

**EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DE LA QUEBRADA ABEJONALES,
GENERADA POR LOS VERTIMIENTOS DE LAS MICROEMPRESAS DEL
ALMIDÓN DE YUCA EN LA VEREDA MANDIVA DEL MUNICIPIO DE
SANTANDER DE QUILICHAO**

Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

**Licenciado en Educación con especialidad en Biología a:
NANCY STELLA PÉREZ RUIZ**

**y de Biólogo a:
ANA ISABEL SOLARTE ESPINOSA**

**Director
Mg. GUILLERMO LEÓN VASQUEZ ZAPATA**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA
POPAYAN
2002**

**EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DE LA QUEBRADA ABEJONALES
GENERADA POR LOS VERTIMIENTOS DE LAS MICROEMPRESAS DEL
ALMIDÓN DE YUCA EN LA VEREDA MANDIVA DEL MUNICIPIO DE
SANTANDER DE QUILICHAO**

**NANCY STELLA PÉREZ RUIZ
ANA ISABEL SOLARTE ESPINOSA**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA
POPAYAN
2002**

Nota de Aceptación

Mg. Guillermo León Vasquez Zapata
Director

Mg. Julie Alexandra Quintero Gonzalez
Jurado

Mg. José Antonio Valverde Pardo
Jurado

Popayán, _____

DEDICATORIA

A mis padres Alvaro y Zoraida,
a mi hijo Carlos Andrés
a mis hermanos Alvaro, Diego y Carlos
con todo mi amor y gratitud sincera por
su generosidad y sacrificio.

Nancy Stella Pérez Ruiz

A Dios por la vida y fortaleza
A mis padres Carlos y Carmen
A mi hermana y sobrinos
ofrezco infinitas gracias por su amor
compañía y apoyo constante.

Ana Isabel Solarte Espinosa

AGRADECIMIENTOS

Las autoras expresan sus agradecimientos a:

A los señores Alvaro Francisco Pérez y José Manuel Trujillo gerente de la Corporación de Rallanderos del Cauca (COAPRACAUCA) por su colaboración en la ubicación de las rallanderías, por el contacto con la comunidad de Mandiva y por su constante ánimo y apoyo.

Al señor Mario Vidal propietario de la rallandería CAMAVI por su valiosa colaboración, apoyo y por facilitarnos su sitio de trabajo para la realización de esta investigación

Al Magister Medardo Vanegas de la Universidad del Cauca y al Biólogo Huberto Ortiz de la Corporación Autónoma Regional del Cauca por su asesoría en cuanto a la toxicidad del cianuro se refiere y por la prestación del espacio para desarrollar algunas prácticas de extracción de cianuros.

Al Biólogo Humberto Granados coordinador del Bioterio de la Universidad del Cauca por su cooperación en la búsqueda de los nombres científicos de la Vegetación y fauna predominante en la zona de estudio.

Al Magister Hildier Zamora Gonzáles por la asesoría en el análisis de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos.

A la Magister Julie Alexandra Quintero González y al Magister José Antonio Valverde Pardo por sus orientaciones en la elaboración y ejecución del trabajo.

Por último a nuestros amigos y a todas aquellas personas que de alguna manera colaboraron en la realización y ejecución del trabajo.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. ANTECEDENTES	4
2. JUSTIFICACIÓN	8
3. OBJETIVOS	10
3.1 GENERAL	10
3.2 ESPECIFICOS	10
4. MARCO TEORICO	11
4.1 LA YUCA	11
4.1.1 Generalidades	11
4.1.2 Producción	11
4.1.3 Utilización	12
4.2 PROCESO DE EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN DE YUCA	13
4.2.1 Lavado y pelado	13
4.2.2 Rallado	15
4.2.3 Tamizado o colado	15
4.2.4 Sedimentación	16
4.2.5 Fermentación	17
4.2.6 Secado	17
4.2.7 Agua requerida en el proceso	18
4.3 CLASES, USOS Y PRODUCCIÓN DEL ALMIDÓN DE YUCA	19
4.4 CONTENIDO DE CIANURO EN YUCA	20
4.4.1 Concentración de cianuro en el proceso de extracción del almidón	21

	pág.
4.4.2 Toxicología del cianuro	23
4.5 ANÁLISIS DEL IMPACTO SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA	23
4.5.1 Contaminación y calidad del agua	23
4.5.2 Indicadores ambientales	23
4.5.3 Análisis microbiológico	24
4.5.3.1 Estructura de la comunidad	24
4.5.3.2 Índice de diversidad (Shannon-Weaver)	25
4.5.3.3 Sistema para la determinación del índice de monitoreo biológico (BMWP)	25
4.5.3.4 Bioindicación	26
4.5.3.5 Densidad de población	27
4.5.4 Análisis microbiológico	27
4.5.5 Análisis Físicoquímico	29
4.5.5.1 Temperatura ambiente y temperatura del agua	29
4.5.5.2 Turbiedad	29
4.5.5.3 Oxígeno disuelto y porcentaje de saturación de oxígeno	29
4.5.5.4 Gas carbónico disuelto (CO ₂)	30
4.5.5.5 Cianuro	30
4.5.5.6 pH	30
4.5.5.7 Acidez total	30
4.5.5.8 Alcalinidad total	30
4.5.5.9 Conductividad	31
4.5.5.10 Demanda química de oxígeno (DQO)	31
4.6 EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS AMBIENTALES RELACIONADOS CON LA PRODUCCIÓN DE ALMIDÓN DE YUCA	31
5 ZONA DE ESTUDIO	33
5.1 ASPECTOS GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO	33
5.1.1 Clima	34
5.1.2 Geología	35
5.1.3 Geomorfología	36

	pág.
5.1.4 Suelo	36
5.1.5 Uso Actual del suelo	37
5.1.6 Uso potencial del suelo	38
5.1.7 Vegetación predominante	38
5.1.8 Fauna predominante	39
5.2 DELIMITACION DE LA ZONA DE ESTUDIO	39
5.2.1 Zona 1	40
5.2.2. Zona 2	40
6. METODOLOGÍA	44
6.1 TOMA DE MUESTRAS Y ANÁLISIS FISICOQUIMICOS	44
6.1.1 Trabajo de campo	44
6.1.2 Trabajo de laboratorio	44
6.2 TOMA DE MUESTRAS Y ANÁLISIS DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS	45
6.2.1 Trabajo de campo	45
6.2.2 Trabajo de laboratorio	45
6.3 TOMA DE MUESTRAS Y ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO	45
6.3.1 Trabajo de campo	46
6.3.2 Trabajo de laboratorio	46
6.4 TOMA DE MUESTRAS Y ANÁLISIS DE CIANURO	46
6.4.1 Trabajo de campo	46
6.4.2 Trabajo de laboratorio	46
6.5 EVALUACIÓN CUALITATIVA DE LOS EFECTOS AMBIENTALES RELACIONADOS CON LA PRODUCCIÓN DE ALMIDÓN DE YUCA	47
7 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	48
7.1 CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS	48
7.1.1 Zona 1	48
7.1.2 Zona 2	50

	pág.
7.1.3 Índice de Shannon Weaver e índice BMWP	53
7.1.3.1 Zona 1	53
7.1.3.2 Zona 2	53
7.1.4 Análisis integral de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos	53
7.2 CARACTERIZACION FISICOQUIMICA	55
7.2.1 Aspecto térmico	55
7.2.2 Turbiedad	56
7.2.3 Oxígeno disuelto y porcentaje de saturación de oxígeno	58
7.2.4 Gas carbónico disuelto (CO ₂)	59
7.2.5 Cianuro	60
7.2.6 pH	62
7.2.7 Acidez total	63
7.2.8 Alcalinidad	63
7.2.9 Conductividad	64
7.2.10 DQO	65
7.2.11 Análisis integral de los parámetros fisicoquímicos	66
7.3 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO	69
7.4 RELACIÓN DE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y LA BIOTA ACUÁTICA (MACROINVERTEBRADOS Y COLIFORMES TOTALES)	70
7.5 EVALUACIÓN CUALITATIVA DE LOS EFECTOS AMBIENTALES RELACIONADOS CON LA PRODUCCIÓN DE ALMIDÓN DE YUCA	74
7.5.1 Deforestación	74
7.5.2 Contaminación de la quebrada por las agua residuales	74
7.5.3 Análisis de la matriz de influencia dependencia	75
7.5.4 Interpretación de los cuadrantes	78
8 CONCLUSIONES	83
9 RECOMENDACIONES	86
BIBLIOGRAFÍA	88

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Producción mundial y regional de yuca en el 2001.	12
Cuadro 2. Concentración de cianuro en las diferentes etapas de extracción del almidón de yuca	22
Cuadro 3. Clases, valores y características para las aguas clasificadas mediante el índice de BMWP adaptado para Colombia.	26
Cuadro 4. Criterios de calidad bacteriológica del agua utilizados por La Organización Mundial de la Salud (OMS).	28
Cuadro 5. Clasificación del área hidrológica de afluencia de la subcuenca del río Quinamayó.	34
Cuadro 6. Comunidad de macroinvertebrados acuáticos de la zona 1 en época seca y de lluvia.	49
Cuadro 7. Comunidad de macroinvertebrados acuáticos de la zona 2 en época seca y de lluvia.	51
Cuadro 8. Índice de diversidad Shannon-Weaver y de calidad biológica (BMWP) por época y zona de muestreo.	53

	Pág.
Cuadro 9. Características de la estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos por zona y época de muestreo.	55
Cuadro 10. Registro del promedio de la cantidad de cianuros totales con el correspondiente pH por zona de muestreo.	61
Cuadro 11. NMP de coliformes totales por 100ml de muestra en las zonas de muestreo.	69

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Proceso de extracción del almidón de yuca	14
Figura 2. Tanques de sedimentación del almidón de yuca.	16
Figura 3. Tanques de fermentación de almidón de yuca.	17
Figura 4. Secado del almidón de yuca.	18
Figura 5. Agua residual proveniente de los tanques de sedimentación del almidón que es arrojada directamente a la quebrada.	19
Figura 6. Puente sobre la quebrada Abejonaes vía Popayán - Cali	33
Figura 7. Utilización del suelo para cultivos de yuca	37
Figura 8. Zona 1 quebrada Abejonaes	40
Figura 9. Zona 2 quebrada Abejonaes.	41
Figura 10. Vertimiento proveniente del lavado y pelado de la yuca.	41

	pág.
Figura 11. Vertimiento proveniente del sobrenadante de la sedimentación del almidón de yuca.	42
Figura 12. Estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos de la zona 1 en época seca.	50
Figura 13. Estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos de la zona 1 en época de lluvia.	50
Figura 14. Estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos de la zona 2 en época seca.	52
Figura 15. Estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos de la zona 2 en época de lluvia.	52
Figura 16. Relación de la temperatura del agua con la temperatura del ambiente para ambas zonas y épocas de muestreo.	56
Figura 17. Valores de turbiedad para ambas zonas y épocas de muestreo.	57
Figura 18. Relación entre la concentración de oxígeno disuelto y el porcentaje de saturación de oxígeno para cada zona y época de muestreo.	59
Figura 19. Valores de la concentración de gas carbónico para cada zona y época de muestreo.	60
Figura 20. Valores de pH en cada zona y época de muestreo.	60
Figura 21. Valores de alcalinidad en cada zona y época de muestreo.	64

	Pág.
Figura 22. Valores de conductividad en cada zona y época de muestreo.	64
Figura 23. Valores de DQO en cada zona y época de muestreo.	65
Figura 24. Red de interacción de los parámetros fisicoquímicos del agua Quebrada Abejonaes zona 1	72
Figura 25. Red de interacción de los parámetros fisicoquímicos del agua. Quebrada Abejonaes zona 2.	73
Figura 26. Matriz de influencia–dependencia. Quebrada Abejonaes.	81
Figura 27. Ubicación de los resultados de la matriz influencia–dependencia.	82

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Localización general de la quebrada Abejonales	95
Anexo B. Mapa base cuenca quebrada Abejonales.	96
Anexo C. Mapa Bioclimático.97
Anexo D. Mapa de pendientes cuenca quebrada Abejonales.98
Anexo E. Precipitación total mensual. Estación Mandivá.	99
Anexo F. Mapa geológico. Cuenca quebrada Abejonales.	100
Anexo G Mapa de procesos erosivos.	101
Anexo H Mapa de uso actual del suelo.	102
Anexo I. Mapa de clases agrológicas.	103
Anexo J. Macroinvertebrados acuáticos colectados en la zona 1 de la quebrada Abejonales entre febrero de 2000 y marzo de 2001.	104

	pág.
Anexo K Macroinvertebrados acuáticos colectados en la zona 2 de la quebrada Abejonales entre febrero de 2000 y marzo de 2001.	105
Anexo L. Macroinvertebrados acuáticos con su correspondiente bioindicación, índice BMWP y de Shannon-Weaver colectados en la zona 1 de la quebrada Abejonales por cada época de muestreo.	106
Anexo M. Macroinvertebrados acuáticos con su correspondiente bioindicación, índice BMWP y de Shannon-Weaver colectados en la zona 2 de la quebrada Abejonales por cada época de muestreo.	107
Anexo N. Registro de parámetros fisicoquímicos por época y zona de muestreo. Quebrada Abejonales.	108

INTRODUCCIÓN

La contaminación de las aguas continentales es un fenómeno que ha acompañado al hombre desde el momento en que él abandonó sus hábitos de simple cazador y recolector de alimentos para dedicarse a la deforestación y la agricultura, esta contaminación viene agravándose principalmente por el aumento de la población, ausencia de redes de alcantarillado, aumento del número de zonas industriales y la explotación agrícola y ganadera (Murgel, 1984).

La elevada concentración de industrias en zonas con mejores perspectivas de desarrollo económico provocan que se aumenten la cantidad de productos que se descargan sobre las corrientes de agua, que hoy en día se han convertido en la principal fuente receptora de cualquier tipo de vertimientos, superando con esto la capacidad de autodepuración natural que afecta el equilibrio ecológico.

Las instituciones encargadas del control de vertimientos sobre las corrientes hídricas como son las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR), establecen el tipo de análisis necesarios para determinar la calidad de un cuerpo de agua; los métodos mas usuales son:

- El fisicoquímico donde se tienen en cuenta parámetros como la temperatura del agua, el oxígeno disuelto, la turbiedad, el pH, entre otros los cuales ayudan a determinar la dinámica del cuerpo de agua (Vasquez, 1996).
- Los macroinvertebrados acuáticos, organismos que constituyen uno de los componentes principales de las cadenas tróficas de los ecosistemas acuáticos, son utilizados como indicadores de la calidad de un cuerpo de agua; según Murgel, (1984)

“una especie indicadora es la que ocupa un nicho inalterado o un nicho creado por la perturbación ambiental”, es decir, que no todos los organismos se adaptan a diferentes lugares, hay individuos que se encuentran en ciertos ambientes pero que cualquier alteración del medio los hace reducir en número hasta desaparecerlos, experimentando entonces un cambio en la estructura de la comunidad, por ejemplo: en aguas de buena calidad es normal encontrar grupos de ephemeropteros, odonatos, neuropteros y algunos coleópteros; en aguas alteradas muy posiblemente se encontraran grupos de algunos dípteros, hirudineos, oligoquetos y algunos gastrópodos; la proporción en que se encuentran estos individuos en la comunidad determinan la calidad del agua.

- El estudio microbiológico determina la calidad sanitaria de un cuerpo de agua, a través del recuento de microorganismos como el grupo de bacterias coliformes, principal indicador de la adecuación del agua para usos domésticos, industriales y de otro tipo.

El término calidad de agua incluye las características físicas, químicas y biológicas que puede presentar un cuerpo de aguas naturales con el propósito de determinar su estado trófico y sanitario; y se relaciona directa y/o indirectamente con la característica del hábitat natural, grado de potabilidad, niveles de alteración, bioensayos, estudios de efecto ambiental sobre los recursos hidrobiológicos entre otros (Vasquez, 1996).

Son muchas las sustancias que provocan alteraciones de los componentes físicos, químicos y biológicos de las corrientes de agua, entre ellos están los componentes orgánicos del vertimiento del almidón de yuca, caracterizados por su contenido de glucócidos cianogénicos de poder tóxico sobre la fauna acuática, incluso sobre seres humanos, estos glucócidos son metabolizados y descompuestos por microorganismos del suelo y del ambiente acuático.(Murgel, 1984).

La industria del almidón en Colombia se encuentra en expansión, su producción se hace en plantas de mediana escala completamente mecanizadas, las cuales se han diversificado debido a la fuerte demanda de almidón de yuca para las industrias de papel, cartón, madera enchapada, textiles, comidas rápidas, pasabocas, petrolera entre

otras. Las zonas donde se extrae almidón de yuca se localizan principalmente en el norte del Departamento del Cauca, el cual aporta cerca del 80% de la producción nacional, esta actividad tuvo sus inicios hace aproximadamente 47 años como una actividad doméstica de toda la familia, especialmente de zonas rurales, las cuales con instrumentos rudimentarios y trabajo manual, extraían el almidón para abastecimiento propio o de una pequeña comunidad que lo utilizaban como ingrediente en la preparación de alimentos o comidas típicas. Con el pasar del tiempo la demanda de almidón de yuca aumentó por lo que se crearon nuevas microempresas en donde se introdujeron innovaciones mecánicas que aceleraron la capacidad productiva de las rallanderías, las cuales fomentaron el empleo, mejorándose con esto la economía de los habitantes de la región.

A pesar de los beneficios que ha traído esta empresa, el mal manejo de los recursos naturales, en especial del agua, ha propiciado un deterioro paulatino ya que todos los vertimientos de las 208 rallanderías concentradas al norte del Departamento del Cauca llegan al río Cauca a través de sus afluentes.

El estado actual de las corrientes de agua ha llevado a que se planteen diferentes estudios limnológicos tendientes a crear programas de recuperación del recurso agua; con este propósito, se realizó la evaluación de la quebrada Abejonales (municipio de Santander de Quilichao) para establecer sus niveles de alteración a través del análisis de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos, de parámetros físicoquímicos (pH, oxígeno, temperatura, turbiedad, DQO, entre otros.) y del análisis microbiológico, además se realizó un breve análisis cualitativo de la zona de influencia directa relacionada con los procesos de producción de almidón de yuca, el cual está basado en información secundaria obtenida de diferentes fuentes y por observación directa.

Este estudio es un aporte útil para que se aumenten el número de investigaciones sobre los diferentes procesos que se llevan a cabo dentro de las microempresas del almidón de yuca y los efectos que sus desechos producen sobre el ecosistema acuático y el entorno en general.

1. ANTECEDENTES

Son muchas las corrientes naturales de agua del municipio de Santander de Quilichao que reciben los vertimientos que provienen del procesamiento del almidón de yuca. Entre ellas se encuentran la quebrada la Chapa, sobre la cual se observa el mayor número de descargas de aguas residuales provenientes de las rallanderías (11 en total), seguida de la Agustina con 6, Quimbas o la cascada con 4, Mandiva con 3, Abejonales y Palmito con 2; todas pertenecientes a la cuenca del río Quinamayó. A la quebrada Santa Clara o Tres Quebradas se vierten las aguas residuales de 2 rallanderías, a Tiembla 9, a Mestizal 4, a San Pablo y al Río Mondomo 2, cada una de estas quebradas y río pertenecen a la cuenca del río Ovejas.

Por lo anterior, a nivel nacional y departamental, se han realizado estudios tendientes a determinar el grado de alteración que presentan las corrientes de agua no solo por los vertimientos de los grandes aportes de carga contaminante generados por los ingenios azucareros y la industria papelera; sino también por las descargas generadas por otros sectores productivos: mediana y pequeña industria, actividades agropecuarias, actividades domésticas; con el propósito de establecer acciones tendientes a reducir los aportes de carga contaminante.

La Ley 99 de diciembre de 1.993, reestructuró el manejo ambiental en Colombia, mediante acciones que serán llevadas a cabo por el Ministerio del Medio Ambiente y por las Corporaciones Autónomas Regionales, adscritas al mismo.

A nivel regional, con base en el marco legal Nacional, mediante el acuerdo CVC No. 14 de 1.976, se fijaron las políticas de control de la contaminación de los recursos hídricos de la cuenca del alto río Cauca, por parte de la Corporación Autónoma Regional del

Valle del Cauca (CVC), entidad que tenía bajo su responsabilidad los Departamentos del Valle del Cauca y del Cauca. área jurisdiccional que ha sido modificada por la Ley 99 de 1993, en la cual se estipula que la jurisdicción de la CVC, es el territorio del Departamento del Valle del Cauca y para la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC), el territorio del Departamento del Cauca (CORANTIOQUIA, 1999).

En Colombia se han realizado los siguientes estudios sobre tratamiento de aguas residuales de las microempresas de almidón de yuca:

La CRC y la Central de Cooperativas del Sector Agropecuario (CECORA) en 1988 realizaron el “Estudio sobre la yuca y sus derivados, producción y mercadeo en el Departamento del Cauca”, donde se da a conocer la forma en que viene siendo cultivada la yuca, la extracción de los subproductos para que sean tenidos en cuenta y así introducir paquetes tecnológicos que mejoran la producción, productividad, mercadeo y un desarrollo de real participación ciudadana y comunitaria.

En 1994 Duque, realizó el “Proyecto para el control de los vertimientos generados en el beneficio de la yuca en el sector de Mondomo Municipio de Santander de Quilichao”; aquí se planteó una alternativa de tratamiento piloto a implementar, donde contempla la optimización del proceso productivo con miras a la reducción de los aportes contaminantes los cuales pueden ser llevados a cabo mediante racionalización de flujos en el beneficio, así como modificaciones en el equipo utilizado en el proceso.

Oviedo en 1995, realizó el proyecto sobre “Biodegradabilidad anaerobia del material soluble de aguas residuales provenientes del proceso de extracción del almidón de yuca, en el sector de La Agustina Municipio de Santander de Quilichao”, donde se efectuó un análisis de pH, DQO, DBO₅ N orgánico, N amoniacal, N total y Cianuros, con el objetivo de caracterizar el agua residual, en los resultados obtenidos se escogió el agua del tanque de sedimentación para la realización de los ensayos de biodegradabilidad, en estos ensayos se obtuvo un porcentaje de Biodegradabilidad Anaerobia de 92% para la

fracción soluble del agua residual degradándose casi por completo la materia orgánica con un porcentaje de DQO resistente de 8%.

