificación no supervisada (por regiones).

Tabla 9. Tonos para coberturas en una composición 4,5,3 de una imagen Landsat según Chuvieco (1996).

<i>Tipo de Cobertura</i>	<i>Tono</i>
Bosques y selvas.	Café, marrón y naranja oscuro
Vegetación vigorosa de bosques, bosques plantados, bosque ripario o de galería o cultivos bajo riego y otros agroecosistemas.	Rojo a magenta
Pastos y gramíneas.	Verdes claros y azulosos
Cubiertas parcial o totalmente de agua: Entre mayor sedimentos contenga el agua más claro es el tono de azul e inversamente.	Azul oscuro a negro
Ciudades y áreas pobladas, a zonas con vegetación de pantano o a rocas desnudas	Grises y azules metálicos
Áreas de escasa o nula vegetación como nubes, arenas, canteras, depósitos salinos, suelos desnudos	Blancos y azules claros
Nieve	Morado brillante

Sin embargo, el usuario puede evitar el empleo de los algoritmos de clasificación y realizar una interpretación directa sobre una imagen realzada. Las técnicas de PDI son aplicadas teniendo en cuenta los números digitales atribuidos a los píxeles de una imagen. Dependiendo de la técnica utilizada el usuario trabajará con una única imagen (banda o PI), o con varias imágenes, la última opción es conocida como técnica multiespectral, por tratar varias imágenes de la misma escena, en regiones diferentes del espectro electromagnético y fue empleada en el proyecto para la elaboración del mapa de coberturas.

A las áreas obtenidas en las imágenes, se les aplicó el indicador de cambio multitemporal; para obtener los valores y porcentajes de cambio de cobertura en el área de estudio.

En este procedimiento se empleo el indicador cambio multitemporal del área de páramos, bosques, sabanas, agroecosistemas y humedales propuesto por el IDEAM (2002), en el sistema de información ambiental para Colombia el cual estima cambios en área (pérdida o ganancia), de cada una de las coberturas en un lapso de tiempo, y posteriormente se generaron tablas con las características de las unidades ecosistémicas analizadas y estadísticas descriptivas que permiten identificar los patrones de cambio de cobertura, considerando los procesos de modificación asociados al cambio de uso del suelo.

Formula del Indicador:  $A = A2 - A1$

Porcentaje de cambio =  $(A2 - A1) / A1 \times 100$

Cambio medio anual =  $(A2 - A1) / T2 - T1$

Donde:

A = Cambio en la superficie de la cobertura de los ecosistemas analizados

A1 = Superficie total de la cobertura analizada para el año en referencia

A2 = Superficie total de cobertura analizada en el año de cambio

T1 = Tiempo inicial o de referencia

T2 = Tiempo final o de cambio

Si A es negativo (-), hay una pérdida o disminución en la superficie de la cobertura analizada en el lapso considerado. Si A es positivo (+), hay una ganancia o incremento en la superficie de la cobertura analizada en el lapso considerado.

#### **5.2.4 Inventario de la vegetación:**

Los sitios de muestreo se seleccionaron de acuerdo al recorrido de reconocimiento en campo y a la cartografía consultada. La delimitación de las unidades de muestreo se realizó atendiendo las recomendaciones generales propuestas por el profesor Bernardo Ramírez, director del herbario de la universidad del Cauca; y utilizando la metodología de colecta libre (Ramírez, 1999).

#### **Muestreos de vegetación:**

Para los muestreos de vegetación se dispuso de un formato guía para realizar una caracterización aproximada del sitio de muestreo y recopilar datos que son importantes en la identificación del material vegetal colectado (Joaquí, 2005).

- Se colectaron diferentes especies vegetales atendiendo la metodología de colecta libre (Ramírez, 1999); se tomaron 3 muestras del material vegetal encontrado y se preservó en campo utilizando alcohol al 70%.
- Identificación material vegetal colectado: se utilizaron claves taxonómicas de Mendoza & Ramírez (2002), Gentry (1993), información bibliográfica disponible en el herbario de la universidad del Cauca (CAUP), bases de datos publicadas en internet, como la del Missouri botanical garden, New York Botanical Garden, Igualmente la colaboración

del profesor Bernardo Ramírez, docente de biología, Director del herbario universidad del Cauca.

### **5.2.5 Identificación y evaluación de actividades antrópicas.**

#### **Descripción de actividades antrópicas:**

Se elaboró una entrevista estructurada dirigida hacia los pobladores, se incluyó información como uso y manejo de los recursos naturales y el ambiente con sus implicaciones en el manejo de la cuenca para analizar el uso del recurso hídrico, vegetación y suelo e identificar posibles focos de contaminación.

Se hizo recorrido para verificación de usos de suelo y validación de posibles focos de contaminación identificados por los pobladores, con la ayuda de una lista de chequeo simple en la que se incorporaron y relacionaron las actividades que se registraron en el lugar, producto de visitas e inspecciones del sitio se pretendió integrar diferentes variables que permitieron acercarse con mayor precisión a un diagnóstico del sistema en cuestión.

#### **Matriz de influencias-dependencias:**

La elaboración de esta matriz tiene por objeto determinar el grado de influencia y dependencia de los indicadores específicos o de primer nivel, permitiendo elaborar una categorización en referencia a estos dos aspectos y escoger indicadores que sean representativos para la evaluación, que además sean medibles o cuantificables, teniendo en cuenta que un indicador que presente un alto grado de dependencia, indica que es de alto valor en el análisis ambiental, ya que es sensible a los cambios.

El proceso de elaboración atiende los siguientes criterios (Muñoz, 2004):

Se localizan sobre las abscisas los indicadores y se cruzan con los mismos indicadores que se disponen en las ordenadas. Se establecen las relaciones de influencia o dependencia. En el caso de ninguna influencia o dependencia por lo que no hay ningún tipo de relación se deja la casilla en blanco. Las relaciones que se presenten entre los mismos indicadores se anotan en la casilla (con una "x") o también se dejan en blanco.

Cuando se da una relación de dependencia o de influencia, es decir, se presenta una influencia o dependencia entre los indicadores, se marca la casilla correspondiente. Las influencias se leen de la parte superior de la matriz hacia abajo, es decir verticalmente y las dependencias tienen una lectura de izquierda a derecha de la matriz u horizontalmente. Por cada casilla de la matriz sólo se tiene una relación de dependencia o de influencia directa.

El número de indicadores utilizados es importante para calcular el peso de las influencias y las dependencias de cada indicador dentro del ecosistema. La sumatoria de las influencias está dada con relación al número de indicadores sobre los cuales influye, circunstancia igual para las dependencias.

Los datos aquí obtenidos pueden ser llevados a un plano de coordenadas donde se grafique la relación influencias/dependencias, localizando en el eje de las abscisas las dependencias y en el de las ordenadas las influencias.

- **cuadrante I:** son los que ejercen mucha influencia, teniendo pocas dependencias.
- **cuadrante II:** ejercen mucha influencia y a la vez sufren muchas dependencias.
- **cuadrante III:** tienen poca influencia y a la vez tienen mucha dependencia.
- **cuadrante IV:** tienen poca influencia y también poca dependencia.

Según este análisis los sistemas que tengan el mayor número de indicadores en el cuadrante IV (conocidas también como variables reguladoras), serán los más resistentes al cambio, en contraposición, los sistemas que tengan el mayor número de indicadores en el cuadrante II (variables claves), serán altamente susceptibles a los cambios y por lo tanto son más vulnerables. Los indicadores del cuadrante I (variables motrices), al tener pocas dependencias son resistentes al cambio, pero si llegan a ser afectados influyen en muchos indicadores según Figueroa (1998), y las variables del cuadrante III son las resultantes.

#### **5.2.6 Análisis de datos:**

En el análisis de calidad de agua se utilizaron índices de calidad de agua multiplicativo, el cual representa un sistema indicador de la calidad del agua, que agrupa los parámetros contaminantes más representativos dentro de un marco unificado, como un instrumento que permite identificar el deterioro o mejora de la calidad en un cuerpo de agua.

Para los datos fisicoquímicos se utilizó el programa estadístico SPSS versión 11.5 con el cual se analizó la distribución de los datos mediante la prueba de la normalidad y posibles diferencias entre las medias de los datos obtenidos en superficie y profundidad para identificar variables claves.

Para el análisis bacteriológico se utilizó el programa SPSS versión 11.5 para identificar diferencias entre las medias de los datos obtenidos en superficie y profundidad.

Para los macroinvertebrados se utilizó el programa estadístico Biodiversity, con el cual se calculó el índice de diversidad.

Los cambios de cobertura se analizaron mediante la prueba estadística de Chi-cuadrado ( $X^2$ ), en donde se asume como dato ESPERADO las coberturas pertenecientes al periodo anterior y dato OBSERVADO a las coberturas del periodo posterior; para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas del cambio de cobertura se trabajaron 10 grados de libertad y un valor de 18.3, con una confiabilidad de 95%. Fórmula empleada:  $X^2 = \sum (O - E)^2 / E$ .

## 6. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados, atendiendo a los componentes definidos, en consonancia con los objetivos planteados y la metodología.

### 6.2 CALIDAD DEL AGUA

#### 6.2.1 Caracterización de parámetros fisicoquímicos:

Los meses de muestreo caracterizados en las épocas invierno, transición y verano corresponde a la clasificación en términos de precipitación presentada por Rangel (2002), en donde se menciona el carácter bimodal en la zona de estudio con un periodo de lluvias de mayo a agosto y un periodo seco que va desde septiembre a abril; de igual modo, se tuvo en cuenta el documento de ordenación del municipio de Puracé (2000).

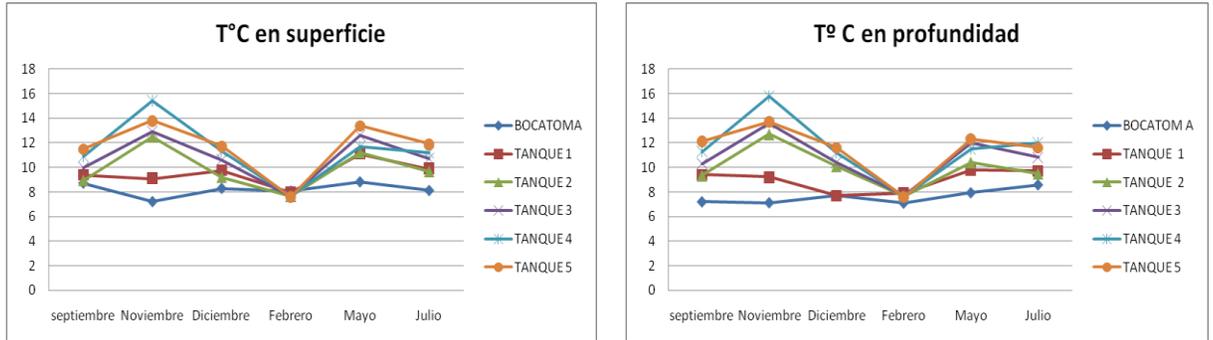
Mediante el análisis estadístico se obtuvo que la distribución de los datos no es normal, por lo cual se utilizaron pruebas no paramétricas (Kruskall Wallis), para evaluar el comportamiento de la variable a través de los meses de muestreo, con la prueba se comparan rangos promedios complementados con el valor de la significancia asintótica, detectando diferencias significativas con  $p=0.05$  (Marques de Cantú, 1998), y teniendo en cuenta que las muestras fueron tomadas en un mismo sitio se realizó una prueba de hipótesis de la diferencia de dos medias con muestras dependientes (prueba T), para identificar diferencias significativas entre las medias de los datos de superficie y profundidad. De este modo se identificaron variables claves que se mencionan a continuación, por tanto se analiza una muestra como superficie y otra en profundidad.

- Temperatura ( $T^{\circ}\text{C}$ )
- Conductividad (mSm/cm)
- Potencial de oxido reducción (ORP).
- Amonio ( $\text{NH}_4$  mg/L)
- Cloruro (Cl mg/L)

#### 1. Aspecto térmico:

El comportamiento de la variable temperatura ( $T^{\circ}\text{C}$ ) y las medias de los datos en superficie y profundidad difieren significativamente ( $p=0.05$ ), los registros en superficie son mayores que los de profundidad y en cuanto a los meses de muestreo se observa que en superficie los mayores valores se obtuvieron en los meses de septiembre, noviembre y diciembre, correspondientes a las épocas verano y transición, entre los meses de febrero a julio existe una tendencia a disminuir siendo los menores valores los del muestreo del mes de febrero que corresponde a la transición entre las épocas verano- invierno; mientras que los datos de profundidad muestran una tendencia similar pero con menores valores, aun así en los meses de invierno mayo- julio se evidencia un leve aumento.

Figura 11. Variable temperatura en superficie y profundidad.



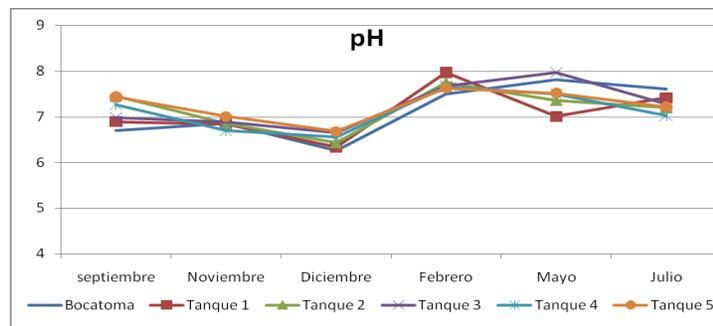
El desenso de la temperatura en función de la profundidad obedece a la disminución de la capacidad de penetración lumínica y al fenómeno de atenuación, debido al incremento de la turbiedad por presencia de material en suspensión y particulado (Vasquez, 2000), y a la estructura de las tanques de almacenamiento, en donde se presentan las mayores variaciones en la columna de agua.

En cuanto a las estaciones de muestreo se observa que los menores valores corresponden a la bocatoma y los mayores valores a los tanques 4 y 5 debido a la diferencia altitudinal por la estructura de la red de distribución y la geomorfología del paisaje y especialmente a la hora del muestreo.

En la zona de estudio la variación de temperatura del agua (7.03 y 16° C), corresponde a los rangos típicos del bioma paramuno, el menor valor es el que se reporta en la estación de muestreo bocatoma, a una altura de 3600 msnm y el mayor para el ultimo tanque (3129 msnm). Igualmente el menor rango de temperatura se presentó en invierno y el mayor en verano.

## 2. Potencial de hidrógeno (pH):

Figura 12. Variable potencial de hidrogeno (pH).



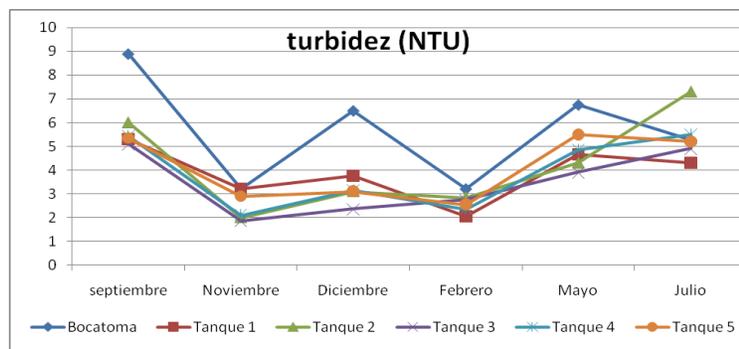
Los valores de pH oscilan entre 6-8 unidades con un comportamiento homogèneo entre las estaciones de muestreo sin diferencias de medias en los primeros meses y con leves variaciones en febrero, mayo y julio. El mayor valor 7.98 en el tanque 3 para el mes de mayo (invierno), el menor 6.2 en la bocatoma para el mes de diciembre (verano). La tendencia entre los meses de septiembre (verano), y diciembre es a disminuir y entre diciembre y julio a aumentar, se observa para el mes de julio un descenso en la curva lo cual sugiere algun tipo de perioricidad.

A lo largo del sistema de distribución los valores de pH muestran una tendencia neutro-alcalina; en cuanto a las estaciones de muestreo la variable mostró valores básicos en bocatoma y los tanques 1, 3 y 4; valores con tendencia acida en los tanques 4 y 5. Durante los meses febrero, mayo y julio correspondientes a las épocas de transición e invierno predominaron valores básicos.

En aguas naturales los valores de pH varían en función del estado trófico del sistema, es decir, fluctuaciones drásticas del pH en el ecosistema acuático inciden en el metabolismo y distribución de la biota, al variarse la distribución del carbono total, dada la relación existente entre el ion hidrogenión y la concentración de gas carbónico que conducen a estimar los valores de producción primaria, según Vázquez (2001), en este caso el comportamiento alcalino esta dado por la presencia de estos iones además de los aniones fosfato y sulfato muy comunes cuando se asocian a sistemas productivos, por procesos de oxidación de la materia orgánica presente el sistema, produciendo nitritos y cloruros, es de anotar, que los valores reportados se encuentran dentro del rango (4.5 a 8.5), que constituyen los valores limitantes para el desarrollo la biota acuática (Vázquez, 2001).

### 3. Turbidez (NTU).

Figura 13. Variable turbidez (NTU).



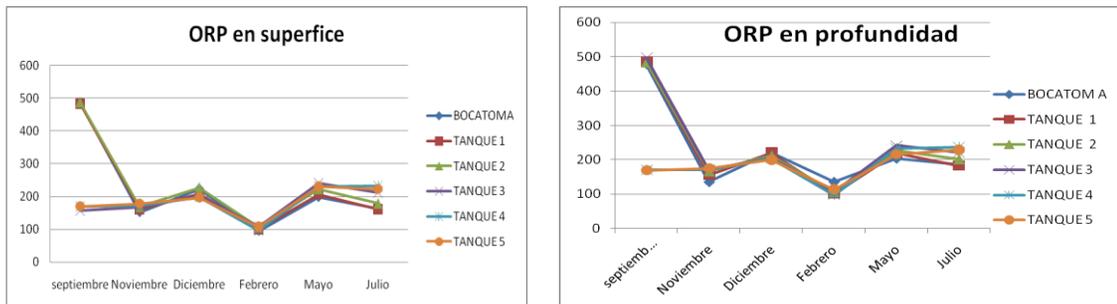
La tendencia en la distribución de los datos no es uniforme sin embargo se conservan los valores bajos y altos en la mayoría de las estaciones de muestreo, los meses con mayor variabilidad diciembre-mayo correspondientes a las épocas verano e invierno respectivamente, la estación bocatoma es la que registra los mayores valores (8.9 NTU), en septiembre (verano), y el menor registro 1.85 NTU en noviembre (verano), para el tanque

3, el cual fue la estación con menor rango de datos, su tendencia fue la mas baja y comparada con la estación bocatoma existe diferencia estadísticamente significativa de medias (mediante la prueba kruskal Wallis).

Esta variable en épocas invierno, verano y transición presenta el mayor valor en los primeros sitios de muestreo (bocatoma y tanque 1), y una disminución gradual a medida que encontramos los otros tanques de almacenamiento diferencia que se presenta debido al arrastre de sedimentos y material aloctono ya que la cubierta vegetal ripariana de los dos primeros sitios de muestreo, que constituyen las fuentes de abastecimiento no es lo suficientemente densa como para bloquear el paso de material arrastrado por la escorrentía superficial, de este modo, el agua al ingresar a los otros tanques de almacenamiento transporta material suspendido que a su vez es depositado en el fondo de los mismos resultando en el cambio de valores en el rango establecido, el comportamiento de la variable relacionada con la cantidad de sólidos suspendidos totales (SST), incide en la transparencia del agua, disminuyendo la capacidad de penetración lumínica y afectando los procesos bioenergéticos fotosíntesis-respiración, para el sistema los valores reportados son bajos y no impiden el desarrollo de la biota fitoplanctonica, los registros se deben en la mayoría de los casos a la presencia de microorganismos, a material suspendido y a partículas orgánicas causadas en mayor proporción por el aumento en la precipitación.

#### 4. Potencial de oxido-reducción (ORP).

Figura 14. Variable ORP en superficie y profundidad.



La diferencia de medias entre los datos de superficie y profundidad es estadísticamente significativa ( $p=0.05$ ), pero la tendencia en los dos muestreos es igual, el mes de septiembre registra los mayores valores disminuyendo bruscamente en el siguiente muestreo (noviembre), en donde se observa una leve tendencia a estabilizarse conservando valores bajos, el mes con menores valores registrados es febrero que corresponde a la época de transición entre verano e invierno, de este modo los datos se distribuyen así en superficie el menor valor 94.60 para la estación bocatoma en el mes de febrero y el mayor 488.03 en el mes de septiembre para el tanque 2. En profundidad 96.80 el menor valor para la estación tanque 4 en el mes de febrero y 497.08 el mayor para el mes de septiembre.

Diferentes procesos que se llevan a cabo en aguas naturales como la reactividad, solubilidad y movilidad de elementos esenciales para el sistema son afectados por cambios

en el potencial redox (ORP), de igual modo resultan afectados la distribución y actividad metabólica de microorganismos, el ORP tiene relación con el oxígeno disuelto y la temperatura, una alta concentración de oxígeno en el sistema favorece valores como los que se registran en el muestreo (497.08), sin embargo, las variaciones se deben también a actividades como la acción microbiana que puede alterar el potencial redox debido a la respiración y secreción de sustancias reductoras, igualmente descargas de materia orgánica oxidable (aguas servidas), ocasionan cambios bruscos en la cantidad de oxígeno disuelto y a su vez en el ORP debido al aumento de bacterias heterotróficas aerobias y anaerobias facultativas (algunas patógenas como *E. Coli*), cuya distribución se encuentra determinada por esta variable.

### 5. Gases disueltos :

Figura 15. Variable oxígeno disuelto.

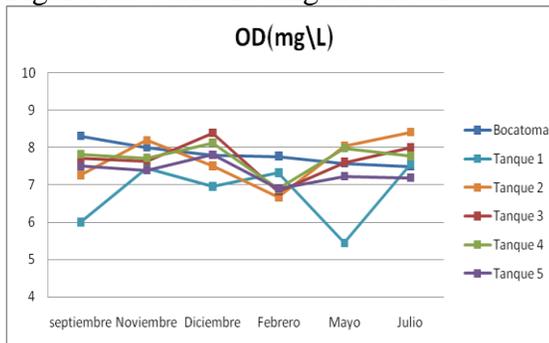
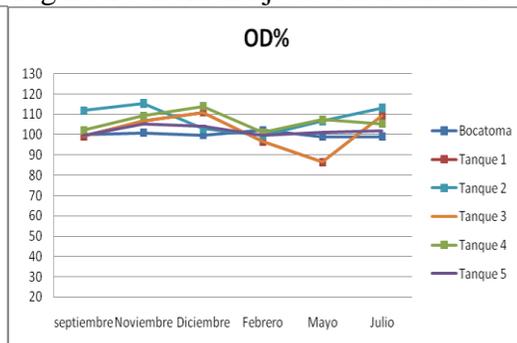


Figura 16. Porcentaje de saturación de oxígeno.



Para la variable porcentaje de saturación de oxígeno disuelto se observa entre las estaciones de muestreo tendencia a estabilizarse siendo el tanque 3 el que presenta el menor valor para la época invierno (83.7), el mayor valor en el tanque 2 (noviembre), con valor de 115.35, la estación que presenta los mayores valores en todo el muestreo es bocatoma y la estación más estable tanque 5.

La variable oxígeno en mg/L (Figura 15), no presenta un comportamiento homogéneo entre ninguna de las estaciones, siendo la estación tanque 1 la más variable, y la estación bocatoma la más estable, los valores oscilan entre 8.41 mg/L para el tanque 2 en el mes de julio y 6.06 mg/L para septiembre en el tanque 1. Las estaciones tanque 3, tanque 4 y tanque 5 son las que menor variabilidad presentan entre sí.

El porcentaje de saturación de oxígeno (figura 16), presenta un comportamiento similar en los meses de muestreo con valores muy altos denotando sobresaturación, que obedece a la altura de la zona de estudio y a la baja temperatura característica propia del páramo. Aun así los valores favorecen el normal desarrollo de la biota acuática especialmente de organismos estenotípicos como macroinvertebrados acuáticos de los géneros *Anacroneria* y *Terpides* entre otros indicadores de aguas limpias.

Las variaciones para porcentaje de saturación y oxígeno disuelto en el sistema están dadas por procesos físicos, químicos y biológicos como el suministro de oxígeno producto de la fotosíntesis que depende de la turbiedad, concentración de sólidos en suspensión, intensidad y penetración lumínica y a su vez la solubilidad de oxígeno depende de la presión que ejerce el gas, la temperatura y salinidad, como ocurre en los primeros sitios de muestreo (bocatoma y tanque 1), que están conectados directamente a la fuente hídrica, aunque en los tanques de almacenamiento este valor se reduce atendiendo las condiciones hidráulicas en las que se mantiene el agua (considerando tiempos de retención nulos), degradación de materia orgánica y reacciones químicas en la columna de agua favorecidas por la estructura del tanque de almacenamiento, el nivel de oxígeno no disminuye bruscamente.

### 5.1 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>):

Con el fin de utilizar índices de calidad del agua (ICA), para complementar el análisis se realizó el análisis de DBO<sub>5</sub> para dos meses de muestreo como se muestra en tabla 10.

Corresponde a la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para los procesos de degradación de la materia orgánica en medio aeróbico, resulta de la actividad biológica y depende de los microorganismos, cantidad y temperatura del agua, para las muestras analizadas el detritus presenta DBO<sub>5</sub> baja (menor a 0.7mg/l), para el mes de diciembre, correspondiente a la época verano, y en octubre (invierno intermitente), se observan variaciones en los tanques 2 y 3, lo que implica que la reducción enzimática no desnaturaliza rápidamente los compuestos biológicos presentes, evidenciando niveles de alteración de la calidad de las aguas, igualmente el incremento que se presenta en época de lluvia evidencia una acumulación de material suspendido producto del arrastre de sedimentos causados por la lluvia y favorecida por la infraestructura de los tanques de almacenamiento y especialmente al sistema de distribución.

Tabla 10. Demanda bioquímica de oxígeno.

Estación						
Mes	BOCATOMA	TANQUE 1	TANQUE 2	TANQUE 3	TANQUE 4	TANQUE 5
DICIEMBRE	<0.7	<0.7	<0.7	<0.7	<0.7	<0.7
OCTUBRE	<0.5	<0.5	1,3	0,9	<0.5	<0.5

El análisis de DBO<sub>5</sub> se realizó en el laboratorio de la CRC.

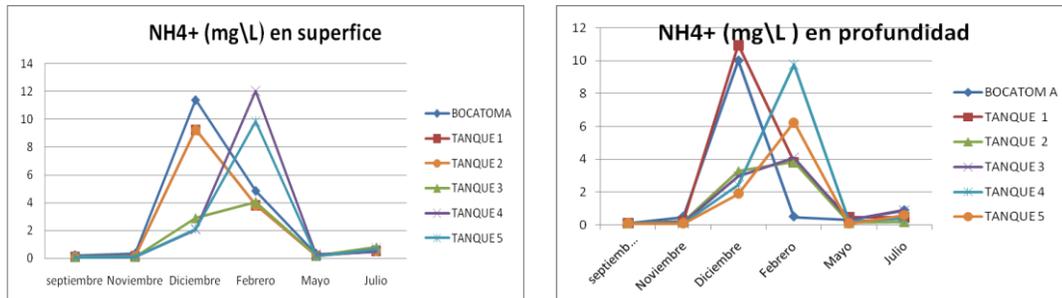
## 6. Nutrientes:

### 6.1 Interacción del nitrógeno como amonio y nitratos:

El nitrógeno fue evaluado en este trabajo en las siguientes formas nitrato (NO<sub>3</sub>), en la figura 18, nitrito (NO<sub>2</sub>) amoniaco (NH<sub>3</sub>), amonio (NH<sub>4</sub>), en la figura 17, por ser indicadores químicos de procesos de degradación de materia orgánica.

Los datos presentan una tendencia muy similar a lo largo de todos los meses de muestreo sin embargo, las diferencias de medias son significativas (según el estadístico de kruskall Wallis). Siendo los datos de superficie los que alcanzan mayores valores, denotando altas tasas de degradación de materia orgánica en las primeras etapas del ciclo del nitrógeno y dada la condición aeróbica del sistema con altos porcentajes de saturación y de oxígeno disuelto resultan favorecidos haciendo que el proceso de oxidación sea ágil, así amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), en superficie registra el menor valor 0.06mg/L en septiembre para el tanque 4 y el mayor registro en febrero de 12.09mg/L para la misma estación. Se observa de igual modo que las estaciones con mayor variabilidad entre si son tanque 4 con bocatoma y tanque 2 con tanque 5 en superficie. Mientras que ( $\text{NH}_4^+$ ), en profundidad presenta el menor valor 0.09mg/L que se registró en el mes de septiembre en la estación tanque 5 y el mayor valor de 11.97mg/L en diciembre para el tanque 1 y la mayor variabilidad entre estaciones esta dada por tanque 4 con tanque 1 y tanque 5 con bocatoma.

Figura 17 Variable amonio en superficie y profundidad.

