



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES**

**TEMA: “ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AGUA CON LA UTILIZACIÓN DE
BIOINDICADORES ACUÁTICOS Y FORMULACIÓN DE UN PLAN DE MONITOREO
EN CHICAL, PROVINCIA DEL CARCHI”**

AUTORAS

Marín Cartagena María Fernanda
Zurita Muños Eliana Verónica

DIRECTOR

Ing. Jorge Granja

LUGAR DE LA INVESTIGACIÓN

Carchi, Tulcán, El Chical.

Ibarra – Ecuador

2014

HOJA DE VIDA DEL INVESTIGADORAS

| | | |
|------------------------------|--|---|
| DATOS PERSONALES: | |  |
| Apellidos | Marín Cartagena | |
| Nombres | María Fernanda | |
| Cédula de ciudadanía | 1003230636 | |
| Teléfono convencional | 062922342 | |
| Teléfono celular | 0986110979 | |
| Correo electrónico | maferchita_jg@hotmail.com | |
| Dirección | Imbabura, Otavalo, El Jordan, Cda. Los Lagos, Calle El Rocio | |

| | | |
|------------------------------|--|---|
| DATOS PERSONALES: | |  |
| Apellidos | Zurita Muños | |
| Nombres | Eliana Verónica | |
| Cédula de ciudadanía | 100393653-9 | |
| Teléfono convencional | 025139072 | |
| Teléfono celular | 0994826349 | |
| Correo electrónico | elizurt-10@hotmail.com | |
| Dirección | Pichincha, Quito, Cotacollao, Legarda y Mariano Jácome | |

FECHA DE DEFENSA: 01 de Octubre del 2014

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA - UTN
Fecha: 01 de octubre de 2014

MARÍN CARTAGENA MARÍA FERNANDA Y ZURITA MUÑOS ELIANA VERÓNICA. Estudio de la calidad del agua con la utilización de bioindicadores acuáticos y formulación de un plan de monitoreo en Chical, Provincia del Carchi”/ TRABAJO DE GRADO. Ingenieras en Recursos Naturales Renovables. Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Recursos Naturales Renovables. Ibarra. EC. Octubre 2014.

DIRECTOR: Ing. Jorge Granja

El objetivo principal de esta investigación fue, estudiar la calidad del agua en la quebrada “San José”, comunidad de El Chical, mediante la utilización de indicadores biológicos, para elaborar conjuntamente con la comunidad un plan de monitoreo.

Fecha: 01 de octubre de 2014

Ing. Jorge Granja
DIRECTOR DE TESIS

María Fernanda Marín
AUTORA

Eliana Verónica Zurita
AUTORA

RESUMEN

La comunidad de El Chical es una localidad ubicada en el cantón Tulcán de la provincia del Carchi, donde sus pobladores utilizan como fuente de captación de agua para su consumo diario la quebrada San José; no cuenta con información sobre la calidad de la misma; no realizan ningún control, ni monitoreo en la fuente, problemática que ha motivado la realización del presente estudio. El propósito esencial fue analizar el agua de la Quebrada San José utilizando bioindicadores para conocer su calidad, y a su vez formular un plan de monitoreo que pueda ser fácilmente gestionada por parte de la comunidad. La metodología específica del proceso de monitoreo consistió en la recolección de muestras durante cuatro meses en la zona baja de la microcuenca (Sitios A, B y C) utilizando técnicas como: Red Surber, piedras y hojarasca para captura de macroinvertebrados, filtración con red de plancton de 24 μ s para fitoplancton. Luego se analizó la calidad de agua de la quebrada con los índices BMWP, EPT, de sensibilidad, el O.P.I y el Saprobiano de Pantle – Buck; así como también la diversidad de especies con Shannon – Weaver; adicionalmente, una comparación estadística entre los sitios de muestreo con la prueba de Kruskal – Wallis. Para el plan de monitoreo se utilizó la metodológica del Marco Lógico que permitió la participación activa los miembros de la junta y pobladores en general. La quebrada tiene diversidad media en cuanto a comunidades bentónicas y fitoplanctónicas; el agua es de Buena Calidad y Baja Contaminación Orgánica, albergando a diferentes organismos acuáticos, por ello, antes de consumir el agua debe tener un previo tratamiento en los tanques y en los domicilios. Dentro del plan de monitoreo se desarrolló tres componentes esenciales que son: Programa de Educación y Concientización Ambiental, Programa de Monitoreo Biológico y el Programa de Difusión de la Información, cada uno presenta proyectos y actividades específicas, que de acuerdo al análisis e investigación realizada resulta el más conveniente para la Comunidad.

Palabras Claves: Agua, fitoplancton, macroinvertebrados, participación, programa, proyecto.

ABSTRACT

The community of El Chical is a town located in the canton Tulcán of Carchi province, where its inhabitants used as a source of water collection for daily consumption the Creek San Jose (Quebrada San Jose); it has no information on the quality of it; there is not any control or monitoring at the source, a problem that has led to the completion of this study. The main purpose was to analyze the water from Creek San Jose (Quebrada San Jose) using bioindicators to know its quality, and at the same time formulate a monitoring plan that can be easily managed by the community. The specific methodology of monitoring process consisted of collecting samples for four months in the lower area of the watershed (Sites A, B and C) using techniques such as: Red Surber, stones and litter to capture macroinvertebrates, filtration network plankton 24 μ s to phytoplankton. After that was analyzed the water quality of the creek with BMWP, EPT, sensitivity, and the O.P.I. of Pantle -Buck Saprobiano indices; as well as species diversity with Shannon - Weaver; additionally, a statistical comparison between the sampling sites with the Kruskal – Wallis test. For monitoring plan was used the Methodology of the Logic Frame allowing active participation of board members and residents in general. The creek has average diversity in benthic and phytoplankton communities; Water is Good Quality and Lower Organic Pollution, housing several aquatic organisms, therefore, before consuming the water must be pretreated in tanks and in homes. Within the monitoring plan was developed three essential components: Program of Environmental Education and Awareness, Biological Monitoring Program and Spreading Information Program, each one has projects and specific activities, which according to the analysis and research is the most suitable for the Community.