En 1.996 Bernal, realizó el proyecto “Contribución al conocimiento del efecto del cianuro sobre los microorganismos que intervienen en el proceso anaerobio de degradación del almidón de yuca”; donde se realizaron estudios continuados de los efectos del cianuro cuando se utiliza tratamiento anaerobio para los vertimientos del almidón, con esto se lograron medir la actividad de los grupos tróficos capaces de adaptarse o inhibirse ante el cianuro.

La CRC en 1997, realizó un proyecto sobre la “Incidencia del cultivo de yuca y producción de almidón en las cuencas de los Ríos Mondomo, Pescador, Ovejas y Quinamayó”; donde se elaboró un plan de desarrollo, en el cual se presentan alternativas de uso y manejo del recurso suelo, se proponen practicas biomecánicas, culturales y forestales para recuperación de áreas degradadas, manejo técnico del cultivo de la yuca como mayor incidente en los procesos erosivos, fomento de sistemas agroforestales, ordenamiento de las subcuencas, evaluación de la contaminación de aguas y proporción de las reforestaciones.

De 1998 a 1999 la CRC junto con la Universidad del Cauca realizaron el proyecto “Caracterización físico-química de los principales ríos del norte y centro del Departamento del Cauca”. Este estudio se hizo a partir de un convenio institucional, en el cual se analizaron los ríos que estaban siendo afectados por diferentes vertimientos como los de las industrias azucareras, productos lácteos, papel, almidón de yuca y otros.

Zamora H. y Sarria H. En el 2000, realizaron el proyecto “Calidad biológica de dos ecosistemas lóticos afectados por aguas residuales de rallanderias de yuca, mediante la utilización de sus macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores, comparando además la aplicación de los índices de Shannon-Weaver y BMWP”, donde se realizó un análisis de tipo biológico de los cuerpos de agua en las quebradas la Chapa y Tiembla que se encuentran afectadas por las aguas residuales provenientes de rallanderias de

yuca, en el Corregimiento de Mondomo, Municipio de Santander de Quilichao en el Departamento del Cauca, Colombia.

2. JUSTIFICACIÓN

El continuo deterioro que se está presentando en las cuencas hidrográficas, producido por el hombre como consecuencia de la situación socioeconómica, la falta de educación y la presencia del estado en las mismas, ha traído como resultado una reducción y degradación de los recursos naturales y por lo tanto es uno de los grandes problemas ambientales que vive Colombia.

De acuerdo con esto, a nivel regional la Corporación Autónoma Regional del Cauca ha formulado planes de manejo de cuencas con el fin de llevar acciones encaminadas a preservar, controlar y proteger los recursos naturales.

El deterioro que se presenta se debe principalmente a desechos que se arrojan, tanto a nivel urbano como rural, a las corrientes de agua. Estos desechos traen consigo sustancias que alteran de alguna manera las características físicas, químicas y biológicas de las fuentes receptoras. Este tipo de contaminación requiere de seguimientos que evalúen el grado de alteración y que de alguna forma ayuden a que se planteen alternativas de control que minimicen el daño que causan los agentes contaminantes.

En el Departamento del Cauca, son muchas las actividades que han ayudado al incremento de la tasa de empleo de la región con un consecuente aumento en el ingreso de las familias, lo cual repercute directamente en el mejoramiento de la economía regional, pero se ha visto, como consecuencia, un deterioro progresivo en la calidad de las aguas, empezando por las pequeñas corrientes hídricas hasta los grandes ríos como son el Cauca y el Magdalena, que presentan problemas ambientales graves a lo largo de todo su tramo.

En la evaluación ambiental de los recursos hídricos se tienen en cuenta los parámetros físicos y químicos para demostrar los cambios en la dinámica del cuerpo de aguas y los análisis de la fauna béntica, basados en el uso de bioindicadores como complemento.

Con base en esto, el presente estudio pretende dar a conocer las alteraciones que ha sufrido un cuerpo de agua como la quebrada Abejonales afectada por los vertimientos producidos durante el proceso de extracción del almidón de yuca.

Se espera que la información que este documento aporte sea útil para incentivar el aumento del número de investigaciones sobre los posibles efectos que conlleva el proceso de extracción del almidón de yuca y sus desechos, lo cual son vertidos sin tratamiento a la fuente receptora. Además que por medio de este tipo de estudios se pueden proporcionar algunas alternativas encaminadas al mejor aprovechamiento del recurso hídrico.

3. OBJETIVOS

3.1 GENERAL

Determinar el efecto ambiental que generan los vertimientos provenientes de las microempresas del almidón de yuca sobre la quebrada Abejonales en la vereda Mandiva del Municipio de Santander de Quilichao.

3.2 ESPECIFICOS

Determinar las características físicas, químicas, análisis de las comunidades bénticas y microbiológicas, antes y después de los vertimientos del almidón de yuca.

Identificar y evaluar cualitativamente en el área de influencia directa, los efectos ambientales relacionados con los procesos productivos de las rallanderias de yuca mediante la correlación física, química y biológica.

4. MARCO TEORICO

4.1 LA YUCA

4.1.1 Generalidades: la yuca (*Manihot sculenta Crantz*) es una planta que crece hasta unos 2 – 2,5m., presumiblemente es una planta originaria del Brasil y México, se cultiva en la mayoría de las regiones cálidas del mundo. La yuca puede adaptarse a una gran variedad de condiciones de clima aunque generalmente necesita clima cálido y húmedo. El cultivo se desarrolla bien con temperaturas medias de 17 – 30°C siendo las óptimas entre 20 – 25°C. Es una planta que soporta desde 500 a 2000mm anuales de lluvia y una luminosidad no mayor a 12 horas lo que puede inhibir la acumulación de almidón. Su período vegetativo puede variar de 12 a 20 meses (CRC, 1993)

En Colombia, al igual que en otras partes del mundo, se encuentra representada con más de 3000 variedades diferentes, según el Centro de Investigaciones de Agricultura Tropical (CIAT) en Palmira, se conoce a esta planta con el nombre de yuca, mandioca, cassava, manioh, aipi, guacamole (Gonzáles 1986).

4.1.2 Producción: la yuca se cultiva en unos 90 países tropicales y subtropicales, calculándose que sus raíces tienen concentraciones variables de carbohidratos (30 – 35%), proteínas, minerales, vitaminas, cianuro y agua. Las raíces de yuca alimentan al alrededor de 5 millones de personas. De los 170 millones de toneladas de raíces frescas que se cosechan en el mundo, aproximadamente la quinta parte (34 millones) es producida por América Latina y el Caribe. En la cuadro 1 se resumen la producción de yuca para algunos países del mundo en el año 2001.

Cuadro 1. Producción mundial y regional de yuca en el 2001.

Continentes	Producción (toneladas)	Proporción (%)
Mundo	170'000.000	100.0
Africa	94'434.232	55.5
Angola	3'129.734	1.84
Ghana	8'512.000	5
Asia	48'331.471	28.4
China	3'750.900	2.20
India	5'800.000	3.41
Tailandia	18'283.000	10.75
América Central	298.551	0.17
América del Sur	32'469.038	19
Brasil	24'087.730	14.16
Colombia	198.235	0.11
Paraguay	3'853.720	2.26
Oceanía	175.326	0.10

Datos tomados de FAO 2001. Manual de producción agrícola
Sólo se incluyeron los principales productores

4.1.3 Utilización: la yuca es uno de los alimentos más importantes en las zonas tropicales. Con algunas excepciones la mayor parte de la producción de yuca se destina al consumo humano.

La harina que se puede extraer de la yuca es una fuente energética de alto valor nutritivo por su elevada cantidad de carbohidratos (70 - 75%) altamente digeribles, aunque es limitada la cantidad de proteína cruda que contiene. La yuca es entonces de uso básico - alimenticio y es fuente de materia prima para varios fines industriales (Bernal, 1996).

4.2 PROCESO DE EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN DE YUCA

El almidón o harina que se extrae de los tubérculos de yuca es una sustancia blanca, utilizada como fuente energética por su alto valor nutritivo y su elevada cantidad de carbohidratos (70 – 75%) altamente digeribles, es entonces una de las principales reservas de alimento de las plantas verdes, por lo cual es después de la celulosa, el carbohidrato de mayor abundancia en la naturaleza. (CRC, 1997).

Las empresas donde se extrae el almidón se conocen también con el nombre de rallanderías, en ellas la yuca es procesada mediante varias etapas para finalmente obtener el almidón. La yuca es proporcionada por algunos agricultores de las zonas aledañas a las rallanderías, los cuales deben dar a conocer al rallandero la variedad y el tiempo de cosechada de la yuca para así disminuir las pérdidas en rendimiento por hectárea, y las pérdidas en porcentaje de almidón extraíble.

Al utilizar yuca pasada del tiempo óptimo de cosecha, se aumenta el contenido de agua y fibra y el porcentaje de almidón se disminuye notablemente ya que aumenta la producción de mancha que es almidón de mala calidad.

La calidad del almidón depende de la variedades de yuca, del tiempo de cosecha, de la calidad del agua, del aseo de la rallandería, del tiempo de fermentación, del tiempo de secado, del rallado, del colado y del material de las máquinas (Bernal, 1996).

En el proceso de extracción del almidón de yuca se siguen las siguientes etapas (Figura 1):

4.2.1 Lavado y pelado: consiste en pasar a través de un tambor cilíndrico las raíces de yuca, las cuales reciben una presión del agua y una fricción con la lámina del tambor para así eliminar impurezas (tierra, palos, piedras) y lograr también el desprendimiento de la corteza externa o cascarilla.

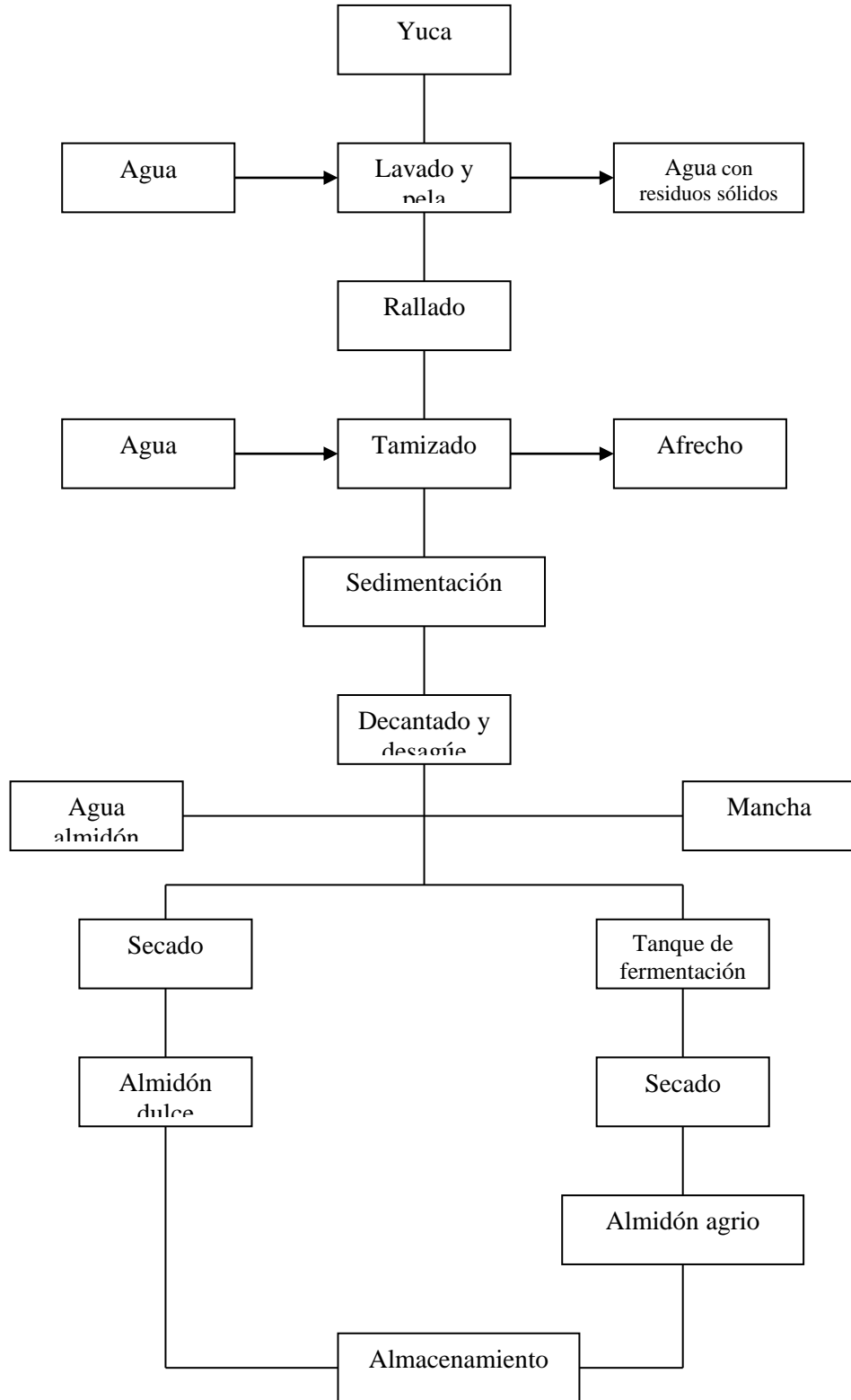


Figura 1. Proceso de extracción del almidón de yuca.

En esta etapa se elimina entre el 60 y 70% de la cáscara para luego ser eliminada totalmente por trabajo manual y se utiliza gran cantidad de agua entre 30 a 45L/minuto, las lavadoras tradicionales de yuca utilizan cargas desde 80 a 150kg y las pérdidas en el lavado son normalmente del 5%, el cual depende de la variedad y del estado en que se encuentre la yuca, de la máquina lavadora, del período de lavado y del diseño de las aberturas de la lámina. En esta primera etapa se obtienen las primeras aguas residuales.

4.2.2 El rallado: es una de las operaciones más eficientes en el proceso, se realiza en un tambor de madera que consta de una lámina perforada manualmente y este se encuentra en un cajón donde origina un punto de corte con la madera. En esta etapa se liberan los gránulos de almidón contenidos en la célula de la pulpa de la raíz, presentándose al final un rallado como una masa fina o áspera dependiendo de la abertura del tambor con la madera. Esta etapa se realiza en seco, el promedio de rendimiento del equipo es de 1 tonelada de yuca por hora.

El porcentaje de extracción del almidón depende del rallador, si la textura de la raíz no es cortada para liberar los gránulos de almidón de las fibras, el rendimiento de extracción es bajo y las pérdidas de almidón en el afrecho se aumenta.

El rallado no debe ser muy fino ya que el gránulo de almidón sufre un daño físico y un posterior daño enzimático. Esto provoca una mayor formación de mancha debido a la baja densidad del gránulo de almidón.

4.2.3 El tamizado o colado: se realiza en un tambor colgado de un semieje que se carga y se descarga lateralmente con una tolva donde se mezcla la masa rallada con el agua para separar el almidón de impurezas finas (trozos muy pequeños de pulpa y fibra, material proteico y granos en suspensión) de la fibra gruesa o afrecho que queda sobre el tamiz. En esta etapa se obtiene la lechada y esta compuesta de partículas de almidón, arena, agua y mancha.

Durante el proceso se utilizan, entre 35 y 40 L/minuto de agua, la cual requiere de un bajo contenido en minerales y otros sólidos que dañan el producto final, de ello dependen algunas coloraciones o pardiamientos del almidón. El colado es la operación más lenta del proceso general de extracción de aquí se obtienen como subproductos el afrecho y la mancha.

4.2.4 La sedimentación: es un proceso continuo donde la lechada, después de salir de la coladora es conducida a unos canales donde se desarrolla la sedimentación del almidón, los canales están revestidos de azulejo que permite el desplazamiento de la sustancia uniformemente. Los canales (Figura 2) deben tener como mínimo el 0.1% de pendiente para evacuar fácilmente la mancha y limpiar el almidón sedimentado. En este proceso el almidón se vuelve compacto y las partículas pesadas como la arena se confunden con el almidón, pero las livianas, como las proteínas conocidas como mancha por su color amarillento quedan en la superficie del almidón sedimentado, que rápidamente se compacta, esto permite su fácil separación (Bernal, 1996).



Figura 2. Canales de sedimentación del almidón de yuca.

4.2.5 La fermentación: es un proceso que se realiza cuando se quiere producir almidón agrio, este se sedimenta y se coloca en tanques de fermentación (Figura 3) donde el almidón húmedo permanece durante 20 o 30 días a partir de los cuales por decantación se retira el agua residual a los ríos o quebradas.

El beneficio de la fermentación es múltiple permite la conservación de un producto altamente perecedero como la yuca y confiere al almidón el sabor, textura y volumen deseables para la panificación. Estas características del almidón fermentado no pueden ser obtenidas del almidón sin fermentar (Bernal, 1996).



Figura 3. Tanques de fermentación del almidón de yuca.

4.2.6 El secado: después de la fermentación, el almidón es secado al aire libre (Figura 4), sobre el piso de concreto y sobre polietileno negro, hasta obtener una humedad del 12% aproximadamente, para ser empacado en sacos de fibra sintética o en sacos de papel que serán distribuidos a diferentes fábricas.

El almidón agrio se vende a intermediarios, a queseras, a panaderías o directamente a industrias de pasabocas y a empresas distribuidoras de almidón (Bernal, 1996).



Figura 4. Secado del almidón de yuca

4.2.7 Agua requerida en el proceso: el agua que es utilizada para el lavado de la yuca debe ser lo más limpia posible aunque no se requiere de un tratamiento especial; contrario al agua que se requiere para el colado, que debe estar libre de materia orgánica, de arcilla o de otros materiales que pueden adherirse al almidón y deteriorar su coloración.

Si no se dispone de fuentes de agua pura se puede emplear agua de los nacimientos de quebradas cercanas, ya que estos lugares no han sido contaminados con desechos orgánicos, también se utilizan aguas de pozos profundos que después de filtrarla sirve para el tamizado.

En las etapas de lavado, tamizado y sedimentado del proceso de extracción, se consumen aproximadamente 80L de agua originando efluentes con una alta carga orgánica (Figura 5), los cuales requieren un tratamiento previo antes de ser vertidas a las corrientes naturales. La mayoría de las rallanderías arrojan sus vertimientos a las quebradas, otras las hacen a las acequias, al río, al alcantarillado o a una cañada. Solo unos pocos hacen algún tratamiento al agua residual como la sedimentación, agregando cal en pozo de

recolección, por filtración, en pozos de oxidación o en estanques de depósito (CRC, 1988).



Figura 5. Agua residual proveniente de los tanques de sedimentación que es arrojada directamente a la quebrada Abejonales

4.3 CLASES, USOS Y PRODUCCIÓN DEL ALMIDÓN:

Existen dos clases de almidón, el almidón agrio y el almidón dulce:

El almidón agrio se obtiene al sacarlo directamente a los tanques de fermentación y luego al secado solar y se utiliza principalmente como ingrediente en las panaderías (elaboración de pandebono, pandeyuca, buñuelos, empanadas, arepas de almidón y pasabocas como: rosquillas, besitos, chitos, chicharrones).

El almidón dulce se obtiene al sacarlo directamente del canal de sedimentación al secado solar sin la etapa de fermentación. Se utiliza para elaborar cintas, pegantes, fabricar cajas de cartón y otro tipo de papeles. En la industria de alimentos para la producción de

carnes frías, galletería dulce, conos para helados y como espesante de sopas y gelatinas;. en medicina es empleado como relleno de pastillas y cápsulas.

Como subproductos de la extracción de almidón de yuca, se obtiene el afrecho el cual sale en la etapa del tamizado y la mancha que sale durante la sedimentación, estos subproductos se comercializan para alimentar animales de granja (CRC et al, 1995).

Las plantas procesadoras poseen una misma tecnología con la cual procesan entre 1 a 2,5 toneladas por día. La producción estimada de almidón por toda la agroindustria es de 6000 a 10000 toneladas por año, calculándose que representa entre el 70% y 80% de la producción total del país.

En el Cauca hasta 1995 habían 210 rallanderías de las cuales 146 funcionaban normalmente. Están distribuidas en 85 veredas de 12 municipios del Cauca (Caloto, Santander, Caldono, Piendamó, Morales, Buenos Aires, Suares, Cajibío, Rosas, La Sierra, Patía y el Tambo). En las 122 que se encuentran entre Santander de Quilichao y Caldono se producen anualmente 27000 toneladas de yuca al año de las cuales se extrae cerca de 5500 toneladas de almidón. La capacidad de producción de las plantas esta entre 500 y 2500kg/día (CRC et al., 1995).

La CRC et al en 1995 reportan que de almidón agrio se producen en promedio 10700 toneladas anuales, de almidón dulce 135 toneladas al año, de afrecho seco 4450 toneladas por año y de mancha seca 750 toneladas por año. Se rallan aproximadamente 53500 toneladas por año, algo así como 615000 bultos de yuca.

4.4 CONTENIDO DE CIANURO EN YUCA

Todas las investigaciones realizadas en yuca han reconocido la existencia de glucósidos cianogénicos, tanto en la raíz como en tallos y hojas, que son fácilmente desdoblados

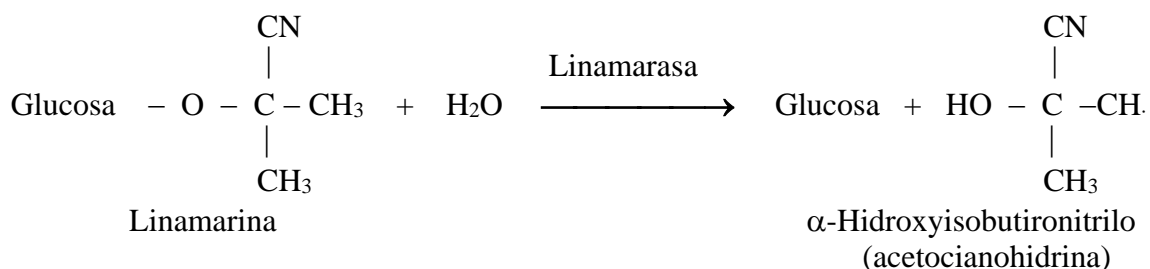
por las enzimas presentes en forma natural en la planta, las cuales liberan ácido cianhídrico (HCN).