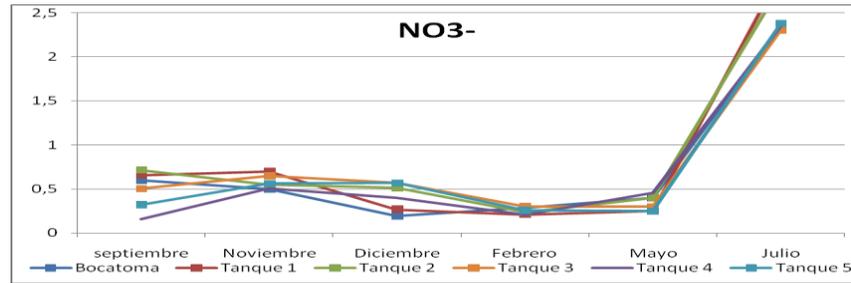


Entendiendo que aguas superficiales bien oxigenadas no deben contener amoníaco, se consideran las concentraciones de nitrógeno amoniacal (amonio y amoníaco), obtenidas en el muestreo como una prueba química de contaminación reciente y peligrosa para la salud humana (Gonzales, 2007).

Sin embargo el mayor aporte de nitrógeno es la atmósfera seguido de los procesos de oxidación bacteriana y actividad agrícola; por tratarse de una zona con alta influencia volcánica los valores promedios de la concentración de estos iones en el aire, son mucho más elevados que en otros lugares y esto puede estar relacionado con factores climáticos que facilitan el lavado o transporte de los iones y por ende la dilución de los mismos en los cursos de agua según Vidal (2004).

En un medio acuático natural se espera encontrar la mayoría del nitrógeno como nitratos en lugar de la forma oxidada ( $\text{NH}_4^+$ ), (Roldan, 2003), en las muestras analizadas la mayor variación se presenta en las épocas de transición (diciembre y febrero), las otras épocas presentan similitud en la distribución de los datos y corresponden a rangos promedio para aguas naturales, estas concentraciones provienen principalmente por oxidación bacteriana de la materia orgánica eliminada por los animales, uso de fertilizantes y vertimiento de aguas residuales domésticas, el aumento en la cantidad de nitratos limita el uso del agua para consumo humano (ministerio del medio ambiente, 2002).

Figura 18. Variable nitratos (mg/L).



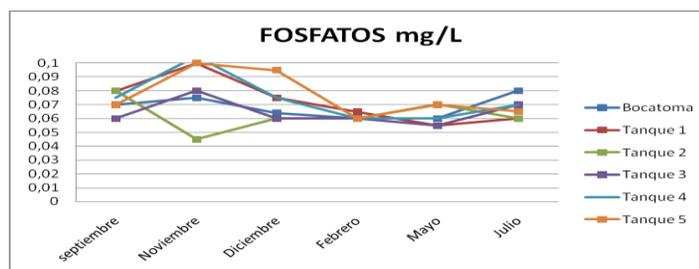
La diferencia de medias entre los datos de la variable nitratos en superficie y profundidad es no significativa, las estaciones presentan un comportamiento homogéneo con tendencia a estabilizarse en los meses secos septiembre a febrero y aumentar bruscamente en el periodo lluvioso correspondiente a los meses mayo y julio, como resultado de la polución proveniente del arrastre de materiales por escorrentía especialmente en los primeros sitios de muestreo (parte alta), la distribución de los datos oscila de la siguiente manera 0.15mg/L el menor valor para el mes de septiembre, en el tanque 4 y 2.96 mg/L el mayor valor en julio en la estación de muestreo tanque 1.

Estos valores aunque no afectan el desarrollo de la biota acuática son relativamente altos y se pueden explicar mediante el ciclo del nitrógeno, en donde las descargas que contienen nitrógeno amoniacal, son oxidadas rápidamente por acción bacteriana en medio aeróbico y pasan a ser nitritos y finalmente nitratos, que son reincorporados al sistema para ser utilizados por los productores energéticos dentro de sus ciclos trofodinámicos (Vasquez, 2000).

## 6.2 Fosfatos mg/L:

La diferencia de medias en este caso es no significativa, las estaciones con mayor variabilidad son tanque 2 y tanque 5 y las más estables bocatoma y tanque 3, así entonces, la distribución de los datos se presenta entre el rango 0.045mg/L el menor valor en el mes de noviembre en la estación tanque 2 y el mayor valor 0.105mg/L en el mismo mes para la estación tanque 4, los meses con menor variabilidad son febrero (época transición y mayo (época invierno).

Figura 19. Variable fosfatos (mg/L).

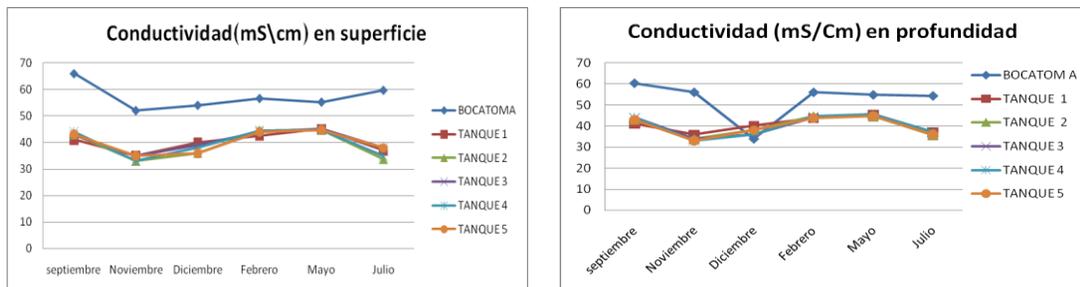


En aguas naturales la concentración de fósforo es baja, de 0.01mg/l a 1 mg/L por lo que en la zona de estudio se evidencia alteración. La principal fuente de fosfato para la zona es la actividad ganadera en áreas aledañas a las fuentes de abastecimiento que por procesos de escorrentía favorece el arrastre de materia orgánica de origen animal y vegetal así como fertilizantes producto de actividad agrícola en la zona de influencia.

Las bajas concentraciones en algunas estaciones (tanque 2 y tanque 3), indican que los fosfatos, son utilizados por los productores primarios, ya que estos se distribuyen espacialmente en los niveles superiores de la columna, debido a su fototropismo positivo (Vásquez, 2001), así mismo el incremento en las concentraciones indican procesos de reducción especialmente en las zonas profundas.

### 7. Conductividad y cloruros:

Figura 20. Conductividad en superficie y profundidad.



Los datos en superficie alcanzan los mayores valores representados en el muestreo de la bocatoma indicando que en este sitio se presenta el mayor porcentaje de actividad iónica, dada las características de la fuente de agua con actividad agrícola y pecuaria en la zona de influencia lo cual aporta parte del material que contribuye con los ciclos y flujos de materia y energía, de igual modo, los registros de superficie y profundidad están oscilando permanentemente en función de la dinámica del sistema así como a la época, hora y día del muestreo, la estación con menores valores es tanque 2, en general los valores altos se presentan en septiembre correspondiente a la época verano y menores en noviembre (transición) y julio época invierno.

La conductividad es un indicador de la actividad iónica en el sistema, en función de la naturaleza geoquímica del sustrato y de las reacciones químicas en la columna de agua, los datos obtenidos se pueden incluir dentro del rango 20-60 mS/cm como lo indica Vasquez (2000), con baja concentración de sólidos totales disueltos, que indica aguas oligotróficas, condición que limita el desarrollo de comunidades de macroinvertebrados acuáticos por que el estado trófico del sistema acuático y los niveles de productividad no son altos.

Igualmente la conductividad mide la cantidad total de iones presentes en el agua y puede relacionarse también con la concentración de cloruros, que generalmente se encuentran en forma de sales de sodio (NaCl), de potasio (KCl) y de calcio (CaCl<sub>2</sub>), (Andujar & Henao,

2008), incidiendo directamente sobre la salinidad; este parámetro varía en las estaciones de muestreo entre el rango 0.1 y 0.2 ppm correspondientes a niveles bajos de salinidad; en general corresponden a aguas limpias no oligotróficas.

El comportamiento de los datos en superficie no es homogéneo presentándose variabilidad entre las estaciones bocATOMA y tanque 5 y similitud entre las estaciones tanque 2 y tanque 3, por el contrario los datos registrados para el muestreo en profundidad son estables y mayores indicando que procesos de degradación se inician en las capas profundas, con un comportamiento similar entre estaciones de muestreo, la tendencia en los meses de verano es a aumentar y a disminuir en época de invierno, teniendo en cuenta que la variable cloruros es un indicador químico de procesos de degradación de materia orgánica por residuos de excreción y considerando que en la zona hay actividad ganadera las concentraciones de cloruro disminuyen durante los meses de invierno por efecto de la lluvia por procesos de lavado y dilución mientras que en los meses de verano se presentan concentraciones mayores por que hay menores volúmenes de agua.

Teniendo en cuenta el rango de datos para la variable cloruros (<10.0 mg/L), se puede clasificar al sistema según Vasquez (2001), como trófico.

Figura 21. Variable cloruros en superficie y profundidad.

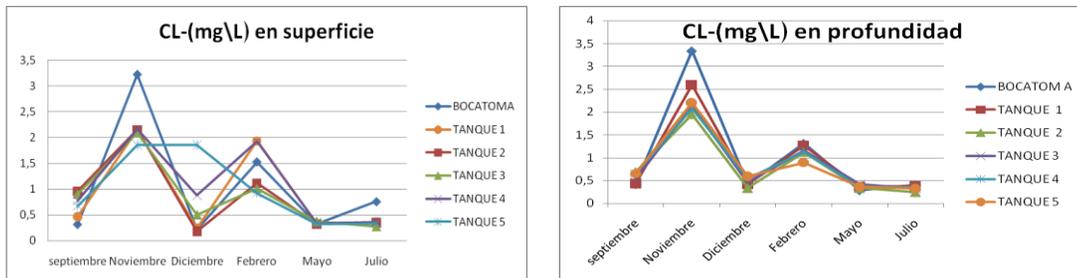


Tabla 11. Datos (medias) fisicoquímicos en superficie colectados en campo.

Sitio	PARAMETROS FISICOQUIMICOS EN SUPERFICIE															
	fecha	T° C	Cd Es (mS/cm)	Cond. (mS/cm)	TDS (g/L)	Salin	OD%	OD (mg/L)	pH	ORP	NH4+ (mg/L)	NH3 (mg/L)	CL- (mg/L)	NO3- (mg/L)	Turb NTU	PO4 (mg/L)
BOCATOMA	28/09/07	8,70	66	25,6	0,04	0,03	100,27	8,11	6,76	487,33	0,22	0,00	0,32	0,81	8,77	0,07
	14/11/07	7,20	52	52	0,03	0,02	100,80	7,98	6,85	152,13	0,34	0,01	3,22	0,50	2,93	0,09
	13/12/07	8,27	54	48	0,04	0,02	99,03	7,65	6,23	224,07	11,40	0,01	0,22	0,18	6,63	0,06
	12/02/08	8,05	56,6	56,6	0,04	0,03	103,03	7,78	8,06	95,03	4,85	0,02	1,53	0,16	3,20	0,06
	05/05/28	8,80	55,2	55,2	0,04	0,02	98,20	7,49	7,80	198,47	0,33	0,03	0,33	0,23	6,80	0,05
	07/07/08	8,10	59,7	52,3	0,04	0,03	98,40	7,43	7,66	163,97	0,52	0,2	0,76	2,15	5,17	0,08
TANQUE 1	28/09/07	9,37	41	36	0,03	0,02	74,10	5,60	6,89	483,07	0,11	0,00	0,47	0,97	5,30	0,08
	14/11/07	9,10	35	35	0,03	0,02	81,87	7,38	6,80	162,00	0,25	0,01	2,15	0,70	3,20	0,08
	13/12/07	9,77	40	40	0,03	0,02	81,87	6,17	6,34	209,57	10,21	0,01	0,24	0,31	2,37	0,07
	12/02/08	7,98	42,5	42,5	0,03	0,02	94,67	7,48	7,89	100,80	4,86	0,01	1,94	0,18	3,87	0,07
	05/05/28	11,1	45,1	45,1	0,03	0,02	74,37	5,42	7,13	207,47	0,38	0,01	0,34	0,30	4,13	0,05
	07/07/08	9,90	37	41,3	0,03	0,02	77,37	7,51	7,30	161,87	0,11	2,00	0,36	2,99	4,27	0,06
TANQUE 2	28/09/07	8,94	43	38	0,03	0,02	110,83	7,02	7,45	488,03	0,11	0,00	0,96	0,59	5,07	0,07
	14/11/07	12,5	33	32	0,02	0,01	115,87	8,25	6,93	169,17	0,16	0,00	2,15	0,50	2,17	0,04
	13/12/07	9,20	36	33	0,02	0,02	81,63	6,26	6,16	227,87	9,26	0,01	0,18	0,48	3,37	0,06
	12/02/08	7,64	44,5	44,5	0,03	0,02	99,40	6,68	7,66	106,70	3,84	0,01	1,12	0,25	2,60	0,06
	05/05/28	11,2	44,8	44,8	0,03	0,02	108,53	8,09	7,35	223,37	0,20	0,04	0,32	0,30	4,70	0,07
	07/07/08	9,67	33,7	37,5	0,03	0,02	111,27	8,39	7,20	179,30	0,56	2,21	0,35	2,99	4,40	0,05
TANQUE 3	28/09/07	9,97	43	38	0,03	0,02	101,18	7,72	6,88	157,07	0,11	0,00	0,91	0,55	5,40	0,06
	14/11/07	12,9	35	33	0,02	0,01	108,03	7,69	6,93	167,47	0,13	0,00	2,10	0,60	2,00	0,09
	13/12/07	10,6	39	36	0,03	0,02	110,87	8,38	6,68	202,27	2,89	0,01	0,51	0,60	2,50	0,05
	12/02/08	7,65	44	44	0,03	0,02	96,47	6,98	7,68	107,90	4,05	0,03	1,02	0,37	2,40	0,06
	05/05/28	12,6	45,3	45,3	0,04	0,02	105,63	7,62	8,01	241,07	0,20	0,08	0,38	0,47	2,87	0,06
	07/07/08	10,7	38	38	0,03	0,02	110,27	7,91	7,32	211,87	0,80	1,60	0,28	2,24	5,00	0,07

TANQUE 4	28/09/07	10,9	44	39	0,03	0,02	105,09	7,93	7,45	169,96	0,08	0,00	0,78	0,15	5,23	0,07
	14/11/07	15,4	33	33	0,02	0,01	103,47	7,83	6,83	172,30	0,11	0,00	2,16	0,50	2,10	0,09
	13/12/07	11,3	38	37	0,02	0,02	112,60	8,59	6,64	199,40	2,07	0,01	0,88	0,43	2,93	0,08
	12/02/08	7,67	44,6	44,6	0,03	0,02	101,17	6,78	7,66	96,63	12,05	0,04	1,92	0,16	2,43	0,06
	05/05/28	11,7	44,8	44,8	0,03	0,02	107,87	8,00	7,48	231,23	0,27	0,01	0,34	0,50	5,13	0,06
	07/07/08	11,2	35	37	0,03	0,02	109,03	7,80	7,12	233,73	0,50	0,84	0,36	2,45	5,50	0,07
TANQUE 5	28/09/07	11,5	43	39	0,03	0,02	99,85	7,52	7,47	169,60	0,08	0,00	0,67	0,17	5,27	0,07
	14/11/07	13,8	35	34	0,02	0,02	105,07	7,46	7,01	178,23	0,11	0,00	1,86	0,69	3,27	0,11
	13/12/07	11,7	36	35	0,02	0,02	104,40	7,79	6,60	197,17	2,11	0,02	1,86	0,69	3,27	0,11
	12/02/08	7,59	44	44	0,03	0,02	99,67	7,05	7,61	107,23	9,86	0,03	0,92	0,25	2,87	0,06
	05/05/28	13,4	44,7	44,7	0,03	0,02	102,60	7,36	7,57	230,57	0,17	0,01	0,33	0,30	5,50	0,07
	07/07/08	11,9	38	40,1	0,03	0,02	104,43	7,16	7,19	223,27	0,70	0,68	0,34	2,41	5,40	0,05

Tabla 12. Datos (medias) fisicoquímicos en profundidad colectados en campo.

Sitio	fecha	PARAMETROS FISICOQUIMICOS EN PROFUNDIDAD														
		T° C	Cd Es (mS/cm)	Cond. (mS/cm)	TDS (g/L)	Salin	OD%	OD (mg/L)	pH	ORP	NH4+ (mg/L)	NH3 (mg/L)	CL- (mg/L)	NO3- (mg/L)	Turb NTU	PO4 (mg/L)
BOCATOMA	28/09/07	7,20	60,3	51	0,04	0,03	100,07	8,40	6,66	478,73	0,13	0,00	0,41	0,36	8,87	0,07
	14/11/07	7,13	56	55	0,04	0,03	100,80	8,03	6,87	134,67	0,51	0,01	3,34	0,50	3,40	0,06
	13/12/07	7,70	34	20,9	0,04	0,02	99,97	7,83	6,30	220,57	10,00	0,01	0,42	0,22	5,43	0,07
	12/02/08	7,10	56	55	0,04	0,03	101,01	8,03	6,87	135,00	0,51	0,02	1,31	0,51	3,39	0,06
	05/05/28	7,93	54,8	54,8	0,04	0,02	99,07	7,59	7,82	203,20	0,33	0,02	0,28	0,50	6,50	0,06
	07/07/08	8,57	54,3	52	0,04	0,03	99,27	7,50	7,60	185,37	0,90	0,75	0,40	2,60	8,37	0,09
TANQUE 1	28/09/07	9,40	41	36	0,03	0,02	74,50	6,01	6,87	485,07	0,12	0,00	0,43	0,30	5,30	0,08
	14/11/07	9,20	36	52	0,03	0,02	81,83	7,47	6,89	154,93	0,26	0,01	2,59	0,70	3,17	0,12
	13/12/07	7,70	40,2	0,2	0,04	0,02	99,96	7,83	6,30	220,30	10,96	0,01	0,42	0,22	5,44	0,09
	12/02/08	7,89	43,8	43,8	0,03	0,02	94,63	7,16	8,05	101,47	3,84	0,02	1,26	0,25	3,27	0,06
	05/05/28	9,77	45,5	45,5	0,03	0,02	73,63	5,45	7,00	219,13	0,50	0,02	0,36	0,20	5,80	0,06

	07/07/08	9,73	37	42,1	0,03	0,02	72,87	7,72	7,42	182,77	0,50	1,63	0,38	2,79	4,50	0,06
TANQUE 2	28/09/07	9,33	43	37	0,03	0,02	113,70	7,56	7,50	484,93	0,11	0,00	0,69	0,83	7,03	0,08
	14/11/07	12,7	34	33	0,02	0,01	114,60	8,14	6,78	167,47	0,21	0,00	1,95	0,60	1,87	0,05
	13/12/07	10,1	38	36	0,03	0,07	123,97	8,59	6,72	212,50	3,29	0,01	0,33	0,52	3,07	0,06
	12/02/08	7,66	44,6	44,6	0,03	0,02	99,80	6,62	7,85	107,00	3,84	0,01	1,12	0,22	3,13	0,06
	05/05/28	10,4	44,6	44,6	0,03	0,02	106,23	8,02	7,39	226,97	0,14	0,03	0,33	0,50	3,90	0,07
	07/07/08	9,50	35,7	37,3	0,02	0,02	118,03	8,34	7,23	202,50	0,20	1,59	0,24	2,61	7,33	0,07
	28/09/07	10,3	44	37	0,03	0,02	98,95	7,72	7,09	497,04	0,11	0,00	0,54	0,46	4,73	0,06
TANQUE 3	14/11/07	13,6	34	32	0,02	0,01	105,93	7,50	6,84	170,37	0,16	0,00	2,14	0,70	1,80	0,07
	13/12/07	10,4	36	34	0,02	0,02	111,00	8,42	6,62	206,83	2,98	0,01	0,45	0,54	2,17	0,07
	12/02/08	7,69	44,1	44,1	0,03	0,02	96,77	6,69	7,67	106,90	4,09	0,01	1,16	0,25	3,00	0,06
	05/05/28	12,0	45,5	45,5	0,03	0,02	105,23	7,60	7,96	242,20	0,31	0,08	0,41	0,20	4,87	0,05
	07/07/08	10,8	36	31,9	0,03	0,02	105,03	7,87	7,30	222,17	0,90	1,73	0,32	2,52	4,80	0,08
	28/09/07	11,3	44	38	0,03	0,02	99,07	7,60	7,01	170,50	0,10	0,00	0,64	0,15	5,70	0,08
	14/11/07	15,8	33	33	0,02	0,01	114,07	7,68	6,60	170,70	0,12	0,00	2,08	0,50	2,00	0,12
TANQUE 4	13/12/07	11,2	36	35	0,02	0,02	115,37	7,64	6,44	203,79	2,42	0,00	0,54	0,34	3,37	0,07
	12/02/08	7,66	44,7	44,7	0,03	0,02	101,00	7,01	7,66	97,63	9,78	0,03	1,13	0,26	2,27	0,06
	05/05/28	11,5	45,5	45,5	0,03	0,02	107,27	7,95	7,51	233,93	0,23	0,08	0,37	0,40	4,53	0,06
	07/07/08	12,0	37,3	39,9	0,02	0,02	101,60	7,62	6,93	237,20	0,40	1,06	0,35	2,27	5,40	0,07
	28/09/07	12,1	43	38	0,03	0,02	100,80	7,50	7,42	169,33	0,09	0,00	0,66	0,44	5,47	0,07
	14/11/07	13,7	33	32	0,02	0,01	105,40	7,29	6,99	175,57	0,10	0,00	2,21	0,50	2,73	0,09
	13/12/07	11,6	38	36	0,02	0,02	104,17	7,81	6,69	200,03	1,91	0,01	0,60	0,49	3,03	0,07
TANQUE 5	12/02/08	7,61	43,9	43,9	0,03	0,02	99,97	6,76	7,65	113,07	6,25	0,02	0,90	0,28	2,30	0,07
	05/05/28	12,3	44,8	44,8	0,04	0,03	100,50	7,22	7,48	216,03	0,10	0,01	0,37	0,20	5,53	0,07
	07/07/08	11,6	36	42,2	0,03	0,02	99,90	7,24	7,27	229,37	0,60	1,58	0,33	2,39	4,87	0,07

## 6.2.2 Caracterización biológica

### Análisis bacteriológico.

Mediante análisis estadístico se tuvo en cuenta pruebas no paramétricas para muestras dependientes (datos en superficie y profundidad), y mediante la prueba T se evaluaron posibles diferencias entre medias, la cual dió como resultado diferencia no significativa para los dos grupos de datos con un nivel de significancia de (0.05). Los datos de superficie y profundidad para cada tipo de bacterias se describen en las tablas 13 y 14.

La prueba estadística para dos muestras independientes (coliformes totales y coliformes fecales), con el estadístico de Kruskal Wallis ( $\alpha 0.05$ ), indica que dos tipos de bacterias se diferencian significativamente en tres tipos de muestras (original, Dilución  $10^{-1}$ , Dilución  $10^{-2}$ ), que obedece a las condiciones específicas que requiere cada tipo de cultivo en el laboratorio, debido a que en la determinación de coliformes fecales se incuban las muestras a una elevada temperatura ( $44.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  según la guía de laboratorio para el análisis bacteriológico, del programa de biología de la universidad del Cauca), y en estas condiciones solo proliferan las bacterias que se encuentran en este grupo.

El análisis de coliformes totales y fecales constituye la medición primaria de la calidad microbiológica del agua, en el caso de los coliformes totales se trata de organismos no patógenos que generalmente se encuentran en el suelo, por procesos de escorrentía y por presencia de vegetación, en aguas contaminadas por residuos humanos o animales, mientras que el grupo coliformes fecales desde el punto de vista sanitario especialmente para consumo humano resulta muy importante y su presencia constituye el indicio más delicado y fidedigno de la polución según Roldan citado por Gonzales, 2007, constituyendo un potencial riesgo para la salud de las personas expuestas a esta agua.

Como coliformes totales se conoce a una familia (*Enterobacteriaceae*), de bacterias Gram negativas que reciben este nombre porque suelen encontrarse en el intestino de los mamíferos, conformada por géneros como son *Salmonella*, *Yersinia*, *Shigella*, *Escherichia*, *Proteus* y *Enterobacter*; Una característica importante para la identificación de grupo entérico, es la capacidad de fermentar el disacárido lactosa, que depende de la posesión de un galactósido permeasa y del enzima  $\beta$ - galactosidasa, las cepas que contienen  $\beta$ -galactosidasa pero carecen de permeasa, no pueden incorporar lactosa a velocidad suficiente para producir una fermentación rápida, y normalmente se clasifican como no fermentadoras de lactosas, la fermentación de la lactosa es característica de *Escherichia* y *Enterobacter* y está ausente en *Shiguella*, *Salmonella* y *Proteus* (Stanier *et al*, 1996 ). La presencia de estos grupos de organismos indica que sobre las fuentes de agua estudiadas ocurre descarga de desechos sanitarios poniendo en riesgo la salud humana siendo vulnerable la población infantil y de adulto mayor, ampliamente representada en la zona de estudio pues encontramos en cada vivienda un promedio de 3 niños y 1 adulto mayor (según encuesta realizada en este trabajo).

La presencia de este tipo de bacterias en las muestras de agua se explica por la implementación de áreas para pastoreo cercanas a las fuentes de abastecimiento y por descarga de aguas servidas en actividades agrícolas y domésticas. En cuanto a la actividad pecuaria se generan efectos que influyen en la alteración de la calidad fisicoquímica y presencias de bacterias coliformes totales y fecales debido a la compactación del suelo que aumenta la escorrentía superficial durante las lluvias como menciona Hofstede (2000), por lo cual llegan a las fuentes hídricas sedimentos, desechos biológicos y por la cercanía con las áreas de producción de residuos de agroinsumos. De igual modo la falta de saneamiento básico y de educación ambiental genera descarga de desechos domésticos y sanitarios sobre las fuentes especialmente desde las viviendas ubicadas en laderas.

En el laboratorio, teniendo en cuenta el rango recomendado para el recuento de (30-300 UFC), fue necesario realizar dos diluciones debido a la superpoblación a partir de las muestras originales, ya que lo que aparece como una colonia pudo ser originado por varias bacterias bajo condiciones de hacinamiento y generar resultados erróneos.

A continuación se muestran las tablas y gráficas que ilustran el comportamiento de las variables coliformes totales y fecales en época de verano (diciembre), transición (octubre) e invierno (mayo) a partir de la dilución  $10^{-2}$ .

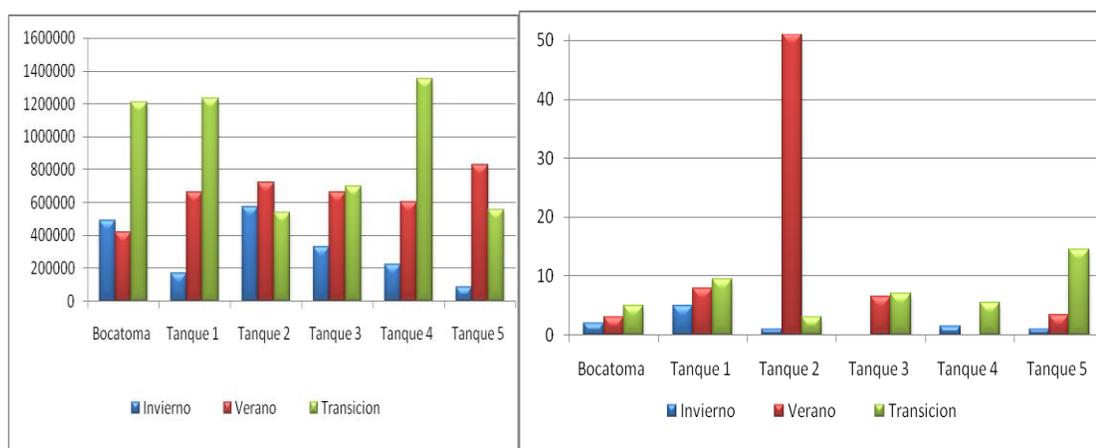
Tabla 13. Recuento de coliformes totales en el laboratorio.

MUESTRA	FECHA	MUESTRA EN SUPERFICIE			MUESTRA EN PROFUNDIDAD		
		Muestra original	Dilución 10-1	Dilución 10-2	Muestra original	Dilución 10-1	Dilución 10-2
Bocatoma	Invierno	600	430	16	400	388	0
	Verano	600	600	84	300	480	82
Tanque 1	Transición	600	380	146	400	320	96
	Invierno	600	308	14	308	280	20
Tanque 2	Verano	440	320	94	280	383	38
	Transición	600	600	188	480	420	58
Tanque 3	Invierno	600	290	28	600	286	16
	Verano	192	120	87	186	100	68
Tanque 4	Transición	600	152	67	400	220	40
	Invierno	265	145	28	304	146	38
Tanque 5	Verano	600	302	58	460	300	74
	Transición	600	300	100	480	280	40
Tanque 6	Invierno	600	198	62	600	190	58
	Verano	600	328	30	600	305	15
Tanque 7	Transición	600	600	210	480	200	60
	Invierno	600	174	5	600	234	12
Tanque 8	Verano	492	74	84	600	98	82
	Transición	600	496	59	600	392	52

Tabla 14. Recuento de coliformes fecales en el laboratorio.

