

**PROGRAMA DE EDUCACIÓN PARA EL DESARROLLO Y LA
CONSERVACIÓN
ESCUELA DE POSGRADO**

Análisis de la calidad del recurso hídrico superficial en la subcuenca del río
Turrialba, Cartago, Costa Rica

Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado, Programa de Educación
para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de
Investigación y Enseñanza como requisito para optar por el grado de:

Magister Scientiae en Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas

Por

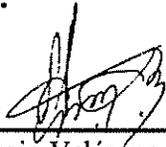
Ing. Wilber Antonio Cuadra Jirón

Turrialba, Costa Rica,
2006

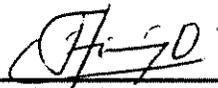
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por el Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación y la Escuela de Posgrado del CATIE, y aprobada por el Comité Consejero del estudiante como requisito para optar por el grado de:

***Magister Scientiae* en Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas**

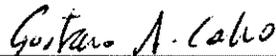
FIRMANTES:



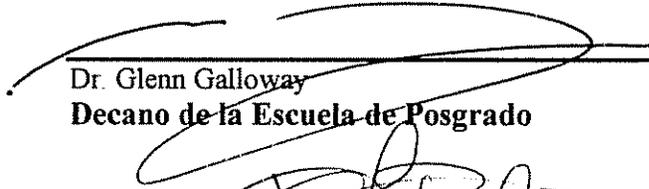
M.Sc. Sergio Velásquez
Consejero Principal



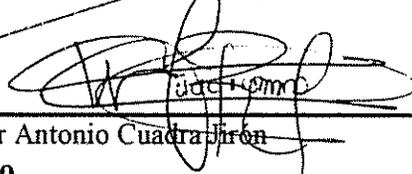
Dr. Francisco Jiménez
Miembro del Comité Consejero



M.Sc. Gustavo Calvo
Miembro del Comité Consejero



Dr. Glenn Galloway
Decano de la Escuela de Posgrado



Ing. Wilber Antonio Cuadra Jirón
Candidato

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico exclusivamente al Ser Supremo, Fiel, Todopoderoso, Omnipotente, Sabio, Misericordioso; DIOS, por la fortaleza que me dio y me presta cada minuto de vida. Finalizar este documento es un vivo milagro, así como cada etapa durante su realización. Así, mismo a Jesucristo quien durante mis momentos de oración le pedía que intercediera por mí ante su Nuestro Padre Celestial, ese Ser Especial quien demostró su amor, entregando su vida en esa cruz, para que yo tuviese perdón y poder realizar este trabajo. Infinitas gracias por siempre daré, por regalarme del fruto de tu Espíritu santo con tu paciencia, tolerancia, esfuerzo, perseverancia y amor por sobre todas las cosas, en especial con personas que estuvieron a mi alrededor, ya que durante el tiempo de realización del presente, se dieron momentos difíciles donde por mi mente paso dejarlo todo, pero siempre estuviste presente para seguir adelante, por que tu amor y misericordia por mi es tan grande, que cada dificultad fue para permitir que mi carácter fuese cada momento mas parecido al tuyo (Jesucristo), nunca me abandonasteis, Gracias.

Como dice la Sagrada Escritura a ti te mando que te esfuerces y que seas valiente, no les he dejado espíritu de cobardía, ustedes son cabeza. Cada momento esas palabras estaban en mi corazón y se que era el precioso Espíritu Santo quien susurraba a mi oído, con palabra audible, que hiciese todo este trabajo en cada pagina, con tu sabiduría, tu guía, para darte la honra, honor y gloria, y que entre mas reconocía tu misericordia y sabiduría, mas te acercabas y me guiabas de día y de noche. Solo tu JEHOVA mereces la gloria y la honra.

A DIOS, JESUCRISTO Y EL ESPIRITU SANTO DE DIOS,
SEA TODA HONRA, GLORIA, HONOR Y MAJESTAD,
POR LOS SIGLOS DE LOS SIGLOS, AMEN.

AGRADECIMIENTOS

Al apoyo incondicional de cada uno de los miembros de mi familia espiritual, hermanos en la Fe en Jesucristo, de la iglesia Jesucristo El Todopoderoso de León; Nicaragua. De igual manera a mis hermanos de la iglesia Manantial de Vida de Turrialba; Costa Rica; gracias por todo, por que sé que en sus oraciones y peticiones estaba presente. Muchas Bendiciones a TODOS Hermanos en la Fe de Cristo Jesús.

A cada uno de los miembros de mi familia de sangre Nicaragüense y a mi Gente Nicaragüense quienes aportaron para mi formación profesional. A dos seres queridos, quienes ame profundamente, tristemente ya no están conmigo porque partieron a la presencia Celestial Divina. Me refiero a mi Abuelita Hilda y mi Abuelito Antonio Jirón, ancianos, que aún son especial tesoro, sus enseñanzas y sus consejos siguen vivos en mi corazón, siempre en mi mente habrá pensamientos suyos, de amor y ayuda al prójimo, Gracias amados Abuelitos. Igualmente a mis amados y preciosos PADRES, Miriam y Harvin, son un regalo precioso de parte de Dios, un tesoro preciado, al igual que los triunfos anteriores, este les pertenece, merecen aún más, los amo muchísimo y agradezco su confianza y apoyo incondicional. Gracias de Corazón. Igualmente a mi hermano Miguel, eres especial a mi vida y una bendición, te amo mucho. A mis tías; Berta y Marlene, así mismo a cada uno de mis primos, en especial a Williams, Yessenia, Marisol, Raúl, Kristell, mi sobrinita Jullianna. Quienes son de mucha bendición y muestra de amor sin limites; les agradezco de corazón. A cada uno de mis amigos y vecinos Nicaragüenses y Leoneses, Muchas Gracias; Dios les multiplique grandemente en Bendiciones.

A mi familia costarricense, que la bendición de Dios me siguió hasta acá. A Mi esposa, amiga y hermana Keren, a mis suegros Loida y Gilbert Gamboa, de corazón muy agradecido por el apoyo incondicional y enorme. A Doña Blanquita y Don Arturo Castillo. Igualmente a la familia Gamboa Cedeño; Tío Hugo y Margarita quienes me adoptaron, nunca olvidaré lo que hicieron por mí en momentos donde mas necesitaba de amor, Dios los guarde. De igual manera a mi abuelita Haydee Guillen y cada uno de los miembros de la familia Gamboa Guillen, especialmente tío Hector, Marvin, Williams, José, Patricia; los primos Andrés, Alex, Alejandro y Yohan, gracias a cada uno, por aceptarme como uno más de ustedes y compartir momentos inolvidables; Jesús favor Bendícelos grandemente.

A cada uno de quienes fueron mi familia en CATIE, mis compañeros de graduación 2003-2004, especialmente a Juan, Nestor, Adriana, Ana lucía, Sonia. Igualmente aquellos amigos estudiantes 2004-2005 Guillermo, Eduardo y Andrés; a los compañeros de seguridad, misceláneos y transportistas de CATIE y funcionarios que fueron y son grandes amigos. A mi guía de campo Gabriel Cordero.

A Mi Consejero M.Sc. Sergio Velásquez, por su apoyo, ayuda y paciencia. Al Maestro de Bioestadística Gustavo López por su apoyo, enseñanza y paciencia. Igualmente al Dr. Francisco Jiménez Director de la Cátedra de Cuencas por su guía y al Director de la Escuela de Posgraduados Glen Galloway.

A la Organización de Estados Americanos (OEA) de Nicaragua, especialmente a la Sra Dalila Barrios por el apoyo y confianza brindada en el aporte de esta beca de Maestría.

Al apoyo incondicional del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), específicamente a la Unidad de Manejo de la Cuenca del Reventazón (UMCRE) muy especial a los M.Sc. Gustavo Calvo y Alfonso Pérez, igualmente al equipo colaborador Andrés y Marisol. Al Ministerio de Salud de Turrialba, especialmente al Sr. Evelio Varela, Sra. Norma Calvo y Elena, muy agradecido. Al Ministerio de Agricultura, personalmente a la Ing. Annie Lopez, gracias por su ayuda y amistad.

A cada una de las personas de la Escuela de Posgraduados, agradezco la amabilidad, gentileza, amistad y cordialidad demostrada; así mismo a todo el personal amable de la Biblioteca Ortón-IICA. Al Personal del Centro de Cómputo y el Sistema de Información Geográfico, Alex y Cristhian. En fin a todas las personas de CATIE, que de alguna forma tuvieron un contacto con mi persona y demostraron su amabilidad y generosidad.

Muchas Gracias Costa Rica, en especial a mi segunda ciudad Turrialba. Muy agradecido a cada una de las familias Costarricenses y Turrialbeñas, por adoptarme con su amabilidad y calidad humana. Muy especial y con todo mi ser, sin olvidar mi Tierra Natal, Mi Patria Nicaragua, de la que me siento muy orgulloso de ser Muy Nica, te llevaré por siempre en mi corazón, y prometo luchar fuertemente para que la bendición de JEHOVA llegue a cada rincón y corazón Nicaragüense, para que sea una tierra de bendición y amor al mundo. Con toda la sinceridad y humildad, este triunfo no hubiese sido posible sin el apoyo muy valioso de cada uno de ustedes, reconozco humildemente que sin ustedes no lo hubiese logrado, no se imaginan lo difícil que se hace finalizar un trabajo de estos, lejos de su familia, su tierra; este triunfo les pertenece a cada uno de ustedes. Dios les Bendiga y les Multiplique cada cosa que hicieron por este servidor, Amén.

BIOGRAFIA

El autor Wilber Antonio Cuadra Jirón, nació en Nicaragua, Departamento de León, mejor conocida como la Ciudad Universitaria y Ciudad Colonial. Ubicada en la Región del pacífico Norte de Nicaragua. Hijo de la Sra. Miriam y Harvin, siendo ejemplos a seguir para toda mi vida. Igualmente él merito a cada uno de los miembros de mi familia, en especial a mi abuelita Sra. Hilda Vargas (q.e.p.d) que marco mi vida con cada una de sus palabras, con esmero, esfuerzo y dedicación, a ellos les debo lo que soy, lógicamente con la ayuda de Dios.