Keywords: water, phytoplankton, macroinvertebrates, participation, program, project.

INTRODUCCIÓN

PROBLEMA

El estudio de la evaluación de la calidad del agua con la aplicación de bioindicadores y la formulación de un plan de monitoreo se realizó en la Provincia del Carchi, en el Cantón Tulcán, en la Parroquia Chical, comunidad El Chical. El proyecto investigativo tuvo el 50% de financiamiento por parte de la Junta Administradora de Agua Potable de El Chical.

La comunidad El Chical, es una localidad de 568 pobladores; sus habitantes para mejorar las condiciones de vida, realizan actividades que no siempre son compatibles con el ambiente y causan contaminación, no poseen un sistema de captación adecuado, el manejo que se le da al agua para su potabilización es solo cloración y no se realiza ningún tipo de monitoreo para el control de calidad de agua en la fuente (Ramiro Bastidas, 2012: Entrevista personal).

El sitio de inicio de esta problemática es la quebrada San José (fuente de captación), debido a que la personas utiliza el agua para su consumo diario, de lo cual se deduce que tiene algún grado de contaminación por la presencia de cultivos y pastizales a su alrededor, en los que los agricultores utilizan agroquímicos para el control de plagas y que finalmente perjudicarán la salud y economía de la población del sector

Al mismo tiempo, se puede observar la falta de conocimiento que presenta la comunidad con relación al concepto de calidad del agua (confusión entre agua potable y clorada), mismo que está ligado a la falta de realización de monitoreos y campañas de educación ambiental. La idiosincrasia de la comunidad al confiar en agua clorada ha generado un desinterés comunitario en el hecho de exigir a los organismos pertinentes la realización de otras formas de tratamiento del agua a nivel local.

Según Bastidas (2012), la Junta Administradora de Agua Potable de El Chical no realiza ningún tipo de análisis físico – químico ni biológico en la quebrada, por ende no se cuenta con información de la calidad de agua de consumo ni el estado del sistema hídrico; además, se desconoce qué tipo de organismos se encuentran afectando el agua, lo cual es un aspecto preocupante para la salud y bienestar de la comunidad que hace uso del líquido vital.

Por otro lado, los limitados recursos económicos para la realización de análisis físico – químicos del agua de forma permanente es otro problema al que se enfrenta la comunidad, mismo que ha generado en la población desinterés y falta de control en el cuidado del recurso agua. El inconveniente de determinar la calidad del agua mediante análisis químicos no solo radica en sus altos costos sino en que estos análisis proporcionan información de períodos cortos de tiempo, por ser métodos que muestran contaminación transitoria (Neumann, Baumeisterb, Liess y Schulza, 2003).

Finalmente y de acuerdo con los informes emitidos por el Sub centro de salud de El Chical en el año 2012 (año de la realización de la investigación), se identificó varios casos de personas con diarrea y parasitosis relacionados directamente con el consumo de agua (Dra. Fernanda Chamorro, 2012: Entrevista personal).

JUSTIFICACIÓN

El propósito de hacer una investigación técnica-científica de la calidad del agua, es determinar el grado de contaminación de la quebrada, por cuanto existe una captación superficial que requirió de un monitoreo continuo para el aseguramiento de su calidad. Tuvo gran relevancia porque fue orientado a satisfacer la provisión de agua saludable que permita garantizar un adecuado estado de salud de la población comunitaria y por ende aportar al buen vivir de la gente.

También es necesario indicar que el presente estudio tuvo un alto grado de originalidad por el hecho que en años anteriores no se han realizado estudios ni propuestas relacionadas con el mejoramiento de la calidad del agua de la comunidad El Chical. Igualmente, se pretendió demostrar la optimización de recursos económicos mediante el análisis de bioindicadores acuáticos.

El análisis desarrollado sumado a una eventual propuesta de elaborar un plan de monitoreo que interrelacione a la Junta Administradora de Agua Potable y la población en general; entorno al manejo del recurso agua, permitirá el uso sustentable del recurso y la salud comunitaria en general.

Se planteó como objetivos lo siguiente:

- Calcular la diversidad de los macroinvertebrados acuáticos y fitoplancton para verificar el estado biológico del cauce.
- Evaluar los indicadores biológicos presentes en la fuente de agua utilizada para proveer de la misma a la comunidad.
- Formular un plan de monitoreo mediante técnicas participativas que pueda ser empleado por la Junta Administradora de Agua Potable y la comunidad de El Chical.

METODOLOGÍA

Para cumplir con los objetivos planteados se realizó monitoreos en la zona baja de la microcuenca durante los meses de marzo, abril, mayo y junio del año 2012. Se seleccionó esta zona por presentar áreas no intervenidas y áreas intervenidas por actividades antropogénicas, accesibilidad para recolección de muestras y diferentes tipos de uso de suelo. Se subdividió el área de estudio en tres sitios de monitoreo A, B y C.