MUESTRA	Época	MUESTRA EN SUPERFICIE			MUESTRA EN PROFUNDIDAD		
		Muestra original	Dilución 10-1	Dilución n	Muestra original	Dilución n	Dilución 10-2
Bocatoma	Invierno	4	0	0	0	0	0
	Verano	6	0	0	0	0	0
	Transición	0	0	0	10	5	2
Tanque 1	Invierno	4	1	0	11	1	1
	Verano	0	0	0	4	0	0
	Transición	7	2	1	12	8	2
Tanque 2	Invierno	1	0	0	1	0	0
	Verano	54	0	0	48	0	0
	Transición	4	0	2	2	0	0
Tanque 3	Invierno	0	0	0	0	0	0
	Verano	5	0	0	8	4	2
	Transición	6	1	0	8	6	2
Tanque 4	Invierno	2	0	0	1	0	0
	Verano	0	1	0	0	0	0
	Transición	3	1	0	8	4	2
Tanque 5	Invierno	0	0	0	2	0	0
	Verano	4	2	2	3	1	0
	Transición	12	1	0	17	5	1

Figura 22. Coliformes totales y fecales durante las épocas de muestreo.



Invierno corresponde al mes de mayo; verano a diciembre y transición a octubre.

El comportamiento de las variables coliformes totales y fecales es similar; durante las épocas de muestreo y de acuerdo con las condiciones climáticas, se puede observar que durante la época invierno en donde la temperatura disminuye, hubo poca proliferación de bacterias, dadas las condiciones adversas para su crecimiento, por el contrario en épocas de pocas lluvias, los valores aumentan, siendo mayores durante la época de transición para coliformes totales y muy similares entre verano-transición, para coliformes fecales.

Este comportamiento se puede explicar en parte por las características fisicoquímicas de la fuente, entre ellas las variables temperatura y turbidez; la primera para explicar la disminución en la época de invierno y la segunda por estar relacionada con el crecimiento bacteriano ya que los mayores datos se registran durante las épocas secas, favoreciendo el crecimiento bacteriano debido a que los rayos UV no manifiestan su acción (Gonzales, 2007), igualmente el contenido de materia orgánica, la baja salinidad y la actividad antrópica (agricultura, ganadería), realizada en la zona de influencia de las fuentes inciden en la proliferación de estos grupos de bacterias.

En general los datos se distribuyen de igual forma en cada estación de muestreo por lo que se evidencia contaminación directa sobre el agua que llega a las viviendas.

#### **Análisis de macroinvertebrados acuáticos (MAE):**

Para realizar todos los muestreos se tuvo en cuenta la metodología de recolección y captura de macroinvertebrados acuáticos epicontinentales MAE propuesta por Roldan (2003).

#### **Composición y estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos:**

Estación de muestreo 1: **bocatoma sobre quebrada Rinconada.**

En términos de riqueza, en la estación de muestreo número 1, se colectaron: 10 órdenes, 24 familias y 29 géneros con 210 individuos en total, colectados de la siguiente manera: *i*) 83 individuos en la época invierno, *ii*) 63 individuos en la época verano y *iii*) 64 individuos en la época transición (Tabla 15).

El orden mas diverso fue Díptera con 8 familias y 63 individuos colectados (30% del muestreo total), seguido del orden Coleóptera; con 5 familias y 60 individuos (28.57%), los ordenes Ephemeroptera, Hemíptera y trichoptera con 2 familias cada uno y un total de 38(18%), 6 (2.8%)y 28 (13.3%) individuos colectados respectivamente, los órdenes con una sola familia fueron Amphipoda (0.95%, 2 individuos), Gordiodiea (1.43%,3 individuos), Glossiphoniformes (0.95% 2 individuos ), Plecóptera (1.90%, 4 individuos colectados) y Tricladida (1.90%, 4 individuos colectados).

Tabla 15. Sinopsis taxonómica de los macroinvertebrados acuáticos colectados en quebrada Rinconada (bocatoma), Estación 1.

ORDEN	FAMILIA	GENERO	ni Q. Rinconada			
			INV	VER	TRAN	
AMPHIPODA	Hyallelidae	<i>Hyallella</i>	0	0	2	
	Dytiscidae	<i>Thermonectus</i>	0	0	1	
	Dryopide	<i>pelonomus</i>	4	6	4	
	Elmidae	<i>Macrelmis</i>	2	0	0	
	Ptilodactylidae	<i>Anchytarsus</i>	8	15	0	
COLEOPTERA	Scirtidae	<i>Elodes</i>	8	0	12	
	Ceratopogonidae	<i>Allaudomya sp</i>	2	0	0	
	Simuliidae	<i>Simulium</i>	10	0	0	
	Tabanidae	<i>Tabanus</i>	0	4	0	
	Tipulidae	<i>Típula (Bellardina )</i>	0	0	12	
	Múscidae	<i>Limnophora</i>	0	3	2	
	Blepharoceriidae	<i>Limonicola</i>	5	0	0	
	Chironomidae	<i>Chironominae</i>	1	0	0	
	DIPTERA	Empididadae	<i>Chelifera</i>	13	11	0
		Leptophlebiidae	<i>Thraulodes</i>	10	3	0
		<i>Terpides</i>	1	0	0	
Baetidae		<i>Baetis</i>	0	2	0	
EPHEMEROP- TERA		<i>Camelobaetis</i>	5	3	10	
		<i>Baetodes</i>	4	0	0	
GORDIOIDEA	Chordiodidae	<i>Neochordodes</i>	1	2	0	
GLOSSIPHONIFRMES		<i>Hirudinea</i>	0	2	0	
	Corixidae	<i>Centrocorixia</i>	2	0	0	
HEMIPTERA	Notonectidae	<i>Buenoa</i>	0	0	4	
PLECOPTERA	Perlidae	<i>Anacroneuria</i>	0	0	4	
	Leptoceridae	<i>Atanatolica</i>	1	0	0	
		<i>Triplectides</i>	3	12	6	
		<i>Grumichella</i>	1	0	0	
TRICHOPTERA	<i>Helycopsychidae</i>	<i>Helicoxide</i>	2	0	3	
TRICLADIDA	Planaridae	<i>Dugesia</i>	0	0	4	
RIQUEZA	<b>10</b>	<b>24</b>	<b>29</b>			
ABUNDANCIA			<b>83</b>	<b>63</b>	<b>64</b>	

La familia más abundante y diversa fue Baetidae (*Baetis*, *Camelobaetis* y *Baetodes*), Leptoceridae (*Atanatolica*, *Triplectides* y *Grumichella*), con 24 (11.4%) y 23 (10.9%), individuos colectados respectivamente, seguida de Leptophlebiidae (*Terpides* y *Traulodes*), con 14 individuos (6.6%). En cuanto a abundancia las familias más representativas son Ptilodactylidae y Baetidae con 24 individuos cada una (11.4%), y con 23 individuos Empidadae y leptoceridae (10.9%), las familias con menor número de individuos

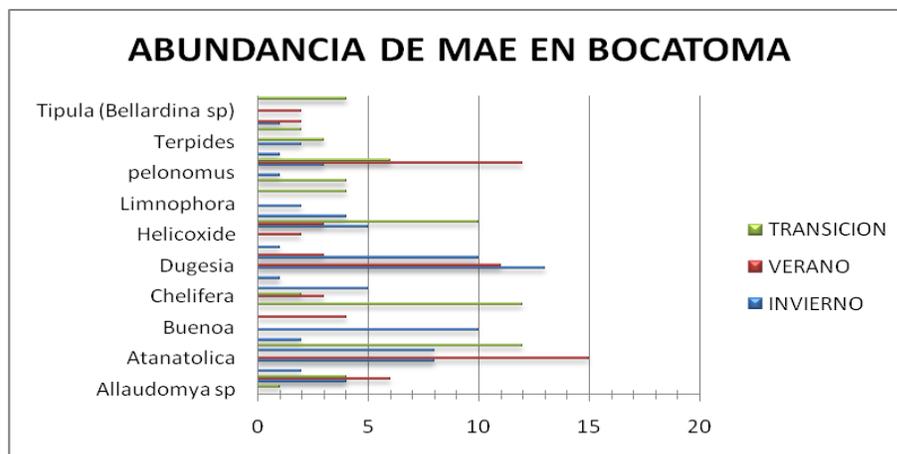
colectados; Hyallellidae, Elmidae, Ceratopogonidae, Hirudinea y Corixidae con 2 individuos (0.95%), y con un solo individuo (0.47%) Dytiscidae y Chironomidae.

El orden más diverso fue Díptera con 8 familias y 63 individuos colectados (30% del muestreo total), seguido del orden Coleóptera; con 5 familias y 60 individuos (28.57%), los órdenes Ephemeroptera, Hemíptera y trichoptera con 2 familias cada uno y un total de 38(18%), 6 (2.8%)y 28 (13.3%) individuos colectados respectivamente, los órdenes con una sola familia fueron Amphipoda (0.95%, 2 individuos), Gordiodiea (1.43%,3 individuos), Glossiphoniformes (0.95% 2 individuos ), Plecóptera (1.90%, 4 individuos colectados) y Tricladida (1.90%, 4 individuos colectados).

La familia más abundante y diversa fue Baetidae (*Baetis*, *Camelobaetis* y *Baetodes*), Leptoceriidae (*Atanotica*, *Triplectides* y *Grumichella*), con 24 (11.4%) y 23 (10.9%), individuos colectados respectivamente, seguida de Leptophlebiidae (*Terpides* y *Traulodes*), con 14 individuos (6.6%). En cuanto a abundancia las familias más representativas son Ptilodactylidae y Baetidae con 24 individuos cada una (11.4%), y con 23 individuos Empididae y leptoceriidae (10.9%), las familias con menor número de individuos colectados; Hyallellidae, Elmidae, Ceratopogonidae, Hirudinea y Corixidae con 2 individuos (0.95%), y con un solo individuo (0.47%) Dytiscidae y Chironomidae.

*Chelifera* con 24 individuos (11.4%), *Anchytarsus* con 23 individuos (10.9%), *Triplectides* con 21 individuos (10%), y *Elodes* con 20 individuos (9.53%), fueron los géneros más abundantes; *Thermonectus*, *Chironominae*, *Terpides*, *Atanotica* y *Grumichella* fueron los géneros menos representativos con 1 individuo colectado por cada una (0.48%). Se puede observar la estructura de la comunidad de la estación 1 en la siguiente grafica:

Figura 23. Abundancia de macroinvertebrados en la estación 1.



De acuerdo con la ecología de los organismos (Roldan, 1996), colectados en la estación número 1 encontramos individuos indicadores de aguas limpias y bien oxigenadas (de característica oligotrófica) que viven en ríos y quebradas de corrientes rápidas y pedregosas

debajo de piedras, ramas y hojas y en márgenes sobre vegetación de las orillas; de los géneros: *Neochordodes*, *Thermonectus*, *Anacroneturia*, *Limonicola*, *Simulium*, *Atanaticola*, *Grumichella*, *Terpides* *Elodes* y *Anchytarsus*.

Organismos indicadores de aguas con poca contaminación (oligomesotróficas), que se caracterizan por vivir adheridos a diversos sustratos (pedregoso, fango), en aguas de poca corriente y litoral de remansos algunos asociados a materia orgánica en descomposición (*Dugesia*), en la zona de estudio encontramos organismos pertenecientes a los géneros: *Camelobaetis*, *Hyallolela*, *Buenoa*, *Centrocorixia*, *Helicoxide*, *Helycopsyche*, *Limnophora*, *Traulodes*, *Pelonomus*, *Baetis*, *Baetodes*, *Chelifera* y *Macrelmis*. Organismos indicadores de agua limpia con algún grado de contaminación (medianamente eutrofizada), se desarrollan en aguas lenticas con material orgánico en descomposición sobre troncos, plantas, rocas y residuos vegetales, algunos toleran bajas concentraciones de oxígeno (*Hirudinea*), dentro de este grupo encontramos para la zona de estudio organismos pertenecientes a los géneros: *Allaudomya*, *Triplectides*, *Chironominae*, *Bellardina* y *Tabanus*.

#### Estación de muestreo número 2: **tanque 1 sobre la quebrada Pajoy.**

En términos de riqueza, en la estación de muestreo número 2, se colectaron: 9 órdenes, 20 familias y 26 géneros con 216 individuos en total, colectados de la siguiente manera: *i*) 67 individuos en la época invierno, *ii*) 78 individuos en la época verano y *iii*) 71 individuos en la época transición (Tabla 16). El orden más diverso fue Díptera con 7 familias y 81 individuos colectados (37.5% del muestreo total), seguido del orden Coleóptera; con 3 familias y 16 individuos (7.40%), los órdenes Ephemeroptera, Hemiptera y trichoptera con 2 familias cada uno y un total de 57(26.38%), 21 (9.72%) y 28 (13%), individuos colectados respectivamente, los órdenes con una sola familia fueron Amphipoda (2.31%, 5 individuos), Glossiphoniformes (2.77% 6 individuos), Plecóptera (0.92%, 2 individuos colectados) y Tricladida (5.5%), 12 individuos colectados.

La familia más diversa fue Baetidae (*Baetis*, *Camelobaetis* y *Baetodes*), con 20 individuos colectados, en cuanto a abundancia las familias más representativas son Leptophlebiidae con 35 individuos colectados (15.74%), seguida de Chironomidae con 24 individuos (11.1%), Notonectidae y *Simulium* con 20 individuos cada una (9.26%) y las menos representativas Empididae con 4 individuos (1.85%), Ptilodactylidae y Perlidae con 2 individuos colectados (0.93%), Scirtidae y Corixidae con 1 solo individuo colectado (0.46%).

Los géneros con el mayor número de individuos colectados en orden son: *Traulodes* con 36 individuos (16.6%), *Chironominae* 11.11% del muestreo total (24 individuos), *Simulium* y *Buenoa* con 20 individuos (9.26%), *Thermonectus* con 13 individuos 6.02% y los géneros *Elodes*, *Limnophora*, *Terpides*, *Camelobaetis*, *Centrocorixia* con 1 individuo colectado representando el 0.46% del muestreo total. Como puede observarse en la figura 24.

Tabla 16. Sinopsis taxonómica de los macroinvertebrados acuáticos colectados en quebrada Pajoy, Estación 2.

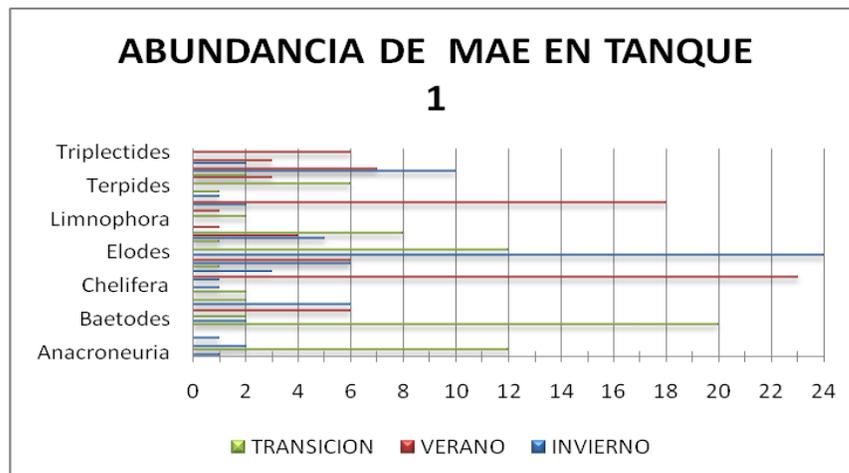
ORDEN	FAMILIA	GENERO	ni Q. Pajoy		
			INV	VER	TRAN
AMPHIPODA	Hyallelidae	<i>Hyallela</i>	2	3	0
	Dytiscidae	<i>Thermonectus</i>	1	0	12
	Ptilodactylidae	<i>Anchytarsus</i>	2	0	0
COLEOPTERA	Scirtidae	<i>Elodes</i>	1	0	0
	Simuliidae	<i>Simulium</i>	0	0	20
DIPTERA	Tabanidae	<i>Chrysops</i>	2	0	2
		<i>Tabanus</i>	0	6	0
	Tipulidae	<i>Tipula</i>	6	0	2
DIPTERA		<i>Tipula (Bellardina sp)</i>	0	0	2
	Muscidae	<i>Limnophora</i>	1	0	0
	Chironomidae	<i>Chironominae</i>	1	23	0
	Empididae	<i>Chelifera</i>	3	0	1
	Dolichopodidae	<i>Rhaphium</i>	6	6	0
	Leptophlebiidae	<i>Thraulodes</i>	24	0	12
		<i>Terpides</i>	0	0	1
	Baetidae	<i>Baetis</i>	5	4	8
	<i>Camelobaetis</i>	0	1	0	
EPHEMEROPTERA		<i>Baetodes</i>	0	0	2
GLOSSIPHONIFORMES		<i>Hirudinea</i>	0	6	0
	Corixidae	<i>Centrocorixia</i>	0	1	0
HEMIPTERA	Notonectidae	<i>Buenoa</i>	2	18	0
PLECOPTERA	Perlidae	<i>Anacroneuria</i>	1	0	1
	Leptoceridae	<i>Atanatolica</i>	0	0	6
		<i>Triplectides</i>	0	3	2
TRICHOPTERA	Helicoxidae	<i>Helycopsyche</i>	10	7	0
TRICLADIDA	Planaridae	<i>Dugesia</i>	6	6	0
RIQUEZA	<b>9</b>	<b>20</b>	<b>26</b>		
ABUNDANCIA			<b>67</b>	<b>78</b>	<b>71</b>

De acuerdo con la ecología de los organismos (Roldan, 1996), colectados en la estación número 1 encontramos individuos indicadores de aguas limpias y bien oxigenadas (de característica oligotrófica), como *Thermonectus*, *Anacroneuria*, *Simulium*, *Atanatolica*, *Terpides*, *Elodes* y *Anchytarsus*.

Organismos indicadores de aguas con poca contaminación (oligomesotróficas), pertenecientes a los géneros: *Camelobaetis*, *Rhaphium*, *Hyallela*, *Buenoa*, *Centrocorixia*, *Helicopsyche*, *Helycopsyche*, *Limnophora*, *Dugesia*, *Thraulodes*, *Baetis*, *Baetodes*, *Chelifera* y *Macrelmis*.

Organismos indicadores de agua limpia con algún grado de contaminación (medianamente eutroficada), pertenecientes a los géneros: *Allaudomya*, *Hirudinea*, *Triplectides*, *Buenoa*, *Chironominae*, *Bellardina*, *Tipula*, *Tabanus* y *Chrysops*.

Figura 24. Abundancia de macroinvertebrados en la estación 2.



### 6.2.3. Índices de calidad del agua (ICA).

#### 1. Índices basados en parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos.

Con el fin agrupar los datos fisicoquímicos y relacionarlos en conjunto con la calidad del agua se utilizaron los índices descritos en la siguiente tabla, los cuales se clasifican dentro del grupo de indicadores basados en criterios y estándares que denotan la calidad del agua en general, los índices de calidad de agua (ICA), presentados en este trabajo tienen uso internacional (NSF y OWQI) y nacional (ICOMO, ICOpH, ICOSUS, ICA CETESB).

Para el cálculo de los índices se tiene en cuenta diferentes parámetros en los índices NSF y CETESB se incluyen temperatura, porcentaje de saturación de oxígeno, coliformes fecales, nitratos, DBO<sub>5</sub>, turbidez, fosfatos, sólidos totales y pH; el índice OWQI incluye todos los parámetros del NSF excepto turbidez.

Estos índices se utilizan con el fin de detectar tendencias y observar el comportamiento de la contaminación a través de una transformación logarítmica, para convertir los resultados de las variables en subíndices que tienen la ventaja de cambiar en magnitud los niveles bajos de deterioro que tienen un gran impacto (Fernández, 2007). Los otros índices relacionados en este trabajo son específicos ICOMO incluye demanda bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), coliformes totales y porcentaje de saturación de oxígeno; el ICOpH (incluye solo pH).

Tabla 17. Índices de calidad de agua para las estaciones de muestreo.

Estación	Mes	INDICE DE CALIDAD				
		NSF	OWQI	CETSESB	ICOMO	ICOpH
BOCATOMA	1	65,29(Media)	90,53 (Excelente)	66,01 Buena	0,307(Bajo)	0,037 (Ninguno)
	2	70,51(Media)	90,78 (Excelente)	63,2(Buena)	0,309 Bajo)	0,0009Ninguno)
TANQUE 1	1	66,91(Media)	90,05 (Excelente)	67,7(Buena)	0,308(Bajo)	0,021(Ninguno)
	2	68,66 (Media)	77,9 (Pobre)	61,4(Buena)	0,315(Bajo)	0,003 (Ninguno)
TANQUE 2	1	56,45 (Media)	74,68(Pobre)	65,5(Buena)	0,312(Bajo)	0,017 (Ninguno)
	2	64,94 (Media)	89,49 (Buena)	65,9(Buena)	0,305(Bajo)	0,002 (Ninguno)
TANQUE 3	1	64,18 (Media)	89,17 (Buena)	64,7(Buena)	0,305(Bajo)	0,003 (Ninguno)
	2	64,49 (Media)	90,52(Excelente)	64,1(Buena)	0,307(Bajo)	0,003 (Ninguno)
TANQUE 4	1	67,08 (Media)	88,95 (Buena)	63,5(Buena)	0,305(Bajo)	0,003 (Ninguno)
	2	65,42 (Media)	92,18(Excelente)	61,6(Buena)	0,307(Bajo)	0,001 (Ninguno)
TANQUE 5	1	63,81 (Media)	86,55 (Buena)	67,1(Buena)	0,307(Bajo)	0,004 (Ninguno)
	2	61,44 (Media)	89,57 (Buena)	61,9(Buena)	0,305(Bajo)	0,002 (Ninguno)

1=Diciembre (verano); 2=Octubre (transición)

Según los resultados obtenidos mediante el software ICA test versión 1.0 para el cálculo de los índices podemos decir que en general la calidad del agua para los seis sitios de muestreo es buena, presentándose una particularidad en la clasificación del índice OWQI para las estaciones 1 y 2, en las que la calificación disminuye, esto se debe a que los rangos de clasificación para los índices NSF y OWQI difieren de la siguiente manera:

Tabla 18. Comparación de los rangos de clasificación entre índices de calidad.

CLASIFICACION NSF	CLASIFICACION OWQI	CLASIFICACION CETESB
91-100 Excelente	90-100 Excelente	79-100 excelente
71-90 Buena	85-89 Buena	51-79 Buena
51-70 Media	80-84 Justa	36-51 Regular
26-50 Mala	60-79 Pobre	19-36 Mala
0-25 Muy mala	<60 muy pobre	0-19 Pésimo

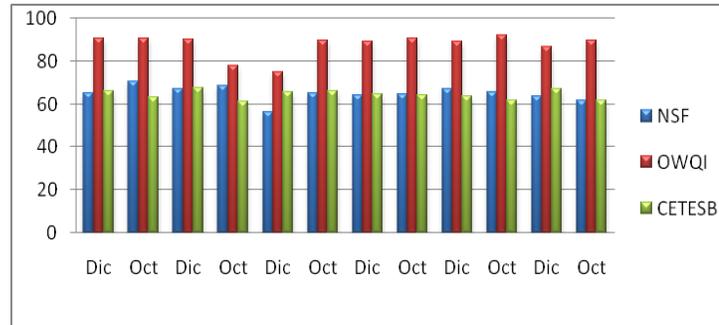
Fuente: Adaptación realizada por la autora de acuerdo con Fernández, 2007.

La variación de los índices coincide con la evaluación fisicoquímica y biológica demostrando que el sistema esta expuesto a tensores ambientales y antrópicos, la calificación otorgada por los índices no refleja necesariamente condiciones optimas para el uso que se le da al sistema en cuestión por ello se debe incluir el análisis bacteriológico y la normatividad que permita verificar la calidad del agua que esta siendo utilizada para consumo humano.

El índice ICOpH sugiere que no existe alteración en la alcalinidad o basicidad del sistema como se refleja en el rango obtenido mediante análisis fisicoquímico (6.2-7.98), es decir, se

mantiene la capacidad buffer de tal manera que la variable pH no constituye limitante para la biota acuática y se encuentra dentro de los valores permisibles para consumo humano.

Figura 25. Variación de los índices de calidad de agua.



Analizando los índices de calidad y de contaminación en conjunto se puede afirmar que aunque en general la calidad del agua es buena, los índices de contaminación manifiestan cierto grado de alteración que puede tender a aumentar por condiciones propias del ecosistema o por intervención antropica. Se debe mencionar que en este caso el índice de contaminación no muestra la importancia del valor de coliformes por que se trata de aproximarse a la calidad del agua en general, pero tratándose de un sistema de abastecimiento para consumo humano, la presencia de estos grupos de bacterias debe tratarse con especial atención. En relación con la normatividad Colombiana; resolución 2115/07- Decreto 1575/07 para el consumo de agua, en el que se establece que es agua apta para consumo humano aquella que por cumplir las características físicas, químicas y microbiológicas, en las condiciones señaladas en la resolución y demás normas que la reglamenten se utiliza en bebida directa, en la preparación de alimentos o en la higiene personal, para la zona de estudio se presentan valores críticos para algunas variable como:

La variable turbiedad registra valores mayores que el establecido en la norma alcanzando un máximo de 8.9NTU en la estación bocatoma.

El análisis de coliformes totales y fecales confirma la presencia de estos grupos de bacterias tanto en la bocatoma como en los tanques de almacenamiento, con registros de unidades formadoras de colonias (UFC/100ml), relativamente altos, en contradicción con lo establecido en la norma; con este criterio el agua que es utilizada en la vereda Campamento para consumo humano no es apta para tal fin y puede repercutir en alteraciones graves en la salud de los usuarios.

En cuanto a los nutrientes la variable nitrato registra un incremento significativo en la época invierno (julio), que debe ser tomada en cuenta debido a que sobrepasa el valor permitido para el uso dado; el rango de valores para la variable fosfatos (0.045mg/L- 0.105 mg/L), constituye un importante factor que debe considerarse debido a que en algunos muestreos sobrepasa el nivel permitido.

Tabla 19. criterios de calidad para destinación del recurso hídrico: consumo humano.

PARAMETRO	Unidad	VALOR
turbiedad	NTU	2
conductividad	microsiemens/cm.	1000
pH	Unidades de pH	6,5 y 9,0.
NO2 Nitrito	mg/l	0,1
NO3 Nitrato	mg/l	1
Cloruros	mg/l	2.5
Fosfatos	mg/l	0,5
Coliformes totales	UFC/100ml	0
Coliformes fecales	UFC/100ml	0

Fuente: Adaptación realizada por la autora con información de la resolución 2115/07

La calidad del agua evaluada, resulta apta para ser utilizada con fines agrícolas, de acuerdo con el artículo 40 del decreto 1594/84 en el que se establecen los criterios admisibles para la destinación del recurso hídrico para este uso, a continuación se presentan los límites tolerables para este fin:

Tabla 20. Criterios de calidad para destinación del recurso hídrico: uso agrícola.

PARAMETRO	Unidad	VALOR
turbiedad	NTU	35
conductividad	microsiemens/cm.	2250*
pH	Unidades de pH	4.5-9.0
NO2 Nitrito	mg/l	10
NO3 Nitrato	mg/l	100.0
Cloruros	mg/l	5
Fosfatos	mg/l	2*
Coliformes totales	UFC/100ml	10 <sup>7</sup>
Coliformes fecales	UFC/100ml	1000*

\*Tomado de OMS, 2006.

## 2. Índices de calidad de agua basados en parámetros biológicos:

Tabla 21. Índices en las estaciones de muestreo.

Índice	Q. Rinconada			Q. Pajoy		
	Invierno	Verano	Transición	Invierno	Verano	Transición
Puntaje BMWP	111	79	88	94	68	70
Clase	II	III	III	II	III	III
Rango	101-120	61-100	61-100	101-120	61-100	61-100
Calidad	Buena	Aceptable	Aceptable	Buena	Aceptable	Aceptable
Características		medianamente	medianamente		medianamente	medianamente
Del agua	limpias	contaminadas	contaminadas	limpias	contaminadas	contaminadas
Shannon Weaver*	1.792	1.641	1.729	1.761	1.419	1.840

\*Calculado mediante el programa estadístico Biodiversity.

Los índices para las estaciones bocatoma y tanque 1 se calcularon para cada época de muestreo con el fin de evidenciar posibles influencias de esta sobre la distribución riqueza y abundancia de los MAE.

### **Estación bocatoma sobre quebrada Rinconada:**

BMWP con un puntaje de 111 para la época invierno es el mayor puntaje asignado para esta estación, denota agua de buena calidad con poca o moderada contaminación, se clasifica según este índice como agua de clase II de características oligotróficas. Mientras que para la época verano y transición se mantiene la clase III que indica agua de calidad aceptable medianamente contaminada de características tróficas.

De acuerdo con las familias colectadas y el puntaje que se asigna a cada una de ellas mediante el sistema de biondicación BMWP, Blepharoceriidae (*limonicola*), Perlidae (*Anacroneuria*), Scirtidae (*Elodes*) y Leptophebiidae (*Terpides* y *Traulodes*) que tienen el mayor puntaje, son las familias que incrementan el valor del índice durante la época invierno; en verano encontramos familias indicadores de aguas limpias pero con menores puntajes como son Dytiscidae (*Thermonectus*). Dryopidae (*Pelonomus*), pero también encontramos organismos de las familias Baetidae (*Baetis* y *Camelobaetis*) y Leptoceriidae (*Triplectides*), que aunque son indicadores de agua limpia, tienen cierto grado de tolerancia a la contaminación, así como organismos de otras familias que son resistentes a altos niveles de contaminación como Tipulidae (*Típula (Bellardina sp)*) y Muscidae (*Llimnophora*), que prevalecen durante la época de transición, Aun así encontramos organismos resistentes a la contaminación en todas las épocas como Ceratopogonidae (*Allaudomya sp*) y Chironomidae (*Chironinae*) en invierno (en menor proporción), Muscidae (*Llimnophora*) y del orden Glossiphoniphormes (*Hirudinea*), en verano que se ven reflejados en la disminución del puntaje dando como resultado un tipo de agua medianamente contaminada por la presencia de estos grupos de organismos que evidencia algún tipo de alteración.