Todos sus estudios de primaria en la escuela Armando Monterrey Montenegro y secundaria en el Instituto Nacional de Occidente Benito Mauricio Lacayo Muñoz, de León. Más tarde decide iniciar sus estudios de Ingeniería Agronómica con la especialidad de recursos naturales suelos y aguas, en la Facultad de Recursos Naturales y el Medio Ambiente, de la Universidad Nacional Agraria, de Managua, Nicaragua.

Más tarde, gracias a Dios se me da la oportunidad de poner en práctica mis conocimientos universitarios en cada institución estatal y privada, de manera voluntaria, desempeñándome en diferentes cargos iniciándome en cargos desde técnico de campo hasta asistente técnico de proyectos ambientales. Es importante y de gran valor que cada oportunidad, es vital para el adecuado desempeño de futuras oportunidades laborales.

En enero 2003, llegue al Centro Agronómico Tropical para la Investigación y la Enseñanza (CATIE), ingrese a la maestría en manejo integral de cuencas hidrográficas, por el interés personal de mejorar la preparación profesional y la inminente necesidad de mi país en la búsqueda de estrategias para el manejo y la conservación de las cuencas hídricas al nivel nacional. Nicaragua, es privilegiado en comparación con otros países de la región Centroamericana por constar con abundancia de recursos hídricos, demandando de profesionales con deseos de poner de manifiesto los conocimientos adquiridos para el adecuado manejo de los recursos naturales y del ambiente con visión integral e integrada de cuencas hidrográficas, especialmente en lo que respecta a la calidad y cantidad del agua.

La inmortalidad y la humildad de los hombres se conoce en dar e instruir a otros, en cada momento que adquieren nuestros conocimientos, no llevándolos consigo siempre como buenos egoístas, sino recordando que cuando vives para servir a quienes te necesitan, sirves para vivir entre la humanidad.

CUADRA JIRON, W.A. 2004. Análisis de la calidad del recurso hídrico superficial en la subcuenca del río Turrialba, Cartago, Costa Rica.

Palabras claves: calidad del agua, aguas superficiales, contaminación, indicadores físicos, químicos y bacteriológicos de calidad de agua, cuenca hidrográfica, subcuenca, microcuenca, normas CAPRE, estaciones de muestreo de agua superficial, usos de la tierra, impacto antropogénico.

RESUMEN

Se analizó la calidad de agua superficial de los principales ríos de la subcuenca del río Turrialba. Esta se ubica en la provincia de Cartago y forma parte de la cuenca del Reventazon. La subcuenca abarca los distritos de Jiménez, Alvarado y Turrialba. Debido a la importancia del recurso hídrico para la zona, por diferentes aspectos sociales, económicos, políticos y ambientales, resultó la inminente necesidad de realizar el presente estudio con carácter académico y científico, con miras a ser un insumo de aporte y contribución a tomas de decisiones de gestión al recurso. Con el propósito de conocer y evaluar el estado actual de la calidad del recurso hídrico superficial se definieron 10 estaciones o sitios de muestreos utilizando nueve parámetros siendo físicos, químicos y bacteriológicos. Los parámetros utilizados son demanda bioquímica de oxígeno, oxígeno disuelto, temperatura, pH, sólidos totales disueltos, nitratos, fosfatos, turbidez y coliformes fecales. Los muestreos de agua se realizaron en tres épocas o meses diferentes, siendo el primero en el mes de mayo, seguido de agosto y el último en noviembre. Para cada estación y parámetro se realizó un ANDEVA donde el modelo definido consideró el efecto de las tres época o meses de muestreo, donde el resultado de cada parámetro se comparó con la norma de calidad de agua para consumo humano definida por CAPRE. Además, se complementó el estudio evaluando el estado de la calidad del agua superficial de las estaciones de muestreos aplicando la metodología del índice de la calidad del agua (ICA) de la Fundación Nacional de Sanidad de los Estados Unidos de América, considerando la influencia de los diferentes usos de la tierra en la calidad del recurso, clasificando el agua con base a los resultados en cada estación de muestreo del ICA. Se aplicó un sondeo poblacional al nivel exploratorio general para obtener los diferentes niveles de conocimiento y percepción con referencia a la situación ambiental y del agua de la subcuenca del río Turrialba; considerando al mismo tiempo importante al personal institucional con interés en el tema de estudio. En lo que respecta a la degradación del agua superficial por material orgánico biodegradable se refleja en la presencia de los coliformes fecales con presencia en todas las muestras de aguas superficial, así como el indicador de la alta demanda bioquímica de oxígeno y los altos niveles de turbidez. El estado actual de la calidad del agua superficial de acuerdo al índice de calidad del agua se clasifica en general como agua de calidad pobre. Lo anterior nos indica la necesidad de operación un sistema de tratamiento de las aguas residuales considerando las realidades sociales, económicas, políticas y ambientales; en especial tomar en cuenta el tipo de contaminación que se presenta con mayor intensidad y frecuencia, que es la orgánica.

CUADRA JIRON; WA. 2004. Analysis of the quality of the water superficial resource in the subbasin of the river Turrialba, Cartago, Costa Rica.

Key words: quality of the water, superficial waters, pollution, physical, chemical and bacteriological indicators of water quality, hydrographic basin, sub-basin, micro-basin, procedure CAPRE, stations of sampling of superficial water, uses of the land, impact anthropogenic.

SUMMARY

The quality of superficial water was analyzed for the principal rivers of the Turrialba river sub-basin. This basin is located in the province of Cartago and is part of the Reventazón river basin. Due to the importance of the water resource for the zone, for different social, economic, political and environmental aspects, it turned out to be the imminent need to realize the present study with academic and scientific character, with the focus of being an input to contribute to the decisions of management of the water resource. With the intention of knowing and evaluating the current condition (state) of the quality of the superficial water resource, ten stations or sampling sites (places) were defined using nine parameters: physical, chemical and bacteriological. The used parameters are the biochemical demand of oxygen (DBO), oxygen dissolve (OD), temperature, pH, dissolved total solids, nitrates, phosphates, turbidity and fecal coli forms. The water samplings were realized in three different months: May, August and November, for each station and parameter. In addition, the study complemented itself evaluating the condition of the quality of the superficial water of the sampled sites applying the methodology of the Water Quality Index (WQI) of the National Health Foundation of the United States of America, considering the influence of the different uses of the land in the quality of the resource, classifying the water resource according to the WQI. A population poll was applied to the explore and obtain the different levels of knowledge and perception with reference to the environmental situation and of the water of the Turrialba river sub-basin. Personnel of different GO's were also considered in the poll. The degradation of the superficial water due to organic biodegradable material is reflected by the presence of fecal coliforms in all the water samples, the high biochemical demand of oxygen and the high levels of turbidity. The current condition of the superficial water quality is qualified as "poor" following the WQI ranges. These situation indicates the need of waste water sanitary treatment (mainly organic matter), having into account the social, economic, political and environmental realities.

CONTENIDO

INDICE	PAG
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
BIOGRAFIA	v
RESUMEN	vi
SUMMARY	vii
CONTENIDO	viii
LISTA DE CUADROS	x
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE ANEXOS	xii
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Definición del problema	2
1.3. Justificación e importancia	3
1.4. OBJETIVOS	4
1.4.1. Objetivo general	
1.4.2. Objetivos específicos	
II. REVISION DE LITERATURA	5
2.1. Recurso agua en la región de América Central y Costa Rica	5
2.2. Gestión integrada de los recursos hídricos	5
2.3. El problema de la escasez de agua de buena calidad	6
2.4. Contaminación del agua	6
2.5. Calidad del agua y áreas críticas a nivel de cuencas hidrográficas	7
2.6. Importancia de la calidad del agua	7
2.7. Criterios para la calidad de agua	8
2.8. Definición de los indicadores de la calidad del agua y su importancia para caracterizar el agua superficial	9
2.9. Criterios básicos para el monitoreo de la calidad del agua en cuerpos superficiales	13
2.10. Uso de la tierra y su relación con la calidad de los recursos hídricos	13
2.11. Sistema de información geográfico en la calidad del agua	17
2.12. Marco legal ambiental y del recurso hídrico	17
III. MATERIALES Y MÉTODOS	21
3.1. Localización del área de estudio	21
3.1.1. Ubicación general	21
3.1.2. Características hidrológicas generales de la subcuenca	22
3.2. Marco Metodológico para la recolección de Información	22
3.2.1. Metodología para la recolección de información secundaria	22
3.2.2. Metodología para la recolección de información primaria	23
O.E. 1: Analizar la calidad del agua superficial por medio de parámetros físicos, químicos y bacteriológicos	24
O.E. 2. Caracterizar las aguas superficiales utilizando el índice de calidad de agua (ICA)	33
O.E. 3: Analizar por medio de un sondeo exploratorio general a un grupo poblacional Los niveles de conocimiento y percepción sobre la situación ambiental del agua	35
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES	36
0E.1. Analizar la calidad del agua superficial por medio de parámetros físicos, químicos y bacteriológicos.	36
4.1. Análisis de los valores promedios estadísticos de los parámetros de la calidad del agua superficial por estación de muestreo ubicadas en la subcuenca del río Turrialba, comparando con la norma CAPRE.	36