Durante los monitoreos se aplicó la técnica de muestreo denominada recolecta con Red Surber y piedras y hojarasca para la captura de Macroinvertebrados Acuáticos y filtración de fitoplancton con red de arrastre de plancton de 24us. Como complemento de la investigación, se realizó análisis físico – químicos y microbiológicos que permitieron corroborar los resultados obtenidos de la evaluación biológica. Finalizado los monitoreos se trasladaron las muestras obtenidas al laboratorio de biología de la Universidad Técnica del Norte donde se identificó y contabilizó los especímenes, posterior se ordenó la información para ser analizada.

Se aplicó los índices BMWP, EPT, de sensibilidad, el O.P.I y el Saprobiano de Pantle – Buck para evaluar la calidad de agua de la quebrada; así como también la diversidad de especies con Shannon – Weaver; adicionalmente, una comparación estadística entre los sitios de monitoreo con la prueba de Kruskal – Wallis.

Para la formulación del plan de monitoreo se trabajó conjuntamente con la comunidad; se realizó un foro participativo en que se socializó la necesidad de tener presente los problemas existentes sobre la calidad del agua y los resultados obtenidos en el primer monitoreo biológico; se utilizó el método de lluvia de ideas, con este método se logró concretar los verdaderos problemas que detectan los pobladores; aplicada la técnica se ordenó y seleccionó las ideas más relevantes para luego elaborar el árbol de problemas. Con los datos obtenidos se determinó la necesidad de elaborar un Plan de Monitoreo.

Una vez realizado el foro y la lluvia de ideas, se socializó la propuesta de un plan de monitoreo para la comunidad, a través de una conferencia, luego de lo cual se procedió a la aprobación de este con la presencia del mayor número de beneficiarios y de esta forma se garantiza la posterior aplicación de la propuesta.

Además para la formulación del plan de monitoreo se utilizó la metodología del Marco Lógico, esto permitió desarrollar tres componentes: el Programa de Educación y Concientización Ambiental, el Programa de Monitoreo Biológico y el Programa de Difusión de la Información; cada programa posee sus proyectos y actividades específicas que de acuerdo al análisis e investigación realizada resulta el más conveniente para la localidad.

RESULTADOS

La mayor diversidad bentónica se registró en el Sitio C con un valor promedio de $H= 2,44$; mientras que el sitio con menor diversidad fue el A con un valor de $H = 2,23$.

En cuanto a especies fitoplanctónicas el sitio con mayor diversidad fue el A con un valor promedio de $H= 2,24$; en cambio con $H = 1,85$ el sitio C se pondera como el de menor diversidad. Por otro lado se debe

considerar que existe una mínima diferencia entre los valores promedio de diversidad del sitio A y B, por lo que al compararlos con el sitio C son los más diversos a través del monitoreo. Según los valores de Shannon-Weaver la quebrada tiene diversidad media.

El índice ETP determinó que el agua de los sitios A, B y C, con valores promedios de 66,2%, 73,6% y 64,25% respectivamente, califican como agua de Buena Calidad por estar dentro de los rangos porcentuales de 50 a 74%. Debido a que se evidenció un mayor número de individuos pertenecientes a los grupos Ephemeroptera, Trichoptera, y Plecóptera indicadores de aguas corrientosas, limpias y bien oxigenadas. Por otro lado, el índice BMWP pondera a los tres sitios como de calidad II, es decir, Aceptable según sus valores promedio por la mayor presencia de familias sensibles a los contaminantes. Finalmente, el índice de sensibilidad deduce que el sitio A y B son de Buena Calidad puesto que los macroinvertebrados encontrados son mucho más sensibles a los contaminantes que los encontrados en el sitio C cuya calidad Regular y según su grado de sensibilidad aceptan pocos contaminantes.

Las medias del índice OPI determinan que en los tres sitios de muestreo de la quebrada San José contiene Baja Contaminación Orgánica, sin embargo, se debe considerar que la presencia de la especie *Anacystis (Microcystis)* con más de 50 individuos en los ml analizados (en algunos meses de monitoreo) puede apuntar a un cierto grado de peligrosidad para la población que consumen esta agua, puesto que esta especie produce grandes cantidades de toxina Microcistina y su acumulación en el organismo a través del tiempo afectaría la salud de la población. Por otro lado, según los valores promedios obtenidos en los tres sitios, en base al índice Saprobiano de Pantle y Buck se deduce que el agua de la quebrada tiene Contaminación Orgánica Débil calificando al agua como poco contaminada y rica en oxígeno. Relacionando los valores de Rakowska con los obtenidos en la investigación, se determina que el nivel saprobio del ecosistema acuático es β – mesosaprobio moderadamente cargado de materia orgánica, por encontrarse dentro del rango II.