La yuca es dulce o amarga según el bajo o alto contenido de cianuro, para la variedad amarga el contenido de HCN es de 0.010 – 0.035%, el cual esta contenido principalmente en la corteza; la variedad dulce contiene entre 0.004 – 0.015% (Altomirano, 1995).

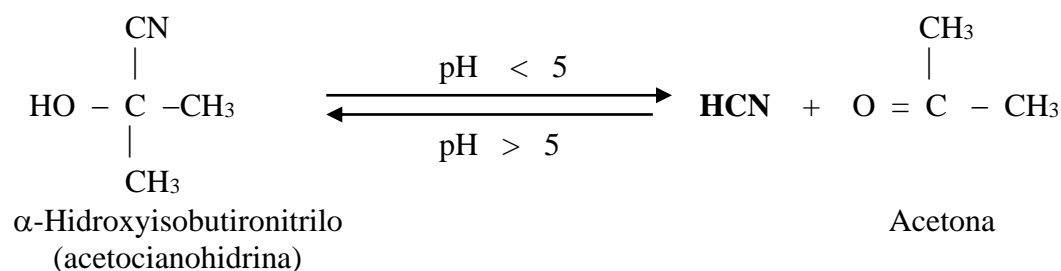
4.4.1. Concentración de cianuro en el proceso de extracción del almidón: se suelen utilizar plantas de 8 - 20 meses de edad para la extracción del almidón donde la concentración de cianuro varia de acuerdo a las diferentes etapas en el proceso.

Al procesar las raíces dichos glucósidos cianogénicos como la linamarina se hidrolizan produciendo glucosa y α -Hidroxyisobutironitrilo (acetocianohidrina), esta reacción es catalizada por la linamarasa, enzima endógena que se localiza en la pared celular. De los tubérculos de yuca (reacción 1) Posteriormente la acetocianohidrina se hidroliza para liberar HCN más acetona (reacción 2).

Reacción 1



Reacción 2



En el cuadro 2 se muestran las concentraciones de cianuro en las diferentes etapas de extracción del almidón, donde las raíces en un comienzo tienen un 100% de cianuro las cuales durante el lavado pierden gran parte de su contenido de cianuro y este aparece en mayor proporción en el agua (40 - 70%) debido a su solubilidad en forma combinada o libre. En la etapa de sedimentación, el almidón contiene entre 8 y 14% del cianuro encontrado en el material en bruto, al cabo de 1 - 3 días de sedimentación la concentración de cianuro se disminuye a menos del 4 % y en el período de secado esta concentración se reduce a menos del 1% puesto que la lenta exposición al sol hace que este compuesto se volatilice (Bernal, 1996).

Cuadro 2. Concentración de cianuro en las diferentes etapas de extracción del almidón de yuca.

Etapa	Concentración de cianuro (mg/100g con base en peso seco)	Cantidad de cianuro (%)
Raíces frescas	40.9	40.9 (100)
Raíces molidas	35.4	35.4 (86.6)
Residuos	13.2	3.74 (9.1)
Agua de lavado	229.4	27.3 (66.7)
Almidón seco	0.4	0.29 (0.7)

Fuente: Bernal 1996

4.4.2 Toxicología del cianuro aunque la toxicidad del cianuro libre se ha establecido claramente, el grado de toxicidad de los glucósidos cianogénicos es incierto. Cuando el cianuro entra en la sangre, este es convertido a tiocianato, el cual es excretado luego a través de la orina. La muerte ocasionada por la toxicidad crónica y aguda reportada en humanos y animales provocada por el consumo permanente de las raíces de yuca cruda, limita su empleo en la alimentación, pero gracias a los procesos de cocción, se reducen los niveles de cianuro. Esta toxicidad crónica ocurre en algunas localidades en Africa donde el consumo de yuca es alto. En Nigeria y Zaire se han llegado a asociar la gota y la degeneración nerviosa con los altos niveles de consumo de yuca (Altomirano, 1995). El grado de disociación de los diferentes cianuros, esta relacionado inversamente con el pH del agua lo que se relaciona a su vez con el grado de toxicidad (Bernal, 1996).

4.5 ANÁLISIS DEL IMPACTO SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA

Los impactos en la calidad del agua significan cambios en los indicadores ambientales debidos a acciones de una actividad o proyecto determinado; para lo cual se requiere de la evaluación química, física, microbiológica y microbiológica.

A continuación se presentan los conceptos requeridos para el análisis de la calidad del agua:

4.5.1 Contaminación y calidad del agua: de manera simple, la contaminación del agua se puede definir como la adición de sustancias extrañas que deterioran su calidad. La calidad del agua se refiere a su aptitud para los usos beneficiosos a que se ha venido dedicando en el pasado, esto es, para la bebida del hombre y de los animales, para el soporte de una vida sana, para el riego de cultivos y para la recreación (Roldan, 1992).

4.5.2 Indicadores ambientales: es la expresión que permite interpretar los efectos ambientales generados al entorno por los tensores producidos por proyectos

desarrollados en beneficio de una comunidad en particular. La introducción de elementos nuevos al entorno genera alteraciones sobre los diferentes componentes del ecosistema (Zambrano, 1998).

4.5.3 Análisis macrobiológico: comprende el estudio ecológico de la fauna y flora acuática como los macroinvertebrados, espermatofitos, macroalgas, etc., de donde los macroinvertebrados dulceacuícolas agrupan todos aquellos organismos que se pueden observar a simple vista y se implementan con mayor frecuencia por que constituyen uno de los componentes fundamentales de las cadenas tróficas en los ecosistemas, además pueden ser utilizados como indicadores de la calidad del agua que se basa en el hecho de que dichos organismos ocupan un hábitat a cuyas exigencias ambientales están adaptados; cualquier cambio en las condiciones ambientales se reflejará, por lo tanto, en las estructuras de las comunidades que allí habitan (Roldan, 1992).

Para llevar acabo el análisis de las muestras, después de su identificación y conteo, se tienen en cuenta los parámetros de calidad así:

4.5.3.1 Estructura de la comunidad: esta constituida por varias poblaciones, entre las cuales una, dos, o tres, se manifiestan como dominantes bien sea por sus altas densidades, por su tamaño (biomasa), o por su actividad e interacción en la red trófica. En cualquiera de los casos los dominantes controlan la mayor parte del flujo de energía en el ecosistema y las demás poblaciones le confieren a este la diversidad necesaria para lograr la estabilidad funcional de acuerdo con las características del medio. Entre mayor sea la diversidad mayor será la estabilidad entre los componentes biótico y abiótico por que se presentará un mejor control en el flujo de energía. Las relaciones generales entre especies y número se puede representar en una curva cóncava o “hueca” donde unas pocas especies corrientes con grandes números de individuos asociados a muchas especies raras con pocos individuos caracterizan la estructura de la comunidad para cualquier ecosistema en equilibrio. Un ambiente físico riguroso, contaminación u otras

tensiones propenderán a desequilibrar la estructura de la comunidad y la curva se tornará mas corta o aplanada (Odum, 1972).

4.5.3.2 Índice de diversidad (Shannon-Weaver): es una medida de la complejidad de la comunidad en términos de una mayor o menor cantidad de poblaciones (especies), y de la abundancia relativa (densidad) de los organismos de cada una de ellas (Odum, 1972).

Se calcula el índice de diversidad mediante la aplicación de la fórmula:

$$H' = - \sum (ni/N) \ln (ni/N)$$

Donde:

ni es el número de organismos por cada género

N es el número total de organismos colectados

Ln es el logaritmo natural

El índice de diversidad calculado mediante esta fórmula oscila entre valores de 0.0 y 5.0 y debe interpretarse en la siguiente forma:

0.0 - 1.5 Baja diversidad

1.6 - 3.0 Mediana diversidad

3.1 - 5.0 Alta diversidad

4.5.3.3 Sistema para la determinación del índice de monitoreo biológico (BMWP): interpretado por Armitage. P.B, et al., en Gran Bretaña al amparo del “National Water Council”, consiste en la ordenación de macroinvertebrados acuáticos a nivel taxonómico de familia, en diez grupos en una escala de mayor a menor tolerancia a las alteraciones

de las condiciones normales naturales de los cuerpos de agua, asignando valores entre uno y diez puntos respectivamente.

Los valores BMWP se correlacionan en cinco grados de contaminación (oligotrófico, oligomesotrófico, mesotrófico, mesoeutrófico y eutrófico), asignándoles además una significación de la misma en cada caso. En el cuadro 3 se presentan seis (6) clases correspondientes con niveles de calidad, según el puntaje obtenido en la sumatoria realizada para la muestra. Para cada clase se define su característica y finalmente se le asigna el color a utilizar en el cartografiado de calidad (Armitage et al., 1983; en Zamora, 1999).

Cuadro 3. Clases, valores y características para las aguas clasificadas mediante el índice BMWP adaptado para Colombia.

CLASE	RANGO	CALIDAD	CARACTERISTICAS	COLOR CARTOGRAFICO
I	>121	Muy Buena	Aguas muy limpias	Azul oscuro
II	101 ≥ 120	Buena	Aguas limpias	Azul claro
III	61 - 100	Aceptable	Aguas medianamente contaminadas	Verde
IV	36 - 60	Dudosa	Aguas contaminadas	Amarillo
V	16 - 35	Critica	Aguas muy contaminadas	Naranja
VI	≤ 15	Muy crítica	Aguas fuertemente contaminadas	Rojo

4.5.3.4 Bioindicación: este análisis consiste en caracterizar cada una de las poblaciones representadas en las muestras de acuerdo con la propiedad que presentan sus organismos de colonizar el medio para el cual están mejor adaptados; es decir,

utilizamos los organismos como indicadores ecológicos de las condiciones o estado de los ecosistemas, de acuerdo con su capacidad de colonización, en los siguientes rangos, oligomesotrófico, mesotrófico, mesoeutrófico, eutrófico y no indicadores.

4.5.3.5 Densidad de población: es la cantidad de individuos colectados en una área de un metro cuadrado. Las poblaciones con altas densidades son mejores indicadores ecológicos que aquellos con pocos organismos, razón por la cual es importante tener en cuenta este parámetro para el análisis general (Zamora, 1998).

4.5.4 Análisis microbiológico: es el estudio de organismos microscópicos como las bacterias que juegan un papel muy importante en la transformación y descomposición de la materia orgánica y mineral en el ambiente. Estas bacterias y otros microorganismos están muy ligados a los factores ambientales como la temperatura, el pH y el oxígeno.

Las bacterias no se distribuyen uniformemente pero si hay una gran variedad de ellas; pueden vivir en el suelo por donde el agua fluye, o llegar con la lluvia o el aire a la superficie del agua. Otras fuentes de bacterias para el agua son los vegetales, los animales y el hombre.

Según el hábitat, la composición de la flora bacteriana difiere ampliamente, dependiendo no solo el contenido en agua de material orgánico e inorgánico, su pH, turbidez, temperatura, sino también de las fuentes que pueden introducir microorganismos en el agua.

El análisis microbiológico de muestras de agua tiende a determinar la calidad sanitaria de estas y su aptitud para distintos usos. En general, los métodos utilizados están diseñados de modo que detecten el grado de contaminación de del agua con desechos de origen humano y/o animal.

El grupo de bacterias coliformes ha sido siempre el principal indicador de calidad de los distintos tipos de agua el número de coliformes en una muestra se usa como criterio de contaminación y por lo tanto, de calidad sanitaria de la misma. Este grupo incluye los géneros *Escherichia*, *Enterobacter*, *Klebsiella* entre otras. También interesa la determinación de coliformes fecales que representan la fracción de coliformes, en general, de intestinos y materias fecales de hombre y animales de sangre caliente. Esto provee información importante sobre la fuente y el tipo de contaminación presente (APHA, 1998).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) en 1978 (Roldan 1992) dicto los siguientes criterios para la clasificación de las aguas de acuerdo con el NMP de coliformes totales en 100 ml. (Cuadro 4).

Cuadro 4. Criterios de calidad bacteriológica del agua utilizados por la OMS

CLASIFICACION		NMP de Coliformes totales
I.	Calidad bacteriológica que no exige más que un simple tratamiento de desinfección.	0 - 50
II.	Calidad bacteriológica que requiere la aplicación de métodos habituales de tratamiento como coagulación y filtración.	50 - 5000
III.	Contaminación intensa que obliga a tratamientos más activos.	5000 - 50000
IV.	Contaminación extrema, que hace inaceptable el agua a menos que se recurra a tratamientos especiales	> 50000

Fuente: Roldan, 1992

4.5.5 Análisis fisicoquímico: es el que permite conocer la calidad del agua y las condiciones de un ecosistema acuático en un momento dado. La variabilidad de los datos obtenidos permiten establecer indicadores de alteración en el cuerpo de agua. Los principales parámetros físico-químicos que fundamentalmente se requieren para realizar un análisis de la calidad del agua son:

4.5.5.1 Temperatura ambiente y temperatura del agua: es el efecto de la cantidad de energía calórica que absorbe un cuerpo de agua natural y su correspondiente relación con la temperatura ambiental o del aire, debido al alto calor específico del agua, el cual permite la disipación de la luz y la acumulación de calor (Roldan, 1992). La temperatura de las aguas superficiales gobierna una gran extensión de especies biológicas presentes y la velocidad de su actividad, que tienen un gran efecto sobre muchas de las reacciones químicas que ocurren en el agua (Barba, 1989).

4.5.5.2 Turbiedad: se entiende como la oposición y resistencia al paso de la luz, generalmente es causada por la presencia de material propio del sistema (autóctono) o aquellos que por escorrentía y/o lixiviación son aportados directamente a la columna de agua (alóctono), por lo tanto estos factores inciden en la capacidad de penetración lumínica, por ende, en los procesos biológicos que se llevan a cabo dentro del ambiente acuático (Roldan, 1992).

4.5.5.3 Oxígeno disuelto y porcentaje de saturación de oxígeno: la concentración de oxígeno en un cuerpo de agua natural está dado por la transferencia de este entre el aire y el agua y por procesos fotosintéticos. La mayor o menor cantidad de este parámetro depende principalmente de la turbiedad, la temperatura, la presión y la profundidad. Se expresa en peso a volumen o para mejor interpretación se da en porcentaje de saturación de oxígeno, es necesario tener en cuenta esto para el análisis de la condición del cuerpo de agua referente a: capa aeróbica, niveles de productividad natural, procesos de respiración, entre otros (Vasquez, 1996).

4.5.5.4 Gas carbónico disuelto (CO₂): este gas se origina por la descomposición de la materia orgánica, por la respiración de los animales y las plantas y por el agua lluvia (Roldan, 1992).

4.5.5.5 Cianuro: este término incluye a todos los grupos CN y en compuestos de cianuro que se pueden determinar como ión CN⁻. En las soluciones acuosas de cianuros el grupo CN esta presente como CN⁻ y HCN molecular. El ión cianuro tiene una vida media relativamente corta porque puede servir como fuente de energía para las bacterias aeróbicas siempre que la concentración de cianuro se mantenga por debajo del umbral tóxico (5mg/L) para ellas por esta razón debe tener poca importancia cuando se emplean sistemas de tratamiento biológico en el tratamiento de los residuos municipales, o cuando transcurren varios días de retención en las aguas naturales (Sawyer et al., 2001).

4.5.5.6 pH: es una medida de la concentración de iones hidrogeno (H⁺) en el agua; en los sistemas biológicos las variaciones extremas del pH hacia cualquier lado del punto neutro pueden ser impactantes para los microorganismos. Generalmente se requieren valores de pH entre 6 y 9 (Roldan,1992).

4.5.5.7 Acidez total: corresponde a la suma de la acidez mineral más la acidez causada por la presencia del gas carbónico; es necesario considerar este parámetro pues con base en el pH obtenido se puede deducir su origen y sus posibles efectos sobre el ecosistema (Vasquez, 1996).

4.5.5.8 Alcalinidad total: es la capacidad para neutralizar ácidos, o es la forma de expresar la cantidad de iones bicarbonato y carbonato presentes en el agua. Además de su origen mineral, estas sustancias pueden originarse del dióxido de carbono, un

constituyente de la atmósfera y un producto de la descomposición microbiana de material orgánico (Roldan, 1992).

4.5.5.9 Conductividad: sirve para medir la cantidad de iones; y por lo tanto se correlaciona con los sólidos disueltos y la salinidad. Por medio de este parámetro se puede tener una idea acerca del funcionamiento del ecosistema acuático (Roldan, 1992).

4.5.5.10 Demanda química de oxígeno (DQO): forma de medir la concentración de la materia orgánica en los residuos domésticos e industriales. Esta prueba permite medir en un residuo la cantidad total de oxígeno que se requiere para la oxidación de la materia orgánica a CO₂ y H₂O. La prueba se basa en que todos los compuestos con pocas excepciones pueden ser oxidados por la acción de agentes oxidantes fuertes en condiciones ácidas.

Durante la determinación de la DQO, la materia orgánica es convertida a CO₂ y agua independientemente de la capacidad biológica de las sustancias para ser asimiladas. Por ejemplo la glucosa y la lignina son completamente oxidadas; en consecuencia los valores de DQO son mayores que los de DBO₅, y puede ser aun mayores cuando existen cantidades significativas de materia orgánica biológicamente resistente.

Una de las limitaciones es la imposibilidad para diferenciar entre materia biológicamente oxidable y materia orgánica biodegradable inerte. Además no proporciona ningún dato de la velocidad a la que el material biológicamente activo se estabiliza en las condiciones existentes en la naturaleza (Sawyer et al., 2001).

4.6 EVALUACION DE LOS EFECTOS AMBIENTALES RELACIONADOS CON LA PRODUCCIÓN DE ALMIDÓN DE YUCA

Esta etapa presupone la identificación previa de los efectos ambientales que una actividad antrópica causa sobre los recursos naturales, para posteriormente utilizar los diferentes métodos de evaluación como: matrices, cartografía y redes, entre otros.

El uso de listados, matrices y redes pueden llevarse a cabo con una recolección moderada de datos que requiere de una cierta familiaridad con el área afectada por el proyecto y con la naturaleza del mismo. En el hecho, es fundamental un ejercicio al personal de la empresa, a las autoridades responsables de la protección ambiental, recursos naturales, calidad ambiental, etc. y al público involucrado. Todos pueden contribuir a una rápida identificación de los posibles efectos (CONAMA, 1994).

En una evaluación de efectos ambientales se deben tener en cuenta generalmente un conocimiento inicial de la actividad o proyecto, las características generales del territorio o lugar donde la actividad se vaya a ejecutar o ya se esté realizando y el análisis y selección de los aspectos más importantes para determinar los impactos ambientales a través de considerar efectivamente la fragilidad y calidad del territorio afectado.

Los anteriores aspectos se pueden presentar por ejemplo, en una matriz de influencia-dependencia, cuyo objetivo principal es identificar las situaciones mas apremiantes que se presentan en el área de influencia directa del proyecto y que son causantes de diferentes efectos ambientales, como el deterioro y estado de los recursos naturales, de la situación socio-económica de los habitantes y poder hacer un análisis cualitativo entre las variables que intervienen para determinar si estas son mas independientes que dependientes . La matriz también permite desechar aquellas variables que no tengan ninguna influencia sobre los objetivos del plan de manejo y que erróneamente se hayan considerado como importantes y se vayan a trabajar sobre ellos.

5. ZONA DE ESTUDIO

5.1 ASPECTOS GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO

La quebrada Abejonales se localiza en el municipio de Santander de Quilichao (Anexo A y B), al norte del departamento del Cauca. Nace en el cerro La Chapa a unos 2000 m.s.n.m. y desemboca en la quebrada La Chapa a unos 995 m.s.n.m. Tiene una longitud de 6 km. Recorre áreas correspondientes a la zona de vida bosque húmedo Premontano (bh-PM) (Anexo C) según el sistema de Holdridge (1978). Esta quebrada pertenece a la subcuenca del río Quinamayó y a la microcuenca del río Mandivá (Cuadro 5), presenta una pendiente media del 23% y su relieve se clasifica como fuerte (Anexo D). Esta quebrada es fuente receptora de los vertimientos de dos rallanderías de yuca ubicadas en la vereda Mandivá que se encuentra distante de Santander de Quilichao unos 9.6Km (vía Popayán – Cali), es una zona hoy en día con un ecosistema intervenido (Figura 6).



Figura 6. Puente sobre la quebrada Abejonales vía Popayán - Cali.

Cuadro 5. Clasificación del área hidrológica de afluencia de la subcuenca del río Quinamayó.

		SECTOR	UNIDAD	TRIBUTARIO
		Río Mandivá		
			Los Palos	El Turco
		Cascabel	Pan de Azúcar	
		Las Animas	Quiebrapié	
SUBCUENCA QUINAMAYO	MICROCUEENCA MANDIVA	La Chapa	La Fila	
			La Agustina	Duende y La Cascada
			Cachimbal	
			Abejonales	El Columpio y El Guabito
			Palmarito	
			La Grande	La Chivera
			Samanies	Chuspilla

Fuente: CRC 2001

5.1.1 Clima: en la vereda Mandivá se presenta una pluviosidad máxima de 2936mm/año y una mínima de 1054mm/año. La evaporación máxima es de 1670 y una mínima de 492. La zona tiene una temperatura promedio de 23 °C (Anexo E).

En general, la microcuenca del río Mandivá presenta un régimen bimodal, caracterizados por dos períodos secos en los meses de diciembre-enero-febrero y junio-julio-agosto, dos periodos lluviosos en marzo-abril-mayo y septiembre-octubre-noviembre. La microcuenca presenta una pluviosidad de 2050mm, equivalente a un promedio mensual de 171mm; los meses más lluviosos son octubre y noviembre con pluviosidad media máxima de 260 y 270mm respectivamente, los meses más secos son julio con 77mm y agosto con 81mm (CRC ,2001).

5.1.2 Geología: la zona de estudio está constituida por la formación Esmita (Tme) que a lo largo del rumbo aparece recubierta parcialmente por depósitos de la formación Popayán, esta unidad presenta una topografía de pendientes suaves, se producen arcillas amarillas, rojizas y violáceas.