OE.2. Caracterizar las aguas superficiales utilizando el índice de calidad del agua (ICA)	54
4.2. Caracterizar las aguas superficiales utilizando la metodología del índice de calidad del agua (ICA) de la Fundación Nacional de Sanidad de los Estados Unidos de América.	54
4.2.1. Principales usos de la tierra en la subcuenca del río Turrialba y su relación con los índices de calidad del agua	57
4.2.2. Análisis del uso actual de la tierra y su influencia en el valor índice de calidad del agua (ICA) por cada estación de muestreos ubicados en la subcuenca del río Turrialba.	60
0E.3. Analizar por medio de un sondeo exploratorio general a un grupo poblacional, los niveles de conocimiento y percepción sobre la situación ambiental del agua.	71
4.3. Analizar por medio de un sondeo exploratorio general a un grupo poblacional, los niveles de conocimiento y percepción sobre la situación ambiental del agua.	71
0E.4. Proponer medidas potenciales alternativas que mitiguen el deterioro del agua superficial por efectos de la contaminación antropogénica.	76
4.4. Proponer medidas potenciales alternativas que mitiguen el deterioro del agua superficial por efectos de la contaminación antropogénica.	76
V. CONCLUSIONES	79
VI. RECOMENDACIONES	81
VII. LITERATURA CONSULTADA	83
VIII. ANEXOS	87

INDICE DE CUADROS

LISTA DE CUADROS	PAG
Cuadro 1. Parámetros bacteriológicos de las normas de calidad de agua.	10
Cuadro 2. Normas o criterios microbiológicos y valores admisibles para clasificar la calidad del agua potable, riego, recreación, acuicultura de Costa Rica.	10
Cuadro 3. Normas de Calidad de Agua para Consumo Humano. Parámetros físicos y químicos de CAPRE.	11
Cuadro 4. Ubicación geográfica de las estaciones de muestreo de agua en la subcuenca del río Turrialba.	27
Cuadro 5. Número y frecuencias de muestras de agua en la subcuenca del río Turrialba.	30
Cuadro 6. Métodos utilizados para el análisis de los parámetros de calidad del agua.	31
Cuadro 7. Pesos asignados a los indicadores de la calidad del agua según la Fundación Nacional de Seguridad de los Estados Unidos de América (ICAFNS-USA).	34
Cuadro 8. Clasificación y rangos del índice de la calidad del agua de la Fundación Nacional de Sanidad.	34
Cuadro 9. Análisis de los promedios de la calidad del agua de la estación de muestreo (E-4) río Turrialba.	36
Cuadro 10. Análisis de los promedios de la calidad del agua de la estación de muestreo (E-1) río Colorado.	37
Cuadro 11. Análisis de los promedios de la calidad del agua de la estación de muestreo (E-3) río Turrialba.	39
Cuadro 12. Análisis de los promedios de la calidad del agua de la estación de muestreo (E-9) río Quebrada Grande.	40
Cuadro 13. Análisis de los promedios de la calidad del agua de la estación de muestreo (E-8) río Aquiares.	41
Cuadro 14. Análisis de los promedios de la calidad del agua de la estación de muestreo (E-2) río Colorado.	42
Cuadro 15. Análisis de los promedios de la calidad del agua de la estación de muestreo (E-5) río Turrialba.	44
Cuadro 16. Análisis de los promedios de la calidad del agua de la estación de muestreo (E-6) río Jesús María.	45
Cuadro 17. Análisis de los promedios de la calidad del agua de la estación de muestreo (E-7) río Aquiares alta.	46
Cuadro 18. Análisis de los promedios de la calidad del agua de la estación de muestreo (E-10) río Coliblanco.	47
Cuadro 19. Análisis de variación estacional por épocas de muestreo de los parámetros de la calidad del agua en la subcuenca del río Turrialba.	48
Cuadro 20. Promedios y pruebas de Duncán general de los parámetros de la calidad del agua superficial de la subcuenca del río Turrialba, para épocas de muestreo.	50
Cuadro 21. Valores índices de calidad de agua promedios por estación de muestreo y ubicación en la sección de la subcuenca del río Turrialba	54
Cuadro 22. Usos actuales de tierra identificados en la subcuenca del río Turrialba.	58
Cuadro 23. Usos de suelos (has) identificados para la estación 4 (E-4)	60
Cuadro 24. Usos de suelos (has) identificados para la estación 1 (E-1)	61
Cuadro 25. Usos de suelos (has) identificados para la estación 9 (E-9)	63
Cuadro 26. Usos de suelos (has) identificados para la estación 8 (E-8)	64
Cuadro 27. Usos de suelos (has) identificados para la estación 2 (E-2)	65
Cuadro 28. Usos de suelos (has) identificados para la estación 5 (E-5)	66
Cuadro 29. Usos de suelos (has) identificados para la estación 6 (E-6)	68
Cuadro 30. Usos de suelos (has) identificados para la estación 7 (E-7)	69
Cuadro 31. Usos de suelos (has) identificados para la estación 10 (E-10)	70
Cuadro 32. Probabilidad de Chi Cuadrado aplicado al sondeo poblacional de los individuos por pregunta para medir niveles de conocimiento y percepción.	72
Cuadro 33. Frecuencia y clasificación de los niveles de conocimiento y percepción de la población de la subcuenca del río Turrialba que se le aplicó el sondeo exploratorio.	75

INDICE DE FIGURAS

LISTA DE FIGURAS	PAG
Figura 1. Mapa de la subcuenca del río Turrialba.	21
Figura 2. Esquema metodológico general para el cumplimiento de los objetivos específicos y general.	23
Figura 3. Mapa de los sitios de muestreo de aguas superficiales.	30
Figura 4. Medias y grupos estadísticos del parámetro oxígeno disuelto (mg/l) por épocas.	50
Figura 5. Medias estadísticas del parámetro fosfatos (mg/l) por épocas.	52
Figura 6. Valores mensuales y promedios del Índice de Calidad del Agua de las estaciones de muestreo.	56
Figura 7. Valores índices de calidad del agua superficial.	57
Figura 8. Mapa de los principales usos de la tierra en la subcuenca del río Turrialba.	59
Figura 9. Dinámica de la frecuencia de los tres niveles de conocimiento y percepción de la población de la subcuenca del río Turrialba que se le aplicó el sondeo exploratorio.	76

INDICE DE ANEXOS

LISTA DE ANEXOS	PAG
ANEXO 1.	
Anexo 1.1. Salida de SAS de ANAVA para la Variable: DBO	88
Anexo 1.2. Salida de SAS de ANAVA para la variable Oxígeno Disuelto	88
Anexo 1.3. Salida de SAS de ANAVA para la variable Sólidos Totales Disueltos	89
Anexo 1.4. Salida de SAS de ANAVA para la variable potencial de hidrógeno (ph)	90
Anexo 1.5. Salida de SAS de ANAVA para la variable temperatura (°C)	90
Anexo 1.6. Salida de SAS de ANAVA para la variable Nitratos	91
Anexo 1.7. Salida de SAS de ANAVA para la variable Fosfatos	92
Anexo 1.8. Salida de SAS de ANAVA para la variable Turbidez	93
Anexo 1.9. Salida de SAS de ANAVA para la variable Coliformes fecales	94
Anexo 1.10. Salida de SAS de las medias y desviaciones estándar de las variables físicas, químicas y bacteriológicas de la calidad del agua superficial de la subcuenca del río Turrialba, por sitios y épocas de muestreos.	9
ANEXO 2.	
2.1. Concentraciones encontradas de los parámetros o variables de la calidad del agua superficial de la subcuenca del río Turrialba 2004.	97
2.2. Resumen de los promedios estadísticos de los parámetros de la calidad del agua superficial en la subcuenca del río Turrialba 2004.	98
ANEXO 3.	
Anexo 3.1. Resultados del índice de calidad del agua, (E-1) Parte baja río Colorado en el mes de Mayo.	99
Anexo 3.2. Resultados del índice de calidad del agua, (E-2) Parte media del río Colorado en el mes de Mayo.	99
Anexo 3.3. Resultados del índice de calidad del agua, (E-3) Alcantarillado Sanitario parte baja del río Turrialba en el mes de Mayo.	99
Anexo 3.4. Resultados del índice de calidad del agua, (E-4) Parte baja del río Turrialba en el mes de Mayo	100
Anexo 3.5. Resultados del índice de calidad del agua, (E-5) Parte media del río Turrialba (Finca La Roncha) en el mes de Mayo	100
Anexo 3.6. Resultados del índice de calidad del agua, (E-6) Río Jesús María Parte media del río Turrialba en el mes de Mayo	100
Anexo 3.7. Resultados del índice de calidad del agua, (E-7) Parte alta del río AQUIARES en el mes de Mayo	101
Anexo 3.8. Resultados del índice de calidad del agua, (E-8) Parte baja del río AQUIARES (Puente la Isabel) en el mes de Mayo	101
Anexo 3.9. Resultados del índice de calidad del agua, (E-9) Parte Río Quebrada Grande, parte baja del río Turrialba, en el mes de Mayo	101
Anexo 3.10. Resultados del índice de calidad del agua, (E-10) Parte alta del río Turrialba, Río Coliblanco, en el mes de Mayo	102
Anexo 3.11. Resultados del índice de calidad del agua, (E-1) Parte baja río Colorado en el mes de Agosto	102
Anexo 3.12. Resultados del índice de calidad del agua, (E-2)Parte media del río Colorado en el mes de Agosto	102
Anexo 3.13. Resultados del índice de calidad del agua, (E-3) Alcantarillado Sanitario, parte baja del río Turrialba en el mes de Agosto	103