PLAN DE MONITOREO: Matriz del marco lógico

| NIVEL DE OBJETIVOS | INDICADORES | MEDIOS DE VERIFICACIÓN | SUPUESTOS |
|---|--|--|--|
| FIN: Asegurar la provisión de agua de calidad a la comunidad de El Chical. | AMBIENTAL Nivel de calidad del recurso hídrico. | MEDIO DE VERIFICACIÓN Informe de monitoreo de macroinvertebrados y fitoplancton. | SOSTENIBILIDAD La comunidad local realizará actividades de recolección de datos de campo. |
| | Número de especies en aumento/disminución desde el monitoreo anterior. | Informe trimestral del monitoreo realizado y adición a la base de datos biológica. | Los especies encontradas de la Quebrada San José tendrán un incremento del 5% trimestral. |
| | SOCIAL Promedio de casos de diarrea y parasitosis a nivel comunitario. | Registros mensuales de morbilidad del Subcentro de Salud de El Chical MSP. | La comunidad aportará con la organización de una campaña para el control de la contaminación de la quebrada. |
| | ECONÓMICO Nª de emprendimientos de alimentos y bebidas que utilizan agua tratada. | Catastro municipal de negocios nuevos – RUC de cada emprendimiento. | Financiamiento del plan. |
| PROPÓSITO: Implantar un Plan de Monitoreo con la ayuda de los miembros de la comunidad y de la Junta Administradora de Agua Potable previniendo la contaminación de la fuente de agua local para controlar los cambios que puedan afectar al sistema hídrico. | RESULTADOS ESPERADOS Implementación estratégica de una unidad de monitoreo de la calidad de agua eficiente que acopie las muestras recolectadas. | MEDIO DE VERIFICACIÓN Informe de monitoreo y evaluación de la propuesta. | SUPUESTOS Para el 2019 la unidad de monitoreo de agua de El Chical será el modelo a seguir para implementar otros monitoreos de agua en otras zonas. |
| | Acuerdo comunitario y gubernamental para el financiamiento de los estudios físico – químicos y biológicos del agua en la fuente. | Acuerdo bipartito firmado para realizar estudios físico – químicos y biológicos. | La práctica del acuerdo firmado promoverá la asignación de recursos económicos permanentes para este tipo de estudios. |
| | Organización de un grupo de vigilantes acuáticos para evitar la contaminación de la Quebrada San José. | Acta de compromiso para realizar la actividad de vigilancia y control de los monitoreos. | La Junta Administradora del Agua bonificará el trabajo realizado por los vigilantes del monitoreo y control de agua. |

| | | | |
|---|--|---|--|
| COMPONENTES: PROGRAMA DE EDUCACIÓN Y CONCIENTIZACIÓN AMBIENTAL | PROYECTO: <u>RESULTADO ESPERADO</u> Proyecto de capacitación: 30 personas capacitadas en educación ambiental. | MEDIOS DE VERIFICACIÓN Informe de capacitación y registro de asistencia. | SUPUESTOS La capacitación realizada permitirá que la comunidad se empodere de la necesidad de preservar sus recursos naturales de forma sostenible. |
| PROGRAMA DE MONITOREO BIOLÓGICO | PROYECTO: <u>RESULTADO ESPERADO</u> Proyecto de monitoreo de macroinvertebrados: Proceso de monitoreo trimestral implementado. Proyecto de monitoreo de fitoplancton: Proceso de monitoreo trimestral implementado. | MEDIOS DE VERIFICACIÓN Informe trimestral del monitoreo realizado y adición a la base de datos biológica. | SUPUESTOS La difusión de los estudios planteados permitirá la multiplicación de conocimientos biológicos. Las investigaciones realizadas serán una atracción positiva para iniciar el turismo científico-biológico. |
| PROGRAMA DE DIFUSIÓN DE LA INFORMACIÓN | PROYECTO: <u>RESULTADO ESPERADO</u> Proyecto de elaboración de la Cartilla informativa de macro-invertebrados y fitoplancton: Proceso anual implementado. Proyecto de gestión del Banco de muestras de macro-invertebrados y fitoplancton para futuras investigaciones: Proceso anual implementado. | MEDIOS DE VERIFICACIÓN Registros de entrega recepción de la cartilla a nivel comunitario y en instituciones. Registro de investigadores que utilizaron la base de datos biológica. | SUPUESTOS En el lapso de 5 años la base de datos planteada estará posicionada como una de las más importantes a nivel nacional. |

FUENTE: Ortegón, E., Pacheco, J. y Prieto, A., 2005
 ELABORADO POR: Las Tesistas

DISCUSIÓN

CALIDAD DE AGUA

El sistema estudiado presentó características de aguas corrientosas con presencia de rocas grandes y pequeñas, materia orgánica en descomposición, y abundante hojarasca, el mayor número de individuos bentónicos encontrados en los sitios de muestreo fueron de las familias Trichoptera, Coleóptera, Plecóptera y Ephemeroptera, representantes en su mayoría de aguas corrientosas, limpias y bien oxigenadas (Roldán, 2003; Fernández y Domínguez, 2001). Según el índice ETP, BMWP y de Sensibilidad cuyos valores promedio obtenidos fueron: 66,2%, 73,6% y 64,25% se obtuvieron los niveles de calidad agua correspondientes a los niveles: Buena calidad, Aceptable y Regular.

Por otro lado los meses con mayor número de familias, especies e individuos bentónicos fueron los meses secos (mayo y junio), es decir, que la presencia de organismos es más abundante cuando hay menos precipitación y el caudal es bajo; además, el caudal determinado de 0,25 m³/s en el sitio C influyó para que esta sea considerada dentro de la investigación como la más diversa. Dentro de la investigación, en los meses lluviosos se muestra valores bajos en la riqueza de taxas fitoplanctónicas, puesto que el aumento del caudal, velocidad de corriente y la dilución de nutrientes es mayor en estos meses. Aspectos que pudieron influir negativamente en la fijación y colonización de fitoplancton a los diferentes sustratos naturales presentes en los sitios de muestreo (Bustamante, Dávila, Torres y Ortiz, 2008).

Las especies fitoplanctónicas más abundantes a través de todo el monitoreo fueron *Fragilaria* representante del grupo Bacillariophyta, *Pediastrum* del grupo Chlorophyta y *Microcystis* del grupo conocido como algas verdes azules, Cyanophytas o Cianobacterias. Este tipo de análisis es conocido y fue aplicado de similar forma en los humedales costeros de Cuba donde se observó cambios en las características ecológicas de las fuentes de agua causadas por productos químicos (Gómez y Ramírez, 2007).