Cubierta de depósitos terciarios cuaternarios, la formación esmita tiene un espesor aproximado de 340m constituida por limolitas de color negro con estratificación gruesa o fina, arcillolitas oscuras, areniscas grises y verde oscura, capa de areniscas fosilíferas, ocasionalmente interrelaciones de sales carbonatadas y de una capa de conglomerados cuarzosos.

También está constituida por la unidad stock de La Chapa (TMch) que aparece al norte de Mondomo, como cinco unidades separadas prácticamente por lechos colgantes de rocas sedimentarias que corresponden a tonalitas. Los minerales observados son el cuarzo, el feldespatos, los máficos y porfiritas.

Hacia la desembocadura de la quebrada Abejoneles se encuentran unidades aluviales hacia la margen, formando superficies planas originadas por la erosión de las mismas corrientes de agua, se conforman capas de arena, grava redondeada, limo y ocasionalmente arcillas. La edad de las anteriores unidades se asigna al Cuaternario (Anexo F) (Orrego, 1991).

En cuanto a las ocurrencias minerales que existen en el Municipio de Santander de Quilichao, no son de rendimiento económico importante sin embargo en la vereda Mandivá, la bauxita se encuentra en la costra de la formación Popayán y se explota en forma rudimentaria para la producción de sulfato de aluminio. En el cerro La Chapa se encuentran depósitos de caolin, asociados a pequeños cuerpos ígneos intrusivos de composición dacítica (CRC, 2001).

5.1.3 Geomorfología: la quebrada Abejonales pertenece a la unidad de Crestas Ramificadas Vertiente Occidental del río Mandivá, la cual está conformada por una serie de colinas medias a altas, de vertientes fuertes, con drenajes altamente disectados asociados a suelos de la asociación Dominguito en la que predominan los procesos de escorrentía. Se conserva algunos relictos de bosques restringidos a los cauces principales de las unidades La Chapa, La Agustina, Abejonales y Palmarito, sin embargo, debido al cambio en el uso del suelo, la alta deforestación y la construcción de carretables se puede zonificar como un área en la que predominan los procesos erosivos con intensidad que varía de muy alta a moderada. De acuerdo a esto el deslizamiento es activo en cercanías a la quebrada El Columpio de la unidad hidrográfica Abejonales, también hay deslizamientos pequeños y caída de bloques de roca ígnea porfídica que se encuentran expuestos actualmente en superficies (CRC, 2001).

5.1.4 Suelo: el área de estudio en su parte alta pertenece a la Asociación Dominguito-Tres Quebradas (DT). Esta unidad se presenta en las partes altas de las colinas bajas en donde la disección es máxima. Ocupa áreas de relieve ondulado y pendientes que oscilan entre el 50 y el 75% afectadas severamente por la erosión (Anexo G). Sus suelos son por lo general profundos a muy profundos, bien drenados y se han desarrollado a partir de materiales ígneos ácidos o básicos afectados parcialmente por cenizas volcánicas.

El conjunto Dominguito que representa la mayor proporción de la unidad se ha desarrollado por cenizas volcánicas. Sus perfiles modales constan por lo general de un epipedón ócrico, un horizonte cámbrico, de un horizonte C de arcillas rojizas. Su nivel de fertilidad es generalmente muy bajo y se encuentran cubiertos de rastrojos.

La otra unidad a la que pertenece la zona de estudio en su parte baja es al conjunto Mandivá, son suelos medianos a livianos muy profundos y generalmente bien drenados. Presenta alto grado de desarrollo, textura liviana (franco arenosa), se dispone en capas

discontinuas de gravilla. Son suelos de origen sedimentario y origen ígneo que provienen aparentemente de sedimentos derivados de aluviones recientes (CRC, 2001).

5.1.5. Uso actual del suelo: comprende las coberturas vegetales establecidas en el suelo o existentes en él y el manejo que se dá a las mismas en un momento dado. Se considera que el suelo tiene grandes usos agrícolas, de pastos, de bosques, vegetación de páramo y tierras miscelánea. A nivel general en la microcuenca Mandivá se presenta un uso del suelo agrícola, asociada a pequeños minifundios que en ocasiones presentan plantaciones de café y plátano, algunos cultivos de caña panelera, cultivos de pancoger y cultivos de yuca (Figura 7) que surten parte de las rallanderías de la zona. Gran parte de la microcuenca ha sido deforestada, presentándose solo relictos de bosques asociados a los cauces principales y bosques densos hacia las partes altas de las diferentes unidades hidrológicas (Anexo H) (CRC, 2001).



Figura 7. Utilización del suelo para cultivos de yuca.

5.1.6 Uso potencial del suelo: se define como la capacidad que posee la tierra para producir o mantener una cobertura vegetal. El Instituto Colombiano Agustín Codazzi (IGAC) realizó y clasificó de manera general los suelos de acuerdo a sus características de capacidad de uso la cual está relacionada con la productividad y cualidades de laboreo y conservación. Esta cualidad de uso se indica con números romanos así: II, III y IV representan tierras apropiadas para cultivos. Las clases V, VI y VII son tierras poco aptas para cultivos utilizables preferiblemente en ganadería y bosques; la VIII señala terrenos improductivos, además junto a este tipo de clasificaciones se anotan letras en minúsculas como la e, indica que los suelos pueden erosionarse con facilidad, por lo cual es necesario manejarlos con sumo cuidado. La letra s representa problemas que impiden el normal desarrollo de las raíces por ejemplo: presencia de piedras o piedrecillas, acumulación de sales o arcilla que dificultan el laboreo. La h da a entender que el suelo presenta encharcamientos por exceso de agua.

La clase agrológica a la que pertenece la zona de estudio es la VIes, que comprende un relieve quebrado, con suelos profundos, bien drenados, de erosión ligera a moderada. La parte baja de la quebrada pertenece a la clase IIs, son tierras planas o ligeramente inclinadas, suelos moderadamente profundos a muy profundos, bien drenados, de fertilidad moderada (Anexo I) (CRC, 2001).

5.1.7 Vegetación predominante: la vegetación comprende estratos arbóreos, arbustivos y herbáceos a la ribera de la quebrada con especies nativas y otras introducidas. La vegetación según su nombre vulgar que fueron dados por los habitantes de la zona y el nombre científico se obtuvo por información secundaria, los cuales se presenta a continuación:

Guadua (*Banbusa angustifolia*), pasto elefante (*Pennisetum purpureum*), guabo o guamo (*Inga edulis*), nacedero (*Trichanthera gigantea*), chontaduro (*Guilielma gasipaes*), mango (*Mangifera indica*), plátano (*Musa paradisiaca*), guanábana (*Annona muricata*),

naranja (*Citrus aurantium* y *Citrus sinensis*), arrayán (*Myrcia popayanensis*), achote (*Bixa orellana*), piña (*Ananas comosus*), tachuelo (*Berberis glauca*), caña brava (*Gynerium sagittatum*), yarumo (*Cecropia sp*), árbol del pan (*Artocarpus incisa*), mano de oso o guásimo (*Guazuma ulmifolia*), cedro (*Cedrela angustifolia*), higuerón (*Ficus glabrata*), maíz (*Zea maiz*), carbonero (*Calliandra lehmannii*), maracuyá (*Passiflora edulis*), helecho (*Adiantum obliquum*), pajarito (*Aristolochia ringens*), entre otros (Espinal, 1980).y (Uribe, 1970).

5.1.8 Fauna predominante: la presencia de macrovertebrados aéreos y terrestres se ha visto influenciada por la acción de las quemas, insecticidas, deforestación y el monocultivo, conllevando a la desaparición de muchas especies. Se encuentra una fauna compuesta por: aves, reptiles y mamíferos cuyo nombre vulgar fue dado por los habitantes de la zona y científico se obtuvo por información secundaria, los cuales se presenta a continuación:

Azulejo (*Thraupis episcopus*), asoma (*Ramphocelus flammigerus*), torcaza (*Leptotila verreauxi*), gorrión (*Zonotrichia capensis*), loro (*Forpus conspicillatus*), carpintero (*Melanerpes formicivorus*), guatín (*Dasyprocta fuliginosa*), armadillo (*Dasyprocta novencinctus*), chucha (*Didelphis marsupialis*), zorro (*Cerdocyon thous*), ardilla (*Sciurus granatensis*), chucuro (*Mustela frenata*), golios (*Crotophaga sulcirostris*), murciélago (*Carollia perspicillata*), sabaleta (*Brycon henni*), culebra coral (*Micrurus mipartitus*), culebra guache (*Chironius monticola*), culebra cazadora (*Clelia clelia*) (Granados, 1975) y (Lehman, 1983).

5.2 DELIMITACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

5.2.1 Zona 1: está localizada aguas arriba de las microempresas del almidón de yuca, aproximadamente sobre los 1400m.s.n.m. Se caracteriza por poseer abundante

vegetación ribereña y en algunos tramos se observa la acción antrópica que junto a los fenómenos naturales tales como el viento, la lluvia, la gravedad, el sol y organismos vivos han provocado un desgaste o pérdida de la cobertura vegetal, esto ha traído como consecuencia un incremento en la erosión (Figura 8).



Figura 8. Zona 1 quebrada Abejonales.

5.2.2. Zona 2: se localiza aguas abajo de las microempresas, sobre los 995m.s.n.m. (Figura 9). Este sitio presenta en algunos tramos vegetación intervenida por cultivos de pancoger o ha sido eliminada por completo para la construcción de las rallanderías donde los subproductos que se obtienen del proceso de extracción de almidón (afrecho y mancha) son acumulados en muchas ocasiones cerca de la ribera de la quebrada para posteriormente ser vendidos y los residuos sólidos que no son utilizados como la cascarilla de yuca, los acumulan cerca de la corriente o la vierten directamente a esta (Figura 10 y 11).



Figura 9. Zona 2 quebrada Abejonales.



Figura 10. Vertimiento proveniente del lavado y pelado de la yuca.



Figura 11. Vertimiento proveniente del sobrenadante de la sedimentación del almidón de yuca.

6. METODOLOGÍA

La metodología empleada para el desarrollo del proyecto se llevó a cabo en la quebrada Abejonales la cual se seleccionó por sus características geomórficas ya que estas permiten un fácil acceso a las dos zonas de muestreo que fueron escogidas con base a la localización de la actividad de las microempresas de almidón de yuca así: zona 1 aguas arriba y zona 2 aguas abajo de los vertimientos de almidón de yuca. Los muestreos se realizaron durante el período comprendido entre febrero de 2000 y marzo de 2001, de los cuales marzo, abril, mayo, septiembre, octubre y noviembre pertenecen a la época de lluvias y enero, febrero, junio, julio, agosto y diciembre, pertenecen a la época seca. Estos periodos se consideran lluviosos y secos por información obtenida del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y fue corroborada por habitantes de la zona. Luego se realizó el análisis de laboratorio a las muestras recolectadas para posteriormente procesar la información.

Para evaluar el grado de contaminación de la quebrada Abejonales se tuvo en cuenta los análisis fisicoquímicos, la caracterización de la fauna béntica y la caracterización microbiológica del agua, paralelo a los muestreos, se realizó un breve análisis cualitativo de los posibles efectos ambientales que la producción de almidón de yuca está ocasionando sobre el área de influencia.

6.1 TOMA DE MUESTRAS Y ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS

Para determinar los parámetros fisicoquímicos se realizó un muestreo cada dos meses durante siete meses de tal manera que se contemple dos periodos (lluvioso y seco) en cada zona de muestreo.

Algunos parámetros fisicoquímicos fueron necesarios tomarlos directamente en la zona de muestreo y otros por el contrario fue necesario transportarlos de inmediato al laboratorio para su análisis. Por esta razón, se dividió el muestreo en dos fases: la de campo y la de laboratorio:

6.1.1 Trabajo de campo: se analizaron los siguientes parámetros:

Parámetro	Método utilizado
- Temperatura del agua	Termómetro de precisión
- Temperatura del ambiente	Termómetro de precisión
- Oxígeno disuelto (OD)	Electrométrico con electrodo de membrana
- Gas carbónico disuelto	Titulométrico
- pH	Electrométrico con electrodo de vidrio
- Acidez y alcalinidad total	Titulométrico
- Conductividad	Electrométrico con electrodo de platino

6.1.2 Trabajo de laboratorio: se analizaron los siguientes parámetros:

Parámetro	Método utilizado
- Turbiedad	Nefelométrico $\alpha = 400$ a 600nm
- Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Colorimétrico de reflujo cerrado $\alpha = 600\text{nm}$
- Cianuros totales	Colorimétrico $\alpha = 578\text{nm}$

6.2 TOMA DE MUESTRAS Y ANÁLISIS DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS

Para caracterizar las comunidades de macroinvertebrados acuáticos se realizó un muestreo cada dos meses durante siete meses de tal manera que se contemple dos periodos (lluvioso y seco) en cada zona de muestreo.

6.2.1 Trabajo de campo: se utilizó el método de flotación empleando una red de bentos o angeo plástico de 1mm de ojo de malla y un área de 1m², sujeta a los lados por dos soportes de 1.5m de longitud. La red se utiliza de manera que una persona la sujeta, fijándola al sustrato en contra de la corriente y otra persona remueve el fondo aguas arriba; las larvas presentes son arrastradas por la corriente y atrapadas en la red (Roldán, 1988). El área muestreada fue aproximadamente de 1m². Los organismos recolectados son depositados en un frasco de boca ancha que contiene alcohol al 70%.

6.2.2 Trabajo de laboratorio: posteriormente los organismos fueron transportados al laboratorio de Recursos Hidrobiológicos de la Universidad del Cauca, donde fueron identificados empleando diversas claves y guías taxonómicas. También se realizó el conteo para la cuantificación posterior de las muestras, y la cualificación de las mismas mediante el análisis de bioindicación.

Se desarrolló un análisis integral en cada uno de los puntos de muestreo, con base en la estructura de la comunidad, el índice de diversidad (Shannon-Weaver), el índice de monitoreo biológico (BMWP), la bioindicación y la densidad de población.

6.3 TOMA DE MUESTRAS Y ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Para este análisis se realizó un muestreo cada tres meses durante siete meses en cada zona de muestreo.

6.3.1 Trabajo de campo: la recolección de las muestras de agua se realizó en frascos de vidrio de boca ancha, previamente esterilizados, la cual se hizo a una profundidad de 20cm evitando remansos y cercanías a las orillas, los frascos con la muestra fueron rotulados y transportados al laboratorio de la empresa Acueducto y Alcantarillado de Popayán, donde fueron procesados antes de las 24horas.

6.3.2 Trabajo de laboratorio: en el laboratorio se siguió la técnica de fermentación en tubos múltiples que establece como índice el Número Más Probable (NMP), que es un registro del número de bacterias coliformes. La técnica de tubos múltiples tiene una prueba presuntiva y una prueba confirmativa, en esta última se determina el NMP de coliformes totales. Finalmente se realiza una prueba completa o Test de Mackenzie para determinar los coliformes fecales.

6.4 TOMA DE MUESTRAS Y ANÁLISIS DE CIANURO

Los tres muestreos se realizaron en la zona 2 donde se encuentran ubicadas las dos rallanderías, en cada una de las cuales se tomaron tres puntos de muestreo: los tanques de fermentación, el vertimiento y la fuente receptora.

6.4.1 Trabajo de campo: la recolección de las muestras de agua se hizo en frascos de plástico. Se tomaron muestras en los tanques de fermentación, en los vertimientos justo antes de caer a la fuente receptora y en la fuente receptora directamente. La preservación de las muestras se hizo con una solución de Hidróxido de Sodio (NaOH) al 96%, esto con el fin de conservar el pH sobre 10; las muestras ya preservadas se mantuvieron a baja temperatura (2⁰C), hasta su posterior análisis en el laboratorio.

6.4.2 Trabajo de laboratorio: las muestras se procesaron en el laboratorio de la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC), donde se llevó a cabo un método

colorimétrico para determinar la cantidad de cianuros totales. Este método consiste en hacer reaccionar los iones de cianuro con un agente de cloración hasta formar clorocianuro, que vuelve y reacciona con el ácido 1,3-dimetil barbitúrico formando un tinte violeta (reacción de piridina) que es determinado fotométricamente.

6.5 EVALUACIÓN CUALITATIVA DE LOS EFECTOS AMBIENTALES RELACIONADOS CON LA PRODUCCIÓN DE ALMIDÓN DE YUCA

Para realizar esta evaluación se recurrió a fuentes primarias como la observación directa y se establecieron diálogos permanentes con algunos habitantes de la zona y con los trabajadores de las rallanderías. La información secundaria se basó en la lectura de documentos relacionados con las microempresas de almidón de yuca obtenidos en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) y del Cauca (CRC) y en el Instituto de Investigación en Geociencias, Minería y Química (INGEOMINAS), estas entidades permitieron obtener información acerca de la climatología, geomorfología e hidrografía de la zona en estudio.

La evaluación cualitativa de los efectos ambientales que producen las actividades antropicas en el área de influencia directa, se realizó mediante redes de interacción y la matriz de influencia - dependencia.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS

7.1.1 Zona 1: en época seca se colectaron un total de 325 individuos distribuidos en 2 phyla, 2 clases, 10 ordenes, 20 familias y 24 géneros. Estructuralmente la comunidad esta dominada por los géneros Thraulodes con el 29% y Brechmoroga con el 18% del total de los organismos, seguidos por los géneros Anacroneuria con el 8%, Leptonema y Leptohyphes con el 6%, también se encontraron algunos individuos del género Baetoes entre otros (Cuadro 6, figura 12).

En la época de lluvias se colectaron 379 individuos distribuidos en 1 phylum, 1 clase, 7 ordenes, 16 familias y 20 géneros. En la comunidad predominan los géneros Brechmoroga con el 25%, Thaulodes con el 14%, Leptonema, Leptohyphes y Progomphus con el 10%, Anacroneuria y Rhagovelia con el 5.5% (Cuadro 6, figura 13).

En general en la zona 1 se colectaron 704 individuos distribuidos casi en su totalidad en la clase Insecta (99.8%). Estos organismos se distribuyeron de tal manera que hubo: dos géneros dominantes que son los que tienen el mayor número de individuos, los demás géneros presentan un menor número de organismos, la importancia de los individuos dominantes esta en que ellos controlan los niveles tróficos y manejan la energía del ecosistema, los demás dan diversidad y estabilidad al ecosistema acuático. La bioindicación de estos organismos (Anexo J) determinan que esta corriente de agua presenta una dinámica que permite el establecimiento de organismos propios de aguas oligotróficas a oligomesotróficas.

Cuadro 6. Comunidad de macroinvertebrados acuáticos de la zona 1 de la quebrada Abejonales en época seca y época de lluvia.

PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GENERO	No. INDIVIDUOS			
					SECA		LLUVIA	
					Ni	%	Ni	%
A R T R O P O D A	I N S E C T A	Odonata	Libellulidae	Brechmoroga	66	18	97	25.6
			Gomphidae	Progomphus	15	4.6	37	9.8
			Coenagrionidae	Argia	3	0.9	5	1.3
			Calopterygidae	Hetaerina	1	0.3	1	0.3
		Hemiptera	Naucoridae	Pelocoris	6	1.8	3	0.8
				Limnocoris	1	0.3	19	5
				Cryphocricos	5	1.5	3	0.8
			Veliidae	Rhagovelia	15	4.6	21	5.5
		Ephemeroptera	Leptophlebiidae	Thraulodes	97	29.8	53	14
				Terpides	9	2.7	6	1.6
			Tricorythidae	Leptohyphes	20	6.1	38	10
			Baetidae	Baetodes	17	5.2	0	0
		Neuroptera	Corydalidae	Corydalus	1	0.3	0	0
		Coleoptera	Ptilodactylidae	Anchytarsus	2	0.6	2	0.5
			Psephenidae	Psephenops	0	0	6	1.6
			Elmidae	Heterelmis	4	12	13	3.4
				Cylloepus	1	0.3	5	13
		Plecoptera	Perlidae	Anacroneuria	26	8	21	5.5
		Lepidoptera	Pyralidae	NN	1	0.3	0	0
		Diptera	Simuliidae	Simulium	2	0.6	4	1.1
			Chironomidae	Chironomus	4	1.2	2	0.5
		Trichoptera	Calamoceratidae	Phylloicus	1	0.3	0	0
Helicopsychidae	Helicopsyche		0	0	2	0.5		
Hydropsychidae	Leptonema		26	8	41	10.8		
Leptoceridae	Nectopsyche		1	0.3	0	0		
Platelminto	Turbellaria	Tricladida	Planariidae	Dugesia	1	0.3	0	0
2	2	10	22	26	325	100	379	100

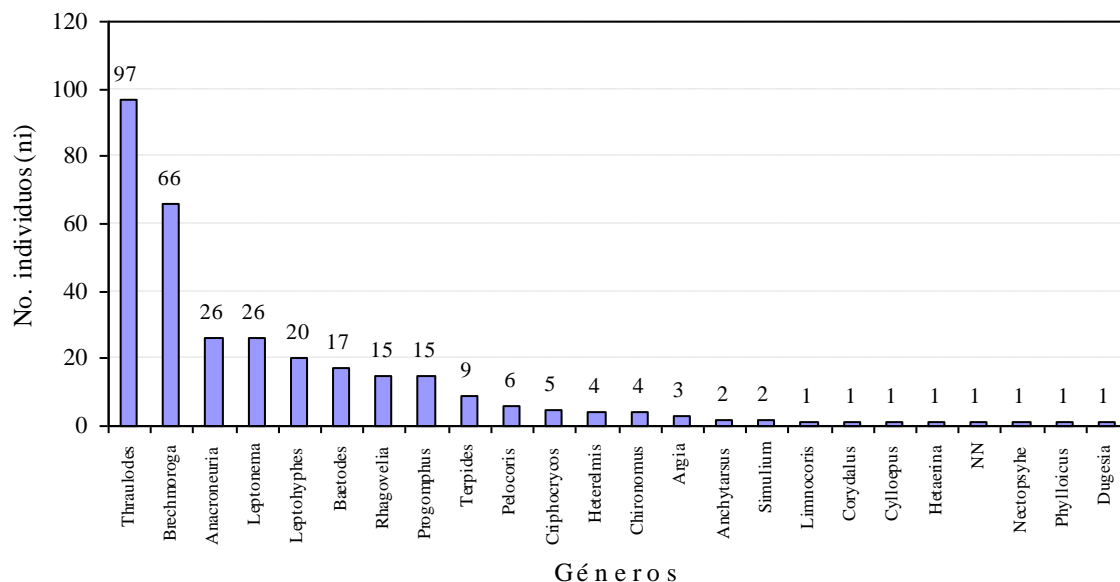


Figura 12. Estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos de la zona 1 en época seca.