La diversidad según el índice Shannon Weaver con un puntaje de 1.72 sugiere según su clasificación (entre 1.5 y 3.0), (Gonzales & Santacoloma, 2007), mediana diversidad y mediana contaminación las familias que prevalecieron durante los tres muestreos fueron: Dryopidae (*Pelonomus*) y Leptoceriidae (*Triplectides*), ambas indicadoras de aguas limpias, Leptoceriidae (*Triplectides*), con mayor número de individuos en todas las épocas y un amplio rango de familias colectadas (24), que resulta favorecidas por altos niveles de oxígeno y el arrastre de sedimentos.

### **Estación tanque 1 sobre quebrada Pajoy.**

En la época invierno el índice BMWP con un puntaje de 94 es el más alto para esta estación, se clasifica según este índice como agua de clase II de características oligotróficas y denota agua de buena calidad con poca o moderada contaminación, mientras que para la época verano y transición se mantiene la clase III que indica agua de calidad aceptable y medianamente contaminada de características tróficas. Durante la época invierno, las

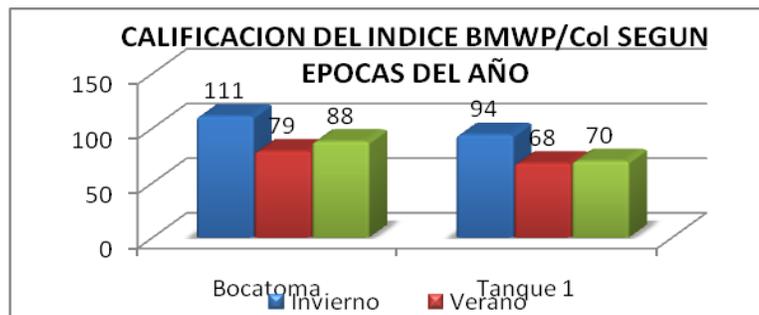
familias indicadoras de aguas limpias fueron; Perlidae (*Anacroneuria*), Leptophlebiidae (*Traulodes*), Scirtidae (*Elodes*) y Simuliidae (*Simulium*), por tanto son las familias que incrementan el valor del índice; el puntaje disminuye en verano y transición, debido a que encontramos familias indicadoras de aguas limpias pero con cierta resistencia a la contaminación (euritípicas), por lo que se le asigna un puntaje menor; como son Dytiscidae (*Thermonectus*), Notonectidae (*Buenoa*), Leptoceridae (*Triplectides*), puntajes medios de acuerdo al grado de tolerancia de las familias, Dolichopodidae (*Raphium*), Hyallellidae (*Hyallela*), Planariidae (*Dugesia*) Tabanidae (*Chrysops*), y algunos organismos que son resistentes a altos niveles de contaminación como Muscidae (*Llimnophora*), orden Glossiphoniformes (*Hirudinea*), Chironomidae (*Chironominae*), que presentan puntajes muy bajos.

La diversidad según el índice de Shannon Weaver con un puntaje de 1.67 sugiere según su clasificación (entre 1.5 y 3.0), (Gonzales & Santacoloma, 2007), mediana diversidad y mediana contaminación la familia que prevaleció durante los tres muestreos fue: Hirudinea, indicadora de agua con algún tipo de intervención, por su desarrollo en ambientes con poca cantidad de oxígeno disuelto y abundante materia orgánica en descomposición, como lo menciona Roldan, 1996.

El índice de calidad biológica BMWP varía de acuerdo con la época y entre estaciones de muestreo de acuerdo a las características de cada una de ellas, la época invierno para todos los muestreos presenta las mejores condiciones desde el punto de vista biológico en la calidad de agua, y teniendo en cuenta el comportamiento de la variable fisicoquímica nitratos ( $\text{NO}_3$ ), en las estaciones de muestreo se puede evidenciar el aumento en la concentración de este nutriente en la época invierno resultado de la polución proveniente del arrastre de materiales por escorrentía; favoreciendo la presencia de diversos organismos entre ellos de los órdenes Trichoptera, Ephemeroptera y Plecóptera típicas de aguas limpias y bien oxigenadas, así mismo la alta disponibilidad de nutrientes ocasiona el desarrollo de otros grupos de organismos que prevalecen en las épocas de pocas lluvias, debido a que se trata de especies con cierto grado de tolerancia a la contaminación (baja concentración de nutrientes), que desplazan a especies sensibles a cambios en el sistema, por lo que en las épocas verano y transición la calificación del índice BMWP disminuye (figura 26), este es el caso de especies del género Baetidae que se encuentran ampliamente distribuidos incluso en ambientes con altos niveles de materia orgánica y degradación del ambiente como lo describe Zúñiga, 1997.

La ecología de los organismos colectados indica que la mayoría son propios de agua mesotrófica; y atendiendo las características naturales de los nacimientos de río con bajas temperaturas y escasez de nutrientes (según Vannote, 1980), se entiende la baja diversidad calculada mediante el índice de Shannon Weaver, es importante tener en cuenta que la presencia de organismos de las familias Ceratopogonidae (*Allaudomya*), Glossiphoniformes (*Hirudinea*), Chironomidae (*Chironominae*), Tipulidae (*Bellardina*, *Tipula*); Tabanidae (*Tabanus*, *Chrysops*), manifiesta alteraciones en el sistema debido a que se trata de organismos que proliferan en medios con poca disponibilidad de oxígeno y abundante materia orgánica en descomposición indicando agua en proceso de eutrofización.

Figura 26. Índice BMWP/Col en diferentes épocas.



La diversidad según el índice de Shannon Weaver refleja igualdad, es decir, mientras más uniforme es la distribución entre las especies que componen la comunidad, mayor es el valor. De este modo en la época de muestreo que se evidencia menor diversidad (verano), encontramos también valores de biondicación bajos, sin embargo en ciertas ocasiones una baja diversidad no es indicadora de contaminación, ya que en algunos casos la baja diversidad esta determinada por la carencia de nutrientes en el cuerpo de agua, mas no por que exista intervención antropica (Martínez, 2003), para la zona de estudio tanto la disponibilidad de nutrientes como la actividad agropecuaria constituyen limitante para la biota acuática.

Dos componentes fundamentales en el enfoque de la diversidad son la riqueza y abundancia para describir la respuesta de la comunidad a la calidad del ambiente, de acuerdo con Roldan (2003), una comunidad natural se caracteriza por presentar una gran diversidad de especies y un bajo número de individuos por especie; una comunidad bajo presión de la contaminación se caracteriza por poseer un bajo numero de especies con un gran numero de individuos por especie, por tanto la diversidad de la comunidad también se considera como una medida de la calidad del agua, de este modo tanto el índice de biondicación como el de diversidad denotan agua de mediana calidad.

### 6.3 CAMBIO DE COBERTURAS Y USO DEL SUELO- PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMAGENES

#### 6.3.1 Análisis de pérdida de coberturas y cambios en el uso del suelo.

Para obtener un contexto ecosistémico integral, de las alteraciones generadas en la microcuenca del río San Francisco, producto del cambio en el uso del suelo sobre las coberturas vegetales existentes se realizó un análisis del cambio de coberturas clasificadas por tipos fisonómicos; se incluyen los principales tributarios y se asocia la infraestructura existente. El arreglo espacial de las unidades identificadas para cada temporalidad se presenta en las figuras 27 y 28.

En la tabla 22 se relacionan los datos del procesamiento digital de las imágenes Landsat para los años 1989 y 1999 con una escala de salida aproximada a 1:85.000 y un área cubierta de 16.678,5 ha.

Tabla 22. Coberturas vegetales y usos del suelo identificados para los años 1989 y 1999 en la ventana de estudio a partir de imágenes LANDSAT (453).

COBERTURA	1989		1999	
	PERÍMETRO (m)	ÁREA (Ha)	PERÍMETRO (m)	ÁREA (Ha)
Área Construida	1.697,98	6,27	3.600,00	9,90
Arenal/Aflor. Rocoso	47.591,53	949,27	44.489,63	752,66
Bosque	705.355,89	<b>4.820,90</b>	716.010,15	<b>4.038,29</b>
Cultivos	56.266,04	<b>103,99</b>	427.768,86	<b>1.070,68</b>
Humedal	14.037,06	31,27	8.342,09	17,83
Lagunas	1.572,47	11,65	1.556,33	11,23
Páramo	482.170,16	<b>5.973,14</b>	409.397,32	<b>5.576,25</b>
Pastos	490.407,69	<b>2.401,92</b>	855.097,13	<b>3.281,65</b>
Rastrojo	494.551,95	1.754,63	608.914,34	1.296,49
Superáramos	63.078,37	606,37	46.127,57	623,50
Nieve	2.880,00	<b>19,08</b>	0,00	<b>0,00</b>
<b>TOTAL</b>		<b>16.678,50</b>		<b>16.678,50</b>

Las coberturas naturales de las clases bosque y páramo presentan las mayores extensiones para el periodo analizado, conformando un mosaico con dominancia de estos elementos; respecto a las coberturas de tipo antrópico los pastos ocupan aproximadamente una cuarta parte del área total, de igual forma se destacan estructuras tipo rastrojo que indican en algunas zonas regeneración y son afectadas por aprovechamiento ó ampliación de la frontera agrícola/pecuaria.

Figura 27. Mapa de coberturas vegetales y usos del suelo identificados para el año 1989 en la ventana de estudio LandSat (453)

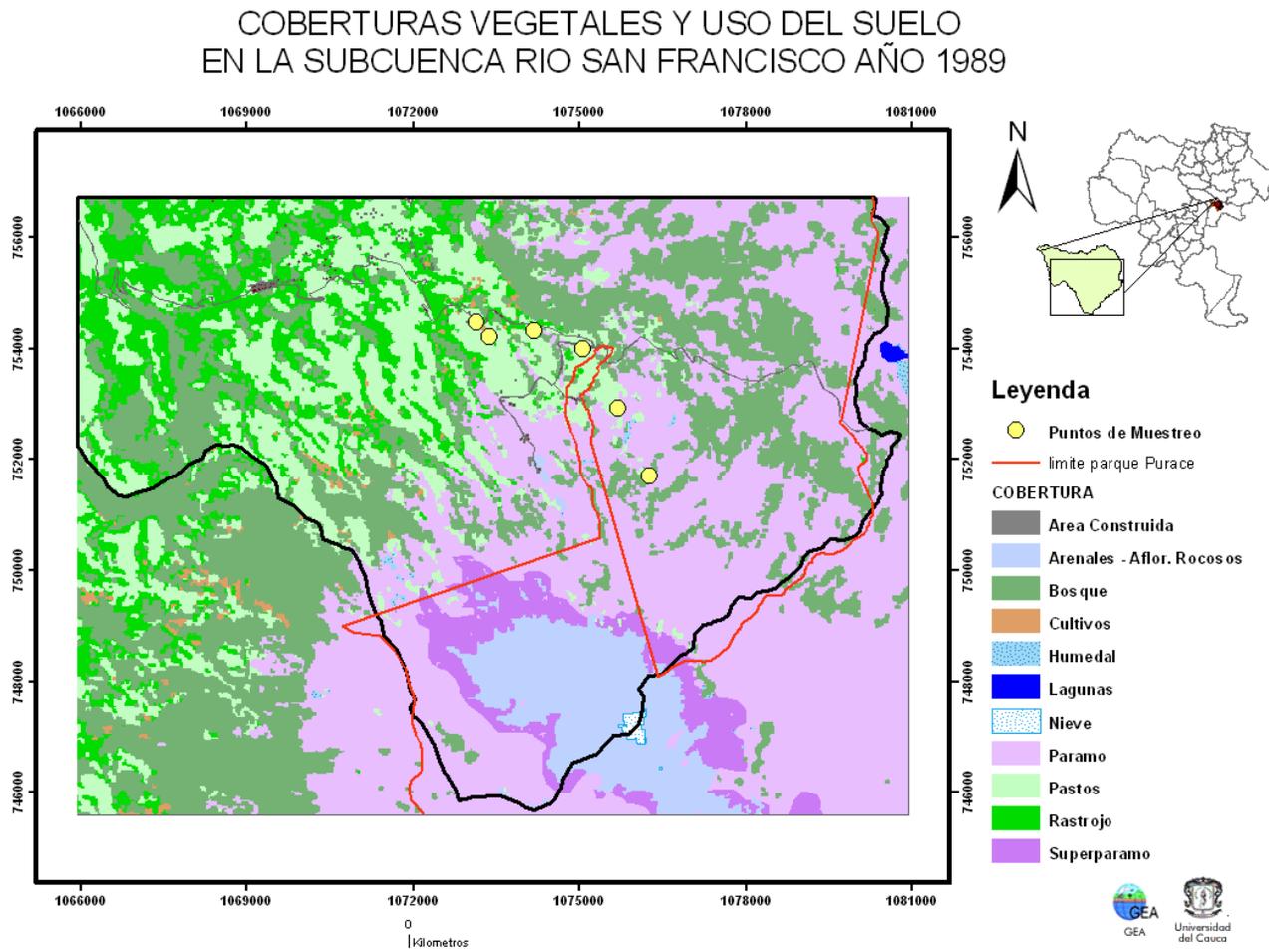
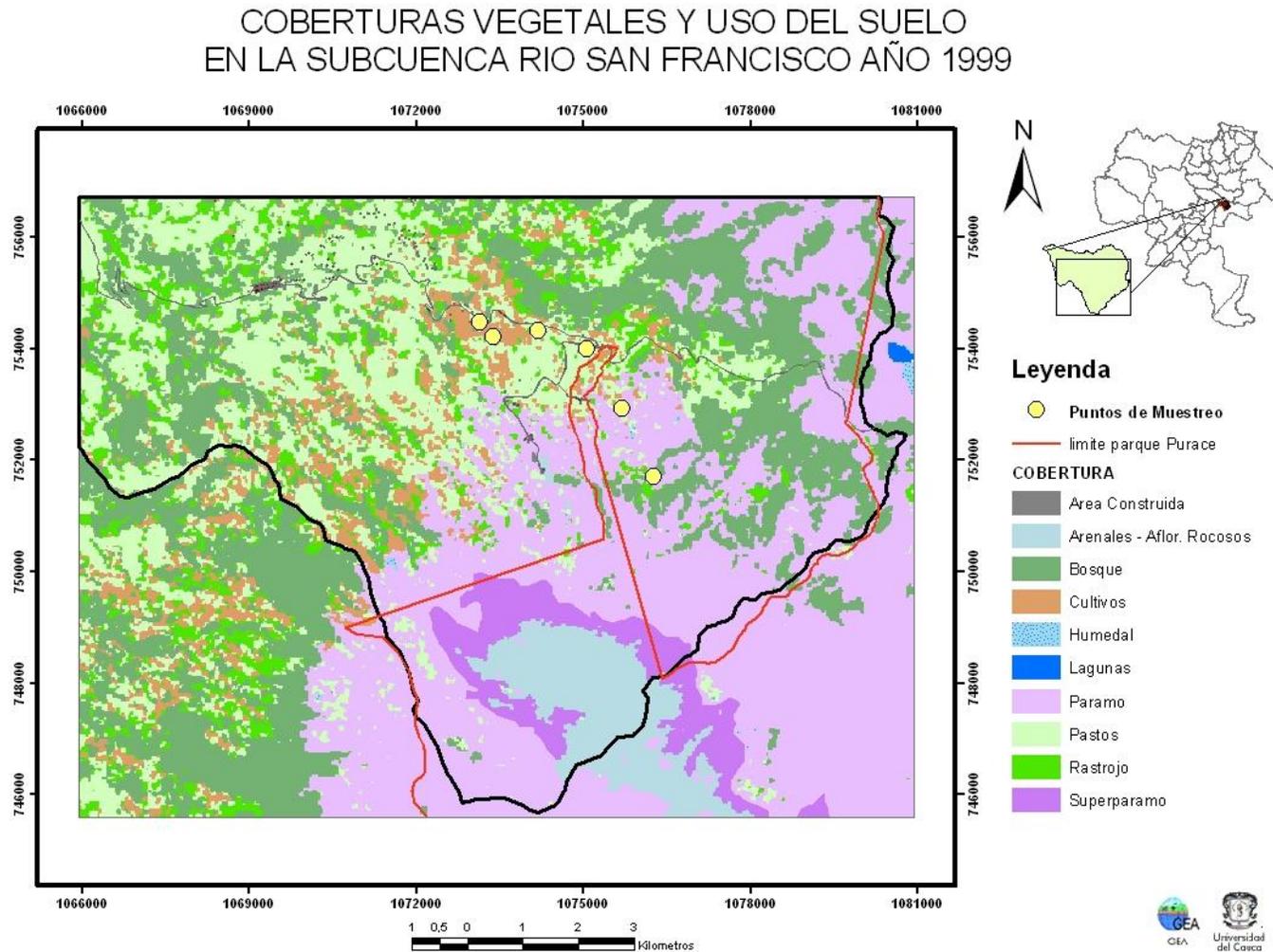
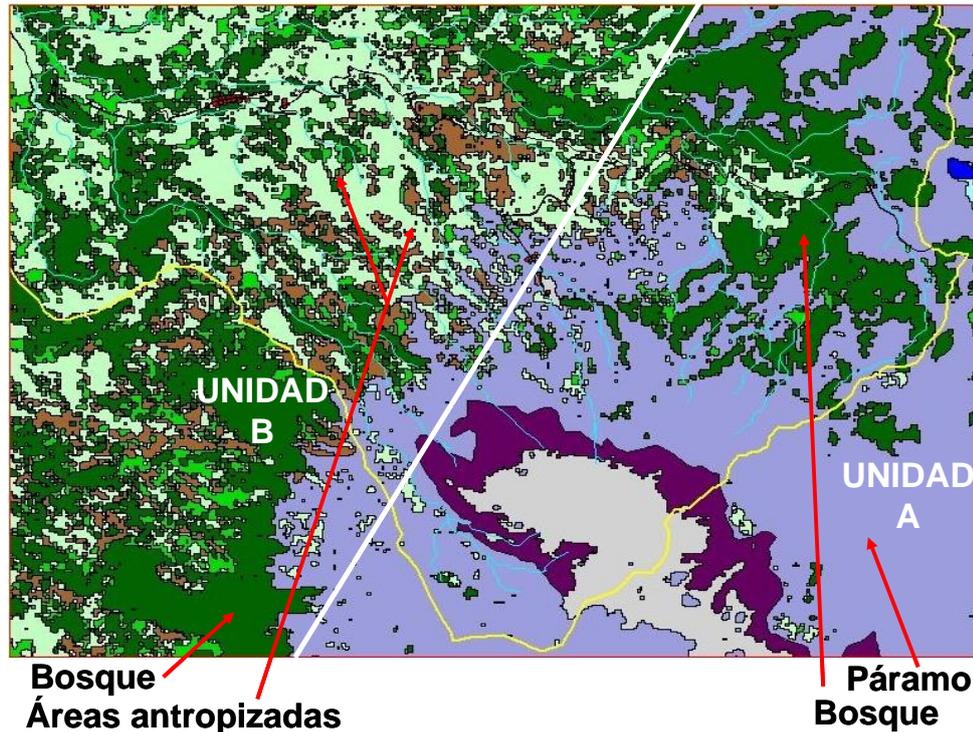


Figura 28. Mapa de coberturas vegetales y usos del suelo identificados para el año 1999 en la ventana de estudio (Landsat, 453).



En la ventana de observación, se identifican dos grandes unidades en el paisaje (figura 29), una de ellas (Unidad A), ubicada hacia el oriente conformada principalmente por cobertura tipo páramo, esta presenta un menor nivel de intervención debido a las condiciones geomorfológicas y a la figura de protección que representa el PNN de Puracé. Una segunda unidad (B), se ubica hacia el occidente y en ella interactúan los bosques y las áreas antropizadas; esta zona presenta un mayor nivel de alteración evidenciado por el cambio en el uso de los suelos.

Figura 29. Unidades de paisaje identificadas en la zona de estudio, considerando el nivel de intervención (base mapa de coberturas vegetales y usos del suelo 1999).



Aplicando el índice de cambio de coberturas propuesto por IDEAM (2002), para el periodo comprendido entre 1989 y 1999, se presenta una reducción en el área ocupada por las coberturas vegetales naturales y el incremento de aquellas intervenidas; en la siguiente tabla se listan los cambios porcentuales y anuales por tipo de cobertura, los signos negativos (-) denotan pérdida.

En general, se reducen las coberturas vegetales tipo bosque (-16,23%), paramos (-6,64%), rastrojo (-26,11%) y humedales (-42,99%), así como para lagunas (-3,61%), afloramiento rocosos-arenales (-20,71%) y la totalidad de la capa de nieve (-100%); de igual forma, para el mismo periodo analizado se incrementan las coberturas de cultivos (929,60%), pastos (36,63%), superártems (2,82%), y áreas construidas (57,79%). Estos datos contrastan con lo reportado por Martínez (2005) y Joaquín (2005) quienes no indican disminución de las coberturas de paramos y rastrojos, sin embargo coinciden en la pérdida de bosques y el incremento de cultivos y pastos; esto se explica en parte, porque la ventana de observación empleada por estos investigadores fue más amplia incluyendo extensas zonas de paramos y otras coberturas en el área protegida por el

PNN Puracé, mientras la ventana de este trabajo se concentra en la microcuenca del río San Francisco que presenta una mayor transformación.

Tabla 23. Cambio porcentual y medio anual de las coberturas vegetales y usos del suelo identificadas para el periodo 1989 - 1999 en la ventana de estudio.

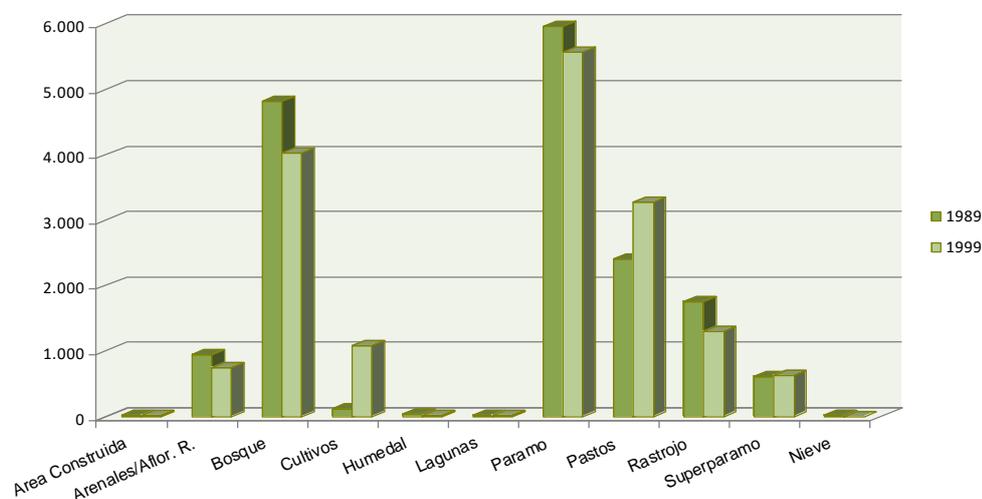
<b>COBERTURA</b>	<b>% CAMBIO COBERTURA</b>	<b>CAMBIO MEDIO ANUAL (ha/año)</b>
Área Construida	57,79	0,36
Arenales - Aflor. Rocosos	-20,71	-19,66
Bosque	-16,23	-78,26
Cultivos	929,60	96,67
Humedal	-42,99	-1,34
Lagunas	-3,61	-0,04
Paramo	-6,64	-39,69
Pastos	36,63	87,97
Rastrojo	-26,11	-45,81
Superparamo	2,82	1,71
Nieve	-100,00	-1,91

En el lapso de tiempo analizado los bosques presentan reducción y transformación evidenciando intervención antrópica desarrollada principalmente en área de influencia de la vía con el consecuente aumento de cultivos y zonas de aprovechamiento para actividad pecuaria como pastos, de esta manera entre las coberturas bosque-cultivos se presenta una relación inversamente proporcional (figura 30). Según la prueba de Chi-cuadrado la disminución en la extensión de bosques y rastrojos, así como el aumento en el área de cultivos y pastos, son significativas para la ventana de observación.

Interpretando el cambio de coberturas y uso del suelo en las imágenes (89-99), se pueden observar relaciones espaciales entre las coberturas *i*) bosque-rastrojo en donde los bordes de los bosques producto de la presión se transforman pasando de estructuras arbóreas a estructuras leñosas de estratos inferiores (rastrojos), posteriormente las zonas de rastrojo son reemplazadas por áreas de aprovechamiento pecuario y/ó agrícola mostrando una relación *ii*) rastrojo-pastos-cultivos; estas son las dinámicas identificadas para la unidad B.

Atendiendo lo anterior, se puede plantear que existe una transición gradual del bosque hacia zonas productivas; ecológicamente, en términos del ciclo de renovación adaptativa (Holling, 2001), este proceso se ubicaría en el bucle secundario (liberación y reorganización), ya que se tiene un aprovechamiento de los recursos naturales superando su capacidad de resiliencia, pero dada la escala de transformación, (poca tecnología/manejo tradicional y de bajos niveles productivos), sería factible redireccionar el modelo productivo para alcanzar un manejo integral, como plantea Calvente (2007), estas fases son necesarias para el desarrollo sustentable de cualquier sistema complejo.

Figura 30. Áreas ocupadas por tipo de coberturas vegetales y usos del suelo en la ventana de estudio, periodo 1989-1999.



Los paramos también presentan reducción en el área ocupada, sin embargo y aunque es estadísticamente significativo, este proceso es mucho menos notorio espacialmente y la configuración espacial se mantiene constante, en la unidad A, también se identifican relaciones espaciales entre las coberturas *i*) bosque-páramo mostrando unidades consolidadas y definidas; en contraste se presenta una relación entre *ii*) pastos-páramo marcando un reemplazo abrupto con presión en áreas que tienen limitaciones geomorfológicas para la recuperación de estas comunidades vegetales; en esta unidad no se encuentra una transicionalidad entre coberturas como en el caso bosques-rastrojo ya que se presenta una competencia entre comunidades herbáceas de rápido crecimiento (especies tipo *r*), generando mayor vulnerabilidad de las coberturas naturales del páramo propiamente dicho.

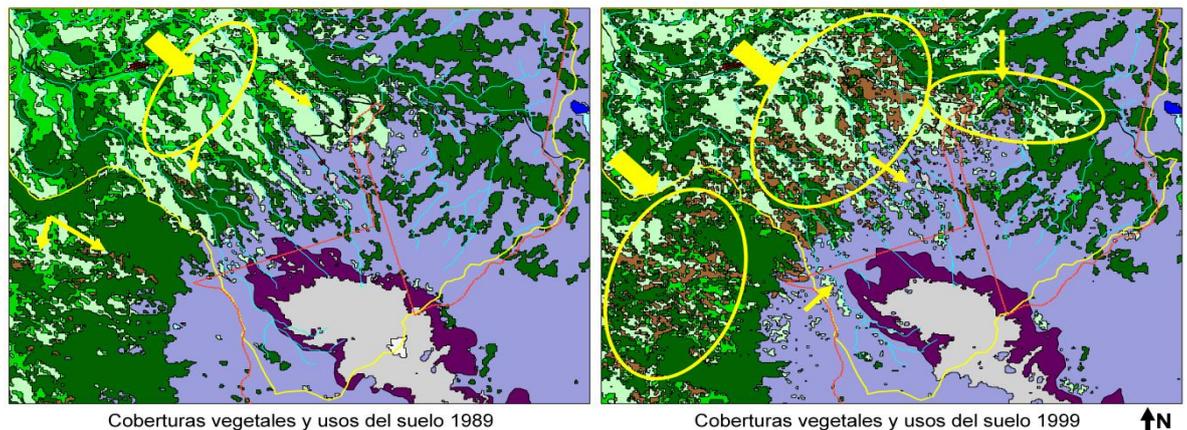
Aunque se identifican eventos de reemplazo, la unidad A no presenta un nivel de transformación alto; por tanto esta zona, en términos del ciclo de renovación adaptativa (Holling, 2001), se podría asociar a una migración de la fase de conservación hacia una de liberación, este proceso se ubicaría en el paso del bucle primario al secundario, ya que las comunidades naturales se encuentran en un estado sucesional avanzado (Clements 1916) ó de acumulación progresiva y en algunas zonas (aquellas en contacto directo con sistemas productivos), se está dando la transformación en menor escala; debe indicarse que esta unidad posee una mayor conservación por encontrarse en jurisdicción del PNN Puracé y tener un manejo especial por parte de las comunidades indígenas, dada su cosmovisión y por albergar zonas de abastecimiento hídrico ya que allí se encuentran las bocatomas de la mayoría de acueductos veredales, entre ellos Campamento-las Gradás, Pilimbalà, entre otros.

Otras coberturas que se reducen son lagunas y humedales; la reducción en la capa de nieve que se presentaba de forma permanente hasta finales de la década del 80 sobre la cadena volcánica de Puracé se debe al acelerado efecto del calentamiento global, tal

como lo referencia Castaño (2001) para ecosistemas altoandinos y paramúnos de Colombia. La variación en el área ocupada por las lagunas y humedales es producto de la estacionalidad de las imágenes (época de lluvia - seca).

A partir de la interpretación de los mapas de coberturas vegetales se grafica la direccionalidad de ocupación (Figura 31), las flechas amarillas indican la orientación del proceso de transformación y los óvalos amarillos contienen las zonas reemplazadas de coberturas naturales, principalmente bosques y rastrojos, con áreas de cultivos y pastos (en tonalidades café y verde claro respectivamente), el contacto amarillo claro corresponde a la microcuenca y el limite rojo al PNN Puracé.