En síntesis y de acuerdo con los datos anteriores, la Quebrada San José viene a constituirse en un sitio de biodiversidad acuática media por la cantidad de especies de macroinvertebrados y fitoplancton encontradas y expuestas en las tablas organizativas que anteceden. De dichos datos se puede simplificar la presencia de las especies bentónicas: Trichoptera, Coleoptera, Plecoptera y Ephemeroptera como las más sobresalientes, además de otras adicionales expuestas en las tablas 3.5, 3.6 y 3.7 de este documento, y las especies fitoplanctónicas *Fragilaria*, *Pediastrum* y *Microcystis*; igualmente las más representativas; además, de otras adicionales expuestas en las tablas 3.2.1 hasta la 3.2.12.

Al respecto otro estudio realizado por Tomanova y Tedesco (2006), menciona que muchos de los géneros de invertebrados acuático, entre ellos Trichoptera y Ephemeroptera, tienen amplia distribución por Sudamérica y aun cuando el conocimiento taxonómico no es profundo, se puede notar que en la zona tropical las familias y géneros son más diversos que en la zona templada.

En cuanto a las algas Bacillariophyta son algas unicelulares que se encuentran solitarias o en colonias, se reproduce típicamente en zonas que poseen aguas bajas de calcio y magnesio (Novelo, 2012). La distribución de este grupo está determinado también por la temperatura, ciertos géneros prefieren vivir en regiones frías y otros como los géneros del orden Fragilariales (otro de los grupos fitoplanctónicos más abundantes de la investigación) prefieren zonas cálidas con temperaturas altas (Ramírez, 2000). La temperatura medida del lecho presentó temperaturas de entre 20,6 a 25,13°C condiciones ideales para la proliferación de este grupo, que determina además aguas ricas en nutrientes.

La presencia de las algas Cyanophytas en el ecosistema, representan agua dulce con eutrofización avanzada, dicha especie *Microcystis* (la mayor representante en el estudio) es productora de una toxina conocida como Microcistina que en grandes cantidades es perjudicial para la salud de los seres vivos, puede causar intoxicaciones severas y hasta la muerte (Chorus y Bartram, 1999). Con las razones antes expuestas, dentro de la investigación se deduce que la presencia del alga *Microcystis* genera un cierto grado de contaminación orgánica en el sistema y su acumulación en el organismo puede ocasionar problemas de salud en la comunidad.

Por consiguiente, la identificación de esta especie de alga y otros organismos nocivos en menor escala (*Escherichia coli*), demuestran el requerimiento de acciones de correctivas urgentes para proveer a la comunidad de El Chical un adecuado nivel de calidad del agua y por ende garantizar el buen estado de salud

de su población. Este aspecto es corroborado por otro estudio realizado en quien manifiesta que dicha bacteria puede sobrevivir varios días en el agua y es un indicador de contaminación fecal (Vadillo, Pírix y Mateos, 2002).

Las pruebas físico – químicas junto a los análisis biológicos se emplean para obtener un cuadro más completo de que factores influyen en la calidad del agua (Agencia de Protección Ambiental, 2008), por eso desde el punto de vista fisicoquímico los sitios de monitoreo se encuentra en condiciones aceptables de calidad del agua, puesto que los valores no sobrepasa los límites máximo permisibles estipulados en el TULSMA (2003), estas a su vez corresponden a ecosistemas lóticos de aguas mesotróficas, propias de montaña neotropical (Bustamante et al. 2008).

En cuanto a la aplicación de índices biológicos se obtuvo como resultado que el sistema presenta aguas de buena calidad y baja contaminación orgánica, en este caso “aguas de buena calidad”, quiere decir que el sistema hidrológico puede albergar diferentes comunidades acuáticas como el fitoplancton y macroinvertebrados (Bustamante et al, 2008).

Los resultados de los análisis biológicos y físico químicos determinaron que el agua es de buena calidad, no obstante, se debe proponer alternativas que permitan mantener o mejorar las condiciones ambientales del ecosistema acuático y así garantizar la salud de la población, por ende, una de las alternativas es la planificación de monitoreos permanentes en el sistema como el que se ha realizado de forma piloto. Tomando en cuenta que el uso de aguas superficiales para el consumo humano implica un cierto nivel de riesgo de transmisión de enfermedades hídricas, como por ejemplo: gastroenteritis, disentería, hepatitis o fiebre tifoidea (Aurazo, 2005).

PLAN DE MONITOREO

El plan de monitoreo biológico constituye un procedimiento técnico de control y vigilancia de la calidad del agua para consumo humano, en el que se mencionan los parámetros a utilizar para caracterizar el estado o la evolución de los macroinvertebrados en la quebrada, así como también de especies de fitoplancton. Inclusive en otro tipo de estudio relacionado con ambientes acuáticos ubicados cerca a zonas ganaderas de Colombia, se evidenció una restauración del ecosistema acuático por el incremento de la especies de macroinvertebrados: Ephemeroptera, Plecóptera y Trichoptera (Chará, Solarte, Giraldo, Zuluaga y Murgueitio, 2009).

En este sentido, como metodología más adecuada se ha utilizado al marco lógico para una adecuada aplicación comunitaria. De allí que el marco lógico expuesto abarca la planificación mediante un nivel secuencial de objetivos (fin, propósito, componentes y actividades) y la exposición concreta de sus indicadores de logro, medios de verificación y supuestos. Para el caso específico de las actividades; se detallan de forma horizontal los insumos, costos y supuestos. Además, el marco lógico promueve una sensibilización comunitaria que apunta a fortalecer una cultura de cuidado y buen uso de los recursos naturales (Ortegón et al. 2005).