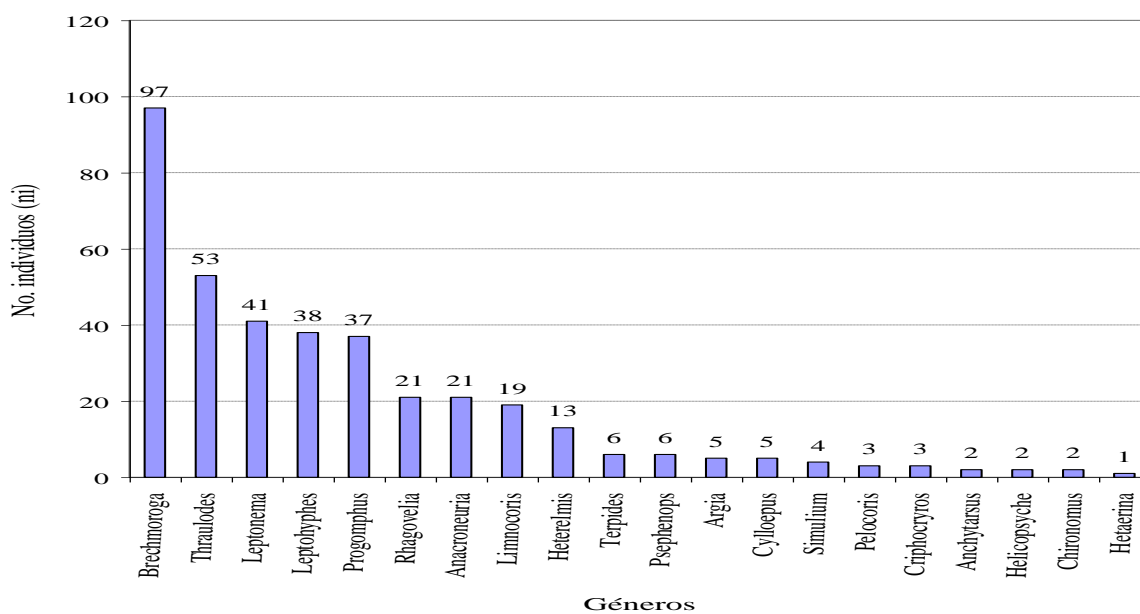


Figura 13. Estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos de la zona 1 en época de lluvia.

7.1.2 Zona 2: en época seca se colectaron un total de 483 individuos distribuidos en 1 phylum, 1 clase, 4 ordenes, 5 familias, y 6 géneros. En la comunidad predominan los géneros Chironomus con el 76.3%, Simulium con el 17.3% y Leptonema con el 5.5%

(Cuadro 7, figura 14). En época de lluvia se colectaron un total de 529 individuos distribuidos en 3 phyla, 3 clases, 7 ordenes, 7 familias y 8 géneros. En la comunidad predominan los géneros Chironomus con el 87.5%, Simulium con el 6.2% y Oligobdella con el 5.1% (Cuadro7, figura 15).

En general en la zona 2 se colectaron 1012 individuos (Anexo K), en su mayoría de la clase Insecta (97.4%) y el resto distribuidos en la clase Hirudinea (2.47%) y Turbellaria (0.09%). La estructura de la comunidad de esta zona, se caracterizo por tener pocos géneros con muchos individuos, lo que da a entender que hay un efecto negativo sobre la zona de estudio ya que la gran mayoría de los organismos que se colectaron son propios de aguas mesotróficas a eutróficas los cuales es muy común encontrar en aguas con poca corriente y con alta carga orgánica, que en este caso provienen de los vertimientos de las dos rallerías, esto es un factor limitante para el normal desarrollo de organismos de aguas oligotróficas lo que hace que estos vayan desapareciendo poco a poco para dar paso a individuos propios de aguas con tendencia eutrófica.

Cuadro 7. Comunidad de macroinvertebrados acuáticos de la zona 2 en época seca y en época de lluvia.

PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GENERO	No. INDIVIDUOS			
					SECA		LLUVIA	
					ni	%	ni	%
A R T R O P O D A	I N S E C T A	Odonata	Gomphidae	Progomphus	0	0	1	0.1
		Ephemeroptera	Tricorythidae	Leptohyphes	0	0	3	0.5
		Neuroptera	Corydalidae	Corydalus	1	0.2	1	0.1
		Coleoptera	Elmidae	Heterelmis	1	0.2	0	0
				Cylloepus	1	0.2	0	0
		Diptera	Simuliidae	Simulium	84	17.3	33	6.2
			Chironomidae	Chironomus	369	76.3	463	87.5
Trichoptera	Hydropsychidae	Leptonema	27	5.5	1	0.1		
Platelminto	Turbellaria	Tricladida	Planariidae	Dugesia	0	0	1	0.1
Annelida	Hirudinea	Glossiphoniiforme	Glossiiphoniidae	Oligobdella	0	0	25	5.1
3	3	8	9	10	483	100	529	100

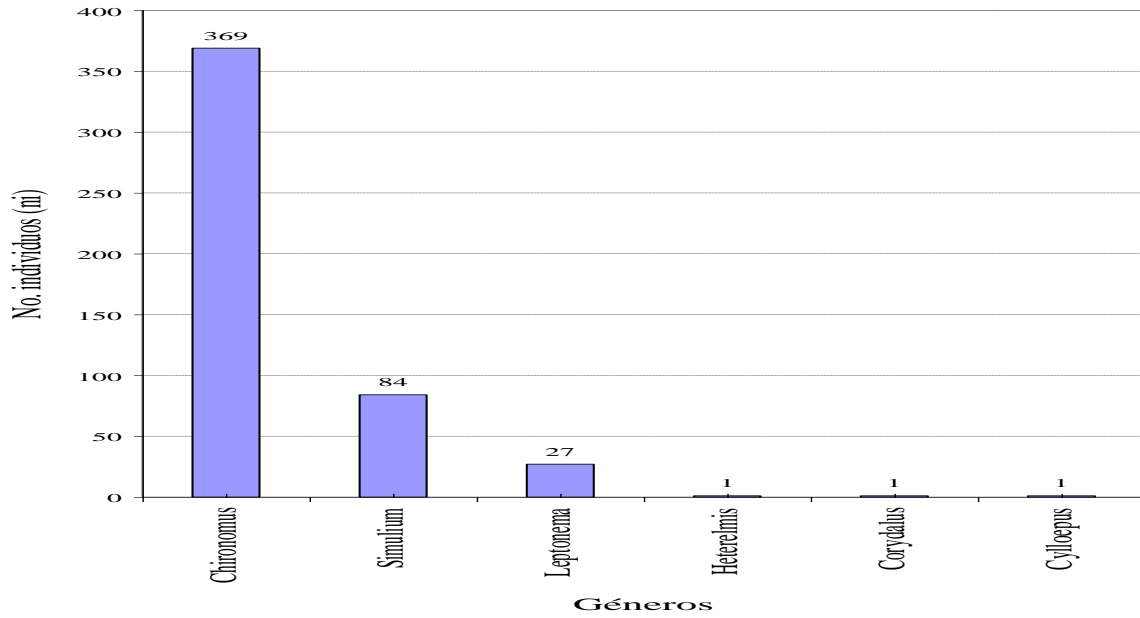


Figura 14. Estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos de la zona 2 en época seca.

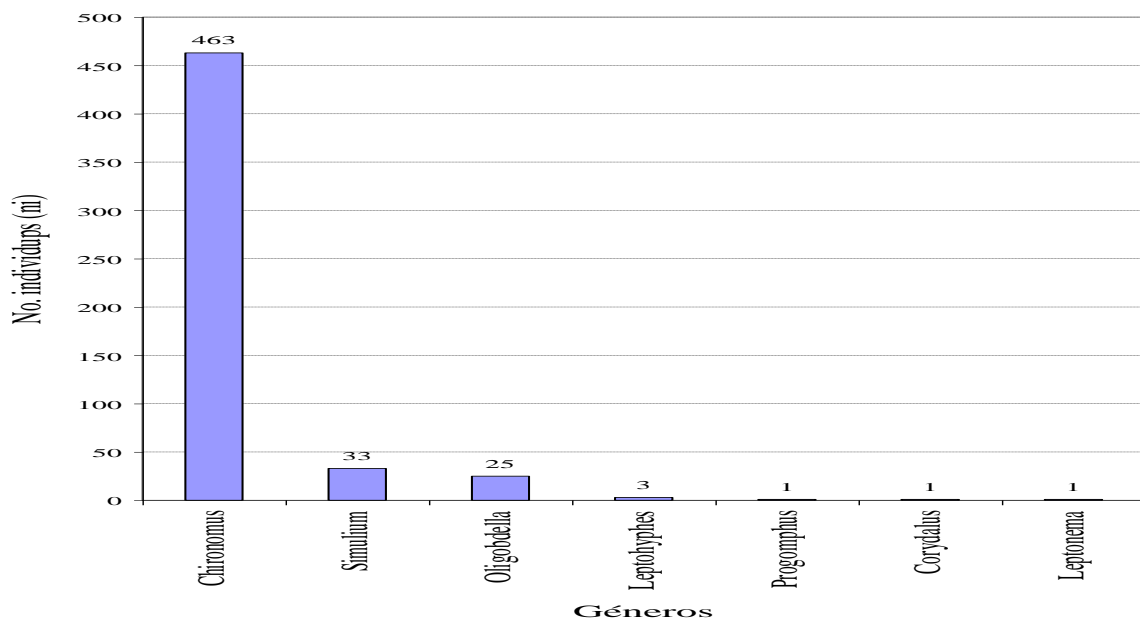


Figura 15. Estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos de la zona 2 en época de lluvia.

7.1.3 Índice de Shannon-Weaver y Sistema para la Determinación del Índice de Monitoreo Biológico (BMWP)

7.1.3.1 Zona 1: durante la época seca y de lluvias se presentó una mediana diversidad de la comunidad de macroinvertebrados (2.25 y 2.38 respectivamente) y tomando como base el cuadro 2 de clases, valores y características para las aguas clasificadas mediante el índice BMWP adaptado para Colombia, se presentan aguas de clase I, de calidad muy buena y con características de aguas oligotróficas (Cuadro 8; anexo K).

7.1.3.2 Zona 2: durante ambas épocas de presentó una baja diversidad (0.70 y 0.52), y de acuerdo al índice de BMWP para ambas épocas las aguas son de clase IV de calidad dudosa con características de aguas contaminadas (Cuadro 8; anexo L).

Cuadro 8. Índice de diversidad de Shannon Weaver y de calidad biológica (BMWP) por época y zona de muestreo.

INDICE	EPOCA SECA		EPOCA LLUVIA	
	Zona 1	Zona 2	Zona 1	Zona 2
Shannon Weaver (H')	2.25	0.70	2.38	0.52
BMWP	172	39	152	46

7.1.4 Análisis integral de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos

En el cuadro 9 se resumen las características mas importantes de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos. La zona 1 está caracterizada por la poca intervención antrópica sobre el equilibrio del ecosistema la cual presenta una calidad ambiental

óptima promedio del 76%, los organismos colectados son propios de aguas bien oxigenadas; que marcan una mediana diversidad (46%) donde existen individuos dominantes como Brechmoroga y Thraulodes los cuales junto con el resto de organismos dan estabilidad y diversidad a la comunidad. Según las épocas de muestreo, algunos individuos en tiempo de lluvia tienden a disminuir en número debido posiblemente al desove, a que son arrastrados por la corriente o por el contrario algunos se esconden para evitar que las piedras o la corriente del agua se los lleve. Los macroinvertebrados encontrados están dentro del rango de organismos propios de aguas oligotróficas a oligomesotróficas.

La zona 2 se caracteriza por la marcada intervención antrópica reflejada en el asentamiento de las microempresas de yuca que han conllevado a que la fuente receptora tenga grandes modificaciones en la fauna béntica. Este sitio tiene una calidad ambiental promedio óptima de 51%, notándose una disminución con respecto a la zona 1, los individuos colectados en un principio indicaron aguas medianamente alteradas, con el paso del tiempo estos individuos fueron desapareciendo, estableciéndose otros organismos indicadores de aguas alteradas, la alteración sufrida del cuerpo de agua obedece al hecho de que las dos rallanderías vierten sus desechos sin tratamiento previo lo que ha ocasionado una destrucción del hábitat de muchos individuos. La estructura de la comunidad presenta una baja diversidad conformada por pocos géneros con muchos individuos, lo que desestabiliza el ecosistema acuático.

Aunque al principio de los muestreos se encontraron algunos organismos de aguas oligomesotróficas, con el paso de los meses los organismos colectados fueron de aguas mesoeutróficas como los del género Chironomidae, que además pueden sobrevivir en aguas no alteradas reconociéndose este organismo por el color; en aguas bien oxigenadas son blancos y en aguas con poco oxígeno son rojos debido al pigmento del cuerpo que les permite captar con mayor facilidad el poco oxígeno que hay en el agua.

En general el agua de la quebrada Abejonales esta siendo afectada en su último tramo por las tensiones creadas por el hombre lo que ha hecho que muchos organismos de aguas oligotróficas hayan desaparecido, disminuyendo la diversidad de la fauna béntica.

Cuadro 9. Características de la estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos por zona y época de muestreo.

CARACTERISTICAS	EPOCA SECA		EPOCA LLUVIOSA	
	Zona 1	Zona 2	Zona 1	Zona 2
Estructura de la comunidad	80	20	67	27
Indice de diversidad	45	14	48	10
Bioindicación	87	67	85	71
Densidad de población	100	100	100	100
Promedio	78	50	75	52

7.2 CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA

La caracterización físico-química hídrica por zona y época de muestreo del sistema se presenta en el Anexo N.

7.2.1 Aspecto térmico: el valor de la temperatura del agua osciló en 20⁰C y la temperatura ambiental tuvo un promedio de 21⁰C para ambas zonas y épocas de muestreo, observándose que ambas temperaturas tuvieron un comportamiento directamente proporcional (Figura 16), lo cual se puede explicar porque la lámina de agua presenta una profundidad maxima de 50cm, lo que permite la conservación del calor y una buena mezcla, entonces se conserva lo establecido por la naturaleza donde la temperatura del agua siempre es menor que la temperatura del ambiente. Con base en estos resultados se observa que la columna de agua presenta una estratificación térmica muy pequeña o nula, dada por su poca profundidad y las temperaturas constantes que se

presentan durante el tiempo de muestreo, por lo cual se podría decir que las descargas orgánicas no están afectando significativamente la temperatura del agua.

La homogeneidad térmica que se presenta en la zona de estudio, favorece el desarrollo normal de la biota acuática ya que esta depende de ambas temperaturas para llevar a cabo procesos respiratorios, nutritivos, reproductores, entre otros. Según Murgel en 1984, un cambio brusco de este parámetro tendría consecuencias catastróficas para la fauna local, especialmente cuando las especies requieren altas concentraciones de oxígeno en el medio.

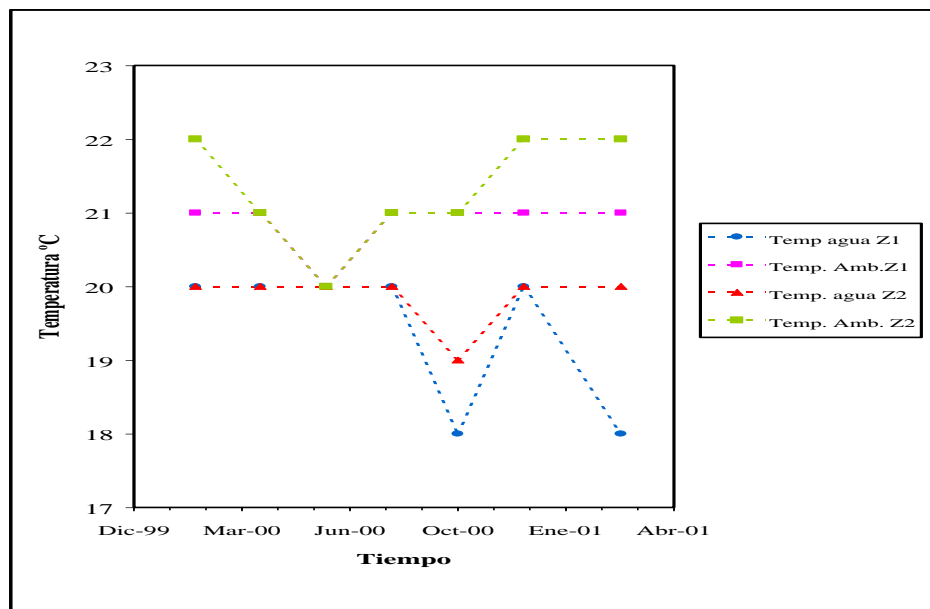


Figura 16. Relación de la temperatura ambiente con la temperatura del agua para cada una de las zonas y épocas de muestreo.

7.2.2 Turbiedad: el valor promedio fue de 55.7 y 87UNT para la zona 1 y 2 respectivamente. En ambos casos se muestra que el agua tiene una turbiedad baja (< 100 UNT o NTU); de acuerdo a esto se observa una diferencia significativa por zonas de muestreo debido principalmente a que aguas abajo, la quebrada recibe los vertimientos

de dos rallanderías de yuca, estas aguas residuales junto con la cascarilla de yuca forman compuestos orgánicos que aportan material particulado incrementando con esto la turbiedad del agua aunque en menor grado.

Los valores promedio para la zona 1 fueron de 36.5 y 81.3 UNT en época seca y de lluvia respectivamente; en cuanto a la zona 2 los valores promedio obtenidos fueron de 60.7 y 87 UNT para las dos épocas de muestreo, observándose una diferencia significativa donde la turbiedad tiende a incrementarse en época de lluvias debido posiblemente al material de arrastre, propio del proceso erosivo que se presenta en los cauces de zona montañosa y al fenómeno del Pacífico seco que por esa temporada estaba presentándose (Figura 17).

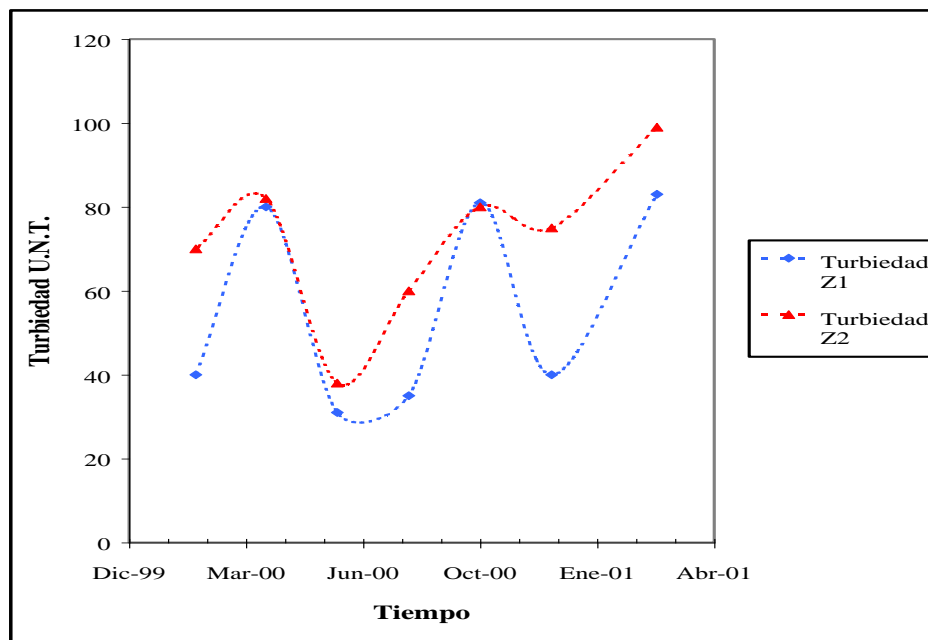


Figura 17. Valores de turbiedad para cada una de las zonas y épocas de muestreo.

7.2.3 Oxígeno disuelto (O₂) y porcentaje de saturación de oxígeno (% S.O.): en ecosistemas hídricos la concentración de oxígeno varía entre 6.0 y 9.0mg/L, en esta investigación el valor promedio de oxígeno en las zonas 1 y 2 fue de 8.0 y 7.0 respectivamente lo cual indica que estos valores se encuentran dentro del rango y no presentan diferencia significativa, por lo que en la zona 1 se presenta una buena saturación de oxígeno, debido a la poca profundidad y a la escasa materia orgánica que pueda afectar de alguna manera la penetración lumínica indispensable para los procesos fotosintéticos en el ecosistema acuático; lo que no ocurre en la zona 2 donde la concentración fue menor debido a que las rallanderías descargan materia orgánica (cascarilla y almidón de yuca) que enturbian el agua y limitan la entrada de luz solar, impidiendo la realización de fotosíntesis y con ello la producción de oxígeno.

Por épocas de muestreo los valores promedio para la zona 1 fueron de 8.0mg/L y para la zona 2 se obtuvo un promedio de 7.0mg /L. Se encontró que en época seca el agua es menos rica en oxígeno que en época de lluvias debido esto a la temperatura (Alvarez, s.f.), a la poca profundidad y a la escasa materia orgánica presente en el cuerpo de agua (Roldan, 1992). En la zona 2 se presentan valores constantes para ambas épocas. El porcentaje de saturación de oxígeno tuvo valores promedio entre 89.4 y 80 % para la zona 1 y 2 respectivamente y por épocas de muestreo los promedios obtenidos para la zona 1 fueron de 90 y 88.6% para la zona 2 fue ron de 80%, aunque indica un déficit por encontrarse por debajo del cien por ciento, son valores que permiten el desarrollo normal de los procesos biológicos.