Figura 31. Direccionalidad de ocupación en la ventana de estudio, periodo 1989-1999.



El análisis de las imágenes muestra una presión en sentido Noroccidente-Suroriente y norte-sur hacia el territorio protegido en el PNN Puracé, en general el reemplazo de coberturas atiende un patrón ascendente, esta relacionado con la red de drenaje, los ejes viales y los centros poblados; esto marca la agregación espacial de los polígonos de cultivos.

En síntesis, los cambios en el uso del suelo para el periodo analizado muestran en el contexto del estudio reducción en áreas de bosques y páramos, estas están relacionadas directamente con el proceso de regulación hídrica, afectando la oferta del recurso en cantidad y calidad; en este sentido, el incremento en el área de cultivos y pastos, implica una mayor demanda de agua para el mantenimiento de zonas productivas compitiendo con la destinación para consumo humano, adicionalmente las practicas agropecuarias establecidas en la ventana estudiada emplean agroquímicos que se incorporan a los cauces por arrastre del suelo ó por lavado asociado a las lluvias contaminando las fuentes hídricas.

De igual modo la direccionalidad del cambio, que indica una presión ascendente sobre coberturas naturales, afecta las condiciones de abastecimiento a futuro, ya que las zonas altas regulan el aporte que como ecosistema realiza la microcuenca el cual tiende a disminuir en función del tiempo dada la dinámica del cambio en las coberturas vegetales.

### 6.3.2 Inventario de vegetación para el área de estudio:

El muestreo de vegetación se realizó en las estaciones bocatoma y tanque 1 mediante colecta libre.

A continuación se describen las especies encontradas por estación de muestreo:

Tabla 24. Inventario de especies vegetales por estación de muestreo.

LUGAR COLECTA	FAMILIA	ESPECIE
BOCATOMA	Alstromeriaceae	<i>Bomaria sp</i>
	Apiaceae	<i>Niphogetun ternata</i>
	Asteraceae	<i>Pentacalia tolimensis</i>
		<i>Pentacalia tricopus</i>
		<i>Pentacalia vaccinioides</i>
		<i>Espeletia Hartwegiana</i>
		Begoniaceae
		<i>Begonia umbellata</i>
	Blechniaceae	<i>Blechnum auratum</i>
		<i>Blechnum cordatum</i>
	Cunoniaceae	<i>Weinmannia mariquitae</i>
	Ericaceae	<i>Gaultheria erecta</i>
		<i>Thibaudia floribundi</i>
		<i>Haemistoclesia cuatrecasi</i>
	Gunneraceae	<i>Gunnera pilosa</i>
	Poaceae	<i>Calamagrostis effusa</i>
	Lorantaceae	<i>Gaialladendrum punctatum</i>
	Melastomataceae	<i>Miconia floribunda</i>
		<i>Miconia salixifolia</i>
Myrtaceae	<i>Rapanea ferruginea</i>	
Orchidiaceae	<i>Orchidia pachifilum</i>	
Plantaginaceae	<i>Plantago australis</i>	
Rosaceae	<i>Rubus nubigenus</i>	
Rubiaceae	<i>Nertera granadensis</i>	
TANQUE 1	Thamnobryaceae	<i>Porotrichum longirostri</i>
	Theaceae	<i>Freziera raticulata</i>
	Melastomataceae	<i>Miconia Puracensis</i>
	Myrcinaceae	<i>Geissanthus andinus</i>
	Podocarpaceae	<i>Podocarpus oleifolius</i>

Con base en la información recabada en las entrevistas confrontada con el plan de manejo institucional del PNN Puracé (2002), se presenta a continuación un listado de especies utilizadas en la zona para diferentes fines:

Tabla 25. Inventario de especies vegetales con fines Maderables

<b>NOMBRE VULGAR</b>	<b>FAMILIA</b>	<b>ESPECIE</b>
Amarillo	Melastomataceae	<i>Miconia floribunda</i>
Arrayán	Myrtaceae	<i>Eugenia Sp</i>
Chilco	Theaceae	<i>Laplacea frutiseta</i>
Encenillo	Cunoniaceae	<i>Weinmania mariquitae</i>
Eucalipto	Myrtaceae	<i>Eucaliptus grandis</i>
guayacan	Bignoniaceae	<i>Tabebuia sp.</i>
Lechero	Euphorbiaceae	<i>Euphorbia latazi</i>
Motilón	Theaceae	<i>Freziera raticulata</i>
Ocal	Oxalidaceae	<i>Oxalis tuberosa</i>
Paloblanco	Escalloniaceae	<i>Escallonia paniculata</i>
Pino Colombiano	Podocarpaceae	<i>Podocarpus oleifolius</i>

Tabla 26. Inventario de especies vegetales utilizadas para reforestación.

<b>NOMBRE VULGAR</b>	<b>FAMILIA</b>	<b>ESPECIE</b>
Aliso	Betulaceae	<i>Alnus acuminata</i>
Acacia negra	Fabaceae	<i>Acacia mearnsii</i>
Encenillo	Cunoniaceae	<i>Weinmania mariquitae</i>
Eucalipto	Myrtaceae	<i>Eucaliptus grandis</i>
Manzano	Rosaceae	<i>Pyrus sp</i>
Motilon	Theaceae	<i>Freziera raticulata</i>
Nacedero	Acanthaceae	<i>Trichanthera gigantea</i>
Pino colombiano	Podocarpaceae	<i>Podocarpus oleifolius</i>
Pino de paramo	Melastomataceae	<i>Miconia salixifolia</i>

Tabla 27. Inventario de especies utilizadas con fines medicinales.

<b>NOMBRE VULGAR</b>	<b>FAMILIA</b>	<b>ESPECIE</b>
Ajenjo	Asteraceae	<i>Arthemisia absinthium</i>
Alegría de páramo	Violaceae	<i>Viola sp</i>
Altamisa	Compositae	<i>Altamisa acsitisium</i>
Apio	Umbiliferae	<i>Apium graveolens</i>
Apio de páramo	Umbiliferae	<i>Apium ranunculifolium</i>
Árnica Morada	Asteraceae	<i>Senecio formosus</i>
Caléndula	Asteraceae	<i>Calendula officinalis</i>
Cedrón	Icacinaceae	<i>Calatola colombiana</i>
Cola de caballo	Equisetaceae	<i>Equisetum giganteum</i>
Eucalipto	Mirtaceae	<i>Eucalyptus grandis</i>
Granizo	Chloranthaceae	<i>Hedyosmun sp</i>
Guasguín blanco	Compositae	<i>Diplostephium hartwegii</i>
hinojo	Umbelliferae	<i>Foeniculum vulgare</i>

<b>NOMBRE VULGAR</b>	<b>FAMILIA</b>	<b>ESPECIE</b>
limoncillo	Poaceae	<i>Cymbogogon citratus</i>
linaza	linaceae	<i>Linum usitatissimum</i>
llantén	Plantaginaceae	<i>Plantago linearis</i>
Manzanilla	Asteraceae	<i>Matricaria chamomilla</i>
mejorana	Lamiaceae	<i>Origanum mejorana</i>
Menta	Lamiaceae	<i>Coleus amboinicus</i>
orégano	lamiaceae	<i>Origanum vulgare</i>
Ortiga	Piperaceae	<i>Urtica sp</i>
paico	Chenopodiaceae	<i>Chenopodium ambrosioides</i>
Pepo	Solanaceae	<i>Solanum sp</i>
Poleo	labiatae	<i>Satureia brownei</i>
Romero	Labiatae	<i>Rosmarinus officinalis</i>
Ruda de castilla	Rutaceae	<i>Ruta Graveolens</i>
Salvia negra	Labiatae	<i>Lepechinia bantanicifolia</i>
Sauco blanco	Caprifoliaceae	<i>Viburnum Sp</i>
Siempre viva casera	Commelinaceae	<i>Tradescantia multiflora</i>
Siete cueros	Melastomataceae	<i>Monochaetum bonplandii</i>
tomillo	labiatae	<i>Thymus vulgaris</i>
toronjil	Labiatae	<i>Melissa officinalis</i>
violeta	Violaceae	<i>Viola odorata</i>
Yerbabuena	Labiatae	<i>Menta piperita</i>

Tabla 28. Inventario de especies cultivadas en la zona de estudio.

<b>NOMBRE VULGAR</b>	<b>FAMILIA</b>	<b>ESPECIE</b>
Albahaca	Labiatae	<i>Ocimum micranthus</i>
Alcachofa	Compositae	<i>Cynara scolymus</i>
Arracacha	Apiaceae	<i>Arracacia xanthorrhiza</i>
Arveja	Leguminosae	<i>Pisum sativum.</i>
cebolla	Liliaceae	<i>Allium fistulosum</i>
Cilantro	Umbiliferae	<i>Coriandrum sativam</i>
col	Cruciferaeae	<i>Brassica oleracea</i>
Haba	leguminoseae	<i>Vicia faba</i>
Maíz	Gramineae	<i>Zea mai</i>
Papa colorada	Solanaceae	<i>Solanum sp.</i>
Papa guata	Solanaceae	<i>Solanum tuberosum</i>
Perejil	Umbelliferae	<i>Petroselinum sativum</i>
Quinua	Chenopodiaceae	<i>Chenopodium quinoa</i>
repollo	Asteraceae	<i>Lactuca sativa</i>
Ulluco	Solanaceae	<i>Ullucus tuberosus</i>

## 6.4 IDENTIFICACION Y EVALUACION DE ACTIVIDADES ANTRÓPICAS

### 6.4.1 Información Entrevistas.

Figura 32. Realización de las entrevistas



Con el fin de realizar un análisis integral del impacto de las actividades antrópicas sobre la calidad del agua destinada al consumo humano y agrícola en la parte alta de la microcuenca río San Francisco y como elemento clave en el uso del recurso se evaluó la calidad del agua en el acueducto de la vereda Campamento, el cual es el mas representativo para la zona de estudio ya que abastece a una de las veredas mas grandes del cabildo indígena de Puracé con un total de 130 usuarios.

El análisis incluye los componentes biofísico; mediante la evaluación de parámetros fisicoquímicos-biológicos, cambio de coberturas vegetales y uso del suelo y el componente antrópico, en el que se realizaron entrevistas dirigidas hacia los beneficiarios del acueducto para conocer de primera mano el sentido de pertenencia, percepción e identificación de posibles focos de contaminación; así como una evaluación de impacto ambiental en la que se consideran variables identificadas a través de la entrevista y de una lista de chequeo.

El acueducto estudiado es de tipo rural o veredal, nació de la iniciativa de los pobladores frente a la necesidad de abastecimiento de agua, en su construcción tuvo participación como autoridad el cabildo indígena y la alcaldía municipal pero el trabajo fue organizado y dirigido desde la comunidad involucrando a sus beneficiarios en cada labor requerida en las fases de construcción y mantenimiento del mismo.

Se designo una junta de acueducto conformada por presidente, tesorero, y la persona encargada del mantenimiento de los tanques quien convoca a las mingas de limpieza de bocatoma y tanques de almacenamiento.

La población objeto hace parte de la comunidad del cabildo indígena de Puracé; así entonces, la organización del territorio bajo la concepción del indígena Puracéño se hace a partir de las diferentes prácticas agrícolas, ganaderas y las creencias alrededor de

ellas, como la del amansamiento de los sitios (Mazabuel, 2006), el abrir caminos, establecer áreas de cultivo y ganadería en donde interactúen madre naturaleza-hombre.

Teniendo en cuenta la distribución de la red de drenaje y su zona de influencia se visitaron en total 38 viviendas en las que se realizó la entrevista a personas adultas y en la mayoría de los casos directamente con el suscriptor del acueducto de la vereda Campamento las jornadas se realizaron los días 30 de Agosto y 14 de Noviembre de 2007.

Según el número de viviendas visitadas se encontró en total que los beneficiarios están distribuidos así: 52 hombres y 54 mujeres con un promedio de 3 niños en cada hogar.

Las entrevistas están conformadas por tres grandes bloques enmarcados dentro del concepto de uso y manejo de los recursos naturales, de este modo se presenta un bloque de uso del agua, vegetación y del suelo y como complemento el de saneamiento ambiental.

### **Recurso agua:**

Los sistemas de abastecimiento rural entre ellos el acueducto de la vereda Campamento con que cuenta el municipio de Puracé, abastecen a un 75% (según EOT Puracé, 2000) de la población rural, estos sistemas de captación carecen de una adecuada planta de tratamiento y purificación haciendo que el abastecimiento de agua no tenga condiciones de potabilidad.

Las fuentes de abastecimiento de agua para la zona hacen parte de la red de drenaje de la subcuenca río San Francisco, estas son: quebrada Rinconada, quebrada Pajoy que surten el acueducto objeto de estudio también conocido como acueducto Grande y quebrada la Planada que surte un pequeño acueducto de igual nombre del que se abastecen además del acueducto Grande algunas familias del sector de Campamento. En su mayoría las familias que viven en el sector de Pilimbalà y el Crucero son beneficiarios únicamente del acueducto de Campamento o Grande.

Las personas entrevistadas coinciden en su mayoría con un porcentaje del 83% en afirmar que el agua que consumen es limpia dadas sus condiciones de nacimiento, pues se trata de una quebrada que nace en el páramo como lo manifiestan ellos, existe un pequeño porcentaje 10% que asegura que el agua es limpia en su nacimiento pero que llega a sus viviendas contaminada por que la tubería que la transporta es galvanizada, un porcentaje de 7% afirma que la calidad del agua es moderada y lo asocia con el tratamiento que se le da a los tanques de abastecimiento.

Los focos de contaminación sobre las fuentes hídricas de la zona y de abastecimiento del acueducto identificadas por los entrevistados y algunos de ellos verificados por el recorrido en campo se distribuyen así: 20.6% afirma que las basuras no reciclables son la principal causa de contaminación, 20.2% atribuye este hecho a la cantidad de sedimentos que transportan las quebradas que abastecen el acueducto (Rinconada y Pajoy), 15% asegura que la insuficiencia en el saneamiento básico, es el mayor contaminante de las fuentes debido a que en muchas viviendas se utiliza letrina , 14% de

los entrevistados sugiere que la actividad agrícola que genera el uso de agro insumos son fuente de contaminación, 10.2% perfila la actividad ganadera a este hecho, 8% manifiesta que el no tratamiento del agua asociado al manejo de los tanques es causa de contaminación, mientras que un 7% asegura que no hay ningún tipo de contaminación en el agua que consumen y en menor porcentaje el 5% de los entrevistados asocia la contaminación con la actividad desarrollada en la mina de azufre.

De acuerdo con los documentos de ordenación del territorio en el municipio de Puracé (2000), el servicio de alcantarillado presenta una cobertura muy baja con respecto a la del acueducto, en el municipio el promedio de cobertura es de 14.8% muy inferior al promedio departamental que es del 34.8% y al nacional que es del 59.2% generando contaminación directa sobre las fuentes hídricas por falta de un manejo integrado de basuras, aguas servidas e incluso de insumos agrícolas.

Resulta importante tener en cuenta que la causa más frecuente de mortalidad en menores de un año corresponden a neumonía, asma, diarreas, bronquitis y desnutrición; este grupo de patologías son fácilmente previsibles, relacionadas algunas de ellas con la provisión de agua potable y disposición de excretas, como se menciona en la fuente oficial esquema de ordenamiento territorial de Puracé (2000).

### **Recurso vegetación:**

Según datos oficiales el uso de los recursos naturales en el municipio de Puracé ha causado pérdida de mas de un 30% de la cobertura forestal nativa, anualmente se deforestan 3.05 has de bosque y solo se han plantado 2,5 has del 70% de hectáreas de bosque que aun quedan el 25% son áreas del parque nacional de Puracé y constituyen zona de reserva forestal.

Para conocer el manejo que se da al recurso en este bloque se definen cuatro grandes usos: maderables (construcción, leña), reforestación y uso medicinal.

16.6% de los entrevistados no usa madera para construcción, el resto (83.4%) la usa especialmente para posteaduras, para tal fin las especies más utilizadas son: pino (*Pinus patula*), eucalipto (*Eucaliptus grandis*), encenillo (*Weinmania mariquitae*), motilón (*Freziera raticulata*), ocal (*Oxalis tuberosa*), palo blanco (*Escallonia paniculata*) y pino colombiano (*Podocarpus sp*).

20% de los entrevistados utilizan leña y gas para cocinar, los demás 80% utilizan únicamente leña para este fin, las especies mas utilizadas como leña son: eucalipto (*Eucaliptus grandis*), pino (*Podocarpus oleifolius*), amarillo (*Miconia floribunda*), chilco (*Laplacea frutisosa*), paloblanco (*Escallonia paniculata*), motilon (*Freziera raticulata*), guayacán (*Tabebuia sp.*), pino espátula (*Podocarpus sp*), de estas personas el 3.75% asegura que prefiere los árboles mas viejos del bosque y 2.5% afirma que en ocasiones compra leña.

26.5% de los entrevistados no practica actividad alguna de reforestación, 25% de los usuarios asegura practicar actividades de reforestación mediante siembra de especies como aliso (*Alnus acuminata*), encenillo (*Weinmania mariquitae*), pino (*Podocarpus*

*oleifolius*), acacia negra (*Acacia mearnsii*), nacedero (*Trichanthera gigantea*), motilon (*Freziera raticulata*), eucalipto (*Eucalyptus grandis*) y manzano negro (*Pyrus Sp*); 24.2% participa en el aislamiento de los nacimientos de agua como principal practica de reforestación, 18.6% afirma que no practica actividades de tala y quema y proponen esta actividad como practica de reforestación debido a que se permite la regeneración natural y el 6.6% afirma que una forma de permitir la regeneración natural es practicando a mediana escala la siembra de cultivos.

86.7% de los beneficiarios utiliza al menos una de las siguientes especies con fines medicinales: poleo (*brownei Satureia*), apio (*Apium Graveolens*), árnica (*Senecio Formosus*), Guayabilla (*Psidium guineense*), limoncillo (*Cymboogon citratus*), Ajenjo (*Artemisia absinthium*), ruda (*Ruta graveolens*), guasgui (*Diplostephium hartwegii*), manzanilla (*Matricaria chamomilla*), llantén (*Plantago linearis*), cola de caballo (*Equisetum giganteum*), yerbabuena (*Menta Piperita*), granizo (*Hedyosmun sp*), pino (*Miconia salixifolia*), eucalipto (*Eucalyptus grandis*), hinojo (*Foeniculum vulgare*), mejorana (*Origanum mejorana*), Altamisa (*Altamisa acsitisium*), salvia negra (*Lepechinia bantanicifolia*), romero (*Rosmarinus officinalis*), cedrón (*Calatola colombiano*), poleo (*Satureia brownei*), paico (*Chenopodium ambrosioides*), sauco (*salix humboldtii*), caléndula (*Caléndula officinalis*), árnica (*Senecio formosus*), alegría (*Viola sp.*), violeta (*Viola odorata*); los demás entrevistados 13.3% no utiliza especies nativas con fines medicinales.

### **Recurso suelo:**

En este bloque se interroga por el uso que se le da al recurso en cuanto actividades pecuarias y agrícolas, en este ultima se busca identificar el tipo de practica agrícola mediante la utilización o no de insumos orgánicos, inorgánicos o plaguicidas, De igual modo, se aborda el tema de preparación y mantenimiento de los cultivos así como, de especies cultivadas.

73.4% de los entrevistados son propietarios de 3 cabezas de ganado en promedio para producción de leche y el 26.6 % no tienen ganado.

90% de los entrevistados tiene al menos uno de los siguientes cultivos: papa, ulluco, arveja, habas y una huerta casera con siembra de col de montaña, quinua, arracacha, plantas aromáticas como manzanilla, tomillo, orégano, cebolla, repollo, cilantro, perejil, albahaca, alcachofa y en el sector de Campamento semillero de maíz. 10% de los usuarios asegura no tener ningún tipo de cultivo, es importante señalar que en este caso se trata de familias que viven en el sector de Campamento en donde se concentra la mayoría de viviendas de la vereda.

De acuerdo con la información proporcionada por los entrevistados han participado en pocos programas de seguridad alimentaría promovidos por diferentes instituciones gubernamentales y no gubernamentales entre ellos la unidad administrativa de parques nacionales (UAESPNN), Ecofondo, SENA y capacitaciones gestionadas a través del cabildo indígena, sin embargo, el uso de abonos orgánicos se reduce a actividades de jardinería por algunas amas de casa y en pocos casos a una pequeña huerta casera junto a la vivienda; la razón por la cual el uso de este tipo de abonos es muy bajo obedece a la

demora en el crecimiento de los cultivos y en muchos casos a la pérdida total o parcial de los mismos por la proliferación de plagas como lo manifiestan varios residentes del sector; quienes aseguran que prefieren utilizar insumos químicos antes que arriesgarse a perder meses de trabajo; aunque manifiestan saber que están causando daño al suelo y que en general a largo plazo las pérdidas por daño a sus cultivos y a sus parcelas pueden ser mayores.

50% de los usuarios no utiliza abono orgánico en la práctica agrícola, 6.6% utiliza como abono orgánico la ceniza, estiércol y desechos de la cocina, para el jardín y la huerta casera; 3.3% prepara silo para alimentar al ganado (aprendió a hacerlo por capacitación con diferentes entidades), 40.1% utiliza al menos uno de los siguientes compuestos como abono orgánico en sus huertas o cultivos; estiércol, gallinaza, abono tipo bocachi, desechos de cocina.

20% de los entrevistados no utiliza abono químico, 80% utiliza al menos uno de los siguientes abonos químicos de tipo comercial: multigran verde, 10-30-10, cloruro de cobre, monsante, abocol, nutrimon, triple 15, oxiclورو de calcio, cal, desarrollo, foliar, calumax y urea.

13.3% no utiliza ningún tipo de plaguicida en sus cultivos, 6.7% utiliza algún tipo de planta como plaguicida entre las que están el ajeno, la ortiga y el ají. 80% de los entrevistados utiliza al menos uno de los siguientes plaguicidas: eltran furadan, malation, monsante N45-200, round up, ridomil.

50% de los usuarios asegura preparar el terreno para sus cultivos manualmente, es decir, con el uso de picas y conformación de eras, además practica la rotación de cultivos cada 3 siembras en promedio; 6.6% de las personas afirma no retirar las malezas del área de cultivo para favorecer la interacción entre especies; 30% de los entrevistados utiliza maquina para remover el terreno y practica rotación de cultivos cada dos siembras en promedio, 13.4% de los entrevistados no practica ningún tipo de preparación para el terreno.

### **Saneamiento ambiental**

En la zona rural de los corregimientos del municipio de Puracé la disposición de excretas se realiza en pozos sépticos (496 viviendas), en letrinas (763 viviendas), y a campo abierto (915), viviendas, de acuerdo con la información encontrada en la agenda ambiental del municipio de Puracé (2000).

Según entrevista realizada a los pobladores en la zona de estudio para abordar el tema de la disposición final de residuos sólidos y sanitarios se indica que las condiciones de saneamiento ambiental en la vereda Campamento son de la siguiente manera:

96.7% de los entrevistados tiene una letrina o pozo séptico para la disposición de los residuos sanitarios y un 3.3% de los usuarios realiza la disposición de excretas a campo abierto.

96.7% de los entrevistados entierra los residuos sólidos que genera en sus viviendas y el 3.3% restante además de enterrar los residuos sólidos los quema.

#### **6.4.2 Evaluación de impacto ambiental**

La evaluación inicia con el análisis de la microcuenca como un sistema, se presenta una lista de chequeo en la que se muestran los subsistemas que la conforman; abiótico, biótico, perceptual y el subsistema antrópico y en torno a estos se tienen criterios (Godet, 2000) para calificar el impacto de manera cualitativa estos son: reversibilidad (si es reversible o irreversible), por la capacidad de recuperación del ambiente; recuperabilidad a corto plazo (de 1 - 5 años), recuperabilidad a mediano plazo (de 5 -10 años) y recuperabilidad a largo plazo (de 10 años en adelante), además, se evaluó si el tipo de efecto es directo o indirecto (Espinoza, 2002).

Se tiene entonces un listado de variables que identifican los procesos y localizaciones de las principales actividades y usos humanos del sector, las cuales se evaluaron según su influencia y dependencia en una matriz para mostrar finalmente las variables que están ejerciendo presión sobre el ecosistema específicamente sobre el recurso hídrico.

En cuanto a la utilización del recurso hídrico se han implementado sistemas de captación con fines de consumo humano de los cuáles el acueducto veredal objeto de este estudio es el más representativo, se hacen otro tipo de captaciones en algunas viviendas del sector con fines productivos y/o de consumo, estas adaptaciones son conocidas como recamaras o puntos de quiebre y al igual que la bocatoma tienen en cuenta los sitios más altos de la montaña razón por la cual se interviene directamente sobre los nacimientos.

La construcción de la bocatoma y el primer tanque de almacenamiento constituyen alteración hidrológica física del cauce debido a que interrumpen el curso natural de la quebrada disminuyendo su caudal y potencial ecológico y causando una transformación de la zona o cordón ripariana con lo que se genera pérdida de ecotonos, de igual modo ocurren modificaciones físicas químicas y biológicas del agua, así como un aumento en los niveles de sedimentación y arrastre por la adecuación de las zonas aledañas a estos dos sitios como áreas de cultivo, ganadería y actividades domésticas ya que, encontramos viviendas aguas arriba o cerca de la bocatoma y el tanque de almacenamiento 1; los otros cinco (5) tanques que conforman la red de captación y distribución del acueducto no están conectados directamente a la fuente hídrica razón por la cual se establece que el acueducto de la vereda Campamento se abastece de las quebradas Rinconada y Pajoy, las fuentes de contaminación identificables en estos tanques son el arrastre de nutrientes, sedimentación y la contaminación por descomposición de los tubos de distribución debido a que son galvanizados y conociendo la vida útil del acueducto (10-15 años) ya empiezan a generar efectos sobre la calidad del agua (OMS, 2006), porque llevan años de instalación<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Presidente Junta de acción Comunal Campamento. comunicación directa.

Figura 33. Alteración del cauce.



Figura 34. Implementación de bocatoma.



En la zona de estudio las actividades productivas en cuanto a su grado de expansión y comparada con otros ecosistemas de montaña del departamento del Cauca es pequeña, y puede explicarse porque se trata de un área protegida y por condiciones topográficas de acuerdo con Joaquín S. (2005), sin embargo actividades como la implementación de técnicas agrícolas y pecuarias ocasionan alteración sobre los recursos suelo, fauna y flora. Entre los impactos se encuentra principalmente el reemplazo de la vegetación nativa por áreas de producción con la consecuente pérdida de la protección superficial por eliminación de la cobertura vegetal y por actividades como la tala y quema; y cuando se trata de terrenos muy húmedos de drenaje, ocasionando así pérdida de nutrientes y de capacidad de retención de agua.

Entendiendo que los pobladores de la zona de estudio practican la agricultura tradicional y en menor escala tecnificada (EOT Puracé 2000), se puede identificar la siembra a favor de la pendiente, el uso de agroquímicos y plaguicidas como las principales causas en la pérdida de nutrientes y fertilidad del suelo, así como en el aumento de procesos erosivos, de igual modo se debe considerar que el páramo no es el área adecuada para la agricultura (Hofstede, 2003), y procesos como la preparación del terreno para siembra en el que se vuelca el suelo ocasionan pérdida de materia orgánica y por ende disminución o pérdida total (Hofstede, 2000) en la capacidad de retención de agua.

Figura 35. Áreas de cultivo



Figura 36. Zonas de actividad agropecuaria.



La pérdida de la cobertura vegetal originada por la expansión de la frontera agrícola genera de igual forma modificaciones en la evapotranspiración que entre otros factores ecológicos regulan el ciclo del agua característico del páramo en cuanto a su estructura y dinámica como bioma, del cual a su vez depende la interacción equilibrada y

sustentable de las comunidades con el medio ambiente (Joaqui, 2005). De este modo se evidencia una disminución de diversidad en cuanto a especies vegetales y fauna perdiendo así endemismos y especies protegidas, así como alteración en los procesos sucesionales por sobreexplotación e introducción de especies foráneas y modificación en la producción primaria, relacionada también con la explotación de recursos forestal a mediana escala.

El análisis de cambio de coberturas por su parte muestra transicionalidades expresadas por las relaciones entre las coberturas bosque- rastrojo-cultivo- pastos y paramo-pasto-cultivo, ocasionadas por actividades como la expansión de la frontera agrícola evidente en la figura 37.

De este modo las continuas presiones ocasionadas por actividades antrópicas sobre el sistema natural incrementan su vulnerabilidad por baja capacidad de respuesta, por ello resulta importante involucrar a la comunidad en procesos de recuperación y mantenimiento del sistema de tal modo que se genere una reorganización en todos los componentes del ecosistema dada su capacidad de resiliencia (Holling, 2001), y contando con los recursos claves para que se lleve a cabo este proceso, pues siendo territorio indígena la zona se encuentra menos intervenida que en otros ecosistemas de alta montaña (Joaqui, 2005).

Figura 37. Reemplazo de vegetación nativa por cultivos



Como resultado del proceso de ocupación y poblamiento en el área de estudio, se han generado una serie de efectos sobre el sistema, en términos de la microcuenca de estudio, que se traducen en la transformación del bioma paramuno en territorio de comunidades indígenas y campesinas que trae consigo un incremento en la demanda de recursos naturales con el desarrollo de actividades antrópicas de tipo productivo y organizacional entre las que se incluye implementación de sistemas de abastecimiento.