Asimismo, otros autores como el caso de (Cañadas y Rade, 2013) proponen un modelo simplificado de marco lógico, el mismo que se puede aplicar sistemáticamente dependiendo de los componentes, hipótesis o supuestos que se vayan a plantear en el proyecto en mención.

Por ende, los componentes esenciales del marco lógico planteado para la aplicación general del plan de monitoreo fueron los siguientes:

El Programa de Educación y Concientización Ambiental; el mismo que posee un proyecto de capacitación cuya meta final es contar con 30 personas capacitadas en educación ambiental y recolección de muestras de agua. La formulación de este programa tiene mucha similitud con lo realizado en Chile por parte del Programa de Educación Ambiental para comités de Agua Potable Rural, donde como resultado del mismo se fortaleció las capacidades técnicas de dichos comités y se desarrolló con ellos una visión más profunda sobre la conservación de servicios ecosistémicos, especialmente los asociados al abastecimiento del agua (Román, Nahuelhual y Morey, 2009).

En el taller titulado “Conocer el bosque para producir agua” se convocó a 48 dirigentes de los Comités mencionados para su capacitación. Su propósito general fue “Orientar el funcionamiento de una cuenca, enfatizando la capacidad de los bosques de proveer servicios ecosistémicos hídricos (Román et al. 2009). Los principales temas impartidos fueron: Estado de conservación del bosque nativo, sus valores económicos, funcionamiento de una cuenca hidrográfica, manejo forestal y vida acuática. Este aspecto prácticamente se hizo de igual forma en la Comunidad de El Chical por cuanto el desconocimiento de esta dinámica ecológica dificulta empoderar a la gente para su cuidado y adecuado manejo.

Como segundo ítem, se planteó el Programa de Monitoreo Biológico; el mismo que presenta dos proyectos el uno de monitoreo de macroinvertebrados y el otro de monitoreo de fitoplancton, proyectos que aunque son similares tienen sus diferencias técnicas pero a la vez se complementan, y su meta en común es la implementación del proceso de manera trimestral. Springer (2010), ratifica las ventajas que tienen los macroinvertebrados como indicadores de la calidad de agua sobre los otros grupos (algas o peces), según lo cual se deduce como prioritaria la información de macroinvertebrados pero también como complementarios los datos de fitoplancton obtenidos.

En un estudio realizado en San Luis Antioquia (Colombia), en las Quebradas La Cristalina y La Risaralda, de similares condiciones ambientales que la Quebrada San José de El Chical, se estableció la calidad del agua mediante indicadores físicos, químicos y biológicos. Dentro de los indicadores biológicos se analizó a los **macroinvertebrados** utilizando los índices BMWP, ASPT, ETP, Índice de dípteros y de equidad (Arango, Álvarez, Arango, Torres y Monsalve, 2008). Dicho estudio indicó la buena oxigenación del agua debido a la turbulencia y conformación rocosa, lo cual a su vez favorece la diversidad de macroinvertebrados acuáticos. En este sentido, el estudio realizado tiene plena validez de aplicación.

Además, según otro estudio realizado en varias fuentes de agua continental de México, se determina que el **fitoplancton** juega un papel muy importante como base de las redes tróficas y como indicadores de la calidad de agua; estas ayudan en la restauración de ecosistemas, la disminución de las emisiones de efecto invernadero y hasta como productoras de biocombustibles (Oliva, Godínez y Zúñiga, 2014).

En el tercer ítem, se cita el Programa de difusión de la información; el cual plantea dos proyectos, elaboración de una cartilla informativa y la gestión del banco de muestras de macroinvertebrados y fitoplancton para futuras investigaciones. Como meta en común los proyectos manifiestan la implementación de dichos procesos de manera anual.

La idea de difundir información científica de bioindicadores acuáticos no es nueva, ya que en otros estudios se lo ha realizado como es el caso de Alonso Ramírez, quien manifiesta “la colección debe contar con un registro adecuado del material que contiene, en forma de catálogo o una base de datos digital para consulta de otros investigadores (Ramírez, 2010).

Igualmente la propuesta de implementar un banco de muestras es bastante pertinente para este caso, como lo formula Ramírez al decir que “la importancia de las colecciones radica en su utilidad para futuros estudios taxonómicos y genéticos, y para obtener datos sobre la distribución, biología y ecología de los diversos grupos taxonómicos o especies” (Ramírez, 2010). Por ende, también es preciso resaltar la buena predisposición de la Junta Administradora de Agua Potable, organismo que pondrá a disposición una cabaña adecuada para ubicar el banco de muestras que se hace alusión.

Posteriormente, se pudo abstraer que mediante la utilización de la herramienta metodológica del marco lógico se ha logrado desarrollar de manera técnica y sintética los diversos objetivos, componentes, y actividades que abarcaría el plan de monitoreo biológico en la Quebrada San José.

Por consiguiente, y de acuerdo con la investigación bibliográfica realizada, la herramienta del marco lógico se constituye en la mejor estrategia para la formulación de un plan de monitoreo comunitario; se caracteriza por ser participativo, flexible, económico, integrador y lo más esencial es entendible para todo los moradores de la comunidad. En este sentido Evans y Guariguata (2008), refuerzan lo dicho argumentando que el monitoreo participativo aporta claros beneficios al manejo de recursos naturales ya que integra el conocimiento local al monitoreo científico, crea capital social, transfiere poder a las comunidades e instituciones locales y facilita la toma de decisiones.