Los valores de oxígeno y de saturación de oxígeno se ven levemente disminuidos en la zona 2, evidenciándose el impacto que las rallanderías están ejerciendo sobre la quebrada, sin embargo, hay que tener en cuenta que el procesos de extracción de almidón de yuca no es continuo dándole tiempo a la quebrada para su autodepuración (Figura 18).

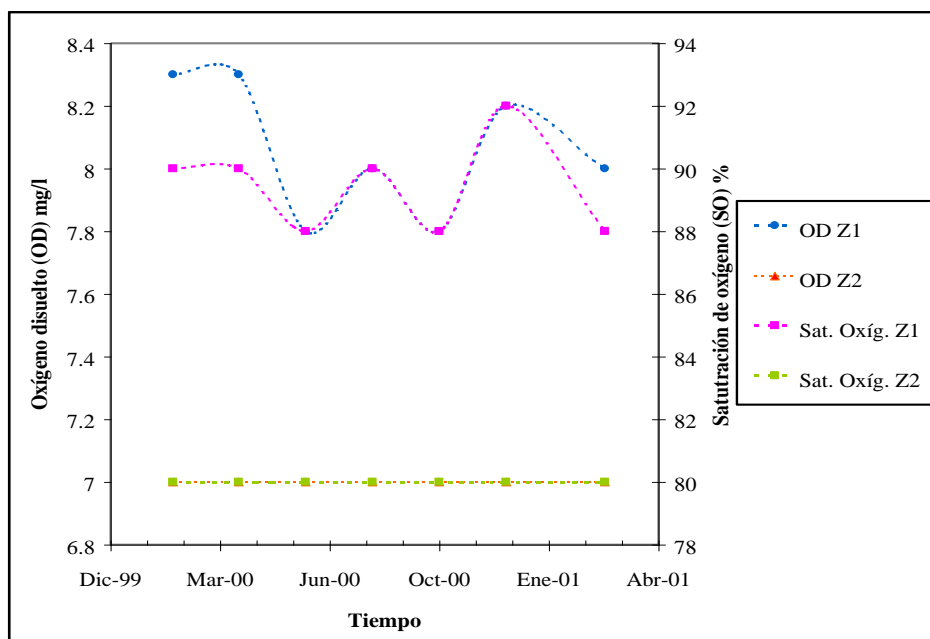


Figura 18. Relación entre la concentración de oxígeno y el porcentaje de saturación para cada una de las zonas y épocas de muestreo.

7.2.4 Gas carbónico disuelto (CO₂): los valores promedio de CO₂ fueron de 1.5 y 1.9 mg/L para la zona 1 y 2 respectivamente, indicando con esto que no hay diferencia significativa por zonas de muestreo; se observa que la zona 1 no presenta cambios debido a que hay menos materia orgánica para degradar con respecto a la zona 2 donde hay pequeñas fluctuaciones en el valor de este parámetro dado por el mayor aporte de material orgánico, el cual durante su degradación produce CO₂.

Para ambas épocas de muestreo el valor promedio de CO₂ fue de 1.5mg/L y para la zona 2 en época seca fue de 1.8mg/L y para la época de lluvia fue de 1.9mg/L observándose que en época de lluvia el valor de CO₂ tiende a incrementarse debido a que el agua lluvia arrastra consigo el CO₂ presente en la atmósfera lo que aumenta la concentración de este gas en los cuerpos de agua natural.

Los valores de este parámetro se mantuvieron constantes y bajos, con esto se garantiza que existe una acción buffer en el agua pero se evidencia que un cambio brusco de pH podría dejar en riesgo la fuente hídrica o sin capacidad buffer (Figura 19).

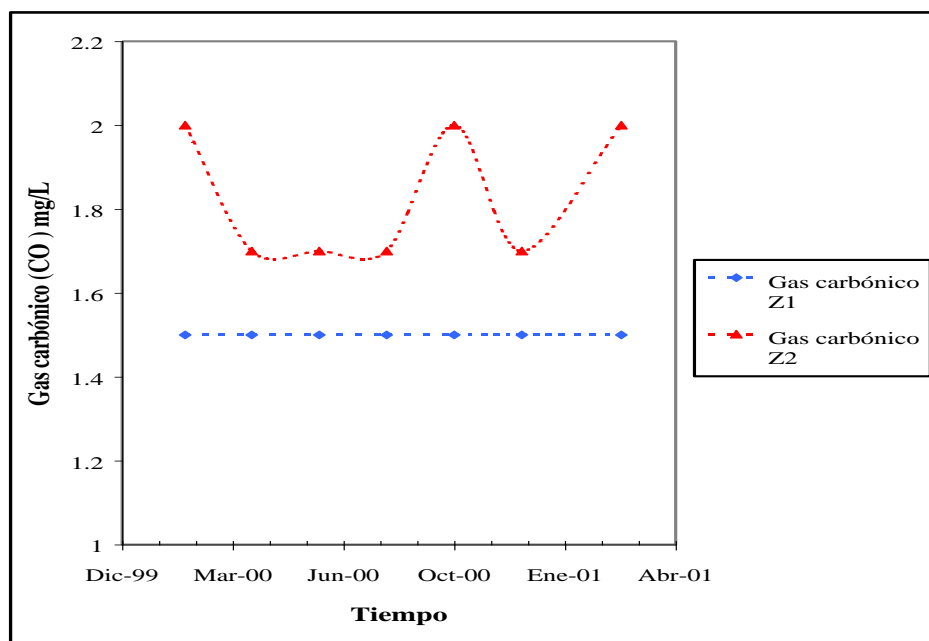


Figura 19. Valores de la concentración de gas carbónico para cada una de las zonas y épocas de muestreo.

7.2.5 Cianuro: en el cuadro 10 se muestran los valores de cianuros totales con el correspondiente pH, obtenidos durante los muestreos en las dos rallanderias que vierten sus aguas residuales en la zona 2 de la quebrada. Con estos valores se puede apreciar que la concentración de cianuro en los tanques es menor que en el vertimiento, esto es explicado ya que el almidón que se encuentra en los tanques de fermentación ha perdido gran parte del cianuro que contenía al principio del proceso de extracción debido a la acción de las bacterias fermentativas que ayudan a degradar el cianuro (Bernal, 1996), lo que no ocurre con el liquido lechoso proveniente del tamizado donde se observa un aumento en la cantidad de cianuro debido a que este no pasa por un proceso de

fermentación, este líquido es vertido a las 4 u 8 horas, el cual presenta entre el 8–14 % del cianuro encontrado en el material en bruto. Los valores obtenidos en la fuente receptora fueron menores con respecto al vertimiento, apreciándose que 3m después del segundo vertimiento se produce el efecto de dilución con el agua natural de la quebrada, dejando concentraciones bajas de cianuro. Según la legislación ambiental para Colombia, el decreto 1594 de 1984 emitido por el Ministerio de Salud, el límite permisible de cianuros para preservación de flora y fauna acuática es de 0.05mg/L lo que indica que este parámetro en solo dos muestreos se encontró dentro de este límite (0.04 y 0.05), los demás registros fueron superiores a este valor (0.13 – 0.10 – 0.15 y 0.09mg/L), lo que alteraría el desarrollo normal de la biota acuática, pero estos valores se encuentran dentro del límite admisible (0.2mg/L) para la destinación del recurso hídrico en el consumo humano y doméstico e indican que para la potabilización requieren tratamiento convencional o solo desinfección.

Los valores de pH obtenidos en los diferentes puntos de muestreo de las dos rallanderías están inversamente relacionados con la cantidad de cianuro, ya que como se puede observar al haber un pH bajo la cantidad de cianuro que se forma es mayor y viceversa debido a la presencia o no de hidrogeniones (H^+) los cuales determinan el pH del agua

Cuadro 10. Registro del promedio de la cantidad de cianuros totales con el correspondiente pH por zona de muestreo.

PUNTOS DE MUESTREO	RALLANDERIA 1						RALLANDERIA 2					
	pH	CN ⁻	pH	CN ⁻	pH	CN ⁻	pH	CN ⁻	pH	CN ⁻	pH	CN ⁻
Tanques	4.5	0.06	-	-	-	-	4.5	0.05	4.0	0.09	-	-
Vertimiento	6.0	0.28	6.4	0.23	6.0	0.25	6.0	0.99	6.2	0.32	6.1	0.39
Fuente receptora	6.2	0.13	6.9	0.10	6.9	0.04	6.3	0.15	6.9	0.09	6.9	0.05

7.2.6 pH: los valores promedio de pH fueron 7.1 y 6.7 para la zona 1 y 2 respectivamente, observándose que su valor tiende a disminuirse aguas abajo de la corriente de agua debido posiblemente al aporte de cargas orgánicas como la cascarilla y el almidón de yuca, además el CO₂ influye sobre este parámetro debido a las reacciones químicas que produce en el agua ya que este prevalece combinado con el ácido carbónico (H₂CO₃) y a medida que aumenta el pH empieza a tener importancia el ión bicarbonato (HCO₃⁻).

Por épocas de muestreo el promedio para la zona 1 fue de 7 y 7.1 y para la zona 2 fue de 6.6. y 6.7, observándose que no hay diferencia significativa ya que este parámetro se comporta de manera similar durante todo el tiempo de muestreo y su disminución para la zona 2 se debe a las razones expuestas anteriormente (Figura 20).

Según el decreto 1594 de 1984, los criterios de calidad admisible para la destinación del recurso hídrico en el consumo humano y doméstico los valores de pH deben estar dentro del rango 6.5 – 8.5, lo que indica que la mayoría de los valores obtenidos se encuentran dentro de este rango en especial en la zona 1 donde no se presentan descargas de materia orgánica.

Es de tener en cuenta para el análisis de este parámetro los siguientes aspectos:

- Durante la sedimentación y la fermentación del almidón de yuca, el agua sobrenadante que es vertida a la fuente receptora se le realiza un previo tratamiento de encale (agregar cal apagada), con el objeto de neutralizar el HCN liberado durante el rompimiento de las raíces de yuca.

- La frecuencia del vertimiento no es continua en ninguna de las dos rallanderías, lo que permite una leve recuperación del pH del agua de la quebrada.

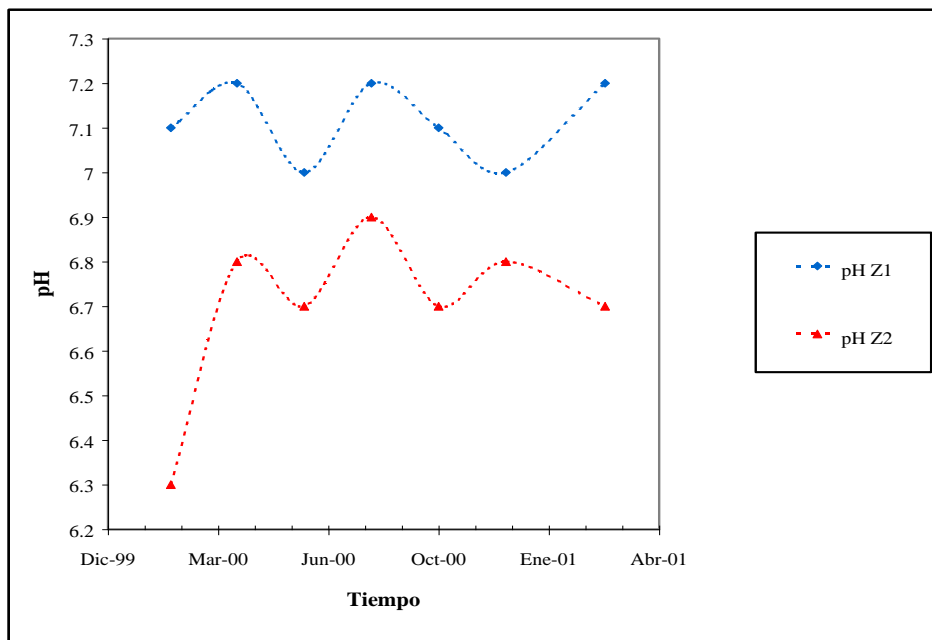


Figura 20. Valores de pH para cada una de las zonas y épocas de muestreo.

7.2.7 Acidez total : el valor promedio obtenido fue de 4mg/L permaneciendo constante a lo largo del periodo de muestreo, indicando que no hay diferencia significativa debido a la poca presencia de iones en solución ya que no hay arrastre de material mineral, esto hace que la acidez no varíe, además en la zona 2 la acidez orgánica proveniente de los vertimientos de las dos rallanderías es controlada con el encale.

7.2.8 Alcalinidad total: los valores promedio para la zona 1 y 2 oscilaron en 4 y 4.6mg/L, por lo cual este parámetro no presenta diferencia significativa, además estos valores están dados por el sistema buffer y por los valores de pH registrados, se puede decir que la alcalinidad de la quebrada esta representada por el CO₂ combinado con el H₂CO₃ y con tendencia al bicarbonato.

La zona 1 y 2 presentaron promedios de 4mg/L en cada época de muestreo, observándose que no hay diferencia significativa y que los valores se incrementaron en menor grado en época de lluvia debido al arrastre de CO₂ por el agua, el cual se combina de forma diferente determinando la alcalinidad (Figura 21).

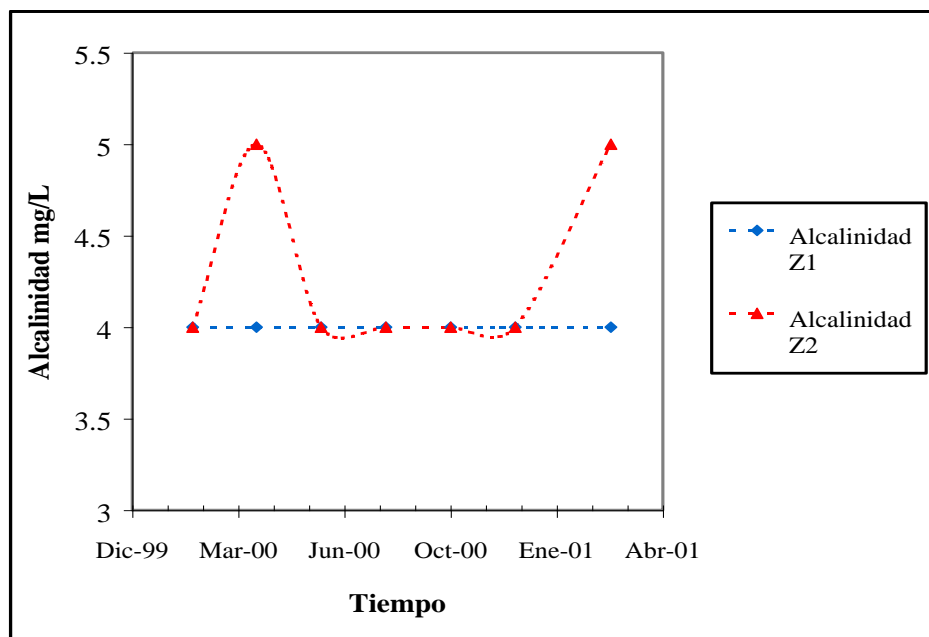


Figura 21. Valores de alcalinidad para cada una de las zonas y épocas de muestreo.

7.2.9 Conductividad eléctrica: los valores promedio obtenidos en la zona 1 y 2 fueron respectivamente 50.7 y 55.7 μ Mhos-cm, indicando que no hay diferencia significativa, el incremento de este parámetro en la zona 2 se debe al aporte de material por parte de las actividades antropicas que se lleva a cabo en la zona.

Por épocas de muestreo en la zona 1 se obtuvo un promedio de 50 y 51 μ Mhos-cm respectivamente y en la zona 2 el promedio fue de 55 y 56.6 μ Mhos-cm en época seca y de lluvias, este parámetro no presenta diferencia significativa debido a los pocos iones en solución y presenta un aumento mínimo debido a que la atmósfera, la lluvia y la

erosión también contribuyen al incremento de los iones en el agua (Figura 22). Los valores de conductividad encontrados están dentro del rango 30 y 60 $\mu\text{Mhos-cm}$ propuestos por Roldan en 1992.

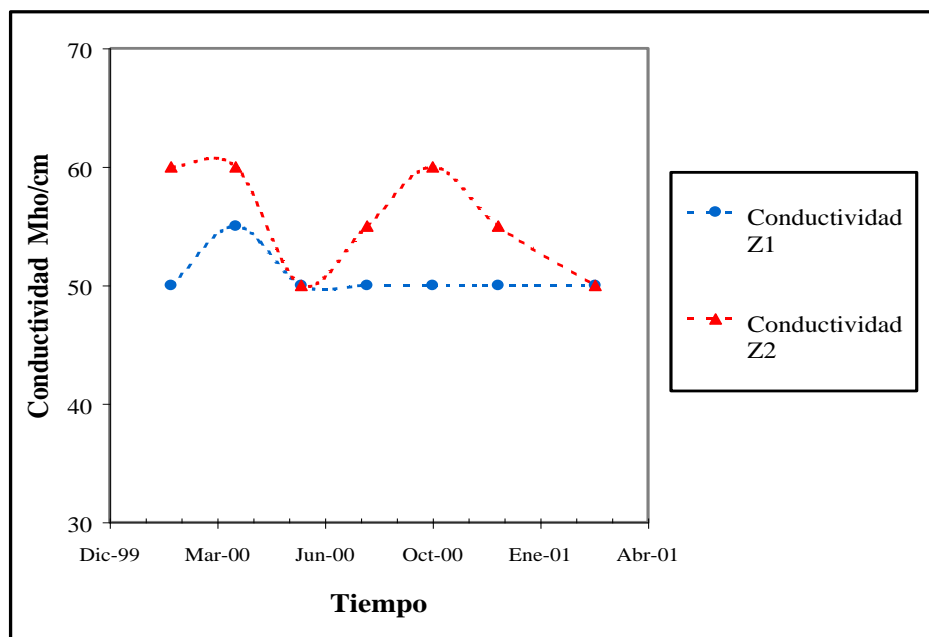


Figura 22. Valores de conductividad, para cada una de las zonas y épocas de muestreo.

7.2.10 Demanda química de oxígeno (DQO): los valores promedio oscilaron entre 46.7 y 141 mg/L para la zona 1 y 2 respectivamente, en la zona 1 se puede observar que los valores son menores debido a la poca degradación de materia orgánica; en la zona 2 se presentan valores muchos más altos con una diferencia altamente significativa debido a las descargas de desechos orgánicos de las rallanderías de yuca, esto evidencia el impacto de tipo antrópico que sobre la corriente de agua se está ejerciendo.

Para la zona 1 en época seca el valor promedio estuvo en 28.7mg/L y en época de lluvia en 70.6mg/L; en cuanto a la zona 2 se obtuvo un promedio de 141.5 mg/L en época seca y en época de lluvia fue de 140mg/L. En la zona 1 y 2 se puede observar que durante la

época de lluvia los valores fueron más altos que en época seca debido al mayor arrastre de material alóctono proveniente de aguas arriba de la quebrada, además en la zona 2 se debe tener en cuenta que las concentraciones de materia orgánica son mayores y no todos los compuestos son bioquímicamente oxidables (Figura 23).

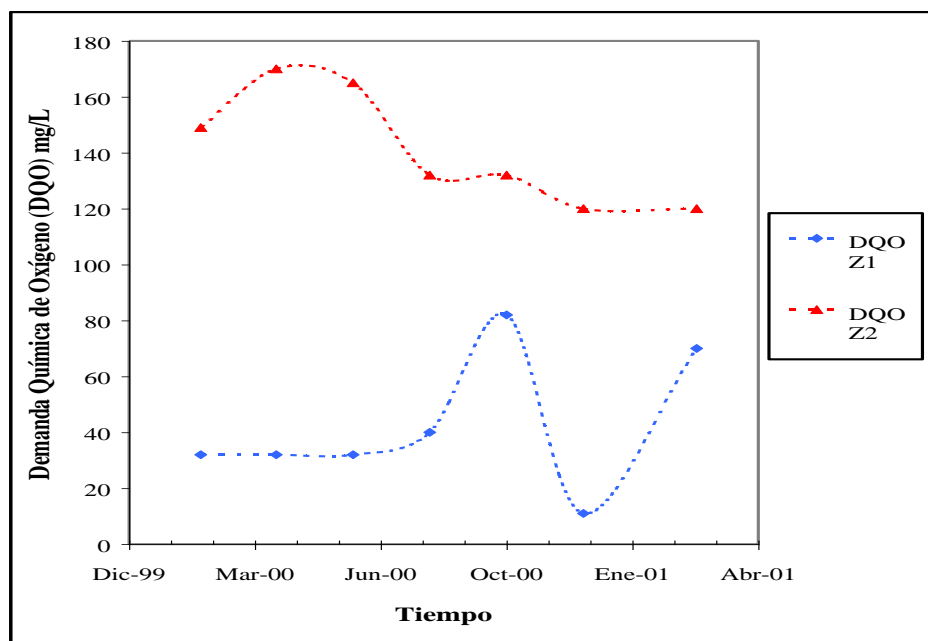


Figura 23. Valores de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) para cada una de las zonas y épocas de muestreo.

7.2.11 ANÁLISIS INTEGRAL DE LOS PARAMETROS FISICOQUIMICOS

De acuerdo con el análisis estadístico, la turbiedad y la DQO presentaron diferencias significativas por zonas y épocas de muestreo; los demás parámetros presentaron un comportamiento similar durante el tiempo de muestreo.

La diferencia mas notoria fue por zonas que por épocas de muestreo debido principalmente a la intervención antrópica que ha sufrido la zona 2, donde se han asentado a muy cortas distancias las dos rallanderías de yuca, las cuales vierten los

desechos como son el agua de lavado donde va incluida la cascarilla y el agua que se utiliza para el tamizado o colado la cual está mezclada con partículas de almidón; a esta agua de desecho se le suman los vertimientos que se realizan cada 30 o 40 días durante los cuales se fermenta el almidón para darle el sabor agrio.

La turbiedad tiende a incrementarse en época de lluvias, debido a la escorrentía o lixiviación de materiales y sobre todo el incremento se observó en mayor grado en la zona 2 debido a que además de las razones ya expuestas, a este lugar llegan desechos orgánicos provenientes de las rallanderías que posiblemente acentúan la turbiedad del agua, perjudicando su transparencia y por ende la penetración lumínica. Aunque la dinámica del agua ayuda al transporte de partículas, minimizando con esto la turbiedad, es de notar que las descargas de cascarilla se están sedimentando ejerciendo posiblemente efectos negativos sobre la turbiedad y con ello sobre la biota acuática.