Este proceso de ocupación genera cambios en la estructura y alteración de las unidades de paisaje, pero es importante tener en cuenta que la población asentada en la zona de estudio pertenece en su gran mayoría al cabildo indígena de Puracé quienes atendiendo a sus ideales de fortalecimiento de la relación hombre-naturaleza desarrollan algunas actividades comunitarias encaminadas hacia la recuperación de ciertos subsistemas especialmente en cuanto al recurso hídrico así es como se han venido realizando

jornadas o mingas para aislar el bosque que rodea los nacimientos de agua y permitir de esta manera la regeneración natural del mismo.

En la tabla 29 y la Figura 38 se pueden identificar las principales variables evaluadas en el sistema matricial de influencias dependencias (Godet citado por Andújar & Henao 2008), teniendo en cuenta las clases en las que se agruparon entonces:

- **Variables motrices:** aquellas indicadoras de mayor influencia que condicionan al resto del sistema, en este caso la organización y participación comunitario y procesos de ocupación y poblamiento.
- **Variables claves:** Las variables que aplican en este rango se caracterizan por ser muy motrices y a la vez muy dependientes por lo cual se expresan directamente en el comportamiento del sistema, razón por la cual son muy importantes y se deben tener en cuenta en la implementación de medidas de mitigación; en el trabajo estas variables fueron: deforestación e implementación de prácticas agrícolas
- **Variables reguladoras:** son variables medianamente influyentes y/o dependientes, por lo que al mismo tiempo que generan un efecto son la respuesta de otras variables, sin dejar de ser importantes en la evaluación es así como se incluyen en esta categoría: descarga domestica y agrícola, drenaje de suelos, pisoteo de ganado e implementación de áreas de pastoreo.
- **Variables resultantes:** aquellas variables que resultan muy dependientes pero que tienen poca influencia sobre el sistema entre ellas: cambio en las características fisicoquímicas del agua, reemplazo de la vegetación nativa, transformación del sistema y transformación de la zona riparia. En efecto cualquier acción sobre estas variables repercutirá sobre las otras y sobre ellas mismas amplificando el impacto en el sistema.

### **Lista De Chequeo**

A continuación se presenta la lista de chequeo, para las actividades desarrolladas en la zona de estudio:

Tabla 29. Lista de Chequeo para actividades registradas en la zona de estudio.

Sub-sistema	Componente	Causas	Posibles impactos	Efecto						
				Reversibilidad		Recuperabilidad			Tipo de efecto	
				R	I	CP	MP	LP	D	I
Abiótico	Agua	-Implementación de sistemas de captación. -Descargas domesticas y agrícolas. -Transformación de la zona ripariana. -Adecuación de zonas aledañas a los nacimientos como áreas de pastoreo.	-Alteración hidrológica física. -Aumento en los niveles de sedimentación y material de arrastre. -Pérdida de ecotonos. -Modificación de la calidad física, química y biológica.	X	X		X		X	
	Suelo	-Reemplazo de la vegetación nativa por áreas de producción. -Implementación de prácticas agrícolas como tala y quema. -Pisoteo de ganado. -Siembra a favor de la pendiente. -Drenaje suelos.	-Pérdida de la protección superficial por eliminación de la cobertura vegetal. -Aumento en los procesos erosivos. -Pérdida de nutrientes. -Pérdida en la capacidad de retención del agua.	X				X	X	
Biótico	Flora	-Deforestación. -Extracción de bosque con fines maderables. -Introducción de especies exóticas. -Implementación de prácticas agrícolas y áreas para pastoreo.	-Cambio en la evapotranspiración. -Pérdida de hábitat y nichos. -alteración de la producción primaria. -Alteración del proceso sucesional.	X			X	X	X	
	Fauna	-Procesos de ocupación y poblamiento. -Deforestación. -Transformación del sistema	-Desplazamiento. -Pérdida de endemismos y especies protegidas. -Aparición de especies oportunistas.	X	X			X	X	X

Sub-sistema	Componente	Causas	Posibles impactos	Efecto						
				Reversibilidad		Recuperabilidad			Tipo de efecto	
				R	I	CP	MP	LP	D	I
Perceptual	Paisaje	-Deforestación. -Desarrollo de actividades agrícolas y pecuarias. -Transformación del sistema	-Cambio en la estructura del paisaje. -Insatisfacción en la calidad del entorno. -Alteración en las unidades de paisaje.	X				X	X	
				X			X		X	X
Antrópico	Socio económico	-Procesos de ocupación y poblamiento. -Desarrollo de actividades económicas, agrícolas y pecuarias. -Sentido ancestral de pertenencia y apropiación del terreno. -Organización y participación comunitaria.	-Transformación del ecosistema. -Pérdida de fertilidad del suelo. -Contaminación de las fuentes hídricas. -Incremento en la demanda de recursos naturales. - Actividades comunitarias para el aislamiento y recuperación de nacimientos de agua.	X	X				X	X
				X				X	X	
				X	X		X		X	X

R= Reversible, I= Irreversible, CP= Corto plazo, MP=Mediano plazo  
LP= Largo plazo, D= Directo, I= Indirecto

## Matriz de Influencias – Dependencias

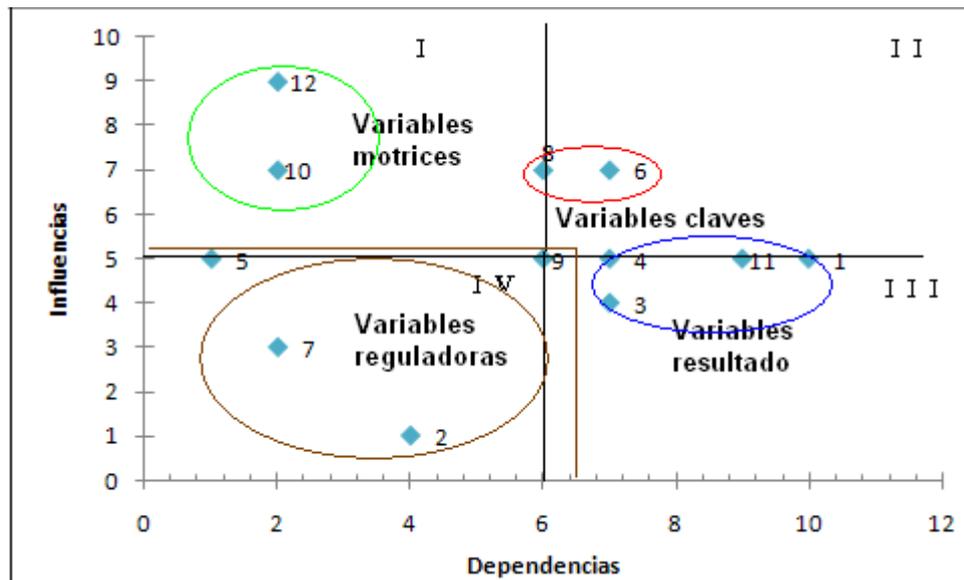
Tabla 30. Elaboración de la Matriz de Influencias- Dependencias

MATRIZ DE INFLUENCIAS / DEPENDENCIAS	INFLUENCIAS	Cambio en características físicoquímicas del agua.	Descarga doméstica y agrícola.	Transformación de la zona riparia.	Reemplazo de la vegetación nativa.	Drenaje de suelos.	Deforestación	Pisoteo de ganado	Implementación de prácticas agrícolas.	Implementación de áreas de pastoreo.	Procesos de ocupación y poblamiento.	Transformación del sistema.	Organización y participación comunitaria.	Σ	Grado de Dependencias SD/S
<b>DEPENDENCIAS</b>	XX	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	GD
Cambio en las características físicoquímicas del agua.	01	01	√	√	√	√	√	√	√	√		√	√	<b>10</b>	<b>2</b>
Descarga doméstica y agrícola.	02	√	02						√		√		√	<b>4</b>	<b>5</b>
Transformación de la zona riparia.	03	√		03	√		√	√	√			√	√	<b>7</b>	<b>1.75</b>
Reemplazo de la vegetación nativa.	04			√	04		√		√	√	√	√	√	<b>7</b>	<b>1.4</b>
Drenaje de suelos.	05					05			√					<b>1</b>	<b>0.2</b>
Deforestación	06			√	√	06		√	√	√	√	√	√	<b>7</b>	<b>1</b>
Pisoteo de ganado	07			√				07		√				<b>2</b>	<b>0.6</b>
Implementación de prácticas agrícolas.	08	√		√	√	√	√		08		√		√	<b>6</b>	<b>0.85</b>
Implementación de áreas de pastoreo	09	√		√	√	√	√			09	√		√	<b>6</b>	<b>1.2</b>
Procesos de ocupación y poblamiento.	10						√				10		√	<b>2</b>	<b>0.28</b>
Transformación del sistema.	11	√		√		√	√	√	√	√	√	11	√	<b>9</b>	<b>1.8</b>
Organización y participación comunitaria.	12									√	√		12	<b>2</b>	<b>4.5</b>
<b>Σ I</b>	<b>13</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>9</b>		

Tabla 31 . Relación del tipo identificada mediante Matriz Influencias- Dependencias

VARIABLE	TIPO DE VARIABLE
Deforestación	CLAVE
Implementación de prácticas agrícolas.	CLAVE
Organización y participación comunitaria.	MOTRIZ
Procesos de ocupación y poblamiento.	MOTRIZ
Descarga domestica y agrícola.	REGULADORA
Drenaje de suelos.	REGULADORA
Pisoteo de ganado	REGULADORA
Implementación de áreas de pastoreo	REGULADORA
Cambio en las características fisicoquímicas del agua.	RESULTADO
Reemplazo de la vegetación nativa.	RESULTADO
Transformación del sistema.	RESULTADO
Transformación de la zona riparia.	RESULTADO

Figura 38. Interacción de las variables evaluadas en la Matriz de Influencias- Dependencias.



## 6.5 PROPUESTA DE MANEJO DEL RECURSO HIDRICO EN LA ZONA

Teniendo en cuenta los resultados del trabajo en el que se evidencia presión sobre la microcuenca del río San Francisco en cuanto a la oferta hídrica por pérdida de coberturas vegetales de bosque y páramo y de disminución de la calidad del agua por efecto de actividades productivas, resulta importante generar una propuesta en la que se involucre el mejoramiento de las condiciones actuales de calidad de agua y de los recursos suelo y vegetación, con el fin de garantizar el bienestar de la población especialmente en cuanto a salud y mitigar los efectos generados por el desarrollo de actividades antrópicas de tipo productivo y de la construcción, mantenimiento y funcionamiento del acueducto de la vereda Campamento sobre la microcuenca.

Se propone entonces una estrategia mediante la implementación de fichas de manejo ambiental (Concha, 2005), en donde se mencionan las actividades más importantes y sus efectos más significativos sobre los componentes **agua, suelo, vegetación, antrópico**.

Se considera entonces que esta propuesta está constituida por los siguientes componentes:

1. COMPONENTE ANTROPICO: en donde se realice un acercamiento con la comunidad aprovechando la cosmovisión de fortalecimiento de la relación hombre-naturaleza, propia de comunidades indígenas, para procurar medidas de manejo de los recursos naturales, mientras se elaboran programas encaminados hacia la educación ambiental.
2. MANEJO DE RECUPERACIÓN PARA EL MEDIO BIOFÍSICO: en donde se desarrollan actividades para mitigar impactos como: contaminación de las fuentes de agua y la pérdida de cobertura vegetal por aumento de áreas productivas.

## 1. COMPONENTE ANTROPICO:

Tabla 32. Manejo de residuos líquidos.

<b>MANEJO DE RESIDUOS LÍQUIDOS</b>			Ficha: <b>01</b>
			
<b>Objetivo: Plantear alternativas para el manejo adecuado de residuos líquidos.</b>			
<b>Actividad: vertimiento de líquidos sobre fuentes de agua</b>			<b>Componente: hídrico</b>
<b>DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD</b>			
Como consecuencia de la no implementación de sistemas de alcantarillado ni de pozos sépticos, así como el uso de agroinsumos, especialmente en las viviendas ubicadas en el margen de las fuentes de abastecimiento, se vierten aguas servidas sobre los ríos contaminándolos directamente.			
<b>EFFECTOS ADVERSOS</b>		<b>ACCIONES A DESARROLLAR</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alteración de la salud de los habitantes de la zona</li> <li>- Cambio en las características fisicoquímicas y perdida calidad del agua.</li> <li>- Alteración de la red trófica.</li> <li>- Cambio en la estructura de comunidades bénticas.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>1.1 Gestionar planes para la construcción de pozos sépticos.</li> <li>1.2 Educación ambiental para la comunidad aledaña al cauce y de manejo de agroinsumos.</li> </ul>	
<b>SEGUIMIENTO Y MONITOREO</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Evaluación semestral de la calidad de agua de parámetros fisicoquímicos y biológicos.</li> <li>- Evaluación del compromiso de la comunidad mediante el desarrollo de actividades como reciclaje y elaboración de bioabonos en la disminución del uso de agroinsumos.</li> </ul>			
<b>COSTOS</b>			
<b>ITEM O RECURSO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
Taller manejo de agroinsumos.	2	20000	40000
Taller manejo de residuos.	2	20000	40000
Refrigerios	40	2500	100000
Personal de apoyo	2	20000	40000
<b>TOTAL</b>			<b>220000</b>
<b>RESPONSABLE:</b> Beneficiarios acueducto Campamento –Cabildo indígena-Alcaldía Puracé			
<b>INSTITUCIONES DE APOYO:</b> Universidad del Cauca-GEA, SENA, UMATA, Colegios agropecuarios.			

Tabla 33. Educación Ambiental

<b>PROGRAMA GENERAL DE EDUCACIÓN AMBIENTAL COMUNITARIA</b>		Ficha: <b>02</b>
		
<p><b>OBJETIVO:</b> Consolidar la iniciativa de conservación y restauración del medio ambiente con actividades de participación e integración comunitaria.</p>		
<p><b>Actividad:</b> Contaminación de las fuentes de abastecimiento.</p>		<p><b>Componente:</b> medio físico y población local.</p>
<b>RAZÓN DEL PROGRAMA</b>		
<p>El desarrollo de actividades antrópicas con fines productivos o para el mejoramiento de la calidad de vida, causa alteraciones en el medio biofísico por actividades como explotación de los recursos naturales, implementación de prácticas agropecuarias, procesos de ocupación, por lo cual se hace necesaria la concertación con la comunidad para lograr un uso sostenible del recurso la cual se consolida desde el pilar ambiental de la comunidad indígena de la zona.</p>		
<b>EFFECTOS A MITIGAR</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Deforestación especialmente sobre área de riberas.</li> <li>- Pérdida de biota acuática y terrestre.</li> <li>- Cambio o alteración de la salud de los habitantes de la zona.</li> <li>- Cambio en las características fisicoquímicas y biológicas del agua.</li> </ul>		
<b>ACCIONES A DESARROLLAR</b>		
<p><b>1. TALLERES DE SENSIBILIZACION</b></p> <p>1.1 Conocer el recurso para poder manejarlo y aprovecharlo, valorando su importancia como fuente principal en el desarrollo de las comunidades.</p> <p>1.2. Fortalecimiento de la relación hombre – naturaleza, mediante talleres en escuelas y colegios.</p> <p>1.3 Articulación con diferentes instituciones comprometidas en el manejo y conservación de recursos naturales: UAESPNN-DTSA PNN PURACÉ, SENA, UMATA, CRC y Gobernación del departamento del Cauca, Alcaldía, Cabildo Indígena.</p>		
<p><b>2. MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS Y LÍQUIDOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Jornadas comunitarias (mingas), de limpieza y campañas de reciclaje.</li> <li>- Como manejar los residuos y elaboración de bioabonos.</li> <li>- Mantenimiento y limpieza de la bocatoma y tanques de almacenamiento.</li> </ul>		

<b>SEGUIMIENTO Y MONITOREO</b>			
-Determinación (semestral ó anual), de la calidad del agua mediante el análisis físico-químico y bacteriológico del agua.			
- Recorridos a las zonas afectadas para valorar su mejoramiento y vinculación de la comunidad			
<b>COSTOS</b>			
<b>ITEM O RECURSO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
Talleres de reconocimiento general y técnico del recurso	2	25000	50000
Talleres de capacitación, foros y actividades comunitarias	3	30000	90000
Análisis fisicoquímico y bacteriológico del agua	6	95000	570000
<b>TOTAL</b>			<b>710.000</b>
<b>RESPONSABLE:</b> Beneficiarios Acueducto Campamento –Cabildo Indígena-Alcaldía Puracé.			
<b>INSTITUCIONES DE APOYO:</b> Universidad del Cauca-GEA-Jardín Botánico, SENA, UMATA, Colegios agropecuarios.			

## 2. MANEJO DE RECUPERACIÓN PARA EL MEDIO BIOFÍSICO

Tabla 34. Recuperación del suelo.

<b>RECUPERACIÓN DEL SUELO</b>	<b>Ficha: 03</b>
	
<b>OBJETIVO:</b> Mejorar la calidad del agua, mediante el desarrollo de actividades encaminadas hacia la recuperación de suelo especialmente cerca a fuentes hídricas.	
<b>Actividad:</b> cambio del uso del suelo.	<b>Componente:</b> vegetación riparia.

### RAZÓN DEL PROGRAMA

La ocupación de las zonas altas de montaña y de márgenes de los ríos con fines productivos, causan compactación y pérdida de nutrientes en el suelo, Así como incremento en el riesgo de contaminación de fuentes hídricas por procesos de escorrentía y arrastre de nutrientes en los que se incluyen agroinsumos utilizados en el mejoramiento de cultivos, y aguas servidas.

### EFFECTOS A MITIGAR

- Problemas de erosión y deforestación
- Reducción de la tasa de infiltración.
- Contaminación del suelo por lixiviados.
- Pérdida de nutrientes.

### ACCIONES A SEGUIR PARA EL RECURSO SUELO

- Talleres de capacitación para el manejo de áreas productivas.
- Talleres de sensibilización y capacitación en la utilización de bioabonos.
- Talleres de capacitación en implementación de técnicas de producción.
- Mingas de recuperación de suelo y manejo de zonas productivas, implementación de prácticas de bioabonos.

### SEGUIMIENTO Y MONITOREO

Las actividades propuestas se desarrollaran simultáneamente al avance de las obras de recuperación de la vegetación nativa y del paisaje.

### COSTOS

ITEM O RECURSO	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Taller de Manejo de áreas productivas	2	25000	50000
Taller de uso de bioabonos	3	30000	90000
Taller técnicas de producción	3	30000	90000
<b>TOTAL</b>			<b>230.000</b>

**RESPONSABLE:** Beneficiarios Acueducto Campamento –Cabildo Indígena-Alcaldía Puracé

**INSTITUCIONES DE APOYO:** Universidad del Cauca-GEA, SENA, UMATA, Colegios agropecuarios.

Tabla 35. Recuperación de zonas riparianas.

RECUPERACION DE ZONAS ALEDAÑAS A NACIMIENTOS Y FUENTES DE AGUA		A		Ficha: 04																												
																																
<b>Objetivo:</b> Recuperación de la vegetación nativa especialmente de cordones riparios en el mejoramiento de la calidad del agua del entorno natural y paisajístico.																																
<b>Actividad:</b> tala, quema, pastoreo			<b>Componente:</b> vegetación																													
<b>DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD</b>																																
El aprovechamiento de los recursos naturales con fines productivos genera actividades como tala-quema para el establecimiento de áreas de cultivo y zonas de actividad pecuaria especialmente sobre áreas aledañas a cauces.																																
<b>EFFECTOS ADVERSOS</b>			<b>ACCIONES A DESARROLLAR</b>																													
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estancamiento de la sucesión vegetal</li> <li>- Pérdida de la diversidad y especies nativas.</li> <li>- Pérdida de regulación del régimen hídrico.</li> <li>- Mayor vulnerabilidad a la pérdida de nutrientes por suelos desnudos expuestos.</li> <li>- Creación de áreas de vivienda y productivas.</li> </ul>			<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Recuperación del paisaje con siembra de especies nativas.</li> <li>2. Aislamiento de zonas aledañas a los cauces (30mt).</li> <li>3. Siembra de especies nativas protectoras del cauce y de recuperación de suelo.</li> </ol>																													
<b>SEGUIMIENTO Y MONITOREO</b>																																
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Registro fotográfico de áreas que serán restituidas con informes desarrollados por las juntas de acción comunal o del acueducto.</li> <li>- Jornadas ecológicas con la comunidad (Escuelas, Colegios) para verificar el crecimiento, desarrollo y mantenimiento de las zonas en recuperación.-</li> </ul>																																
<b>COSTOS</b>																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">ITEM O RECURSO</th> <th style="width: 20%;">CANTIDAD</th> <th style="width: 20%;">VALOR UNITARIO</th> <th style="width: 30%;">VALOR TOTAL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Alambre</td> <td>4 bultos</td> <td>80000</td> <td>320000</td> </tr> <tr> <td>postes</td> <td>200</td> <td></td> <td>----</td> </tr> <tr> <td>grapas</td> <td>3 kilos</td> <td>8000</td> <td>24000</td> </tr> <tr> <td>jornada ecológica</td> <td>-----</td> <td>-----</td> <td>---</td> </tr> <tr> <td>refrigerios</td> <td>50</td> <td>2000</td> <td>100000</td> </tr> <tr> <td><b>TOTAL</b></td> <td></td> <td></td> <td><b>440.000</b></td> </tr> </tbody> </table>					ITEM O RECURSO	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL	Alambre	4 bultos	80000	320000	postes	200		----	grapas	3 kilos	8000	24000	jornada ecológica	-----	-----	---	refrigerios	50	2000	100000	<b>TOTAL</b>			<b>440.000</b>
ITEM O RECURSO	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL																													
Alambre	4 bultos	80000	320000																													
postes	200		----																													
grapas	3 kilos	8000	24000																													
jornada ecológica	-----	-----	---																													
refrigerios	50	2000	100000																													
<b>TOTAL</b>			<b>440.000</b>																													
<b>RESPONSABLE:</b> Beneficiarios Acueducto Campamento –Cabildo Indígena-Alcaldía Puracé																																
<b>INSTITUCIONES DE APOYO:</b> Universidad del Cauca-GEA, SENA, UMATA, Colegios agropecuarios.																																

Tabla 36. Mejoramiento en la Calidad del agua

MEJORAMIENTO EN LA CALIDAD DEL AGUA		Ficha: 05	
			
<b>OBJETIVO</b>			
Corregir y mitigar actividades que alteran la calidad fisicoquímica del agua.			
Actividad: Disminución de la calidad del agua		Componente: Hídrico	
<b>RAZÓN DEL PROGRAMA</b>			
En la zona aledaña a la fuente de abastecimiento se realizan actividades productivas de tipo agrícola y pecuario, así como la ubicación de viviendas en cercanía a los cauces.			
<b>EFEKTOS A MITIGAR</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alteración de la calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua.</li> <li>• Cambio de las comunidades de macroinvertebrados por aumento de materia orgánica.</li> </ul>			
<b>ACCIONES A SEGUIR PARA EL RECURSO AGUA</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Implementación de filtros en la entrada de bocatoma y tanques de almacenamiento.</li> <li>• Gestionar la implementación de letrinas o pozos sépticos para disminuir el impacto sobre el recurso hídrico.</li> <li>• No utilizar áreas cercanas a las fuentes hídricas con fines productivos agropecuarios.</li> <li>• Educación ambiental en la no contaminación por basuras ni residuos líquidos.</li> <li>• Educación ambiental en la utilización de bioabonos y optimización de áreas productivas.</li> </ul>			
<b>SEGUIMIENTO Y MONITOREO</b>			
Registro de la valoración fisicoquímica y bacteriológica del agua para verificar su mejoramiento; (semestral ó anual).			
Recolección y de macroinvertebrados para complementar la valoración de la calidad de agua.			
<b>COSTOS</b>			
<b>ITEM O RECURSO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
Análisis Fisicoquímicos y bacteriológico	6	95000	570.000
Recolección De MAE	2	20000	40.000
Implementación de pozos sépticos.	Por definir	1.200.000	1.200.000
<b>TOTAL</b>			Por definir
<b>RESPONSABLE:</b> Beneficiarios Acueducto Campamento –Cabildo Indígena-Alcaldía Puracé			
<b>INSTITUCIONES DE APOYO:</b> Universidad del Cauca-GEA, SENA, UMATA, Colegios agropecuarios.			

## 7. CONCLUSIONES

La evaluación de la calidad del agua mediante parámetros fisicoquímicos, biológicos y bacteriológicos indica que se trata de aguas medianamente contaminadas lo cual no afecta drásticamente el ecosistema acuático, sin embargo, la presencia de coliformes totales y fecales hace que el agua en la zona de estudio no sea apta para consumo humano.

Variables fisicoquímicas como oxígeno disuelto, porcentaje de saturación, temperatura, DBO<sub>5</sub>, y potencial de oxidación – reducción se encuentran dentro del rango de aguas naturales y no constituye limitante para la biota acuática ni para consumo humano.

El análisis de los nutrientes nitrógeno y fósforo, indica altas concentraciones que pueden repercutir sobre la salud humana, están ocasionadas por el desarrollo de actividades productivas y en el caso del nitrógeno también por influencia volcánica.

Se reportaron Coliformes totales y fecales en todos los sitios de muestreo, es decir, a lo largo de la red de distribución del acueducto, indicando que el agua contaminada llega a todas las viviendas constituyendo un factor de especial importancia debido a la influencia directa sobre la salud humana por presentar bacterias del género *Escherichia*, asociada a enfermedades gastrointestinales.

El muestreo de macroinvertebrados acuáticos indica la presencia de organismos indicadores de diferentes tipos de ecosistemas, trófico, oligotrófico y medianamente eutroficado que varían de acuerdo a las épocas y entre los sitios de colecta, especialmente favorecidos por el incremento en las concentraciones de nutrientes durante la época de lluvias.

El índice de diversidad de Shannon Weaver en las estaciones de muestreo sugiere mediana diversidad y mediana contaminación con prevalencia de algunas familias como Leptoceridae (*Triplectides*), en la bocatoma y Hirudinea en el tanque 1.

La aplicación de los índices de calidad del agua (ICA), coincide con la evaluación fisicoquímica y biológica denotando agua de buena calidad, expuesta a algún tipo de amenaza por tensiones naturales o antrópicas, de igual modo, la clasificación otorgada por los índices no refleja necesariamente condiciones óptimas para el uso que se le da al sistema en cuestión debido a que siendo utilizada para consumo humano debe cumplir con estrictas normas de calidad.

El agua destinada a consumo humano en la zona de estudio no cumple con las normas de calidad exigidas para tal fin, sin embargo si es apta para uso agrícola, de acuerdo con la normatividad vigente.

La reducción de las coberturas naturales que regulan el ciclo hidrológico (bosques y páramos) afectan las condiciones de oferta en cantidad, calidad y disponibilidad futura del recurso para consumo humano, por ello las actividades de conservación ó gestión

deben enfocarse hacia las zonas altas dada la direccionalidad del cambio en el uso del suelo.

Según el análisis de cambios en usos del suelo, las actividades antrópicas (expansión de cultivos y pastos) alcanzan el área del PNN Puracé incidiendo en el mantenimiento de la oferta ambiental de los ecosistemas protegidos bajo esta figura.

La evaluación de impacto ambiental permitió identificar el desarrollo de actividades productivas de tipo agrícola y pecuaria como las principales fuentes de contaminación del recurso hídrico.

La no implementación de sistemas de saneamiento en algunas viviendas del sector ocasiona alteración fisicoquímica y bacteriológica de las fuentes de agua.

Teniendo en cuenta los resultados de este trabajo es evidente la necesidad de implementar sistemas de potabilización y de mejoramiento en la red distribución del recurso que puedan garantizar la calidad del agua destinada al consumo humano en el sector.

La población objeto del presente estudio hace parte del cabildo indígena de Puracé por medio del cual se adelantan acciones en el marco del plan de vida de la comunidad y es pilar fundamental el componente ambiental dada la cosmovisión del indígena frente a la naturaleza.

Teniendo en cuenta la cosmovisión de la comunidad de Puracé y la presencia institucional de la unidad de parques, se tiene la posibilidad de convertir a los pobladores en actores en la implementación de medidas de mejoramiento de la calidad de vida y del ecosistema mediante la estrategia propuesta en este documento.

Por lo anterior se acepta la hipótesis ya que en la **microcuenca estudiada existen alteraciones en la calidad del agua que está siendo utilizada para consumo humano; el detrimento se debe a la implementación de actividades antrópicas.**

## 8. RECOMENDACIONES

Dar a conocer los resultados de este trabajo a la comunidad y autoridades competentes, para que tengan un conocimiento de la problemática de la zona de estudio.

Es necesario tener en cuenta los resultados de este trabajo como herramienta en la gestión de proyectos encaminados a mejorar la calidad de vida de los habitantes de la zona de estudio mediante el mejoramiento en la calidad del agua.

Con el fin de evaluar las tendencias y periodicidad de las variables fisicoquímicas al igual que los ciclos de vida de los macroinvertebrados acuáticos encontrados en las estaciones de muestreo, se deben realizar muestreos durante lapsos de tiempo mayores.

Teniendo en cuenta el uso del recurso hídrico en la zona es necesario implementar medidas de mitigación y recuperación de zonas aledañas al cauce especialmente en el sector de la Bocatoma, de tal manera que se garantice la disponibilidad y calidad del agua.