Asimismo, el tipo de participación que persigue el plan de monitoreo formulado en esta investigación, es aquella participación interactiva y consciente de la población local para la defensa y conservación de sus recursos acuáticos; conforme lo manifiesta Briceño y Ávila (2014) al decir que en la participación interactiva (de nivel interactivo) los grupos locales organizados participan en forma sistemática y estructurada en la formulación, desarrollo y evaluación de los programas o proyectos.

CONCLUSIONES

El estudio de la calidad de agua realizada ha permitido evidenciar los principios recogidos en la investigación bibliográfica; según la cual en la Quebrada San José de la comunidad de El Chical existe la presencia de macroinvertebrados y fitoplancton que son indicadores biológicos importantes para determinar la calidad del agua del lugar. De igual manera, la presencia de especies de fitoplancton complementa el primer estudio. La calidad de agua de la quebrada San José en los sitios monitoreados es ligeramente contaminada, rica en oxígeno y con la presencia de muchas especies animales y vegetales, sin embargo el agua es de Buena Calidad.

El área estudiada presenta diversidad media tanto bentónica como fitoplanctónica; sin embargo, al comparar estos valores se establece que el sitio más diverso en lo concerniente a macroinvertebrados fue el C, menos diverso el A y B, en cuanto a fitoplancton fue el B seguido del A y menos diverso el C.

La abundancia de individuos bentónicos observados, en el sitio A, B y C el mayor número son de las familias Trichoptera, Coleóptera, Plecóptera y Ephemeroptera respecto a las demás familias de macroinvertebrados presentes en las muestras. Mientras que las especies fitoplanctónicas más abundantes fueron *Fragilaria*, *Pediastrum* indicadoras de aguas ricas en nutrientes y *Microcystis* indicadora de un cierto grado de contaminación orgánica. La presencia de estas familias son indicadoras de aguas corrientes, limpias y bien oxigenadas y que el sistema estudiado mantiene buenas condiciones ecológicas.

El plan de monitoreo permitió el trabajo conjuntamente con los actores involucrados población, autoridades, para determinar posibles causas de contaminación y controlar cambios actuales y futuros. Para la formulación y consecuente aplicación del plan de monitoreo fue necesario seleccionar una metodológica adecuada para el tipo de estudio, participantes, nivel cultural, componentes (programas), resultados esperados, medios de verificación y costos; a lo cual se utilizó el proceso de marco lógico para la implementación del monitoreo descrito. Este aspecto es corroborado con el grado de comprensión de la gente en los talleres desarrollados.

El Programa de Educación y Concientización Ambiental permitirá que los moradores se conviertan en actores directos de todo el proceso de monitoreo. Según la experiencia inicial en los talleres realizados, la población de El Chical tuvo gran interés en asistir a eventos de capacitación y se ha visto el agrado por aprender los temas de índole ambiental.

La importancia del Programa de Monitoreo Biológico radica en que los organismos biológicos existentes en una fuente de captación se constituyen en indicadores que denotan la buena o mala calidad del agua. Como ya se demostró el monitoreo por bioindicadores constituyó un método confiable y económico para evaluar la dinámica ambiental de los ecosistemas acuáticos.

El Programa de Difusión de la información contribuirá con las bases de datos y material promocional generando grandes ventajas de información para otros estudios similares o relacionados con el presente tema de investigación.

RECOMENDACIONES

Los resultados obtenidos reflejaron que la fuente de captación mantiene en buen estado natural y que el agua de ésta es de buena calidad, apta para el consumo humano aun cuando todavía dicha agua no pueda ser considerada como "potable"; por lo que se recomienda a la comunidad una participación más activa en lo referente al cuidado y conservación de las fuentes de agua, ya que permitirá mantener o mejorar esta condición.

La presencia de *Anacystis (Microcystis)* en el estudio evidenció un grado de contaminación orgánica, misma que puede repercutir en la salud de la población; por ser una especie de alga que produce una toxina que en grandes cantidades acumuladas en el organismo puede causar incluso la muerte, razón por la cual a todas las personas que consumen el agua de la Comunidad de El Chical, se les recomienda hervir el agua antes de su consumo.

A los investigadores del área ambiental o biológica, promover y desarrollar estudios de flora y fauna, para ampliar la información de la biodiversidad en aquellos ecosistemas similares a los de este estudio, y de esa forma poder establecer una relación existente entre macroinvertebrados acuáticos, fitoplancton, vegetación y fauna.

A la Junta Administradora de Agua Potable se recomienda que se apropien de la propuesta de Plan de Monitoreo que permitirá evaluar la calidad del agua periódicamente y mejorar el sistema de captación del agua con el fin de optimizar su aprovechamiento. Adicional, realizar análisis Físico - Químicos del agua por lo menos una vez al año y compararlos con los análisis biológicos y de esta manera reafirmar los resultados que se puedan dar en posteriores monitoreos.

Igualmente, a los organismos gubernamentales pertinentes como la Junta Parroquial y la Secretaría Nacional de Agua se les recomienda apoyar esta propuesta y promover su financiamiento para que tenga sostenibilidad económica y para que genere mayor empoderamiento por parte de los moradores de la comunidad de El Chical.

A los investigadores externos que tengan interés en indagar esta temática, se les sugiere realizar un trabajo conjunto con la Junta Administradora de Agua, la Unidad de Monitoreo planteada y por supuesto con los moradores de la comunidad de El Chical, para que cuenten con una buena orientación, especialmente en el aspecto logístico y de recorridos en la zona.