El oxígeno disuelto y el porcentaje de saturación presentan una leve disminución por zonas de muestreo, aunque en ambas zonas se observó un déficit en la saturación de oxígeno disuelto. Durante el periodo lluvioso se observa un incremento mínimo debido a que el agua trae consigo oxígeno que se incorpora rápidamente a la corriente de agua natural para luego desplazarse nuevamente a la atmósfera.

La concentración de oxígeno en ambas épocas mantuvo una relación inversa con la DQO notándose el incremento de esta última en la zona 2 ya que en esta, la degradación de materia orgánica es mayor, lo que requiere un mayor consumo de oxígeno para oxidar los compuestos orgánicos, que conlleva a que la concentración y saturación de oxígeno disminuya mientras crece la DQO.

Según Murgel en 1988, la disminución del O_2 conlleva a procesos de oxidación incompletos donde se crean subproductos que siguen siendo compuestos orgánicos como metano, ácidos orgánicos, alcoholes entre otros; que se convierten en nocivos para los organismos acuáticos y terrestres, y por ende son particularmente perjudiciales al ambiente. Según esto, el oxígeno se relaciona con el pH; dicha relación está basada en

los datos obtenidos durante las zonas y épocas de muestreo en la quebrada, donde a medida que el oxígeno aumenta el pH tiende a mantenerse cerca o en el punto neutral, esto para la zona 1; en cuanto a la zona 2 el oxígeno presenta niveles más bajos al igual que el pH por el mayor contenido de materia orgánica presente en la zona; el oxígeno también está relacionado con el gas carbónico, ya que la degradación de materia orgánica conlleva al consumo de oxígeno por parte de los microorganismos y a la liberación de CO₂, donde este permanece constante, mientras que el oxígeno presenta pequeñas fluctuaciones por épocas de muestreo, en cuanto a la zona 2 el CO₂ presenta variaciones mínimas al igual que el oxígeno por los procesos de degradación orgánica que se llevan a cabo.

El CO₂ está a su vez muy relacionado con el pH y la alcalinidad, que como ya se había dicho anteriormente, la zona en estudio está bajo el sistema buffer que ayuda a resistir los cambios bruscos de pH. La relación alcalinidad – pH en la quebrada es directa, a medida que tiende a aumentar el pH también lo hace la alcalinidad esto para la zona 1, en la zona 2 ocurre igual pero con valores más bajos de pH y alcalinidad.

Caso contrario ocurre en la relación pH – CO₂ donde es indirecta, a medida que aumenta el pH, el CO₂ disminuye; en la zona 1 como se dijo anteriormente los valores de CO₂ tienden a comportarse de igual manera durante toda la época de muestreo; pero el pH presenta variaciones mínimas que no se alejan en mayor grado del punto neutral; en la zona 2 el pH es más bajo por lo que el CO₂ tiende a aumentar durante algunos muestreos, esto se debe principalmente a que las descargas orgánicas no se hacen continuamente permitiendo una recirculación de materiales de la quebrada.

El pH se ve levemente afectado en la zona 2 debido a la formación de HCN proveniente del rompimiento de las raíces de yuca, pero como se dijo anteriormente, este ácido es neutralizado por el proceso de encafe que se realiza sobre el vertimiento.

La conductividad aunque no presenta diferencia significativa por zonas ni por épocas de muestreo, tiende a incrementarse durante la época de lluvia debido al material de arrastre

autóctono y alóctono, sobre todo en la zona 2 donde llega el material de aguas arriba, los bajos valores demuestran una baja concentración de iones en solución.

7.3 ANALISIS MICROBIOLÓGICO

Los valores encontrados estuvieron entre 1100 y 2400 NMP de coliformes totales en 100 ml. de muestra, presentándose el valor más alto en la zona 2 debido a que en época de lluvia hay mayor arrastre de bacterias (Cuadro 11).

Es de tener en cuenta que en la zona 2, en solo uno de los muestreos la prueba para determinar coliformes fecales resultó positiva, esto explicable debido a que en las dos rallanderías se encuentran organismos de sangre caliente (hombres y animales domésticos).

Cuadro 11. NMP de coliformes totales por 100 ml de muestra en las zonas de muestreo.

CARACTERÍSTICAS	E. SECA		E. LLUVIOSA	
	Zona 1	Zona 2	Zona 1	Zona 2
NMP Coliformes totales por cada 100 ml de muestra	1100	2400	2400	2400

Según los criterios de calidad bacteriológica utilizados por la OMS, este tipo de aguas pertenecen a la clase II (50 – 50000 NMP de coliformes totales en 100 ml de muestra), de calidad bacteriológica que requiere la aplicación de métodos habituales de tratamiento como coagulación y filtración, esta fuente hídrica no es admisible para baño

y natación por estar por encima de 200 NMP microorganismos/100ml; tampoco es aceptable para recreo (remo y pesca) ya que el límite es de 1000 NMP microorganismos/L, tampoco es aceptable para la acuicultura por estar por encima de las 230 coliformes totales admisibles y para agricultura se admiten hasta 5000 coliformes totales por lo que esta agua si es apta para este fin.

7.4 RELACION DE LOS PARAMETROS FISICOQUIMICOS Y LA BIOTA ACUATICA (MACROINVERTEBRADOS Y COLIFORMES TOTALES)

Las figuras 24 y 25 muestran las interacciones entre los diferentes parámetros fisicoquímicos y la biota acuática analizada (macroinvertebrados y NMP de coliformes totales), las flechas adjuntas a cada parámetro indican un aumento (↑) o una disminución (↓) en la zona uno y dos respectivamente. Con estas interacciones se puede ver el cambio que sufre la quebrada a su paso por las rallanderías que vierten sus desechos a la corriente de agua.

La zona 1 se caracterizó por presentar una baja turbiedad, lo que permite que haya una buena penetración lumínica para que se realicen los procesos fotosintéticos que conllevan a mantener un equilibrio entre la producción de oxígeno y el consumo de gas carbónico que son los que adecuan en forma general el metabolismo del ecosistema. La entrada de luz determina la absorción de energía calórica y por ende se relaciona directamente con la temperatura del agua, que a su vez tiene mucha relación con la regulación de los procesos biológicos de los organismos que en ella habitan; dichos procesos están enlazados con la conductividad que al ser baja y estar dentro de los valores normales pueden indicar el estado trófico de la corriente de agua natural. El CO₂ proveniente de la respiración y la oxidación de la materia orgánica, guarda una relación directa con el pH por las reacciones químicas que se suceden en el agua, las cuales ayudan a dar estabilidad al ecosistema. La comunidad de macroinvertebrados presenta mayor diversidad explicable debido a la poca intervención antrópica de la zona, esto ha

permitido que se lleven a cabo una equilibrada relación entre los organismos productores y los consumidores.

Todas estas interacciones se pueden considerar admisibles, ya que cada parámetro juega un papel importante en el desarrollo de la biota acuática propia de aguas oligotróficas.

La zona 2 presenta alteraciones debidas a las tensiones causadas por las actividades del hombre, el cual con el establecimiento de las microempresas de almidón de yuca, descarga los residuos sólidos y líquidos en la quebrada propiciando con esto que la turbiedad se incremente impidiendo la entrada de luz al agua, disminuyéndose los procesos de fotosíntesis y producción de oxígeno, aumentándose la producción de gas carbónico proveniente de la mayor degradación de materia orgánica, lo que también disminuye el pH, todo esto hace que la comunidad biótica propia de aguas oligotróficas que se encontraba sea desplazada por organismos que se adaptan mejor a las nuevas condiciones hídricas que la caracterizan como agua con tendencia a la eutrofización y de baja diversidad béntica.

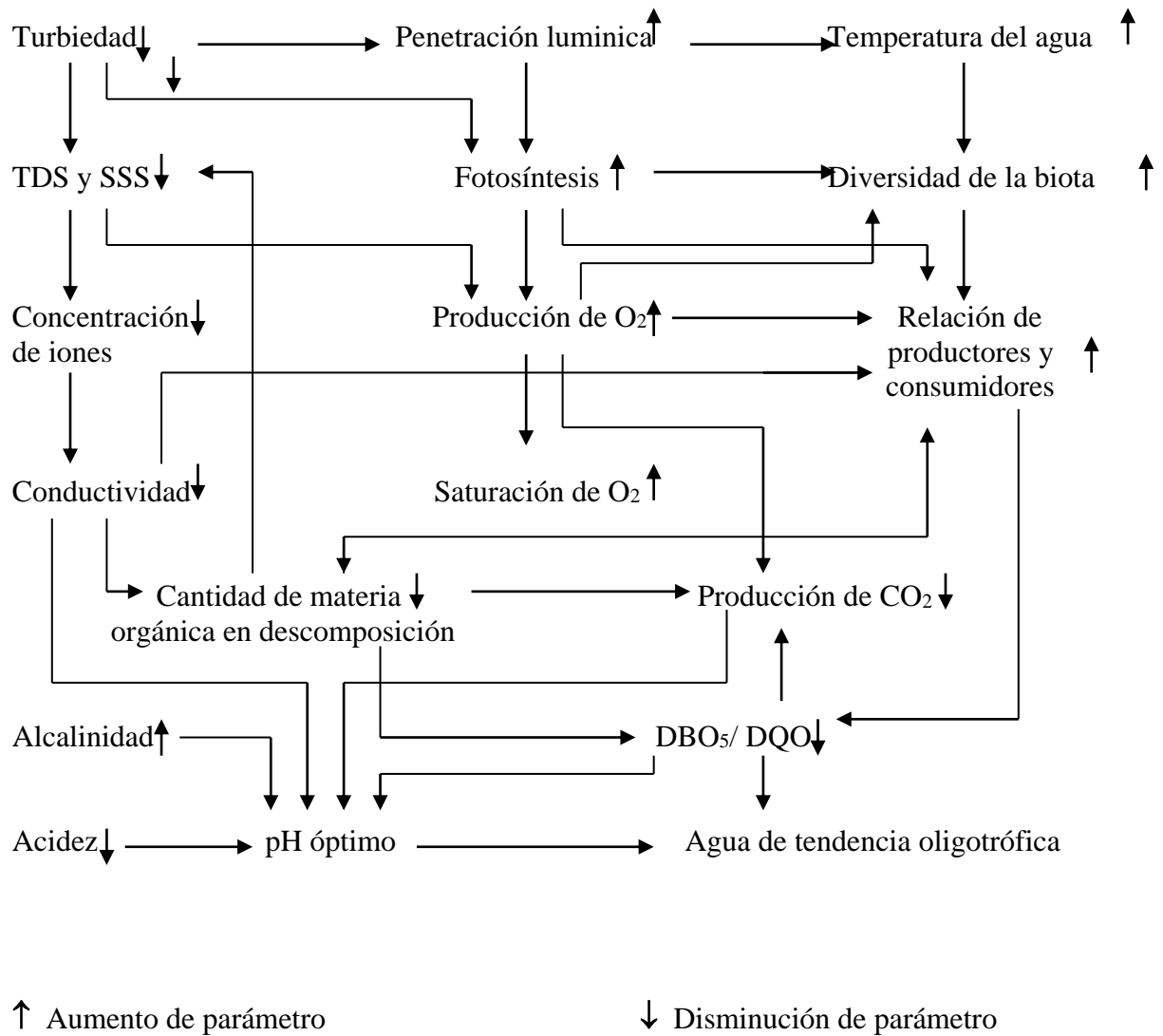
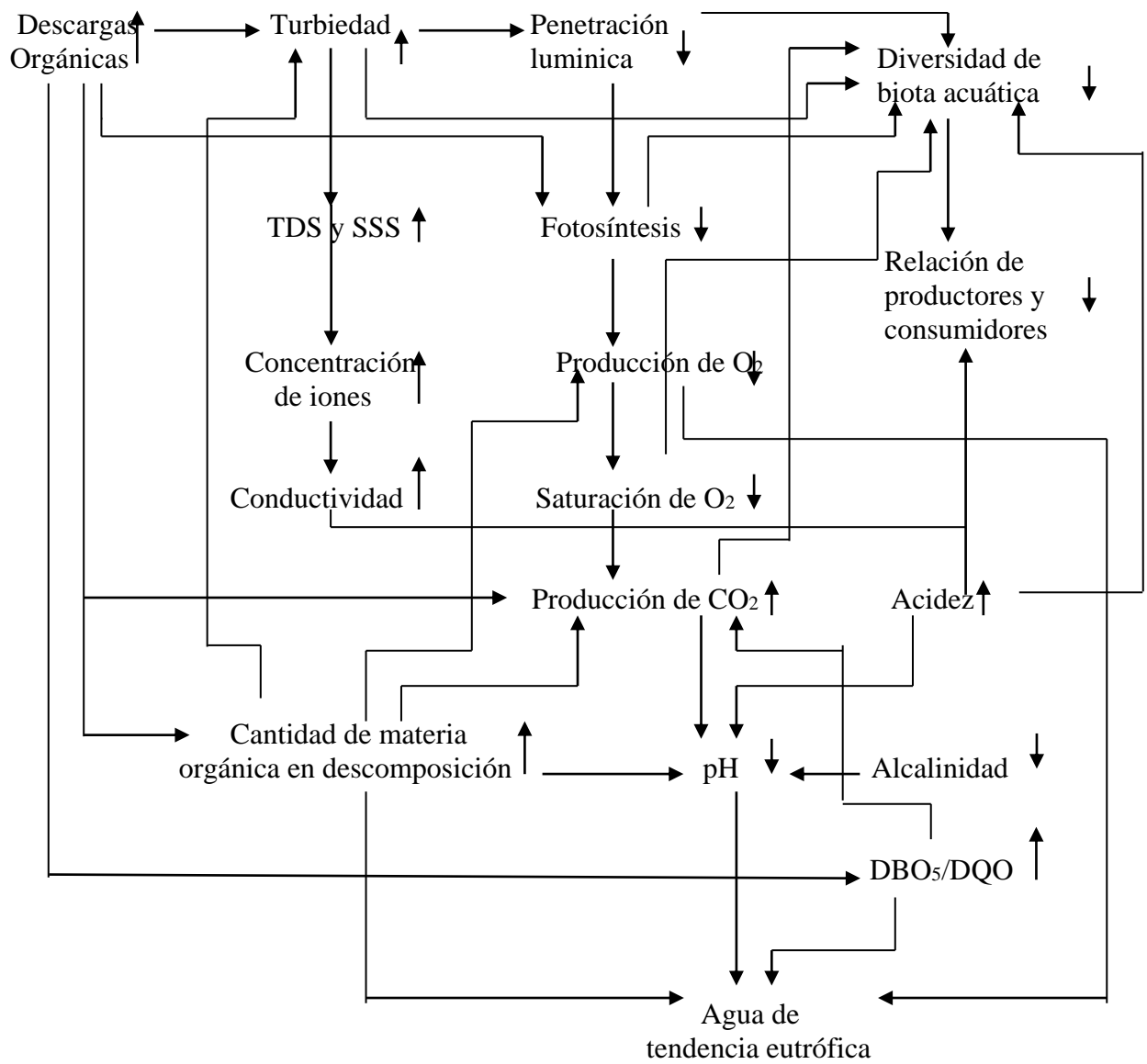


Figura 24. Red de interacción de los parámetros fisicoquímicos del agua. Quebrada Abejoneles Zona 1.



↑ Aumento de parámetro

↓ Disminución de parámetro

Figura 25. Red de interacción de parámetros fisicoquímicos del agua. Quebrada Abejonales Zona 2.

7.5 EVALUACIÓN CUALITATIVA DE LOS EFECTOS AMBIENTALES RELACIONADOS CON LA PRODUCCIÓN DE ALMIDÓN DE YUCA

Las actividades que se están desarrollando en la microcuenca como la introducción de cultivos de yuca y la instalación de las rallanderías, han dado como resultado, la situación en que se encuentran los recursos naturales de la misma. Estas actividades se resumen a continuación:

7.5.1 Deforestación: los habitantes de la zona para realizar sus actividades de siembra de yuca, establecimiento de potreros y de las rallanderías para extraer almidón de yuca han modificado los bosques, mediante la tala y quema, quedando el suelo desprotegido y expuesto a problemas de erosión, se ha fragmentado la cobertura vegetal y con esto se ha alterado la biodiversidad.

En el lugar donde se encuentran localizadas las rallanderías, se observa pequeños deslizamientos de tierra como consecuencia de las actividades que se llevan a cabo dentro de ellas entre las cuales esta el arrojar residuos sólidos y líquidos lo que ha ocasionado que el suelo vaya perdiendo su capacidad productiva y que por escorrentía superficial se produzca un arrastre de sedimentos hacia la fuente hídrica.

7.5.2 Contaminación de la quebrada por las aguas residuales: en la parte baja de la quebrada donde se localizan los vertimientos de las rallanderías, se observa el deterioro del recurso hídrico debido a que las descargas de los vertimientos de las microempresas de almidón de yuca que se hacen no tienen un previo tratamiento y han provocado la emisión de malos olores, el incremento de la sedimentación y la alteración de la biota acuática.

7.5.3 Análisis de la matriz de influencia-dependencia: la matriz tiene por objeto determinar el grado de Influencia y Dependencia de diferentes indicadores que estén afectando un ecosistema y de escoger y analizar los indicadores que sean representativos para una evaluación ambiental.(Figuroa et al., 1998).

En la figura 26 se muestran las relaciones existentes entre las actividades de las rallanderías y los factores ambientales afectados por las mismas. A continuación se relacionan en orden descendente los diferentes indicadores según su Influencia y su Dependencia:

Según la influencia: los vertimientos del almidón influyen sobre trece (13) variables, la erosión sobre once (11), el uso del suelo y la cobertura vegetal sobre nueve (9), la turbiedad sobre ocho (8), el pH sobre siete (7), el CO₂ y la DQO sobre seis (6), la temperatura del agua y la alcalinidad sobre cinco (5), la conductividad sobre cuatro (4), el oxígeno, la fauna béntica y el empleo sobre tres (3) y el ruido sobre una (1), la cuenca visual y la salud no influyen sobre ninguna variable.

Según la Dependencia la fauna béntica que depende de doce (12) variables, el oxígeno y el CO₂ de once (11), el pH de nueve (9), la DQO y la conductividad de siete (7), la alcalinidad y la salud de cinco (5), la erosión, la temperatura del agua, la cuenca visual y la cobertura vegetal de cuatro (4), la turbiedad y el uso del suelo de tres (3), los vertimientos de almidón de dos (2) y el ruido y el empleo de una (1) variable.

De acuerdo a lo anterior se puede establecer el grado de dependencia de cada indicador o variable mediante la sumatoria de las Dependencias y la sumatoria de las Influencias así (Figuroa et al.,1998):

$$GD = \frac{\sum D}{\sum I}$$

Donde:

GD es el grado de dependencia

ΣD es la sumatoria de dependencias

ΣI es la sumatoria de influencias

Los valores encontrados para cada indicador se organizaron de mayor a menor con el fin de determinar cuales son los más sensibles a los cambios, estos indicadores son en su orden: la fauna béntica (4.00), el oxígeno (3.67), el CO₂ (1.83), la conductividad (1.75), el pH (1.29), la DQO (1.17), la alcalinidad y el ruido (1.00), los demás indicadores tuvieron valores menores a uno (1.00).

Según lo anterior los indicadores con mayor grado de dependencia fueron la fauna béntica, el oxígeno el CO₂ y la conductividad. Esto indica que son mucho más dependientes que los demás debido a su gran susceptibilidad ante cualquier tensor, en este caso las actividades relacionadas con el proceso de extracción de almidón de yuca.

En primer lugar se tiene la fauna béntica cuyos resultados obtenidos en la caracterización (ver sección 7.1) muestran que la diversidad ha disminuido y los organismos que ahí se encuentran son propios de agua alteradas. La fauna béntica depende de doce (12) variables como la temperatura del agua que es un factor limitativo, según el grado de tolerancia de cada organismo, los cambios de este parámetro determinan patrones de circulación y estratificación; el oxígeno del cual depende la gran mayoría de los organismos acuáticos y según su cantidad dentro de un sistema hídrico, así será la cantidad y diversidad de organismos; el CO₂, el pH y la alcalinidad que están determinados por la acción de tensores externos y cuya relación es muy estrecha ya que cualquier cambio en uno de ellos repercute en los otros y por ende en la biota acuática y la turbiedad, que es un limitante para los organismos ya que es muy influyente, los valores altos de este parámetro dificultan los procesos fotosintéticos y con ellos la producción de oxígeno.

En segundo lugar es el oxígeno un parámetro del agua dependiente de los cambios que ocurran en el sistema, como la erosión que por escorrentía llega al agua y acumula sedimentos que aumenta la turbiedad e impiden la fotosíntesis para su producción; es también dependiente de la temperatura para su solubilidad ya que se presenta una relación inversa entre estos dos parámetros; del pH debido a que pueden quedar incompletos algunos procesos oxidativos y aumentarse la formación de compuestos que disminuyen su valor como el metano y algunos ácidos; con el CO₂ ya que al haber en la zona de estudio mucha materia para degradar, el consumo de oxígeno será mayor por lo que su valor tenderá a disminuir y lo contrario ocurrirá con el CO₂ y la DQO, los cuales tienden a aumentar en la zona donde concurren los vertimientos de las dos rallanderías. En cuanto a la conductividad, su valor depende de los aportes externos que lleguen al sistema como los que provienen de la erosión de los vertimientos de almidón y por aportes internos como la materia orgánica que mediante su degradación libera iones y CO₂, este último se combina con el agua bajo diferentes reacciones aportando iones carbonato y bicarbonato que determinan a su vez la alcalinidad del agua. El resto de indicadores presentan un bajo grado de dependencia y algunos como el pH son a su vez influyentes, es decir, el pH depende de los cambios del sistema pero a su vez tiene mucha influencia dentro de ellos.

Los vertimientos del almidón de yuca son poco dependientes pero sí muy influyentes en especial sobre el sistema acuático. Se debe tener en cuenta que las descargas por parte de las rallanderías no son continuas permitiendo una leve autorecuperación de algunos parámetros físicoquímicos, pero no de las comunidades bénticas que se han visto mayormente afectadas.