Teniendo como base los resultados de este trabajo en cuanto al análisis fisicoquímico y bacteriológico, es necesario realizar un continuo monitoreo sobre las fuentes de abastecimiento, red de distribución y viviendas, debido a que puede estar en riesgo la salud humana, por enfermedades ocasionadas por altas concentraciones de nutrientes (nitratos, fosfatos, cloruros), o por bacterias patógenas, reportadas en esta investigación.

En cuanto al análisis espacial, se hace necesario efectuar un análisis mas detallado sobre la composición actual de las coberturas y del uso del suelo en la zona de trabajo.

## 9. BIBLIOGRAFIA

ANDUJAR, E y HENAO, M. Evaluación de la calidad del agua de la microcuenca del río Sucio (región Patía) y su relación con el cambio en las coberturas vegetales. Trabajo de grado (Biólogo). Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación. 100 p. 2008.

CALVENTE, A. Ciclo de renovación adaptativa. Universidad abierta interamericana. Centro de altos estudios globales. 2007.

CAMPUZANO, M. Calidad biológica y fisicoquímica del río Grande en el área de influencia del municipio de Puracé, Coconuco, departamento del Cauca. Trabajo de grado (Biología). Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Naturales Exactas y Educación, Departamento de Biología. 2004.

CASTAÑO, C. Páramos y ecosistemas altoandinos de Colombia en condición Hotspots y Global Climatic Tensor. Bogotá: IDEAM, 2001. p. 361-170.

CASTELLANOS, M. y SERRATO, C. Diversidad de macroinvertebrados acuáticos en un nacimiento de río en el Páramo de Santurbán, Norte de Santander. Revista Académica Colombiana de Ciencias, Vol. 32 No. 122. 2008.

CLEMENTS, F. Plant Succession: An Analysis of the Development of Vegetation, Carnegie Institution of Washington, Publication 242. 1916.

CONCHA, C; FIGUEROA, A; ZAMBRANO, L; VALVERDE, A; DELGADO, D; ARTUNDUAGA, D; y MOSQUERA A. Plan de manejo ambiental para un transecto del río Molino (bocatoma acueducto Tulcán – barrio Yanaconas), municipio de Popayán. Grupo de estudios ambientales – GEA, Universidad del Cauca. 2005.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA CVC. Procedimientos Metodológicos de planificación en cuencas hidrográficas, Subdirección de recursos naturales, Cali, 1995.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA CRC. Agenda de ordenamiento territorial, diagnóstico territorial, municipio de Puracé departamento del Cauca, 2000.

\_\_\_\_\_. Esquema de ordenamiento territorial, diagnóstico territorial, municipio de Puracé departamento del Cauca, 2000.

\_\_\_\_\_. Esquema de ordenamiento territorial, Código urbano, municipio de Puracé, departamento Del Cauca, 2000.

\_\_\_\_\_. Esquema de ordenamiento territorial,. Proyecto de acuerdo, municipio de Puracé, Cauca, 2000.

\_\_\_\_\_. Agenda ambiental, Municipio de Puracé, riqueza y futuro para el país, 2000.

\_\_\_\_\_. Guía para la formulación de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas del departamento del Cauca. Popayán, 2005.

CHUVIECO, E. Fundamentos de Teledetección Espacial. 3 ED. Madrid: Ediciones Rialp. 1996. 568 p

DÍAZ, E. B. y PAZ, L. P. Evaluación del régimen de humedad del suelo bajo diferentes usos, en los páramos las Animas (municipio de Silvia) y Piedra de León (municipio de Sotará). Departamento del Cauca. Fundación universitaria de Popayán, 2002.

ESPINOZA, G. Gestión y fundamentos de evaluación de impacto ambiental. Banco Interamericano de desarrollo BIED, Santiago de Chile, 2002.

FERNÁNDEZ, N. y ORTEGA, F. Índices de Calidad y de contaminación del agua. Universidad de Pamplona. 2007

FIGUEROA, A; CONTRERAS, Rafael; y SÁNCHEZ, Juan. Evaluación de Impacto Ambiental. Un instrumento para el Desarrollo. Cali: Corporación Universitaria Autónoma de Occidente. 1998.

GENTRY, A. A field guide to the families and genera of woody plants of northwest South America (Colombia, Ecuador, Perú). Washington, DC: Conservation International. 1993. 895 p.

GODET, M. La caja de herramientas de la prospectiva estratégica. Librairie des Arts et Métiers: Paris, 2000.

GONZALES, M. E , SANTACOLOMA, S. Calidad del Agua en los ríos Tuluá y Morales, zona urbanas del municipio de Tuluá; Estudio Biológico y Físicoquímico. Unidad Central del Valle del Cauca. 2007.

HERNÁNDEZ, J. y SÁNCHEZ, H. Biomas terrestres de Colombia. En: La Diversidad Biológica de Iberoamérica-Colombia, [Disco]. Available from: [www.ecologia.edu.mx/pubs/biodiv/bdcolbim.htm](http://www.ecologia.edu.mx/pubs/biodiv/bdcolbim.htm). 2000.

HOFSTEDE, R. Los páramos andinos; su diversidad, sus habitantes, sus problemas y sus perspectivas: Un breve diagnóstico regional del estado de conservación de los páramos. En: Proyecto Páramo: Últimas Noticias N37-78 Quito. 2003.

\_\_\_\_\_, R. Gestión de Servicios Ambientales y Manejo de Áreas Naturales en Cuencas Andinas, Quito – Ecuador. 2001.

\_\_\_\_\_, R. y MENA, P. Los beneficios escondidos del páramo: Servicios ecológicos e impacto humano, Quito, Ecuador. 2000.

HOLLING, C. S. Understanding the Complexity of Economic, Ecological, and Social Systems. *Ecosystems*. V4, 2001. 390-405 p.

IDEAM. Sistema de información ambiental de Colombia –SIAC-. Primera generación de indicadores de línea base de la información ambiental de Colombia. Tomo II. Bogotá.2002. 827 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACOS. Compendio de normas técnicas Colombianas sobre documentación: Presentación y elaboración de tesis de grado y trabajos científicos. Bogotá. 2007.

JOAQUI, S. Análisis Multitemporal de las coberturas vegetales para Ecotopos Paramunos en el parque nacional natural Puracé utilizando sistemas de información geográfica. Popayán. Trabajo de grado (Biólogo). Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación. 2005. 180 p.

MARTÍNEZ, P. Efecto del vertimiento de aguas residuales domésticas en la calidad biológica de la quebrada Quitacalzòn (municipio de Popayán). Popayán. Trabajo de grado (Biología). Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Naturales Exactas y Educación, Departamento de Biología. 2003.

MARTÍNEZ, J. P. Estudio espacio temporal del proceso de fragmentación en la zona nor-oriental del parque nacional natural Puracé, mediante el análisis de las comunidades vegetales. Trabajo de grado (Biólogo). Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación. 2005. 126 p.

MARTÍNEZ, J. P; FIGUEROA, A; JOAQUI, S; HECK, V, CASTAÑEDA, D. Elaboración de una ortofoto para el área piloto del proyecto ARIADNA. Informe Técnico. Proyecto ARIADNA adquisición remota de información ambiental para diagnóstico y gestión de recursos naturales. Universidad del Cauca COLCIENCIAS-CINTEL .2003. 19p.

MENDOZA, H. y RAMIREZ, B. Plantas con flores de la planada. Guía ilustrada de familias y géneros. Bogotá: Fundación para la Educación Superior-Social - FES; Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt; Fondo Mundial para la Naturaleza - WWF, 2002. 244p. -

MARQUES DE CANTU, M. J. Probabilidad y Estadística para ciencias Químico-Biológicas. Mc Graw Hill, México. 1998. P284-287,307-311,326-333.

MAZABUEL, O. El páramo territorio sagrado de la comunidad indígena de Puracé En: <http://www.macizocolombiano.org/index.phpservicioNoticias.funcionverid18>.2006.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Centro de estudios de ordenación del territorio. Guía para la elaboración de estudios del medio físico: Contenido y Metodología. 1984, 284-294p

\_\_\_\_\_. Dirección general de ecosistemas programa para el manejo sostenible y restauración de ecosistemas de la alta montaña colombiana: PARAMOS. 2001.

\_\_\_\_\_. Guía ambiental para sistemas de acueducto. 2002.

MOLANO, J. universidad Nacional de Colombia En: El páramo, ecosistema a proteger. Volumen II. 1999.

MUÑOZ, N M. Efecto de la construcción de la pequeña central hidroeléctrica Patico- la Cabrera sobre la calidad biológica del rio Cauca, Trabajo de grado (Biología) 2004.

RAMIREZ, B. Universidad del Cauca En: Practicas de Ecología Vegetal. Popayán, 1999.

RANGEL, O. Colombia Diversidad Biótica III: la Región de vida Paramuna. Bogotá: Unibiblos, 2000. 902 p. ISBN 958-701-010-8.

\_\_\_\_\_. Biodiversidad en la región del páramo: con especial referencia a Colombia. En: Congreso Mundial De Páramos. (2002), Simposio Historia natural y aspectos biogeográficos del páramo. Bogotá: Ministerio Del Medio Ambiente, CAR, IDEAM, Conservación Internacional. Tomo I, 2002. 987 p.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. Guías para la calidad del agua potable. Primer apéndice a la tercera edición.2006.

ROMERO, J. Calidad de aguas. Escuela Colombiana de Ingenierías. 2 Ed. Bogotá. 2005. 461p.

ROLDAN, G. Fundamentos de Limnología Neotropical. Medellín: Universidad de Antioquia, 1992.

\_\_\_\_\_.Guía para el Estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia. Fondo FEN Colombia. COLCIENCIAS. Universidad de Antioquia, 1996.

\_\_\_\_\_, Biondicación de la calidad de aguas en Colombia. Uso del método BMWP/Col, 170 p. Primera edición. Medellín. Colombia: Editorial Universidad de Antioquia; 2003.

UAESPNN. Proyecto de desarrollo sostenible ECOANDINO, parque nacional natural de Puracé, 2003.

\_\_\_\_\_. Plan de manejo institucional del parque nacional natural de Puracé, versión preliminar, 2002.

STANIER, R; VILLANUEVA J; GUERRERO, R. Microbiología. Ed, Revertè. 1996. 760p. ISBN 8429118683, 9788429118681

UNIVERSIDAD DEL CAUCA. Guía de análisis bacteriológico, programa de biología.

UNIVERSIDAD DEL CAUCA- COLCIENCIAS. Estrategia integral para la gestión y uso sostenible del recurso hídrico en el sur occidente colombiano, soportado en la consolidación del sistema de información regional del agua (SIRA). 2005.

VANNOTE, R.L; MINSHALL, G.W; CUMMINS, K.W; SEDELL, J. R & CUSHING, C. E. The river continuum concept. In: Can. J. Fish Aquat. Sci. 37. 130-137, 1980.

VÁSQUEZ, G; ZAMORA, H; NAUNDORF, G. Variación en función de tiempo y espacio de las características físico-químicas hídricas en el embalse la Salvajina, Departamento del Cauca. Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Naturales Exactas y de la Educación, 2000.

VÁSQUEZ, G. Caracterización fisicoquímica de cuerpos de agua natural. Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación, Departamento de Biología. Popayán, 2001.

VIDAL, P. Y. Determinación de la sensibilidad a la acidificación del agua de precipitación en una franja del ecosistema alto-andino del parque nacional natural de Puracé. Trabajo de grado (Biólogo). Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias. 2004.

ZAMBRANO, L. y VALVERDE, A. Los indicadores y la evaluación ambiental. Popayán: Editorial Universidad del Cauca, 1998. 23 p.

ZAMBRANO, L. y FIGUEROA, A. Los recursos vegetales y su gestión para el desarrollo del cauca.1999.

ZAMORA, H. Macroinvertebrados dulceacuícolas en los diferentes pisos altitudinales del departamento del Cauca. Fase I (1991) y Fase II (1993).

\_\_\_\_\_. Análisis Biogeográfico de los macroinvertebrados acuáticos epicontinentales (MAE) en el departamento del Cauca, Colombia. En: Unicauca Ciencia, Ed. Universidad del Cauca. Vol. 5. 2000.

\_\_\_\_\_.El índice BMWP y la evaluación biológica de la calidad del agua en los ecosistemas acuáticos epicontinentales naturales de Colombia, Grupo de Estudios en Recursos Hidrobiológicos Continentales, Universidad del Cauca. Popayán. 2003.

ZÚÑIGA, M; ROJAS, A; MOSQUERA, S. Biological Aspects of Ephemeroptera in rivers of Southwestern Colombia (South America). Ephemeroptera & Plecóptera: Biology- Ecology- Systematics. Landolt & M. sartori Ed.1997.

## ANEXOS

### Anexo 1. Evaluación de la calidad del Agua en Pilimbalà PNN Puracé

La fuente de abastecimiento para el sector de Pilimbalà es la quebrada Pajoy, en sus alrededores encontramos actividades de uso ocupación y poblamiento; establecimiento de áreas de cultivo, ubicación de viviendas en zonas de ladera y aledañas al cauce y actividad pecuaria.

Atendiendo la necesidad de disponer de agua apta para consumo humana necesaria para abastecer a los habitantes del sector así como para el servicio de visitantes y turistas se presenta a continuación el comportamiento de las variables fisicoquímicas evaluadas:

Figura 39. Oxígeno Disuelto (mg/L)

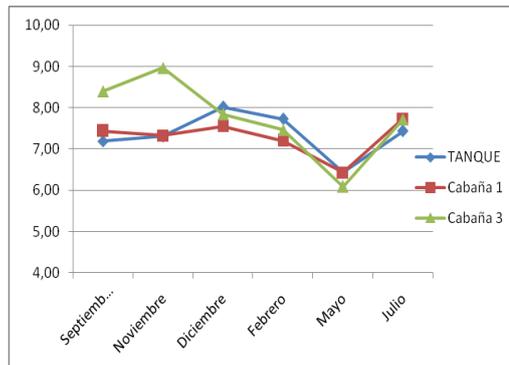
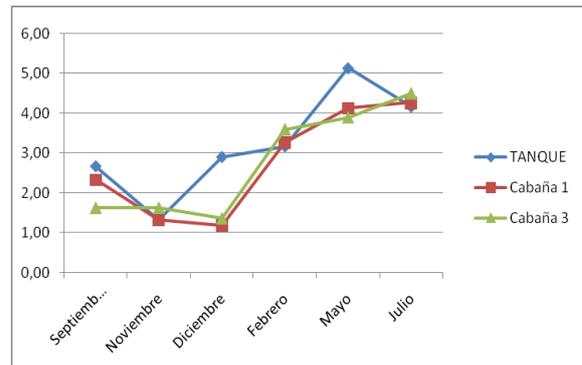


Figura 40. Turbiedad (NTU)



EL rango de datos para la variable Oxígeno Disuelto ( 6.02mg/L- 8.97 mg/L) no constituye limitante para el desarrollo de la biota acuática, se observa una tendencia a disminuir en el periodo de lluvia.

La variable turbiedad por el contrario tiende a aumentar presentandose los menores valores en las épocas de pocas lluvias, el rango de datos ( 1.19 NTU-5.13NTU), es característico de aguas naturales.

Figura 41. pH

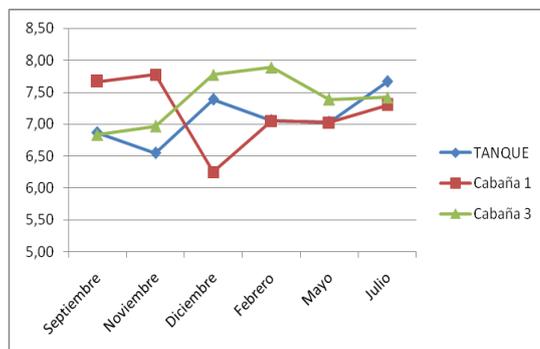


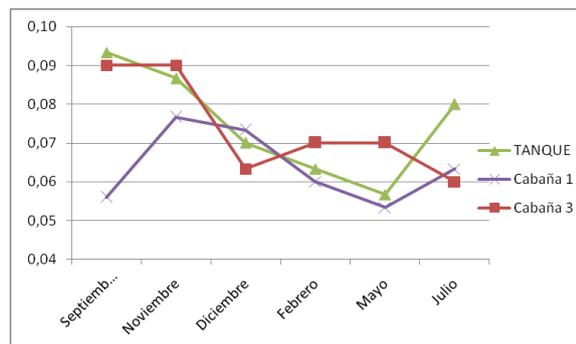
Figura 42. Nitratos (mg/L)



La variable pH evidencia diferencias no significativas ( $\alpha=0.05$ ) entre estaciones de muestreo, el rango de datos (6.25-7.89), es característico de aguas naturales .

La variable Nitratos, registra un rango de datos de (0.11mg/L- 1.99mg/L), que no constituye limitante para la biota acuática, Sin embargo se consideran valores altos .(Vasquez 2000). para aguas naturales, esto se explica por que las cargas de nitrógeno amoniacal, son oxidadas rápidamente por acción bacteriana en medio aeróbico y pasan a ser nitritos y finalmente nitratos para ser nutrientes como parte del ciclo del nitrógeno.

Figura 43. Fosfato (mg/L)



Aunque el registro de datos no sobrepasa los límites para agua natural (0.01 mg/L a 1mg/L), Se debe tener en cuenta este parámetro debido al desarrollo de actividades productivas de tipo agrícola y pecuario, que se llevan a cabo en la zona, las cuales pueden incrementar las concentraciones de fosfato en las fuentes hídricas, constituyendo amenaza para la salud humana. De igual modo el incremento en la concentración de este ion en época de pocas lluvias está asociado a procesos de reducción (Vasques 2001)

Teniendo en cuenta el uso que se le da recurso en la zona y de acuerdo con la normatividad de agua para consumo humano (resolución 2115/07) resulta importante mencionar las siguientes características:

- El rango de datos para la variable Turbiedad es mayor que el valor permitido (2NTU).
- El registro de datos para la variable Nitratos es mayor que el valor permitido en la norma (1mg/L), y requiere especial atención por tener cierto grado de incidencia en la salud humana.

A continuación se muestra el registro de datos para el análisis físicoquímico y bacteriológico, el cual no se encuentra dentro de los valores admisibles para agua destinada al consumo humano; Situación que debe manejarse con especial cuidado por la presencia de bacterias patógenas como E. Coli, asociada a enfermedades gastrointestinales

Tabla 37. Datos Fisicoquímicos en las cabañas de Pilimbalà

Estación	Mes	Tº C	Cd Es mS/cm	Cond. mS/cm	TDS g/L	Salind ppm	OD %	OD (mg/L)	pH	ORP	NH4+ (mg/L)	NH3 (mg/L)	CL- (mg/L)	NO3- (mg/L)	turbidez NTU	Fosfatos mg / L
TANQUE	Sept	10,02	25,00	24,00	0,02	0,01	96,83	7,19	6,86	169,30	0,08	0,01	1,63	0,40	2,67	0.09
	Nov	10,06	25,67	24,33	0,02	0,01	97,30	7,30	6,55	185,88	0,06	0,00	1,83	0,43	1,33	0.09
	Dic.	10,43	44,63	44,63	0,03	0,02	102,56	8,02	7,39	226,97	0,14	0,03	0,33	0,50	2,90	0.07
	Feb.	8,03	56,43	56,43	0,04	0,03	102,50	7,73	7,06	102,10	1,76	0,02	2,43	0,11	3,17	0.06
	May	10,27	44,80	44,80	0,03	0,02	74,37	6,42	7,03	219,13	1,76	0,02	0,36	0,20	5,13	0.06
	Jul.	8,13	59,67	52,27	0,04	0,03	98,40	7,43	7,66	163,97	0,70	1,61	0,76	1,07	4,17	0.08
Cabaña 1	Sept	10,04	36,33	32,23	0,04	0,03	98,40	7,43	7,66	163,97	0,05	1,61	0,76	0,66	2,33	0.06
	Nov	10,60	27,33	27,33	0,03	0,01	99,37	7,32	7,77	180,50	0,04	1,75	0,81	0,49	1,33	0.08
	Dic.	9,81	27,00	25,33	0,02	0,01	88,97	7,55	6,25	210,23	1,33	0,02	0,31	0,22	1,19	0.07
	Feb.	7,89	43,80	43,80	0,03	0,02	97,63	7,20	7,05	102,27	1,68	0,02	1,24	0,24	3,27	0.06
	May	9,90	45,10	45,10	0,03	0,02	73,73	6,43	7,03	207,47	1,40	0,03	0,34	0,30	4,13	0.05
	Jul.	8,90	37,00	41,33	0,03	0,02	77,37	7,73	7,30	161,87	1,02	2,00	0,36	1,99	4,27	0.06
Cabaña 3	Sept	10,60	25,33	23,33	0,02	0,01	100,57	8,40	6,83	162,93	0,08	0,00	1,31	0,81	1,63	0.09
	Nov	9,96	28,33	28,33	0,03	0,01	99,90	8,97	6,97	182,67	0,05	0,00	1,31	0,81	1,63	0.09
	Dic.	8,60	35,13	35,13	0,04	0,02	96,55	7,84	7,77	202,70	0,98	0,00	0,32	0,50	1,37	0.06
	Feb.	7,98	42,47	42,47	0,03	0,02	94,67	7,46	7,89	100,20	1,71	0,01	2,12	0,18	3,60	0.07
	May	9,86	44,83	44,83	0,03	0,02	78,53	6,09	7,39	226,97	1,01	0,02	0,33	0,50	3,90	0.07
	Jul.	8,97	37,00	42,10	0,03	0,02	72,87	7,72	7,42	182,77	1,02	1,63	0,38	1,79	4,50	0.06

Tabla 38. Recuentos de colonias Análisis bacteriológicos

Prueba bacteriológica	INVIERNO			VERANO		
	Tanque	Cabaña 1	Cabaña 3	Tanque	Cabaña 1	Cabaña 3
Coliformes Totales UFC/100ml	160000	140000	187000	680000	580000	620000
Coliformes Fecales UFC/100ml	1 x 10 <sup>2</sup>	0 x 10 <sup>2</sup>	0 x 10 <sup>2</sup>	2 x 10 <sup>2</sup>	1 x 10 <sup>2</sup>	0 x 10 <sup>2</sup>

Anexo 2. Estadística descriptiva para todos los datos colectados en campo:

Variable		Fecha	Media	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
SUPERFICIE	TEMPERATURA (T°C)	Septiembre	9,9782	0,25784	9,4316	10,5248	8,54	11,65
		Noviembre	11,9228	0,65195	10,5473	13,2983	7,2	15,4
		Diciembre	10,0053	0,32222	9,3283	10,6822	7,2	11,9
		Febrero	7,7633	0,04413	7,6702	7,8564	7,59	8,05
		Mayo	11,4778	0,35769	10,7231	12,2324	8,5	13,8
		Julio	10,2739	0,30607	9,6281	10,9197	8,1	12,3
		Septiembre	10,1053	0,36937	9,3223	10,8883	7,18	12,3
PROFUNDIDAD	TEMPERATURA (T°C)	Noviembre	12,0511	0,7138	10,5451	13,5571	7,1	16
		Diciembre	9,6474	0,38725	8,8338	10,461	7,1	11,6
		Febrero	7,6006	0,05951	7,475	7,7261	7,03	7,9
		Mayo	10,6722	0,36852	9,8947	11,4497	7,9	12,4
		Julio	10,3833	0,30766	9,7342	11,0324	8,5	12,9
		Septiembre	45,5294	1,88086	41,5422	49,5167	41	66
		Noviembre	38	2,14963	33,4647	42,5353	32	66
SUPERFICIE	CONDUCTIVIDAD (mS/cm)	Diciembre	40,9474	1,56436	37,6608	44,234	36	54
		Febrero	46,0278	1,1595	43,5815	48,4741	42,4	56,8
		Mayo	46,65	0,93057	44,6867	48,6133	44,5	55,6
		Julio	40,2222	2,16109	35,6627	44,7817	33	61
		Septiembre	44,8882	1,47229	41,7671	48,0094	39	61
		Noviembre	37,7222	2,15237	33,1811	42,2633	32	60
		Diciembre	35,0526	1,75131	31,3733	38,732	19	56
PROFUNDIDAD	CONDUCTIVIDAD (mS/cm)	Febrero	46,2056	1,07044	43,9471	48,464	43,8	56,5
		Mayo	46,7889	0,87976	44,9328	48,645	44,3	55,6
		Julio	39,3889	1,65316	35,901	42,8767	34	55
		Septiembre	0,0301	0,0013	0,0274	0,0329	0,03	0,04
		Noviembre	0,0252	0,00146	0,0221	0,0283	0,02	0,04
		Diciembre	0,0277	0,00145	0,0246	0,0307	0,02	0,04
		Febrero	0,0301	0,00098	0,028	0,0322	0,03	0,04
SUPERFICIE	SOLIDOS DISUELTOS TOTALES (mg/L)	Mayo	0,0313	0,00115	0,0289	0,0338	0,03	0,04
		Julio	0,0297	0,00135	0,0268	0,0325	0,02	0,04
		Septiembre	0,0298	0,0011	0,0275	0,0322	0,03	0,04
		Noviembre	0,0262	0,00173	0,0225	0,0298	0,02	0,04
		Diciembre	0,0301	0,00184	0,0262	0,034	0,02	0,05
		Febrero	0,0311	0,00122	0,0285	0,0336	0,03	0,04
		Mayo	0,0324	0,00093	0,0304	0,0343	0,03	0,04
PROFUNDIDAD	SOLIDOS DISUELTOS TOTALES (mg/L)	Julio	0,0279	0,00136	0,0251	0,0308	0,02	0,04

Variable		Fecha	Media	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
SUPERFICIE	SALINIDAD	Septiembre	0,0212	0,00081	0,0195	0,0229	0,02	0,03
		Noviembre	0,0156	0,00145	0,0125	0,0186	0,01	0,03
		Diciembre	0,02	0	0,02	0,02	0,02	0,02
		Febrero	0,0217	0,0009	0,0198	0,0236	0,02	0,03
		Mayo	0,02	0	0,02	0,02	0,02	0,02
		Julio	0,0217	0,0009	0,0198	0,0236	0,02	0,03
PROFUNDIDAD	SALINIDAD	Septiembre	0,0212	0,00081	0,0195	0,0229	0,02	0,03
		Noviembre	0,0144	0,00166	0,0109	0,0179	0,01	0,03
		Diciembre	0,0289	0,00458	0,0193	0,0386	0,02	0,08
		Febrero	0,0217	0,0009	0,0198	0,0236	0,02	0,03
		Mayo	0,0217	0,0009	0,0198	0,0236	0,02	0,03
		Julio	0,0217	0,0009	0,0198	0,0236	0,02	0,03
SUPERFICIE	% DE SATURACION DE OXIGENO	Septiembre	98,4688	2,98347	92,1442	104,7935	73,9	111,9
		Noviembre	102,4722	2,52743	97,1398	107,8046	81,5	115,9
		Diciembre	98,5263	2,88986	92,455	104,5977	81,1	113,1
		Febrero	99,0667	0,68875	97,6135	100,5198	94,5	104,6
		Mayo	99,5333	2,86298	93,493	105,5737	83,7	109,7
		Julio	101,7944	2,86016	95,76	107,8288	77	112,8
PROFUNDIDAD	% DE SATURACION DE OXIGENO	Septiembre	97,72	2,99943	91,3615	104,0785	74,4	115,2
		Noviembre	103,7006	2,66722	98,0732	109,3279	81,1	115,2
		Diciembre	108,6626	2,04355	104,3693	112,956	99,2	125,3
		Febrero	98,8622	0,75343	97,2726	100,4518	90,6	102,1
		Mayo	82,3833	8,55425	64,3355	100,4312	89,59	107,3
		Julio	99,4506	3,32697	92,4313	106,4698	71,5	121
SUPERFICIE	OXIGENO DISUELTTO (mg/L)	Septiembre	7,3024	0,22542	6,8245	7,7802	5,37	8,8
		Noviembre	7,7406	0,07304	7,5865	7,8947	7,34	8,27
		Diciembre	7,4984	0,21968	7,0368	7,9599	6,15	8,61
		Febrero	7,1256	0,09398	6,9273	7,3238	6,68	7,82
		Mayo	7,3311	0,21696	6,8734	7,7889	5,4	8,1
		Julio	7,7011	0,10119	7,4876	7,9146	7,12	8,64
PROFUNDIDAD	OXIGENO DISUELTTO (mg/L)	Septiembre	7,4154	0,17848	7,037	7,7938	6	8,6
		Noviembre	7,6989	0,08118	7,5276	7,8702	7,13	8,3
		Diciembre	8,0205	0,0815	7,8493	8,1918	7,59	8,6
		Febrero	7,0461	0,12512	6,7821	7,3101	6,61	8,71
		Mayo	23,5767	8,85936	4,8851	42,2683	5,45	105,3
		Julio	7,7144	0,0919	7,5206	7,9083	7,2	8,53