Anexo 3.14. Resultados del índice de calidad del agua, (E-4) Parte baja del río Turrialba en el mes de Agosto	103
Anexo 3.15. Resultados del índice de calidad del agua, (E-5) Parte media del río Turrialba (Finca La Roncha) en el mes de Agosto	103
Anexo 3.16. Resultados del índice de calidad del agua, (E-6) Río Jesús María Parte media del río Turrialba en el mes de Agosto	104
Anexo 3.17. Resultados del índice de calidad del agua, (E-7) Parte alta del río AQUIARES	104
Anexo 3.18. Resultados del índice de calidad del agua, (E-8) Parte baja del río AQUIARES (Puente la Isabel) en el mes de Agosto	104
Anexo 3.19. Resultados del índice de calidad del agua, (E-9) Parte baja del río Turrialba, Río Quebrada Grande, en el mes de Agosto	105
Anexo 3.20. Resultados del índice de calidad del agua, (E-10) Parte alta del río Turrialba, Río Colíblanco, el mes de Agosto	105
Anexo 3.21. Resultados del índice de calidad del agua, (E-1) Parte baja río Colorado, en el mes de Noviembre	105
Anexo 3.22. Resultados del índice de calidad del agua, (E-2) Parte baja río Colorado, en el mes de Noviembre	106
Anexo 3.23. Resultados del índice de calidad del agua, (E-3) Parte baja río Turrialba, Alcantarillado Sanitario	106
Anexo 3.24. Resultados del índice de calidad del agua, (E-4) Parte baja río Colorado, en el mes de Noviembre	106
Anexo 3.25. Resultados del índice de calidad del agua, (E-5) Parte media del río Turrialba, Finca La Roncha, en el mes de Noviembre	107
Anexo 3.26. Resultados del índice de calidad del agua, (E-6) Río Jesús María, Parte media del río Turrialba, en el mes de Noviembre	107
Anexo 3.27. Resultados del índice de calidad del agua, (E-7) Parte alta del río AQUIARES, en el mes de Noviembre	107
Anexo 3.28. Resultados del índice de calidad del agua, (E-8) Parte baja del río AQUIARES, Puente la Isabel, en el mes de Noviembre	108
Anexo 3.29. Resultados del índice de calidad del agua, (E-9) Parte baja río Turrialba, Río Quebrada Grande, en el mes de Noviembre	108
Anexo 3.30. Resultados del índice de calidad del agua, (E-10) Parte alta del río Turrialba, Río Colíblanco, en el mes de Noviembre	108

ANEXO 4

Anexo 4.1. Datos Climatológicos Mensuales Medios de la Subcuenca del Río Turrialba.	109
---	-----

ANEXOS 5

Anexo 5.1. Formulario de sondeo para conocer la percepción de la situación ambiental de la subcuenca del río Turrialba, además del uso y manejo del agua por la población del cantón de Turrialba.	110
Anexo 5.2. Formulario de consulta a los actores locales institucionales del cantón de Turrialba, para conocer la percepción sobre la situación ambiental de la subcuenca del río Turrialba, además del uso y manejo del agua por la población.	110

I. INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

El agua es esencial para todas las formas de vida e indispensable para garantizar el bienestar de los seres humanos y para el desarrollo de un país. Es de mucha importancia para las actividades humanas, por sus múltiples usos como: el riego, recreación, navegación, uso industrial, hidroelectricidad y principalmente el consumo doméstico. Por ello es prioridad uno monitorear constantemente la calidad del agua (OMS, 1999).

En Costa Rica, muchos recursos hídricos superficiales de las cuencas hidrográficas están siendo degradados y contaminados debido al vertido de aguas servidas domésticas sin tratar, y a la carencia de sistemas adecuados de tratamiento y saneamiento, situación que se acentúa en las zonas rurales. Estos hábitos representan un riesgo a la salud pública (Torres, 2003).

Las aguas superficiales de la subcuenca del río Turrialba al pasar de los años, acompañado con el crecimiento de la población, presentan mayor vulnerabilidad a la degradación de sus características naturales, especialmente en lo que respecta a la calidad física, química y microbiológica. No se ha llevado un estudio que tome en cuenta realizar un análisis del estado de la calidad del agua superficial al nivel de los principales ríos de la subcuenca, considerando los cursos de agua de la parte alta, media y baja.

Estos cuerpos de agua, de alguna manera y en menor o mayor intensidad y frecuencia, están siendo gravemente afectados por fuentes puntuales y no puntuales de contaminación, afectando primeramente la calidad; la cantidad se ve disminuida al considerarse otros usos, representando un riesgo ambiental y de salud pública. Cada uno de los agentes contaminantes es resultado de la carencia o condiciones mínimas de sistemas adecuados de tratamientos de aguas residuales de origen agrícola, ganadero, comercial, agroindustrial, domiciliar. Así mismo la presión en el manejo inadecuado de los desechos sólidos, generados por los diferentes sectores antes mencionados y el uso de la tierra con pocas medidas de conservación de suelos y agua, principalmente en sitios que potencialmente no son aptos para las diferentes actividades socioeconómicas, agravan la degradación de la calidad de los recursos hídricos.

1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Al nivel general, los problemas de contaminación en los recursos hídricos de la subcuenca del río Turrialba son causados por fuentes no puntuales y puntuales. En el caso del área rural se debe principalmente a las actividades agrícolas, ganaderas, agroindustriales, tales como escorrentía de tierras agrícolas y ganaderas, uso de agroquímicos, aguas residuales de los beneficios de café y caña de azúcar; descargando sus aguas a los ríos más cercanos.

En lo que respecta a las descargas de aguas residuales grises y negras, la deposición de los desechos sólidos domésticos, comerciales, industriales, etc. forman parte del impacto negativo por parte de los centros poblados, principalmente de Turrialba, Santa Rosa y Santa Cruz. Existe un convenio en proceso de aplicación y ejecución que obliga a los contaminadores tratar sus desechos sólidos y líquidos, para mitigar el deterioro del agua (ICE, 2000).

El cantón de Turrialba es el único que tiene un sistema de alcantarillado sanitario en operación, formado por una red que cubre el cuadrante central, el barrio de San Rafael y Carmen Lyra, ubicado en el sector noreste de la ciudad, donde se ubica una planta de tratamiento, pero que está abandonada. Solo por mencionar un caso de contaminación masiva, el alcantarillado sanitario de esta urbanización descarga directamente sus aguas residuales crudas al río AQUIARES. Uno de los mayores y más peligrosos focos de contaminación es el aporte de las aguas residuales del hospital William Allen, descargándolas directamente al río Colorado, para luego unirse al río Turrialba. Existe además una gran cantidad de descargas directas de aguas residuales, desechos líquidos y sólidos, sobre los ríos mencionados (ICE, 2000).

Según el medio escrito costarricense La Nación, en el año 2001, en la gran área metropolitana, se registraron brotes de diarrea como resultado de contaminación bacteriológica de las fuentes de agua usadas para el consumo potable. A partir de este incidente, las instituciones pertinentes del gobierno y la sociedad en general tomaron mayor conciencia sobre la necesidad de proteger las fuentes de agua que son usadas para el consumo doméstico, al mismo tiempo inicia de manera leve, la preocupación de buscar medidas de protección y conservación efectiva de los recursos hídricos superficiales.

Como resultado del crecimiento acelerado y no planificado de las urbanizaciones, la carencia de adecuados sistemas de tratamientos de aguas residuales el manejo inadecuado de los desechos sólidos y líquidos de prácticas agropecuarias intensivas, aumenta la presión sobre la calidad y cantidad de los recursos hídricos.

1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Costa Rica se encuentra al borde de una crisis hídrica, caracterizada por carencias y deficiencias en sistemas de abastecimiento, graves problemas de contaminación del agua superficial y subterránea, la presión a los ecosistemas naturales y un leve aumento en los conflictos sociales por el uso del agua. Una de las razones se debe en mayor grado al sistema de gestión agotado que ya no responde a las exigencias actuales; fundamentándose en una Ley de Aguas obsoleta, de 1942 (MINAE, 2002).

Es sabido que los ríos desde hace mucho tiempo han sido usados como receptores de los desechos sólidos y líquidos por los poblados, particularmente de aguas residuales provenientes de diferentes fuentes, principalmente países en desarrollo, como los de América Central. Existe la cultura de verter las aguas residuales domésticas a los ríos, quebradas, riachuelos y zonas costeras, provocando la degradación y potencial contaminación de aguas subterráneas por infiltración (Arroyo, 1998).

Las probabilidades que los recursos hídricos en la subcuenca del río Turrialba aumenten su degradación son altas, si no se imponen condiciones estrictas de manejo y control; por eso la importancia de conocer la situación actual de la calidad superficial del agua. La disponibilidad del recurso hídrico en calidad y cantidad puede determinar el potencial de crecimiento económico de un país o de una localidad. Al nivel nacional es importante este recurso, por la alta dependencia del agua superficial en diferentes usos de la población (ICE, 2000).

La contaminación del agua superficial del río Turrialba está en una dinámica acelerada de degradación desde el punto de vista de calidad, cantidad y disponibilidad, limitando su uso para otras actividades de las poblaciones localizadas aguas abajo. Desde el punto de vista social, económico, agropecuario y ambiental, esta subcuenca es importante especialmente como abastecedora y productora de agua por características climatológicas, notándose en el afloramiento de abundantes nacientes de agua utilizadas por diferentes necesidades de la población, como el consumo humano.

Este estudio se originó como producto de la degradación del agua superficial del río Turrialba y el posible riesgo de contaminación a la población que hace uso de este recurso en las partes bajas de la cuenca. El producto final será insumo desde el punto de vista científico, técnico y académico para la sociedad y las instituciones, permitiéndonos tomar decisiones, considerando la realidad social, cultural, económica de la zona. Especialmente es importante analizar la situación ambiental del recurso hídrico por el uso recreativo y potable que la población, hace del recurso.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Evaluar el estado de la calidad del recurso hídrico superficial de la subcuenca del río Turrialba a través de variables físicas, químicas y bacteriológicas y el uso de indicadores ambientales de la calidad del agua.

1.4.2. Objetivos específicos

0E.1. Analizar la calidad del agua superficial por medio de parámetros físicos, químicos y bacteriológicos.

0E.2. Caracterizar las aguas superficiales utilizando el índice de calidad del agua (ICA).

0E.3. Analizar por medio de un sondeo exploratorio general a un grupo poblacional, los niveles de conocimiento y percepción sobre la situación ambiental del agua.