La erosión influye en el sistema debido al mal uso del suelo en el momento de la siembra de cultivos de yuca. El suelo sin cobertura vegetal queda desprotegido y va perdiendo su capacidad productiva por lo que queda a merced de la lluvia y el viento que lo arrastran hacia las corrientes hídricas alterando con esto la calidad del agua propia para el desarrollo de la flora y fauna.

Las actividades que se ejercen para la extracción del almidón están creando una serie de alteraciones en los recursos naturales de la región, iniciándose con el cultivo de la materia prima que es la yuca y los vertidos sólidos y líquidos los cuales involucran una pérdida de la vegetación natural, hábitats y nichos para muchas especies, con su consecuente alteración de la biodiversidad. La pérdida de la cobertura vegetal del suelo, hace que este se vuelva susceptible a la erosión y al aumento de la escorrentía superficial, lo que conlleva a una remoción o alteración de los horizontes y a un arrastre de material hacia las corrientes hídricas, provocando alteraciones en la calidad del agua y por ende en las comunidades acuáticas.

A nivel de la población esta se ha visto beneficiada en parte por el establecimiento de estas microempresas ya que se ha fomentado el empleo tanto dentro de las rallanderías como fuera de ellas, esto es para el descapote, cultivos y fumigaciones, además en algunas ocasiones el pelado de la yuca se realiza en forma manual por un grupo de mujeres que reciben alguna ayuda económica. Por otra parte aunque haya fomento de empleo, la situación económica de los habitantes no es muy buena, pues apenas lo que ganan si les alcanza para el diario vivir; a esto se le suma el hecho de que muchos habitantes han tenido que abandonar su tierra y sus sitios de trabajo para emigrar a zonas urbanas por causa de la violencia.

En general, este ecosistema está siendo afectado por todas las actividades que el proceso de extracción de almidón de yuca conlleva: lo que hace pensar en llevar a cabo una concientización por parte de los habitantes de la zona que requieren de apoyo por parte de las entidades encargadas de la defensa y preservación de los recursos naturales

7.5.4 Interpretación de los cuadrantes: los resultados de la matriz, se muestran en la figura 27:

Cuadrante I: área que agrupa situaciones de mucha influencia, poca dependencia y mayor fuerza cualitativa no cuantitativa del sistema. Las variables que se hallan en este

cuadrante al tener pocas dependencias son resistentes al cambio, pero si llegan a ser afectados influyen en muchos indicadores. Las variables que se encontraron fueron: la erosión, los vertimientos del almidón de yuca, el uso del suelo, la cobertura vegetal y la turbiedad. Esto indica que estas variables son muy influyentes sobre otras y se deben tener muy en cuenta en el momento de formular planes de mitigación, esto es explicable debido a que no hay un uso racional del recurso suelo por la introducción de cultivos de yuca y del recurso agua por las descargas orgánicas.

Cuadrante II: influyen en gran medida sobre el sistema pero son muy dependientes del mismo, serán altamente susceptibles a los tensores y por lo tanto son más vulnerables. La única variable que se encontró en este cuadrante fue el pH del agua, este parámetro es muy influyente sobre el ecosistema debido a que es un factor limitativo y regulador del metabolismo de la comunidad y es muy dependiente del sistema porque cualquier cambio repercute directamente sobre él y sobre los parámetros con los cuales tiene una interdependencia como el CO₂ y la alcalinidad. Es de anotar que el pH de los vertimientos de almidón de yuca es controlado por el proceso de encale antes de ser arrojados a la quebrada para evitar que el pH de esta se altere en mayor grado.

Cuadrante III: constituyen las debilidades y/o los resultados del sistema. Influyen débilmente sobre él y resultan de difícil manejo debido a su alto grado de dependencia. Se encontraron dentro de este cuadrante las variables: oxígeno, CO₂, DQO, conductividad y la fauna béntica. Estas variables dependen mucho de los cambios del sistema por su gran susceptibilidad, están relacionados entre si y con otros parámetros por lo que se puede decir que son interdependientes. Esto explicable debido a que un cambio que produzca el desequilibrio en un ecosistema, repercute directamente sobre los parámetros que dependen de diversos factores como la pluviosidad, la erosión, y las descargas orgánicas. La fauna béntica es más dependiente que influyente y de acuerdo a la clase de organismos que se encuentren en un cuerpo de agua, se puede afirmar si el sistema esta o no atravesando por un desequilibrio. En este estudio el factor externo como son los vertimientos del almidón han hecho que las poblaciones de

macroinvertebrados propios de aguas oligotróficas hayan desaparecido y por el contrario se han establecido organismos que sobreviven en aguas donde se vierten desechos orgánicos. Algunos parámetros fisicoquímicos como el oxígeno, el CO₂, la DQO y la conductividad guardan una estrecha relación ya que si se produce un aumento o una disminución exagerada en alguno de ellos, los demás parámetros serán afectados y con esto iniciará un desequilibrio en el ecosistema.

Cuadrante IV: las variables que en él se ubican tienen poca influencia sobre el sistema y a la vez son poco dependientes de él. Son ajenas al sistema ni lo afectan ni son afectadas significativamente por el mismo por lo tanto serán más resistentes al cambio, en este cuadrante se encontraron la temperatura, la alcalinidad, la cuenca visual, el ruido, la salud y el empleo.

Figura 26. MATRIZ DE INFLUENCIA DEPENDENCIA QUEBRADA ABEJONALES

		COMPONENTE ABIOTICO										COMPONENTE BIOTICO			COMPONENTE ANTROPICO						
		SUELO	CALIDAD DEL AGUA									PAISAJE	FLORA	FAUNA	POBLACION						
			Nº Orden	Erosión	Temperatura	Oxígeno	Gas carbónico	pH	DQO	Conductividad	Alcalinidad				Turbiedad	Cuenca	Cobertura vegetal	bénica	Uso del Suelo	Vertimiento Almidón	Ruido
Nº Orden	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17				
COMPONENTE ABIOTICO	SUELO	Erosión	1										1		1			1	4	0.36	
	CALIDAD DEL AGUA	Temperatura	2	1						1				1		1				4	0.80
		Oxígeno	3	1	1		1	1	1	1	1		1	1		1				11	3.67
		Gas carbónico	4	1	1	1		1	1	1	1		1	1		1				11	1.83
		pH	5	1			1		1	1	1		1		1	1				9	1.29
		DQO	6	1	1	1	1	1			1					1				7	1.17
		Conduct.	7	1			1		1		1				1	1				7	1.75
		Alcalinidad	8	1	1		1	1	1											5	1.00
		Turbiedad	9	1											1	1				3	0.38
COMPT. BIOTICO	PAISAJE	Cuenca visual	10											1		1	1		1	4	
	FLORA	Cobert. Vegt.	11	1											1	1			1	4	0.44
	FAUNA	Bénica	12	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1				12	4.00	
COMPONENTE ANTROPICO	POBLACION	Uso del Suelo	13	1										1			1		3	0.33	
		Vert. almidón	14					1							1				2	0.15	
		Ruido	15											1					1	1.00	
		Salud	16					1			1			1	1	1			5		
		Empleo	17												1				1	0.33	
Sumatoria Influencias			11	5	3	6	7	6	4	5	8	0	9	3	9	13	1	0	3		

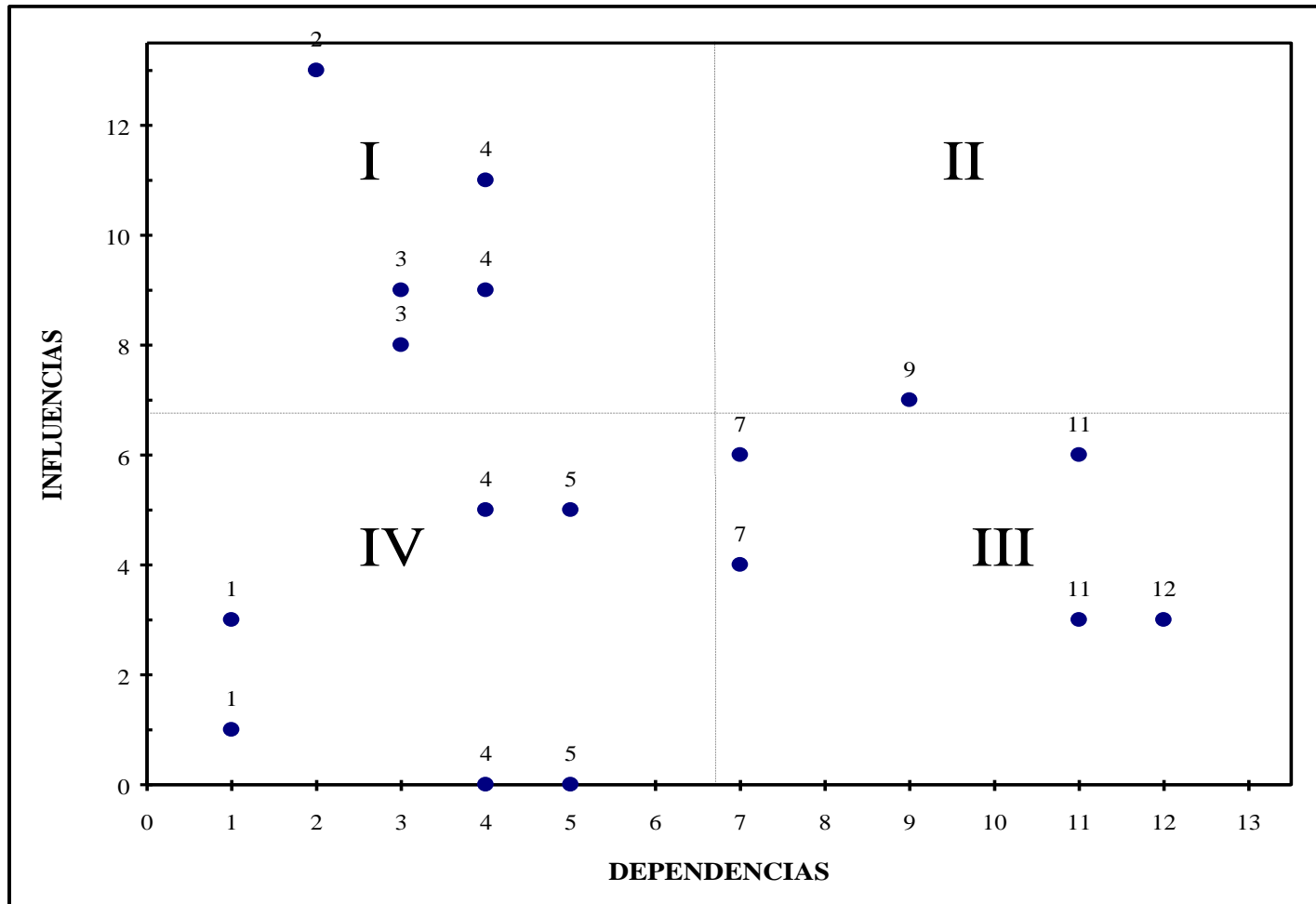


Figura 27. Ubicación de los resultados de la matriz Influencia – Dependencia.

8. CONCLUSIONES

- La quebrada Abejonales se encuentra poco intervenida en su primer tramo, los parámetros fisicoquímicos no tuvieron diferencias significativas, presentando características propias de aguas oligotróficas con buena corriente que permite una mayor oxigenación, de turbiedad, conductividad, DQO bajos y un pH neutro. En la zona 2 se presentaron diferencias significativas con respecto a la zona 1, la turbiedad y la DQO presentaron valores mas altos, debido a que ahí se vierten las aguas residuales del almidón y la cascarilla de yuca además el pH y la concentración de oxígeno tuvieron tendencia a disminuir, aunque presentaron diferencias mínimas.
- Las condiciones favorables (poca intervención del hombre) de la zona 1 han permitido el establecimiento de una mediana diversidad de individuos (2.31). La quebrada en su segundo tramo, presenta una marcada intervención antrópica por el establecimiento de las dos rallanderías de almidón de yuca, las cuales vierten sus desechos sin un tratamiento previo en la fuente receptora limitando con esto el normal desarrollo de la biota acuática, a pesar de las variaciones mínimas de algunos parámetros fisicoquímicos. Los organismos en esta zona tienden a desaparecer quedando solo aquellos que resisten mejor dichas alteraciones. Esta zona presenta organismos de aguas mesoeutróficas con una baja diversidad (0.61).
- De acuerdo con las zonas, el número de especies es menor con mayor número de géneros (algunos dominantes) en la zona 1 en razón a la mayor disponibilidad de hábitats lo que no ocurre en la zona 2 donde hay pocos géneros y muchos individuos

por lo que conlleva a un desequilibrio del ecosistema, debido a las condiciones de alteración que presenta el agua.

- En general, las aguas de la quebrada Abejonales son oligomesotróficas, con un pH (6.7-7.0) tendiente a la neutralidad, los cambios observados en las zonas de muestreo son más drásticos en cuanto a la fauna, la mayoría de los parámetros físicoquímicos variaron de forma leve y el análisis microbiológico mostró que esta corriente de agua requiere un tratamiento si es para consumo humano, recreación o acuicultura.
- El análisis de los parámetros físicoquímicos, la caracterización de la fauna béntica y el análisis microbiológico son métodos complementarios para evaluar la calidad de un cuerpo de agua y su uso permitió comparar las zonas de muestreo y así determinar que la zona 2 de la quebrada Abejonales está siendo afectada por los vertimientos de aguas residuales provenientes de las rallanderías de yuca.
- El empleo de la matriz de Influencia – Dependencia fue útil para determinar cuáles son los indicadores que se deben manejar con mayor cuidado en la realización de un estudio ambiental. El análisis cualitativo realizado a través de esta metodología permitió mostrar los indicadores que están ejerciendo una mayor presión sobre el ecosistema como son los vertimientos del almidón, el uso del suelo, la cobertura vegetal y la erosión; además de dar a conocer que la fauna béntica y el oxígeno son los indicadores más dependientes y susceptibles a los factores antrópicos y que el pH del agua es dependiente y a su vez muy influyente sobre el sistema.
- Se puede afirmar que el área de influencia se encuentra afectada debido a la instalación de las microempresas de almidón de yuca que han propiciado el aumento en la introducción de cultivos de yuca, los que se realizan sin una tecnología apropiada y

conveniente que permita la conservación del suelo, el cual también se ha visto afectado por que en algunas ocasiones los residuos sólidos (cascarilla de yuca) y líquidos (aguas residuales) son arrojados directamente sobre él, aumentando con esto la pérdida de la cobertura vegetal y su capacidad productiva.

9. RECOMENDACIONES

- Realizar actividades con la comunidad y la CRC que conlleven a la concientización del uso adecuado del agua y a la recuperación de la quebrada y del área de influencia.
- Buscar alternativas de tratamiento de los vertimientos del almidón que sean de bajo costo, para que estos no sean arrojados a las fuentes hídricas.
- Hacer monitoreos periódicos no solo sobre el recurso hídrico sino también sobre los vertimientos y en el área de influencia de las rallanderías de yuca, con el fin de obtener más exactitud sobre su grado de alteración y así plantear medidas de mitigación para la preservación de los recursos naturales.
- Complementar estudios como este, con un análisis al agua residual que se obtiene a partir del lavado y el pelado de la yuca, teniendo en cuenta que es la cascarilla donde hay una mayor concentración de cianuro.
- Se deben tener en cuenta los ensayos realizados por el CIAT acerca de la conservación del suelo en la producción de yuca. Este centro sugiere utilizar policultivos (intercalar la yuca con cultivos de rápido crecimiento) simultáneos con el fin de disminuir las pérdidas edáficas y de nutrientes para así mantener las propiedades físicas del suelo.

- Reubicar los cultivos de yuca sobre áreas de poca pendiente o planas y aplicar técnicas agroecológicas
- Orientar el uso del suelo hacia la reforestación proteccionista y/o al establecimiento de sistemas agroforestales donde se fomente la propagación de árboles multipropósito.
- En cuanto a la población, se sugiere a las entidades de salud realizar un estudio complementario acerca de cómo las comunidades están siendo afectadas por el establecimiento de estas rallanderías.

BIBLIOGRAFÍA

ALTOMIRANO, Claudia. Biodegradabilidad anaerobia del material en suspensión de las aguas residuales del proceso de obtención del almidón de yuca. Santiago de Cali, 1995, 60p. Trabajo de grado (Químico). Universidad del Valle. Facultad de Ciencias.

ALVAREZ Y., Francisco. Introducción a la ecología de las aguas dulces. Barranquilla s.f.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA) y WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (WPCF). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Washington: Board, 1998. 1268p.

ARMITAGE, P. B. et al. The performance of a new biological water quakity score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running – Water Res., 13(3): 333- 347. En REVISTA UNICAUCA CIENCIA 4 . 1999. P 47 –59

BARBA, Luz Edith. Química del agua. Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería. Departamento de Procesos Químicos y Biológicos. Sección de Saneamiento Ambiental. Santiago de Cali, 1989, 222p.

BERNAL, Elizabeth. Contribución al conocimiento del efecto del cianuro sobre los microorganismos que intervienen en el proceso anaerobio de degradación de almidón de yuca. Santiago de Cali, 1996, 80p. Postgrado en Ingeniería Sanitaria. Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería.

CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL (CIAT) y la Universidad del Valle. La industria del almidón en el departamento del Cauca 1995.

COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE. Manual de evaluación de impacto ambiental: Conceptos y antecedentes básicos. Chile: CONAMA, 1994.

CORPORACIÓN AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA Planta procesadora de almidón de yuca. Vereda Santa Cruz Municipio del Patia. 1993.

_____ Incidencia del cultivo de yuca y producción de almidón en las cuencas de los ríos Mondomo, Pescador, Ovejas y Quinamayó. Informe final. Popayán: CRC, 1997.

_____ y la CENTRAL DE COOPERATIVAS DEL SECTOR AGROPECUARIO CECORA. Estudio de la yuca y sus derivados. Producción y mercadeo en el departamento del Cauca. Popayán 1988.

_____ y la UNIVERSIDAD DEL CAUCA, División de Recursos Hidrobiológicos. Caracterización físico química de los principales ríos del norte y centro del departamento del Cauca. Informe final. Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación Popayán, 1999.

_____ Evaluación de la oferta/demanda de agua de la subcuenca de las quebradas la Chapa, Agustina (Cascada) y Mandivá, Municipio de Santander de Quilichao Departamento del Cauca . Popayán, 2001.

CORPORACIÓN AUTONOMA REGIONAL DEL CENTRO DE ANTIOQUIA.
Normatividad Ambiental Básica. Medellín: CORANTIOQUIA, 1999. 520p.

DUQUE, Amparo. Proyecto para el control de vertimientos generados en el beneficio de la yuca en el sector de Mondomo Municipio de Santander de Quilichao. Santiago de Cali, 1994, 40p. Postgrado en Ingeniería Sanitaria. Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería.

ESPINAL, Luis. Apuntes sobre la flora de la región central del Cauca. Cali: Universidad del Valle 1980. 136p.

FIGUEROA C. Apolinar ; CONTRERAS R. Rafael y SANCHEZ D. Juan. Evaluación de impacto ambiental Centro de Estudios para el Desarrollo Regional (CEADES) y Corporación Universitaria Autónoma de Occidente (CUAO). Cali. 1998.

GONZALES I., Carlos. Proyecto de la Factibilidad para el montaje de una planta procesadora de yuca. Departamento del Meta, 1986.

GRANADOS D., Humberto y RAMIREZ C., Libardo. Reserva Natural “Laguna de Sonso” Museo de Historia Natural. Universidad del Cauca. Popayán. 1975.

HOLDRIDGE, L. R. Ecología basada en zonas de vida. San José, Costa Rica: IICA, 1978. 58p.

LEHMAN, Federico. Contribuciones al estudio de la fauna de Colombia. Novedades Colombianas. Museo de Historia Natural. Universidad del Cauca. Popayán. 1983.

MURGEL B., Samuel. Limnología Sanitaria, Estudio de la Polución de Aguas Continentales. Washington, D.C. Eva V. Chesneau, 1984. 120p.

ODUM, P. Eugene. Ecología. México: Interamericana 1972. 640p.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAD PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION (FAO). Producción mundial de yuca [en línea]. Asequible Internet: [www. Fao.org/inicio.htm](http://www.Fao.org/inicio.htm).

ORREGO, Abigail y PARIS, Gabriel. Cuadrángulo No. 6 Popayán: geología, geoquímica y ocurrencias minerales. Ingeominas. Popayán 1991. 180 p.

OVIEDO, Adona. Biodegradabilidad anaerobia del material soluble de aguas residuales, provenientes del proceso de extracción del almidón de yuca. Santiago de Cali, 1995, 40p. Trabajo de grado (Química). Universidad del Valle. Facultad de Ciencias. Departamento de Química.

ROLDAN, Gabriel. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia. Fondo FEN : Colciencias. Universidad de Antioquia. 1988.

_____ Fundamentos de Limnología neotropical. Medellín: Universidad de Antioquia, 1992.

SAWYER N., Clair; PERRY L. McCarty y PARKIN F. Gene. Química para ingeniería ambiental. Bogota: McGraw Hill. 2001 715p.

URIBE, Lorenzo. Botánica Voluntad Bogotá 1970.

VASQUEZ Z., Guillermo L. Caracterización físico-química de cuerpos de agua natural. Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación. Departamento de Biología. Instituto de Postgrado. 1998.

ZAMBRANO P., L. y VALVERDE, A. Los indicadores y la evaluación ambiental. Popayán. Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación. Departamento de Biología. 1998, 23p.

ZAMORA G., Hilldier. Evaluación rápida de la calidad ambiental en ecosistemas líticos mediante el análisis de sus macroinvertebrados. En: Revista de la Asociación Colombiana de ciencias Biológicas. Vol. 10, No. (1-2) (jun.- dic. 1988); p. 22-26.

_____ y SARRIA, Helberth. Calidad biológica de dos ecosistemas lóticos afectados por aguas residuales de rallanderías de yuca, mediante la utilización de sus macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores, comparando además la aplicación de los índices de Shannon-Weaver y BMWP. Departamento de Biología e Instituto de Postgrado, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación. Universidad del Cauca. Popayán, Colombia .e Instituto de Postgrado. Facultad de ciencias Universidad Complutense. España. 2000.