Variable		Fecha	Media	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
SUPERFICIE	POTENCIAL DE HIDROGENO PH	Septiembre	7,1725	0,07669	7,01	7,3351	6,7	7,5
		Noviembre	6,8894	0,02338	6,8401	6,9388	6,7	7,04
		Diciembre	6,4621	0,05288	6,351	6,5732	6,13	6,85
		Febrero	7,76	0,03878	7,6782	7,8418	7,61	8,06
		Mayo	7,5572	0,07246	7,4043	7,7101	6,92	8,08
		Julio	7,2983	0,04587	7,2016	7,3951	7,06	7,7
PROFUNDIDAD	POTENCIAL DE HIDROGENO PH	Septiembre	7,1165	0,07308	6,9615	7,2714	6,6	7,59
		Noviembre	6,8178	0,03178	6,7507	6,8848	6,5	7,01
		Diciembre	6,53	0,04501	6,4354	6,6246	6,26	6,86
		Febrero	7,6239	0,0896	7,4348	7,8129	6,75	8,05
		Mayo	7,5272	0,07557	7,3678	7,6867	6,98	7,98
		Julio	7,2911	0,04957	7,1865	7,3957	6,88	7,61
SUPERFICIE	Potencial de Oxido-Reducción	Septiembre	315,4071	39,7581	231,1237	399,6905	157,06	489,4
		Noviembre	186,4333	18,83736	146,69	226,1767	149,8	503,3
		Diciembre	206,9684	4,13464	198,2819	215,655	151,4	229
		Febrero	102,3833	1,26691	99,7104	105,0563	94,6	108,2
		Mayo	222,0278	3,59039	214,4527	229,6028	195,3	242,5
		Julio	195,6667	6,95262	180,9979	210,3354	158,8	235,9
PROFUNDIDAD	Potencial de Oxido-Reducción	Septiembre	375,1718	37,92343	294,7777	455,5658	169	497,08
		Noviembre	181,3667	17,75764	143,9013	218,832	132,4	478,9
		Diciembre	206,7095	4,37547	197,5169	215,902	135,4	223,8
		Febrero	110,1778	3,86141	102,0309	118,3246	96,8	168,6
		Mayo	223,5778	3,08211	217,0751	230,0805	202,2	243,1
		Julio	209,8944	5,18517	198,9547	220,8342	178,6	241,2
SUPERFICIE	AMONIO (mg/L)	Septiembre	0,1022	0,00566	0,0902	0,1142	0,06	0,14
		Noviembre	0,1872	0,02205	0,1407	0,2337	0,1	0,38
		Diciembre	6,0046	0,97614	3,9538	8,0554	0,32	11,53
		Febrero	6,5826	0,7754	4,9466	8,2185	3,8	12,09
		Mayo	0,2588	0,01884	0,219	0,2985	0,14	0,4
		Julio	0,5317	0,05241	0,4211	0,6422	0,11	0,8
PROFUNDIDAD	AMONIO (mg/L)	Septiembre	0,1066	0,00442	0,0973	0,116	0,08	0,14
		Noviembre	0,2052	0,02947	0,143	0,2673	0,1	0,52
		Diciembre	5,0076	0,89482	3,1277	6,8876	0,49	11,97
		Febrero	4,7162	0,68619	3,2684	6,1639	0,41	10,1
		Mayo	0,2682	0,06465	0,1318	0,4046	0,02	1,29
		Julio	0,5828	0,06177	0,4525	0,7131	0,2	0,9

Variable		Fecha	Media	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
SUPERFICIE	AMONIACO (mg/L)	Septiembre	0	0	0	0	0	0
		Noviembre	0,0028	0,00109	0,0005	0,0051	0	0,01
		Diciembre	0,0099	0,00238	0,0049	0,0149	0,01	0,05
		Febrero	0,0231	0,00236	0,0181	0,0281	0,01	0,04
		Mayo	0,03	0,00745	0,0143	0,0457	0,01	0,12
		Julio	1,2543	0,18296	0,8683	1,6403	0,1	2,26
PROFUNDIDAD	AMONIACO (mg/L)	Septiembre	0	0	0	0	0	0
		Noviembre	0,0029	0,00107	0,0006	0,0052	0	0,01
		Diciembre	0,0062	0,0005	0,0051	0,0072	0	0,01
		Febrero	0,0176	0,00189	0,0136	0,0215	0,01	0,03
		Mayo	0,04	0,01381	0,0109	0,0691	0,01	0,2
		Julio	1,3885	0,09068	1,1972	1,5798	0,71	1,83
SUPERFICIE	NITRITOS (mg/L)	Septiembre	0,5254	0,07584	0,3646	0,6862	0,14	1,01
		Noviembre	0,5991	0,02477	0,5468	0,6513	0,5	0,81
		Diciembre	0,4502	0,03994	0,3663	0,5341	0,17	0,75
		Febrero	0,2272	0,01775	0,1897	0,2646	0,16	0,38
		Mayo	0,35	0,02459	0,2981	0,4019	0,2	0,5
		Julio	2,5377	0,08496	2,3585	2,717	2,08	3,26
PROFUNDIDAD	NITRITOS (mg/L)	Septiembre	0,4306	0,05421	0,3156	0,5455	0,14	0,85
		Noviembre	0,5733	0,02592	0,5186	0,628	0,32	0,7
		Diciembre	0,3916	0,03184	0,3247	0,4585	0,19	0,55
		Febrero	0,2922	0,02511	0,2393	0,3452	0,21	0,6
		Mayo	0,3333	0,03333	0,263	0,4037	0,2	0,5
		Julio	2,5283	0,05245	2,4177	2,639	2,18	3,07
SUPERFICIE	CLORUROS (mg/L)	Septiembre	0,7048	0,0555	0,5872	0,8225	0,31	0,99
		Noviembre	2,1061	0,1393	1,8122	2,4	0,32	3,3
		Diciembre	0,7895	0,19591	0,3779	1,2011	0,16	3,32
		Febrero	1,4083	0,10074	1,1958	1,6208	0,91	2,04
		Mayo	0,3414	0,01087	0,3185	0,3644	0,31	0,52
		Julio	0,4081	0,04404	0,3152	0,501	0,28	0,91
PROFUNDIDAD	CLORUROS (mg/L)	Septiembre	0,5714	0,0291	0,5097	0,6331	0,4	0,79
		Noviembre	2,2387	0,16006	1,901	2,5764	0,41	4,01
		Diciembre	0,5959	0,13601	0,3101	0,8816	0,26	3,01
		Febrero	1,1449	0,03839	1,0639	1,2259	0,84	1,61
		Mayo	0,3534	0,0099	0,3326	0,3743	0,27	0,42
		Julio	0,3383	0,01531	0,306	0,3706	0,13	0,43

Variable		Fecha	Media	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
					SUPERFICIE	TURBIEDAD		
Noviembre	2,9389	0,37444	2,1489	3,7289			1,8	8,9
Diciembre	3,4842	0,33641	2,7774	4,191			2,3	6,9
Febrero	2,8944	0,12511	2,6305	3,1584			2,3	3,9
Mayo	4,8556	0,30745	4,2069	5,5042			2,8	7,5
Julio	4,9882	0,11754	4,7391	5,2374			4,2	5,6
PROFUNDIDAD	TURBIEDAD	Septiembre	6,0229	0,31688	5,3512	6,6947	4,5	8,9
		Noviembre	2,8	0,38764	1,9822	3,6178	1,7	8,9
		Diciembre	3,7321	0,31233	3,0759	4,3883	2,1	6,9
		Febrero	2,3933	0,25295	1,8597	2,927	0,2	3,7
		Mayo	5,1889	0,23541	4,6922	5,6856	3,9	7,5
		Julio	5,8778	0,45313	4,9217	6,8338	4,3	10,4
SUPERFICIE	FOSFATOS (mg/L)	Septiembre	0,0694	0,00201	0,0652	0,0737	0,06	0,08
		Noviembre	0,0823	0,00677	0,0681	0,0966	0,01	0,12
		Diciembre	0,0732	0,00484	0,063	0,0833	0,05	0,12
		Febrero	0,0622	0,00129	0,0595	0,0649	0,05	0,07
		Mayo	0,0606	0,00221	0,0559	0,0652	0,05	0,08
		Julio	0,0644	0,00246	0,0593	0,0696	0,05	0,08
PROFUNDIDAD	FOSFATOS (mg/L)	Septiembre	0,0729	0,00223	0,0682	0,0777	0,06	0,09
		Noviembre	0,0861	0,00682	0,0717	0,1005	0,03	0,14
		Diciembre	0,0704	0,00223	0,0657	0,0751	0,05	0,09
		Febrero	0,0633	0,0014	0,0604	0,0663	0,06	0,08
		Mayo	0,0622	0,00173	0,0586	0,0659	0,05	0,07
		Julio	0,0717	0,00246	0,0665	0,0769	0,06	0,09

Anexo 3.

Familias de macroinvertebrados encontrados en la Bocatoma y Tanque 1 del acueducto de la vereda Campamento, municipio de Puracé, departamento del Cauca.

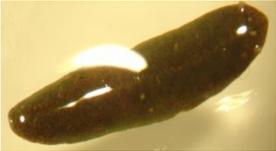
Orden: Díptera				
				
Ceratopogonidae <i>Alluaudomyia</i> sp.	Tipulidae <i>Tipula</i> ( <i>Bellardina</i> sp)	Tabanidae <i>Tabanus</i> sp	Simuliidae <i>Simulium</i> sp	Muscidae <i>Limnophora</i> sp1

Orden : Trichoptera			
			
Leptoceridae <i>Triplectides</i>	Leptoceridae <i>Atanatolica</i> sp	: Leptoceridae <i>Grumichella</i>	Helicopsychidae <i>Helicopsyche borealis</i>

Orden : Ephemeroptera			
			
Baetidae <i>Baetis</i> sp	Baetidae <i>Baetodes</i> sp	Polymitarcyidae <i>Campsurus</i> sp	Leptophebiidae <i>Terpides</i> sp

Orden: Coleóptera		
		
: Elmidae <i>Macrelmis</i> sp	Scirtidae <i>Elodes</i> sp	Ptilodactylidae <i>Anchytarsus</i>

Orden: Hemíptera	Orden: Amphipoda	Orden: Plecóptera
 <p data-bbox="300 430 479 499">Corixidae <i>Centrocorixia</i></p>	 <p data-bbox="820 462 966 531">Hyaellidae <i>Hyaella</i></p>	 <p data-bbox="1177 529 1356 598">Perlidae <i>Anacroneturia</i></p>

Phylum: Annelida Orden: Glossiphoniiformes	Phylum: Nematomorpha Orden: Gordioidea	Phylum: Platyhelminthes
 <p data-bbox="308 1060 527 1129">Glossiphoniidae Hirudínea</p>	 <p data-bbox="763 997 1047 1071">Chordidae Genero: Neochordodes</p>	 <p data-bbox="1153 913 1307 982">Planariidae <i>Dugesia</i>.</p>

**Anexo 4.** Información recabada en las entrevistas.

FECHA	ID	SUSCRIPTOR	NOMBRE	No. personas vivienda		COORDENADAS GEOGRÁFICAS		
				M	H	NORTE(N)	ESTE(W)	altitud msnm
30/08/2007	1	Ananias Quira	Ananias Quira	3	3	02.22'27,5"	76.24'21,5"	3100
30/08/2007	2	Reinaldo Piso	Claudia Bolaños	2	3	02.22'27,5"	76.24'21,5"	3120
30/08/2007	3	Floro Puliche	Melida Yolanda Escobar	3	2	02.22'49,6"	76.25'15,7"	3145
30/08/2007	4	Efraín Quira Gauña	Efraín Quira Gauña	6	3	2.22'51,5	76.25'11,9"	3155
30/08/2007	5	Manuel A. Cuestas	Manuel Antonio Cuestas	1	1	2.22'44,2"	76.25'06,02"	3166
30/08/2007	6	Cancio O. Garcés	Cancio Orlando Garcés	4	1	2.22'42,2"	76.25'031"	3166
30/08/2007	7	Emidio Pizo	Emidio Pizo	1	2	2.22'39,2"	76'25'07,4"	3166
30/08/2007	8	Jesús Elías Pizo	Aura Gladis Pizo M.	1	2	2'22'39,8"	76.25'13,8"	3164
30/08/2007	9		Jairo Garcés	2	3	2.22'43,4"	76'25'21,2"	3127
30/08/2007	10		Adelmo Gil Manquillo	5	1	2.22'46,5"	76.25'24,1"	3109
30/08/2007	11		Luz Alba Caldon Mompotes	2	1	2.22'45,'05"	76.25'24,7"	3110
30/08/2007	12	Benjamín Quira	Ana Luisa Escobar	1	1	2'22'47,6	76'25'25,6"	3102
30/08/2007	13	Consuelo Gil	Ruth Gil			2.22'46,3"	76'25'22,8"	3110
30/08/2007	14	Ana Teresa Pizo	Teresa Quira	1	1	2.22'501"	76'25'31,9"	3089
30/08/2007	15	Clara Inés Garcés	Clara Inés Garcés	1	1	2.22'50,7"	76.25.32,2"	3080
30/08/2007	16	Julia Puliche	Julia Helena Puliche	1	2	2.22'46,5"	76.25'16,1"	3139
30/08/2007	17	Agelo Calausur	Agelo Calausur	2	6	2.22'43,9"	76'25'08,5"	3164
30/08/2007	18		Virginia Pizo	2	2			3100
30/08/2007	19		Reinel Caldon	2	2	2°22'52.0`	76°25'34.2`	3120
14/11/2007	20	Lía Manquillo	Lía Manquillo	2	2	2.22'57,2"	76.25'38,1"	3069
14/11/2007	21	Cancio O. Garcés	Cancio Orlando Garces	1	2	2'22'53,8"	76.25'28,4"	3059
14/11/2007	22	Hogar Comunitario	Pequeña Amistad			2.22'55,8"	76.25'29,3"	3072
14/11/2007	23	Diego Maria Pizo	Diego Maria Pizo	2	1	2°22'28`	76°24'14`	3070
14/11/2007	24	Juan Elías Caldon	Juan Elías Caldon			2'22'52,6"	76'25'37,1"	3080
14/11/2007	25		Ana Elvira	2	2	2.22'54,8"	76.25'37,4"	3070
14/11/2007	26	Margarita Charo	Margarita Charo	2	2	2'22'56,0"	76.25'35,9"	3061
14/11/2007	27	Reinaldo Calapsu	Reinaldo Calapsu	2	2	2.22'57,7"	76.25.35,9"	3060
14/11/2007	28	Higinio Fernández	Higinio Fernández			2.22'50,7"	76.25'33,6"	3091
14/11/2007	29		Alfredo Bolaños	2	2	2.22'52,1"	76.25'30,5"	3071
15/11/2007	30	Luís Carlos Gil	Sandra Gineth Quira	1	2	2.22'46,4"	76.25'27,5"	3099
16/11/2007	31	Juan Bautista Piso	Juan Bautista Piso			2,22'507`	76,25'32.2`	3090
17/11/2007	32	José G. Guauña	José Gonzalo Guauña			2,22'50.7`	76,25'32.2`	3080
18/11/2007	33	Adelinda Quira	Adelinda Quira			2,22'52`	76,25'34.2`	3096
04/07/2008	34	Maria Antonia Pizo	Ana Dolly	2	2	2,22'32`	76,24'22`	3274
05/07/2008	35	Esau Caldon	Florencia Caldon			2,2'23.3`	76,24'18`	3200
06/07/2008	36	Isais Iziquita	Isais Iziquita	3	1	2,22'22`	76,24'18`	3334
07/07/2008	37	Etelvina Puliche	Etelvina Puliche	2	1	2,22'32`	76,24'14`	3300
08/07/2008	38	Manuel Alonso Pizo	Rubí Lorena Pizo			2,22'28`	76,24'13`	3293

c	RECURSO AGUA		
	fuelle de agua	agua limpia o contaminada	Causas de contaminación
1	Acueducto Campamento, nacimientos de agua	Limpia: consumo directo	barro, malezas, animales muertos
2	Acueducto Campamento, nacimientos de agua	Limpia: consumo directo	no hay contaminación
3	Acueducto La Planada	Limpia: consumo directo	cultivos, desechos de las casas
4	A. Grande, Bocatoma privado , Q. hundido	Limpia: consumo directo	Letrinas. Pozos sépticos, detergentes.
5	Acueducto Campamento	Limpia: consumo directo	basuras
6	acueducto Grande ,A. privado con tanque, Q. hundido	Limpia: consumo directo	basuras no reciclables
7	Q. el Crudo, Q, Campamento, acueducto grande.	Limpia: consumo directo	mina, cultivos, basuras
8	la planada, acueducto grande	Limpia: consumo directo	basuras, aguas servidas q. Campamento
9	Acueducto grande, Q. Campamento	Limpia: consumo directo	Azufre, detergentes, cultivos
10	Acueducto grande, Q. Campamento	Limpia: consumo directo	basuras, fungicidas, plásticos,
11	Acueducto grande	Limpia: consumo directo	lluvia, detergentes, animales,
12	Acueducto grande, la Planada	Limpia: consumo directo	basuras, sanitarios
13	Acueducto grande	Limpia: hervida	basuras, sanitarios
14	Acueducto Campamento	Limpia: consumo directo	basuras, animales muertos
15	Q. planada, acueducto grande	No Limpia: consumo directo	pozos sépticos
16	q. arrayán, acueducto grande	sucia: consumo directo	Sanitarios, cultivos
17	Acueducto grande	Limpia: consumo directo	pozos sépticos
18	Acueducto grande	Limpia: consumo directo	basuras
19	Acueducto grande	Limpia: consumo directo	el agua tiene algunos contaminantes, pisoteo de ganado y desechos
20	Acueducto grande	Contaminada	basuras, ganado cerca al nacimiento, aguas servidas sin tratamiento
21	Acueducto grande, planada, quebrada Campamento	limpia	sedimentos
22	Acueducto grande, planada, quebrada Campamento	limpia	sedimentos
23	Acueducto campamento	limpia	Ninguna
24	Acueducto campamento, la planada	limpia	sedimentos ocasionados por lluvia
25	Q. planada, acueducto grande	Limpia: consumo hervida	contaminación por campo abierto
26	Q. planada, acueducto grande	Limpia: consumo hervida	ninguna
27	Q. planada, acueducto grande	moderadamente	manejo de tanques y de nacimientos
28	Q. planada, acueducto grande		manejo de tanques y de nacimientos
29	acueducto grande, la planada	Contaminada, por la tubería, agua hervida	excremento de ganado, barro, sedimentos, no tiene tratamiento
30	q. campamento, acueducto grande, planada	contaminada	basuras, aguas servidas, cultivos
31	Acueducto grande, planada, quebrada Campamento	contaminada	contaminación por campo abierto
32	Acueducto grande, planada, quebrada Campamento	contaminada	contaminación por campo abierto
33	Acueducto grande, planada, quebrada Campamento	contaminada	contaminación por campo abierto
34	acueducto grande	limpia	azufre, fumigas, cultivos
35	acueducto grande	contaminada	sedimentos, lodos ocasionados por la lluvia, tratamiento y mantenimiento de los tanques de almacenamiento
36	A. grande, Q. Crucero, Río San Francisco, Q. Cocuy, Q. Esperanza, Q. Tierra dentro	limpia	carretera, ganado y cultivos
37	acueducto grande	contaminada	sedimentos ocasionado por lluvia o ganado
38	acueducto grande	limpia	cercanía con el volcán, animales muertos

ID	RECURSO BOSQUE			
	construcción	leña	reforestación	medicinal
1	Eucalipto, pino	Eucalipto, pino	Aislamiento en bocatomas	arnica,Guayabila,limoncillo,Ajenjo,,guasgui
2	Eucalipto	Eucalipto, pino	aislamiento	granizo,
3	Eucalipto	Eucalipto, pino	Reforestación en nacimientos	aromáticas
4	pino, posteaduras	Mandurgo, pino	pino, acacias, cercas vivas,	aromáticas
5	pino, eucalipto	árboles viejos, pino		Manzanilla, llantén, cola de caballo, ruda.
6	pino, eucalipto, encenillo, motilón	árboles viejos del bosque, pino	siembra sp nativas, no cercas vivas	Eucalipto, manzanilla, hierbabuena, descansé.
7	pino, eucalipto	pino, eucalipto	no tala -quema, siembra	hierbabuena manzanilla, hinojo, mejorana
8	Pino, eucalipto	Eucalipto, majo	no tala ni quema, siembra	
9	pino	pino, eucalipto, gas	no tala, ni quema, siembra de pino y eucalipto	hierbabuena, ruda, Artemisa, salvia negra
10	Compra chusque, chacla, arboloco	eucalipto, pino, gas	no tala, ni quema siembra aliso, encenillo	ruda, romero, cedron
11	no	eucalipto ,pino		hierbabuena, ruda, romero
12	poco, pino	ocal, en abundancia	no tala, ni quema, Aliso	Cedrón, romero, malva de olor, mejorana, manzanilla, ruda, paico.
13	eucalipto	Guayacan, pino	No tala, ni quema	poleo, manzanilla
14	no	leña seca, gas	no	no
15	no	leña comprada	aliso, nacedero, acacias, motilón,	no
16	ocal, pino	chico, palo blanco, motilón, pino, ocal		hierbabuena, apio
17	pino, eucalipto	pino, gas	encenillo, linderos con manzano	apio, granizo, mejorana, tomillo, orégano
18	pino	pino, gas	regeneración natural	
19	pino, eucalipto	pino, gas	pino, eucalipto	eucalipto, arrayán, saúco, ruda
20	encenillo, eucalipto, motilón	eucalipto, ocal	pino	ruda, eucalipto, toronjil, linaza, manzanilla
21	eucalipto, ocal	eucalipto ocal, guayacán pino	siembra sp nativas, no cercas vivas	cedro, hierbabuena
22	ocal, pino	eucalipto, pino	pino, especies nativas	granizo, cedron, hierbabuena, apio
23	palo redondo, ocal	ocal, pino	siembra sp nativas,	tomillo, orégano, caléndula, romero
24	eucalipto, pino espátula	pino	aislamiento en los nacimientos	árnica, granizo
25	eucalipto pino	pino	pino, especies nativas	hierbabuena, apio
26	eucalipto pino, ocal	pino, maderables	cedron, orégano, cedrón, toronjil	
27	ocal, pino,	ocal	aislamiento en los nacimientos	ruda,artemisa,alegria, repollo de peña
28	Pino, eucalipto,	Ocal. Palo redondo	Siembra especies nativas	Ruda, manzanilla, cedron, malva, apio
29	ocal, pino,	ocal, árboles sembrados, pino espátula	reforestación con acacia negra, aliso , aislamiento de nacimientos y bocatomas	ruda, toronjil, malva de olor, violeta
30	palo redondo, ocal	árboles , pino,	regeneración natural, aislamiento	manzanilla, hierbabuena
31	palo redondo, ocal	pino,	siembra de especies nativas	Manzanilla, hierbabuena, apio
32	palo redondo, ocal	pino, y eucalipto	siembra de especies nativas	Manzanilla, cedron, malva
33	palo redondo, ocal	pino,	siembra de especies nativas	manzanilla
34	no	utiliza gas y árboles viejos	no	apio, caléndula, menta, cedron, romero, hinojo
35	ninguno	cocina con gas	Reforestación Aliso, siete cueros, sapo, palo blanco.	apio, ruda, mejorana, hierbabuena
36	eucalipto	majo, colorado	siembra de árboles nativos	Apio, hierbabuena, manzanilla.
37	aislamiento del bosque	árboles del bosque	ninguno	manzanilla, hierbabuena., ajeno
38	ocal	manzano, mortiño	siembra de especies nativas,	cedron

ID	RECURSO SUELO					SANAMIENTO AMBIENTAL	
	ganado	Cultivos	Abono orgánico	abono químico y plaguicidas	descanso y barbecho	residuos Sólido	sanitarios
1	leche	papa, huertas caseras	Boñiga, desecho de cocina	desarrollo, 10-30-10, Eltran	Volteo, rotación de cultivo c/ 3 - 4 siembras, se vuelve al sitio c/4 años.	entierro	letrinas con pozo séptico
2	leche	papa, huerta casera	ceniza, estiércol	ninguno	no retiran la maleza, rotación cada 7-8 meses	entierro	letrinas con pozo séptico
3	no	papa, huerta casera, aromáticas	ninguno	10-30-10, desarrollo, urea, malation	Preparación de terreno manual, un solo tipo de cultivo,	entierro	letrinas con pozo séptico
4	leche	Papa, ulluco, haba, arveja, col, maíz.	poco	10-30-10, desarrollo, Furadan, eltran	arado con maquina, rotación de cultivo cada 5 meses, 3 siembras; 1 papa parda, 2 yema huevo, 3 ulluco	entierro	letrinas con pozo séptico
5	==	Papa, ulluco, quinua, arveja, haba.	estiércol	10-30-10, Desarrollo, Furadan, eltran	arado a mano, rotación	entierro	letrinas con pozo séptico
6	leche	papa, ulluco, arracacha	estiércol	10-30-10, furadan	arado a mano, rotación	entierro	letrinas con pozo séptico
7	leche	papa, huerta casera, aromáticas	ninguno	Abucol, nutrimos, furadan, eltran	Arado a mano, rotación de cultivos, cosechas hasta 3 veces y pastoreo.	entierro	letrinas con pozo séptico
8	leche	papa, ulluco, haba, arveja, papa, quinua	estiércol, ajeno, ortiga, ají	10-30-10	arado a mano y maquina, rotación cada 2 cosechas	entierro	letrinas con pozo séptico
9	leche	papa, ulluco	estiércol	10-30-10, furadan	arado, rotación	entierro	letrinas con pozo séptico
10	no	papa, cebolla,	ninguno	10-30-10, furadan	arado, no rotación	entierro	letrinas con pozo séptico
11	no	papa	ninguno	10-30-10, furadan	Arado, no rotación	entierro	pozo séptico
12	leche	papa, ulluco, maíz, haba, arveja, repollo	estiércol	cal, abucol, furadan	arado con maquina, rotación de cultivos cada 2 siembras,	entierro	letrinas con pozo séptico
13	leche	papa, ulluco	Ninguno	10-30-10, furadan	Preparación manual del terreno	entierro	letrinas con pozo séptico
14	no	no	Ninguno	ninguno	ninguno	entierro	no letrina
15	no	no	Ninguno	ninguno	ninguno	entierro	letrinas con pozo séptico
16	leche	papa, ulluco, arveja, habas, huerta	Ninguno	oxicloruro de Calcio monsante, round up, Eltran	rotación cada 3 años, 4 siembras	entierro	letrinas con pozo séptico
17	leche	papa, ulluco, repollo, huerta	Ninguno	10-30-10, triple 15, furadan, eltran	rotación cada 3 años, 4 siembras,	entierro	letrinas con pozo séptico
18	leche	papa	Ninguno	10-30-10, furadan	preparación manual del terreno	entierro y quema	letrinas con pozo séptico
19	leche	papa	Estiércol	10-30-10, triple 15, furadan	preparación manual del terreno	entierro	letrinas con pozo séptico

20	leche	papa, ulluco	estiércol para huerta y el jardín	abocol, nutrimos., nocion, malation	remoción manual de hierbas	entierro	letrinas con pozo séptico
21	leche	papa, ulluco	ninguno	todo en uno, malation	preparación manual del terreno	entierro	letrinas con pozo séptico
22	no	huerta casera	ninguno	Montante, malation, eltran	preparación manual del terreno	entierro	letrinas con pozo séptico,
23	no	papa, ulluco, haba, repollo, quinua,	gallinaza	ninguno	preparación manual del terreno	entierro	letrinas con pozo séptico,
24	leche	cebolla, cilantro, papa, huerta casera	bocachi,	ortiga	preparación manual del terreno	entierro	letrinas con pozo séptico,
25	leche	papa, huerta casera	gallinaza, desechos cocina	Cloruro de cobre, M45	preparación manual del terreno	entierro	letrinas con pozo séptico,
26	leche	papa, ulluco, huerta casera	ninguno	10:30.10, monsante, furadan, ridomil	preparación manual del terreno	entierro	letrinas con pozo séptico,
27	leche	papa, ulluco, huerta casera	ninguno	10:30.10, mosante	preparación manual del terreno	entierro	letrinas con pozo séptico,
28	leche	papa	ninguno	10:30.10, mosante	preparación manual del terreno	entierro	letrinas con pozo séptico,
29	leche	papa, ulluco, huerta casera	siló, lombriz californiana,	multigran verde, 10-30-10 monsante N45-200	preparación manual del terreno	entierro	letrinas con pozo séptico,
30	leche	papa, ulluco, huerta casera	solo para el jardín	10-30-10, furadan, eltran	pica, arado, quema, eras	entierro	letrinas con pozo séptico
31	leche	papa, ulluco, huerta casera	ninguno	10:30: 10, furadan, eltran	preparación manual del terreno	entierro	letrinas con pozo séptico
32	leche	papa, ulluco, huerta casera	ninguno	10:30: 10, furadan, eltran	preparación manual del terreno	entierro	letrinas con pozo séptico
33	leche	papa, ulluco, huerta casera	ninguno	10:30: 10, furadan, eltran	preparación manual del terreno	entierro	letrinas con pozo séptico
34	leche	papa, cebolla, ulluco	ninguno	eltran, 10-30-10, furadan, eltran	Volteo del suelo, cal, rotación de cultivo cada 7 meses.	entierro y quema	letrina con pozo séptico
35	36leche	papa, cebolla, ulluco, repollo	ninguno	10-30-10, triple 15, furadan, eltran	volteo, rotación de cultivos	entierro y quema	letrina y pozo séptico
36	leche	papa, ulluco, cebolla	ninguno	10.30.10, furadan, eltran	Volteo del suelo, cal, rotación de cultivo cada 7 meses.	entierro	letrina pozo séptico
37	leche	papa, huerta casera	boñiga desechos de la cocina	10.30.10, cal, furadan, eltran	deshierbe de maleza, cal, rotación cada 6 meses	quema	letrina pozo séptico
38	leche	papa, cebolla, ulluco	desechos de cocina, boñiga	10-30-10, triple 15, cal, furadan, eltran	volteo, conformación de eras, rotación	entierro y quema	Letrina y pozo séptico.