0E.4. Proponer medidas potenciales alternativas que mitiguen el deterioro del agua superficial por efectos de la contaminación antropogénica.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Recurso agua en la región de América Central y Costa Rica

Centroamérica soporta aún serias deficiencias en la cobertura de las redes de alcantarillado sanitario y de agua potable, la implementación de tecnología adecuada, el recurso humano especializado, la capacidad de análisis y la sostenibilidad económica del proceso. La atención y corrección de estas debilidades es el mayor reto que enfrenta la región y sus organismos miembros durante el nuevo milenio (Caragua, 2003).

Costa Rica es uno de los países que se encuentra al borde de una crisis hídrica sin precedentes, caracterizada no solo por carencias y deficiencias en los sistemas de abastecimiento, sino también por graves problemas de contaminación de los cuerpos de agua superficiales y subterráneos, el incremento de la presión sobre los ecosistemas naturales y un serio aumento en los conflictos sociales por el uso del recurso (Reynolds, 2002).

Así mismo la alta vulnerabilidad por muchos años, producto de la actividad antropogénica, es evidente por factores como la pérdida de cobertura boscosa, uso inadecuado de tierras, altos índices de contaminación, influyendo en la calidad, disponibilidad y cantidad del agua (OPS, 1999).

2.2. Gestión integrada de los recursos hídricos

La gestión integrada de los recursos hídricos es un proceso que promueve el manejo y desarrollo coordinado del agua, la tierra y los recursos naturales, con el fin de maximizar el bienestar social, económico y ambiental, de manera equitativa sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales. Sin embargo, el manejo integrado de los recursos hídricos ha sido definido ambiguamente (GWP, 2000).

La gestión de los recursos hídricos se debe de enfocar a evitar situaciones conflictivas causada por la escasez, sobreexplotación y contaminación, mediante medidas preventivas que procuren un uso racional y de conservación del agua. La conservación y manejo integral del recurso hídrico debe entenderse como un proceso que involucra varios sectores, de forma estratégica debe considerar aspectos económicos, ambientales, sociales, ecológicos, biológicos, políticos, educativos, etc. El manejo juicioso de este recurso es estratégico en el desarrollo sustentable, entendido éste como una gestión integral que busque el equilibrio entre crecimiento económico, equidad y sustentabilidad ambiental a través de un mecanismo regulador que es la participación social efectiva (GWP, 2000).

2.3. El problema de la escasez de agua de buena calidad

Los recursos hídricos se encuentran en peligro. Los más importantes y estratégicos están sometidos a un alto grado de vulnerabilidad, por negligencia, falta de sensibilidad y desconocimiento de la población civil, carencia y conciencia de autoridades competentes, profesionales y técnicos comprometidos en la sensibilización efectiva con acciones concretas (Reynolds, 2002).

Aproximadamente el 40% de la población mundial vive en más de 200 cuencas de ríos compartidos. Ante una situación de escasez del agua, la amenaza se cierne sobre tres aspectos fundamentales del bienestar humano: la producción de alimentos, la salud, la estabilidad política y social. El agua es un recurso imprescindible. Menos del 1% del agua del planeta es dulce y accesible para el hombre, aunque este porcentaje varía considerablemente según el lugar, el clima o la época del año (GWP, 2000). El déficit local y regional de agua es debido al aumento de las necesidades surgidas del desarrollo económico y de la explotación demográfica. El hombre ha utilizado el agua para fines cada vez más numerosos y su dependencia de ese elemento va en aumento (FAO, 2000).

2.4. Contaminación del agua

Los primeros conceptos de contaminantes prioritarios fueron introducidos por el Clean Water Act de los Estados Unidos de América en 1977; y consistía en una lista de 129 sustancias químicas consideradas como contaminantes prioritarios del agua, donde se consideró las variables siguientes: carcinogenicidad, mutagenicidad, teratogenicidad, bioacumulación y persistencia (USEPA, 1992).

Contaminación es la acción y efecto de introducir materias o formas de energía o inducir condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto, que impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica (Gallego, 2003).

La introducción o alteración directa o indirecta en el agua, natural o efectuada por el hombre, de cualquier tipo de sustancia o desecho peligroso que pueda resultar nocivo para la salud humana, animal y vegetal o la vida acuática (PNUMA, 2001).

Tipos de contaminación del agua

Cada vez es más frecuente ver como algunas acciones que realizamos en nuestra comunidad deterioran no sólo la calidad del agua, también nos acercan más a la racionalización severa del recurso para poder cubrir las necesidades de todos los pobladores. La contaminación causada por efluentes domésticos e industriales, la deforestación y las malas prácticas de uso de la tierra, están reduciendo notablemente la disponibilidad de agua. En la actualidad, una cuarta parte de la población mundial, que principalmente habita en los países en desarrollo, sufre escasez severa de agua limpia, lo que

provoca que haya más de diez millones de muertes al año producto de enfermedades relacionadas a la contaminación hídrica (OPS, 1999).

Las categorías de contaminación que impactan a los recursos hídricos se derivan de fuentes puntuales y no puntuales. Estas afectan y alteran las características naturales de los recursos hídricos, ocasionalmente por actividades naturales, pero en su mayoría el mayor de los impactos es de carácter antropogénico (Foster *et al*, 1991).

2.5 Calidad del agua y áreas críticas al nivel de cuencas hidrográficas

La cuenca hidrográfica es la unidad de análisis y planificación para darle el enfoque integrado al estudio del recurso hídrico superficial y subterráneo. Es el territorio o espacio de terreno limitado por cerros, partes elevadas y montañas, de los cuales se configura una red de drenaje superficial, que en presencia de lluvias, forma el escurrimiento a un río, para conducir sus aguas a un río más grande o a otro cuerpo de agua mayor, sea lago o mar (Faustino, 1996).

En las cuencas hidrográficas se ubican todos los recursos naturales y actividades que realiza el hombre; allí interactúan el sistema biofísico con el socioeconómico, y están en una dinámica integral que permite valorar el nivel de intervención humana, problemas generados en forma natural y antrópica (Jiménez, 2003).

Las cuencas están sometidas a procesos progresivos de degradación de sus recursos naturales, lo que ha provocado el incremento de la fragilidad de los ecosistemas que la conforman, y esto se refleja no exclusivamente al nivel ambiental, involucra lo social y económico. Como consecuencia de la degradación sufrida, se ha incrementado la contaminación de las fuentes de agua y el sobre uso del suelo (Helmer y Hesperol. 1999).

Un área crítica dentro de una cuenca corresponde a situaciones en las cuales existen alteraciones graves, conflictivas, urgentes de atender, que disminuyen condiciones de desarrollo social, económico o ambiental. La identificación de áreas críticas en una unidad geográfica es un proceso de jerarquización de estas áreas, de acuerdo a los criterios involucrados biofísicos, sociales, económicos, institucionales (Ramakrisna, 1997).

2.6. Importancia de la calidad del agua

Cada vez la disponibilidad de agua para consumo humano es menor, debido al crecimiento acelerado de la población, incremento en el consumo per cápita, contaminación de las fuentes de agua y en general, al manejo inadecuado de las cuencas hidrográficas (Randulovich, 1997). Aunque el recurso

hídrico sea constante, la calidad de la misma va disminuyendo rápidamente, como consecuencia de la contaminación de las fuentes de agua, lo cual genera el estrés hídrico. En la región Centroamericana, la magnitud del problema de la contaminación es alarmante ya que a estas alturas es imposible solucionar el problema mediante la dilución por efecto del aumento del caudal (Ongley, 1997).

El peligro que ciertos elementos solubles se incorporen al agua y aun más peligroso, si estos elementos están en contacto directo con estas fuentes de agua ya que pueden provocar enfermedades en la población (Henry y Heinke, 1999). Las implicaciones de consumir agua contaminada son muchas; en el contexto de la salud pública se establece que aproximadamente un 80% de todas las enfermedades y más de una tercera parte de las muertes en los países en vías de desarrollo, tienen principal causa la ingestión del agua contaminada. Se estima que el 70% de la población que vive en áreas rurales de estos países, esta principalmente relacionada con la contaminación bacteriológica por heces fecales (OPS, 1999).

Lo anterior tiene estrecha relación con la escorrentía superficial y subsuperficial, una forma de contaminación difusa o no localizada. La contaminación por fuentes no puntuales contribuye significativamente con niveles altos de agentes patógenos en las aguas superficiales. Especialmente por coliformes fecales de origen humano y animal (PRODIA, 2000). En este sentido, un suministro seguro de agua para uso potable en cantidad, calidad, disponibilidad y continuidad, contribuye a la reducción de la probabilidad de enfermedades transmitidas por la vía fecal y oral (OPS, 2000).

2.7. Criterios para la calidad de agua

Los principales criterios o indicadores físicos, químicos y microbiológicos de calidad de agua deberían de ser explicados bajo el concepto de sostenibilidad, dentro de un proceso lógico funcionando los aspectos ecológicos, económicos y sociales. Estos se definen ante una situación única y dentro de un escenario específico (Villegas, 1995).

Dentro de los parámetros de calidad de agua se diferencian según sus orígenes; biológicos, microbiológicos, químicos y físicos. Los indicadores seleccionados para la calidad del agua en cualquier estudio se definirán en dependencia de los usos actuales y potenciales (Brugnoli, 1999). Entre las categorías recomendadas para usos encontramos agua para consumo potable, doméstico, comercial, hidroelectricidad, navegación, industrial, agropecuario, agroindustrial, recreación, biodiversidad, etc (Vilela, 2003).

2.8. Definición de los indicadores de la calidad del agua y su importancia para caracterizar el agua

Indicadores microbiológicos y bacteriológicos

Este tipo de contaminación se relaciona con la presencia de microorganismos patógenos principalmente de heces humanas y animales. Estos son comunes encontrárselos en los recursos hídricos superficiales, y sub superficiales. Es importante conocer el tipo, número y desarrollo de las bacterias en el agua para prevenir o impedir enfermedades de origen hídrico. Es difícil detectar en una muestra organismos patógenos como bacterias, protozoarios y virus debido a sus bajas concentraciones. Por esta razón, es que se utiliza el grupo de coliformes, como indicador de la presencia de microorganismos (OPS, 1999).