BIBLIOGRAFÍA

1. Arango, M.; Álvarez, L.; Arango, G.; Torres, O. y Monsalve, A. (2008). Calidad del agua de las quebradas la Cristalina y la Risaralda, San Luis, Antioquia. Escuela de Ingeniería de Antioquia, Medellín, Colombia. ISSN 1794-1237
2. Aurazo, M. (2005). Manual I, Teoría: Aspectos biológicos de la calidad del agua. Dirección de Investigación e Información Ambiental del Ministerio del Ambiente. CDAM-MINAM. Lima, Perú. En proceso de publicación
3. Briceño, R. y Ávila, O. (2014). De la participación comunitaria a la participación social: un enfoque de Ecosalud. Venezuela. ISSN 1315- 0006
4. Bustamante, C., Dávila, C., Torres, S. y Ortiz, J. (2008). Composición y abundancia de la comunidad de fitoperifiton en el Río Quindío. Facultad de Educación. Universidad del Quindío, Armenia, Colombia. ISSN 978-9943-6645
5. Cañadas, A. y Rade, D. (2013). Bases Económicas y desarrollo Sostenible como plataforma para la formulación de proyectos ambientales. Centro Universitario de Investigación Ciencia y Tecnología CUICYT, Universidad Técnica del Norte. Ibarra, Ecuador. ISBN: 97899422136282
6. Chará, J.; Solarte, A.; Giraldo, C.; Zualaga, A. y Murgueitio, E. (2009). Evaluación Ambiental. Proyecto: Ganadería Colombiana Sostenible. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Social. Bogotá, Colombia. En proceso de publicación
7. Chorus, I. Bartram, J. (1999). Toxic cyanobacteria in water: A guide to their public health consequences, monitoring and management. UNESCO, WHO and UNEP by E y FN Spon. ISBN: 0 419 23930 8
8. Evans, K y Guariguata, M. (2008). Monitoreo Participativo para el manejo forestal en el trópico: una revisión de herramientas, conceptos, y lecciones aprendidas. Centro de la Investigación Forestal Internacional (CIFOR). Bogor, Indonesia. ISBN: 978-97-9-1412-71-1
9. Fernández, H.R. y Domínguez, E. (2001), Guía para la determinación de los artrópodos bentónicos sudamericanos. Investigaciones de la UNT, Ciencias Exactas y Naturales; Universidad Nacional de Tucumán, Facultad de Ciencias Naturales e Instituto M. Lillo, Tucumán, Argentina. ISBN: 950554247X 9789505542475

10. Gómez, L. y Ramírez, Z. (2007). Microalgas como biomonitores de contaminación. Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado, Laboratorio de Ecotoxicología Marina, Universidad de Oriente. Cuba. ISSN: 0258-5995
11. Gutiérrez, L. (2003). Texto unificado Legislación Ambiental Secundaria, Medio Ambiente, Decreto Ejecutivo 3516, R.O. 2, Fecha 31-03-2003
12. Neumann, M.; Baumeisterb, J.; Liess; M., y Schulza, R. (2003). "An expert system to estimate the pesticide contamination of small streams using benthic macroinvertebrates as bioindicators part 2: The knowledge base of limpact". *Ecological Indicators*. DOI:10.1016/S1470-160X(03) 00011-6
13. Novelo, E. (2012). Flora del Valle de Tehucán Cuicatlán. Fascículo 102. Bacillariophyta Hustedt. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Primera edición. ISBN: 968-36-3108-8.
14. Oliva, M.; Godínez, J. y Zuñiga, C. (2014). Biodiversidad del fitoplancton de aguas continentales en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, Supl. 85: S54-S61, 2014, DOI: 10.7550/rmb.32706
15. Ortegón, E., Pacheco, J. y Prieto, A. (2005). Metodología del marco lógico para la planificación, el seguimiento y la evaluación de proyectos y programas. Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social (ILPES), Área de proyectos y programación de inversiones. Santiago de Chile. ISSN impreso 1680-886X, ISSN electrónico 1680-8878. ISBN: 92-1-322719-1
16. Ramírez, A. (2010). Capítulo 2: Métodos de recolección. *Rev. biol. Trop.*, vol.58, suppl.4, pp. 41-50. ISSN: 0034-7744.
17. Ramírez, J. (2000). Fitoplancton de agua dulce. Bases ecológicas, taxonómicas y sanitarias. Editorial Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. ISBN: 958-655-384-1
18. Roldán, G. (2003). Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: Uso del método BMWP /Col. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. ISBN: 958-655-671-9.
19. Román, B.; Nahuelhual, L. y Morey, F. (2009). Programa de Educación Ambiental para comités de Agua Potable Rural en el sur de Chile. Universidad Austral de Chile. Instituto de Economía Agraria. Baldía Región de los Ríos, Chile. ISBN: 1316-4910.
20. Springer, M. (2010) Capítulo 7: Trichoptera. *Rev. biol. trop*, vol.58, suppl.4, p.151-198. ISSN: 0034-7744
21. Springer, M. (2010). Capítulo 3: Biomonitorio acuático. *Revista de Biología Tropical*, 58, 53-59. ISSN: -0034-7744
22. Tomanova, S. y Tedesco, P. (2006). Tamaño corporal, tolerancia ecológica y potencial de bioindicación de la calidad del agua de *Anacroneuria* spp. (Plecoptera: Perlidae) en América del Sur. ISSN:-0034-7744
23. Vadillo, S.; Píriz, S. y Mateos, E. (2002). Manual de Microbiología veterinaria. McGraw Hill Interamericana. ISBN: 8448604709, 9788448604707