Coliformes fecales: la bacteria coliforme fecal está presente en el excremento humano y animales de sangre tibia. Puede entrar en los cuerpos de agua por medio de desechos directos de mamíferos y aves, corrientes de agua acarreado desechos y del agua de drenaje. Los organismos patógenos incluyen. La bacteria coliforme fecal, así como bacterias, virus y parásitos causan enfermedades (Mitchell *et al*, 1991).

Comprende todos los bacilos Gram-negativos, aeróbicos o anaeróbicos facultativos no esporulados que en la técnica de filtración por membrana, produzcan colonias de color azul dentro de un periodo de 22 a 26 horas cuando se incuban en un medio de cultivo específico para coliformes fecales a $44,5 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ dentro de 24 ± 2 horas (OPS, 1999). Esta bacteria se encuentra también en aguas provenientes de efluentes industriales, materiales vegetativos en descomposición y suelos (OPS, 1999).

Coliformes totales: formadas por bacterias Gram-negativas, bastante heterogéneas. Incluye bacterias fermentadoras de la lactosa como *Enterobacter cloacae* y *Citrobacter freundii*, que pueden estar en heces como en el medio ambiente (aguas ricas en nutrientes, suelo, material vegetativo en descomposición); en este grupo hay otras especies que raramente o nunca se encuentran en las heces y que pueden multiplicarse en agua potable de relativamente buena calidad (OMS, 1998).

En los suministros de agua para consumo humano no deben estar presentes bacterias coliformes y si las hay es un indicativo de tratamiento insuficiente, contaminación posterior al tratamiento o presencia excesiva de nutrientes. En este sentido el análisis de coliformes se puede utilizar como indicador tanto de la eficiencia de tratamiento como de la integridad del sistema de distribución (OMS, 1998).

En Costa Rica las normas bacteriológicas bajo las cuales se utilizan de guía para la calidad del agua de consumo humano y animal, se presentan en el cuadro 1 y 2. Estas normas pertenecen al Comité Coordinador de Agua Potable y Saneamiento, usadas por los países de Centroamérica, Panamá y República Dominicana (CAPRE, 1994). En el caso del cuadro 2 encontramos la norma o criterios microbiológicos y valores admisibles para los coliformes fecales considerando el tipo de uso.

Cuadro 1. Parámetros bacteriológicos de las normas de calidad de agua

	Parámetro	Valor recomendado
Agua de bebida	coliforme fecal	no debe tener presencia de bacterias
Agua que entra al sistema de distribución	coliforme fecal y total	
agua en el sistema de distribución		

Fuente: CAPRE, 1994.

Cuadro 2. Normas o criterios microbiológicos y valores admisibles para clasificar la calidad del agua potable, riego, recreación, acuicultura de Costa Rica.

Usos		Coliformes fecales (NMP/100 ml)
Recreación	Contacto primario (natación)	< 500
	Contacto secundario (navegación)	< 5000
	Contacto terciario (paisajístico)	< 10000
Riego	Legumbres	< 200
	Árboles frutales	< 1000
	Parques públicos, campos deportivos	< 1000
Acuicultura	Piscicultura	< 1000
	Camarones	< 100
	Almejas	< 4
	Consumo Humano (coliformes)	0

Fuente: La Gaceta, (Diario Oficial de Costa Rica) No.100 1997.

Indicadores físicos y químicos

Los parámetros físicos son los que se perciben más fácilmente. Se espera que el agua sea transparente, sin olor, sin color, con temperatura agradable. Sin embargo, el agua de muchos cuerpos de agua tienen alteradas estas características. El caso de cambio de color producto de taninos y de materia orgánica. También posee en algunos casos olores desagradables por materiales de erosión (Canter, 2000).

En Costa Rica la norma que se aplica para la clasificación de la calidad de agua para consumo humano desde el punto de vista de los parámetros físicos y químicos se consideran en el cuadro 3, pertenecientes al Comité Coordinador de Agua Potable y Saneamiento, usadas por los países de Centroamérica, Panamá y República Dominicana (CAPRE, 1994).

Los parámetros químicos están más relacionados con los agroquímicos, metales pesados y desechos tóxicos. Este tipo de contaminación se da en los diferentes sistemas de agua, superficiales, sub superficiales, subterráneas y sub subterráneas. Este tipo de contaminación esta relacionado con la dinámica del flujo de agua, y el tipo de suelo. En el caso de las aguas subterráneas los contaminantes químicos son más persistentes y menos móviles (Canter, 2000).

Cuadro 3. Normas de Calidad de Agua para Consumo Humano. Parámetros físicos y químicos del Comité Coordinador de Agua Potable y Saneamiento para los países de Centroamérica, Panamá y República Dominicana (CAPRE).

Químicos	Unidad	Valor Recomendado Óptimo	Valor Mínimo Tolerable
Demanda bioquímica de oxígeno	ng/l	≤ 2	2.5 - 4
Oxígeno Disuelto	mg/l	≥ 5	≤ 4
Sólidos Totales Disueltos	ng/l	≤ 300	≤ 1000
pH	unidad pH	6.5-8.5	≤ 8.5
Temperatura	°C	18-30	≤ 30
Nitratos (NO ₃)	mg/l	≤ 5	≤ 10
Fosfatos (PO ₄)	mg/l	≤ 0.01	≤ 5
Turbidez	UNT	≤ 1	≤ 3

Fuente: CAPRE, 1994.

Oxígeno disuelto: es uno de los parámetros más relevantes a la hora de evaluar la calidad del agua. Esta asociado a la contaminación orgánica. Su concentración aumenta al disminuir la temperatura y la salinidad y posee una relación directa con la pendiente y la aireación del cauce. Cuando existen condiciones aeróbicas se produce una mineralización que consume oxígeno y produce gas carbónico, nitratos y fosfatos. Una vez que se consume todo el oxígeno comienza la descomposición anaeróbica que produce metano, amonio, sulfuro de hidrógeno, mercaptanos (Mitchell *et al*, 1991).

Demanda bioquímica de oxígeno: representa la materia orgánica biodegradable. Es la más usada para determinar la eficiencia de los tratamientos que se aplican a los líquidos residuales. Se da cuando ciertas sustancias presentes en las aguas residuales, al verterse a un curso de agua, captan el oxígeno existente debido a la presencia de sustancias químicas reductoras. Esta es una medida de la estimación

de las materias oxidables presentes en el agua, cualquiera que sea su origen orgánico o mineral como el hierro, nitritos, amoníaco, sulfuro y cloruros (Mitchell *et al*, 1991).

Concentraciones de Iones hidrógeno o pH: concentración relativa de los iones hidrógeno en el agua, es la que indica si está actuando como un ácido débil, o si se comportará como una solución alcalina. Es una medición valiosa para interpretar los rangos de solubilidad de los componentes químicos. Esta mide la acidez o la alcalinidad del agua. La actividad del ión hidrógeno puede afectar directa o indirectamente la actividad de otros constituyentes presentes en el agua, la medida del pH constituye un parámetro de importancia para la descripción de los sistemas biológicos y químicos de las aguas naturales (Mitchell *et al*, 1991).

Turbidez: es un estimador simple de los sólidos en suspensión. Se aplica a las aguas que contienen materia en suspensión tal que interfiere con el paso de la luz a través del agua. A mayor penetración de la luz solar en la columna de agua, es menor la cantidad de sólidos o partículas en suspensión en la columna de agua y viceversa. Esto relacionado con el uso del suelo, tipo de suelos, cobertura del suelo, periodos de muestreos, etc (Mitchell *et al*, 1991).

Sólidos totales disueltos: es un indicador de las sales disueltas en una muestra de agua después de la remoción de sólidos suspendidos; también se define como la cantidad de residuos remanentes después que la evaporación del agua ocurre. Es común observarlos en terrenos agrícolas que han sufrido procesos fuertes de escorrentía (Mitchell *et al*, 1991).

Temperatura: es un requisito para el pH y la conductividad. Una medición útil para interpretar los rangos de solubilidad de los parámetros químicos. La temperatura es muy importante por que influye con las tasas de actividad química y biológica. Afecta la tasa de transferencia de oxígeno y por consiguiente el valor del oxígeno saturado, ya que al incrementar la temperatura la solubilidad del oxígeno disuelto disminuye. Un aumento en la temperatura puede producir malos olores debido a un aumento en la transferencia de gases. Aumenta la reproducción de ciertas especies vegetales y animales, acelera los procesos metabólicos y puede llegar a cambiar las especies de un río debido a intolerancia al cambio de la temperatura (Mitchell *et al*, 1991).

Nitrógeno: el nitrógeno en forma de nitrato y nitrito son los compuestos que llegan al agua mediante precipitación, escorrentía y por efluentes de industrias alimenticias, aguas residuales domesticas y agrícolas. Las fuentes de nitratos se obtiene de aguas de desecho con un mal tratamiento de drenaje; corrientes que desaguan aguas de tormenta conteniendo conexiones ilegales de drenaje sanitarias; y sistemas sépticos en mal funcionamiento (Mitchell *et al*, 1991)

Fosfato: el fosfato orgánico es parte de las plantas y los animales que se adhiere a materia orgánica compuestas de plantas y animales vivos, ambos son los responsables de la presencia de algas y plantas acuáticas grandes. El exceso de fosfato ocasiona el proceso de eutrofización, que no es más que el enriquecimiento del agua por este compuesto principalmente de carácter antropogénico. El arrastre de tierras cultivadas con compuestos a base de fósforo, llega a los ríos inmediatamente después de una lluvia. Así como el vertido de aguas servidas domésticas (Mitchell *et al*, 1991).

2.9. Criterios básicos para el monitoreo de la calidad del agua en cuerpos superficiales

Dentro de cada proceso de monitoreo de la calidad del agua superficial los estudios sobre contaminación ambiental se dividen en dos grandes áreas (Beitia, 1989)

Monitoreo: la información se recolecta para determinar las concentraciones en el ambiente (aire, agua, biota) o para controlar las concentraciones provenientes de los efluentes. La finalidad de estos estudios puede ser la vigilancia de un determinado agente contaminador, conocer las tendencias a largo plazo, proveer de descripciones espaciales y temporales de promedios o eventos extremos. Además, establecer datos básicos que puedan ser utilizados como referencias en la planificación de un programa de monitoreo o para indicar la necesidad de otro tipo de información (Beitia, 1989).

Investigación: se da cuando los datos de campo y laboratorio pueden ser colectados para estudios de transportes de contaminantes por medio de redes alimenticias y el ambiente hasta el ser humano. Igualmente cuando se determina la relación causa efecto que controla los niveles de contaminación en el tiempo y espacio en un cuerpo de agua. La ubicación de los sitios de muestreo es un factor determinante en la validez de la información recolectada. Se puede definir tres niveles en el proceso de selección de las estaciones de muestreo y punto de colecta: macro localización de tramos del río representativos de la calidad del agua, micro localización implica la ubicación del tramo precedente, de la estación de muestreo y selección final de los puntos de muestras, que dan el valor representativo del área monitoreada (Beitia, 1989).

2.10. Uso de la tierra y su relación con la calidad de los recursos hídricos

Los cambios en el uso de la tierra sobre la calidad del agua han sido ampliamente comprobados. Estos provocan alteraciones en los regímenes hídricos, cambios dramáticos de la calidad y cantidad del agua, especialmente al uso potable. Las prácticas de manejo en el uso de la tierra tienen una influencia muy fuerte en la calidad y cantidad del agua (Mitchell *et al*, 1991)

Se dice de que el 80% del deterioro de la calidad del agua es debido a sedimentos suspendidos, en su mayoría, provenientes de la erosión de suelos como producto de presencia de urbanizaciones,

deforestación, actividades agrícolas y ganaderas, siendo este tipo de actividades las que mayor impacto causa en la calidad del agua presentan (Sanders, 1998).

Ganadería y la contaminación del agua

La ganadería es una de las prácticas de uso de la tierra más común actualmente, con impactos sobre la calidad del recurso hídrico principalmente al nivel superficial. Cuando se da un sobre pastoreo, provoca un impacto negativo desde el punto de vista bacteriológico, químico y físico a la calidad del agua, así como a la capacidad de infiltración de los suelos (Brooks *et al*, 1991).

Generalmente la ganadería tiende a ubicarse en lugares de alta precipitación, climas frescos, fuertes pendientes, cercanos a fuentes de agua. Los contaminantes provenientes de la actividad ganadera son arrastrados, con facilidad y rapidez, hacia las corrientes de agua, provocando un impacto negativo, siendo mas significativo en el caso que estas fuentes hídricas estén desprovistas de cobertura vegetal ribereña, la que juega un papel de protección a la calidad y cantidad del agua. La carencia de esta faja protectora de vegetación o zona de amortiguamiento, facilita que las corrientes arrastradas con una alta población de microorganismos patógenos, nutrientes, sólidos suspensos y otros, lleguen con mucha facilidad al cuerpo de agua (Reynolds, 2002).

Los incrementos de virus y bacterias en el agua, se evidencian cuando el ganado pastorea en áreas cercanas a las fuentes de agua superficiales. La cantidad de bacterias en el suelo dependerá del tipo, número de ganado, y la forma en que los desechos sólidos son tratados o almacenados (Brooks *et al*, 1991). La contaminación de las aguas superficiales por nutrientes provenientes de estas áreas afecta la calidad del agua, provocando el enriquecimiento del agua, ocasionando el fenómeno de eutrofización, principalmente por fósforo, nitrógeno (Wagner, 2000).

El sobrepastoreo afecta la densidad del suelo, de tal forma que al ocurrir una lluvia o aplicar riego, la capacidad de infiltración, precolación del suelo es superada fácilmente, provocando el arrastre de nutrientes por efecto de la escorrentía y lixiviación a las fuentes de agua. Se ha estimado que áreas ganaderas con terrenos de 1% de pendiente, es suficiente que ocho toneladas de peso seco por hectárea de estiércol sobre el terreno, para enriquecer las aguas superficiales con nitrógeno y fósforo, por su facilidad a ser transportados (Vidal *et al*, 2000).

Los factores que controlan y disminuyen los efectos de la contaminación del agua por el estiércol están íntimamente relacionados a la capacidad de absorción de los cultivos al nitrato y la capacidad de absorción del amonio por el suelo. (Henry y Heinke, 1999). En la mayoría de los sistemas de producción intensivos la absorción de nutrientes por el suelo es afectada por la compactación del

suelo, provocando una baja liberación de amonio en el suelo y seguido por el transporte a las fuentes de agua mediante la escorrentía (Meneses, 2003).

Agricultura y la contaminación del agua

La agricultura constituye una de las actividades más practicadas en el mundo. Su impacto a la calidad del agua es de mucha importancia. Aproximadamente, el 70% de los recursos hídricos del mundo son usados por la agricultura, lo cual significa el principal factor de la degradación como consecuencia de la erosión y de la escorrentía química (FAO, 1993).

La expansión agrícola y la deforestación en países tropicales; son causas de degradación del agua. Se ha demostrado que plaguicidas asociados con sedimentos son una fuente muy común en países del trópico. En la actualidad los organismos dedicados a determinar la calidad de agua realizan muestreos mas diversos, incluyendo agua, sedimento y biota con la finalidad de determinar con mayor precisión los plaguicidas que se encuentran en el medio acuático (IICA, 1997). En la mayor parte de los países latinoamericanos los problemas más sentidos se da por la contaminación de fuentes no puntuales, caso de la agricultura, por el uso de agroquímicos, siendo estos residuos arrastrados por las lluvias a las fuentes hídricas (Wagner, 2000).

Estudios realizados a los recursos hídricos superficiales de los Estados Unidos de América, por la Agencia de Protección Ambiental, demuestran que estos han sido degradados y afectados por la contaminación agrícola principalmente. Indicando que existen relaciones lineales entre las concentraciones de nitratos en las aguas superficiales y el porcentaje de cultivos intensivos que usan estos productos (Rojas, 2003).

La contaminación de aguas superficiales esta íntimamente relacionada con el proceso de pérdida de suelos, por el arrastre de sedimentos combinados con nutrientes. (Jermar, 1987). La pérdida de suelos posee dos dimensiones principales: la dimensión física, consistente en la pérdida de la capa arable del suelo y la degradación de la tierra como consecuencia de la erosión laminar y cárcavas, provocando turbidez en el agua. La dimensión química, es la parte de sedimentos constituidas por limo y arcilla, transmisora primaria de productos químicos absorbidos (Ongley, 1997).

La contaminación del agua por fertilizantes ocurre de varias formas, tipos, cantidades y frecuencias. El nitrógeno especialmente en forma de nitratos, es uno de los factores más importantes que degradan la calidad del agua. Un estudio llevado a cabo en Estados Unidos de América, demostró que aproximadamente el 11%, 8% y 20% del total de nitrógeno aplicado en los cultivos del maíz, soya, trigo, tenía su destino al agua superficial (Gardi, 2001) (Chaves, 2002).

El nitrato es típicamente lixiviado desde los campos cultivados y se mueve a poca profundidad subterráneamente hacia las fuentes superficiales y subsuperficiales. Pero se han detectado casos de que esta lixiviación se reduce hasta en un 15% cuando se dan prácticas de manejo de conservación de suelos y agua (Schulz y Okun; 1990).

Fuentes de nitrógeno aplicados al suelo como la gallinaza, en cantidades promedios de 4.5 ton/ha, luego de 30 días de aplicados, produjo un incremento significativo de nitrógeno en el agua superficial, comparando estos resultados con muestras de agua que no tenían influencia de áreas tratadas con la gallinaza (Pote *et al*, 2001). Igualmente el uso de estiércol de ganado como abono, al reaccionar con las partículas de suelo es transformado en amonio y una porción significativa puede ser transportada a los cuerpos de agua por escorrentías superficial (Chambers *et al*, 2002).

Los centros poblados y la contaminación del agua

En los poblados rurales, son mayores los problemas relacionados a la contaminación del agua, en la mayoría de los casos se debe a la carencia o pocos sistemas de saneamiento como fosas sépticas, sistemas de tratamientos previos de aguas residuales y negras principalmente (TCA, 1998).

En las áreas urbanas existen mayor cobertura de saneamiento ambiental, no significa que no se den problemas como la falta de mantenimiento preventivos en las redes o tuberías, nuevas urbanizaciones con malas conexiones o el peor de los casos sin conexión, falta de regulación y crecimiento desordenado de las urbanizaciones, y en muchos casos la inexistencia de una planta de tratamiento de aguas residuales, incrementándose el volumen de agua residual domiciliar sin tratar a los cuerpos de agua (Pote, *et al*, 2001).

En algunos centros urbanos existen drenajes sanitarios centralizados, donde cada hogar esta conectada a una red. También se da el uso de los tanques sépticos con un sistema de drenaje individual, los desechos sólidos se asientan y la grasa flotante se adelgaza. Los desechos líquidos restantes entran al campo drenaje y salen por las perforaciones de las tuberías, pasando al lecho que descansan. Estos sistemas sanitarios individuales, cuando están debidamente diseñados, construidos y en buen funcionamiento, las capas de suelos sobre las que descansa funcionan como filtros, las partículas del suelo se encargan de la absorción y absorción de los compuestos bacteriológicos, orgánicos y químicos, minimizando la degradación de la calidad de las aguas subterráneas (García, 1992).

En cambio cuando estos sistemas no están funcionando adecuadamente los contaminantes que traen los desechos sólidos y líquidos, son arrastrados y lixiviados, llegando alcanzar las corrientes del flujo sub-superficial y subterráneo de aguas, impactando en algún momento los acuíferos, pozos de agua

para el consumo doméstico y la probabilidad de contaminar y degradar las fuentes de agua utilizadas para el consumo potable como las nacientes, siendo mayor el peligro las que se localizan aguas abajo. En muchas ocasiones a lo largo del recorrido de los ríos, los campos de sedimentación de los tanques sépticos, están muy próximos al nivel de agua del río, reduciendo la profundidad efectiva de la tierra y su capacidad para retener contaminantes bacteriológicos y nutrientes orgánicos (Rojas, 2003).

Por cultura, la población descuida los sistemas de saneamiento de tanques sépticos, no les dan mantenimiento preventivo y continuo, permitiendo que se colmaten con desechos sólidos produciendo un sobrenadante; cuando se presenta este evento, los desechos domiciliarios van directamente al campo de drenaje en lugar de ir al tanque de sedimentación (Canter, 2000).

Debido al mal funcionamiento de los sistemas sépticos, las fuentes de agua como las nacientes, pozos excavados y perforados son más susceptibles a la contaminación. Un elemento que es fácilmente lixiviable y causa problemas en la calidad de los cuerpos de agua se refiere a la urea y otras formas del nitrógeno por su movilidad en las diferentes capas de suelo (FAO, 1993). El agua con altas concentraciones de nitrato, al ser utilizada para la fórmula de leche infantil, pueden provocar una enfermedad en el bebé, conocida como metahemoglobinemia, disminuyendo el oxígeno en la sangre, a esta enfermedad se le llama popularmente los bebés azules (USEPA, 1992).

2.11. Sistema de información geográfico en la calidad del agua

El sistema de información geográfico es una base de datos de entrada, manejo y presentación de los mismos, diseñadas para manipular gran cantidad de información espacial y no espacial georeferenciada (Tim y Jolly, 1994). Actualmente se ha venido haciendo uso de herramientas que ayudan a la mejora en la toma de decisiones con respecto al uso adecuado y gestión de recursos naturales, en especial de los recursos hídricos (Agüero, 2000).

En el caso del agua, el apoyo del sistema de información geográfico, se hace cada vez más frecuente para evaluar la tendencia, así como el seguimiento y monitoreo de impactos del uso de la tierra sobre la calidad del agua, especialmente la contaminación por fuentes puntuales (Mitsi y Faga, 2002). El sistema de información geográfico es necesario para generar mapas que muestran diversas características de una cuenca, como la delimitación de fuentes de agua potable, con el fin de proporcionar a la comunidad información base para el desarrollo de estrategias de gestión y conservación del recurso y poder tomar decisiones en base a prioridades (Arroyo, 1998).

2.12. Marco legal ambiental y del recurso hídrico

Manual de regulaciones jurídicas para la gestión del Recurso Hídrico en Costa Rica por Centro de Derecho Ambiental y de los Recursos Naturales, (CEDARENA, 2002)

1. La gestión de los recursos hídricos en Costa Rica está basada en los principios internacionales como la declaración de Estocolmo (1972), declaración de Dublín, Río de Janeiro (1992) de París (1998). Costa Rica, cuenta con la resolución de la séptima reunión de la conferencia de partes contratantes en la conservación sobre los humedales (RAMSAR); la Ley de Uso, Manejo y Conservación del Suelo No. 7779, la que tiene como objeto proteger mejorar y conservar el suelo en gestión integrada y sostenible de los recursos naturales mediante el fomento y la planificación ambiental adecuada.
2. El nivel de uso y aprovechamiento de los recursos hídricos se establece según los criterios de la Ley Orgánica del Ambiente: el agua es un recurso de dominio público cuyo aprovechamiento y conservación son considerados de interés social, procurando su conservación y uso sostenible bajo criterios de protección, conservación, y recuperación de actividades de uso y explotación de aguas.
3. La protección de cuencas hidrográficas y el derecho de un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, el País cuenta con las siguientes regulaciones:
 - Ley Orgánica del Ambiente se refiere a la contaminación, arto 59-72 señala lineamientos generales y específicos del recurso.
 - Ley de Biodiversidad: en su arto 105 dice que la acción popular, según la cual toda persona se encuentra legitimada para accionar en sede administrativa o jurisdicción en defensa y protección de la biodiversidad. Esta acción se extiende a todas aquellas infracciones relacionadas con el ambiente y al recurso hídrico.
 - Ley General de Salud: arto 265, define el agua como un bien de utilidad pública y su uso para el consumo humano, como prioridad sobre cualquier otro uso.
 - Ley de Conservación de la Vida Silvestre: arto 132, viene a normar lo relativo a la protección de los recursos hídricos, normando la prohibición de arrojar aguas servidas, aguas negras, desechos o cualquier sustancia contaminante en el agua.
 - Ley constitutiva del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (ICAA) arto 2 corresponde al AyA, promover la conservación de las cuencas hidrográficas y la protección ecológica, así como el control de la contaminación de las aguas.
 - Ley General de Agua Potable No. 1634 del 18 septiembre de 1953, arto No. 16, la que prohíbe las instalaciones, edificaciones o labores comprendidas en las zonas cercanas a fuentes de

abastecimiento, plantas purificadoras o cualquier otro sistema que perjudique en forma alguna los trabajos de operación o distribución o las condiciones físicas, químicas o bacteriológicas del agua.

- Ley de Uso y Manejo y Conservación del suelo No. 7779 art. 12, tiene por objeto el manejo adecuado de la fertilidad del suelo, la mantención de la materia orgánica y la reducción de la contaminación.
 - Normas de ubicación de los sistemas de tratamientos de aguas residuales Decreto 21528-S 16 sept 1992, dice que para la ubicación de estos sistemas en lugares donde existan redes de alcantarillado sanitario y el funcionamiento en los alrededores, debe estudiarse en conjunto con la institución que administra el servicio la posibilidad de conexión al sistema.
 - Reglamento para la calidad de agua potable decreto 25991-S de abril de 1997, establece niveles adecuados o máximos que deben tener aquellos componentes o características del agua que pueden representar un riesgo para la salud de la comunidad o inconvenientes para la preservación de los sistemas de abastecimiento de agua. En su art. 2, establece las definiciones para agua potable y su tratamiento.
4. Otros instrumentos para la protección de los recursos hídricos en materia ambiental, la planificación territorial a través de los planes reguladores urbanos, pueden traducirse en protección de áreas de amortiguamiento de las zonas protegidas en las diferentes categorías de manejo existentes y de las nacientes y cuencas hidrográficas. Esta posibilidad se materializa a través de una zonificación adecuada que incluiría exclusión o inclusión de ciertas actividades con el objetivo de armonizar el desarrollo del cantón con la conservación de los recursos naturales.
- Ley de Planificación Urbana No. 4240 del 15 de Nov 1968, define el plan regulador; es el instrumento de planificación local que define un conjunto de planos, mapas reglamentos y cualquier otro tipo de documento gráfico o suplemento la política de desarrollo y los planes de distribución de la población usos de la tierra, vías de circulación, servicios públicos, facilidades comunales y construcción, conservación y rehabilitación de áreas urbanas.
 - Conservación de tierras privadas mediante la servidumbre ecológica, el cual es un acuerdo legal en el que el propietario del inmueble planifica el tipo de necesidad de uso futuro que puede darse a su propiedad, con el fin de preservar los atributos naturales, las bellezas escénicas, los aspectos históricos, arqueológicos o culturales.

Al nivel de participación de la sociedad civil en la gestión del recurso hídrico se tiene:

- El Código Municipal No. 77794, establece que las consultas populares, plebiscitos, referendos y cabildos para tomar decisiones referentes al recurso hídrico y resolver acciones de interés comunal.

- Instancias como los concejos locales creados en 1993, vía decreto, los concejos regionales ambientales creados en 1995 por la Ley Orgánica del Ambiente y los concejos regionales de áreas de conservación creadas en 1998 por la Ley de Biodiversidad.
- Las Comisiones de Cuenca, las cuales constituyen un mecanismo informal de coordinación y participación en toma de decisiones referentes al recurso hídrico y al manejo en general de las cuencas hidrográficas.
- Comités Administradores de Acueductos Rurales, los cuales se crean directamente para coordinar que las mismas comunidades o usuarios asuman la responsabilidad del servicio de distribución de agua potable. Esta facultad esta sujeta a las potestades del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, como ente rector de la materia. Aunque su labor es específica, estas Asociaciones pueden tener un papel activo dentro de la conservación del recurso hídrico y en su aprovechamiento.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización del área de estudio

3.1.1. Ubicación general

La subcuenca del río Turrialba, pertenece a la cuenca del río Reventazón. Se localiza entre las coordenadas $09^{\circ} 53' 20''$ a $10^{\circ} 00' 00''$ de Latitud Norte y $83^{\circ} 40'00''$ a $83^{\circ} 50'00''$ de Longitud Oeste. Forma parte de la región geográfica de la vertiente del Atlántico. La altura promedio se registra la más baja aproximadamente de 580 y la más alta de 3300 metros sobre el nivel del mar, extendiéndose desde la parte más baja de la ciudad de Turrialba, cerca de un sitio llamado El Bajo del Chino, y en dirección Noroeste la parte más alta del volcán Turrialba. Con respecto a la ubicación administrativa, la subcuenca del río Turrialba corresponde a la provincia de Cartago, abarcando básicamente los distritos Central de Turrialba, distritos de Santa Rosa, Santa Cruz, pequeñas áreas del distrito de Jiménez. El área total de la subcuenca es de 11,396.3 Ha. En la siguiente figura encontramos el mapa de la subcuenca del río Turrialba.

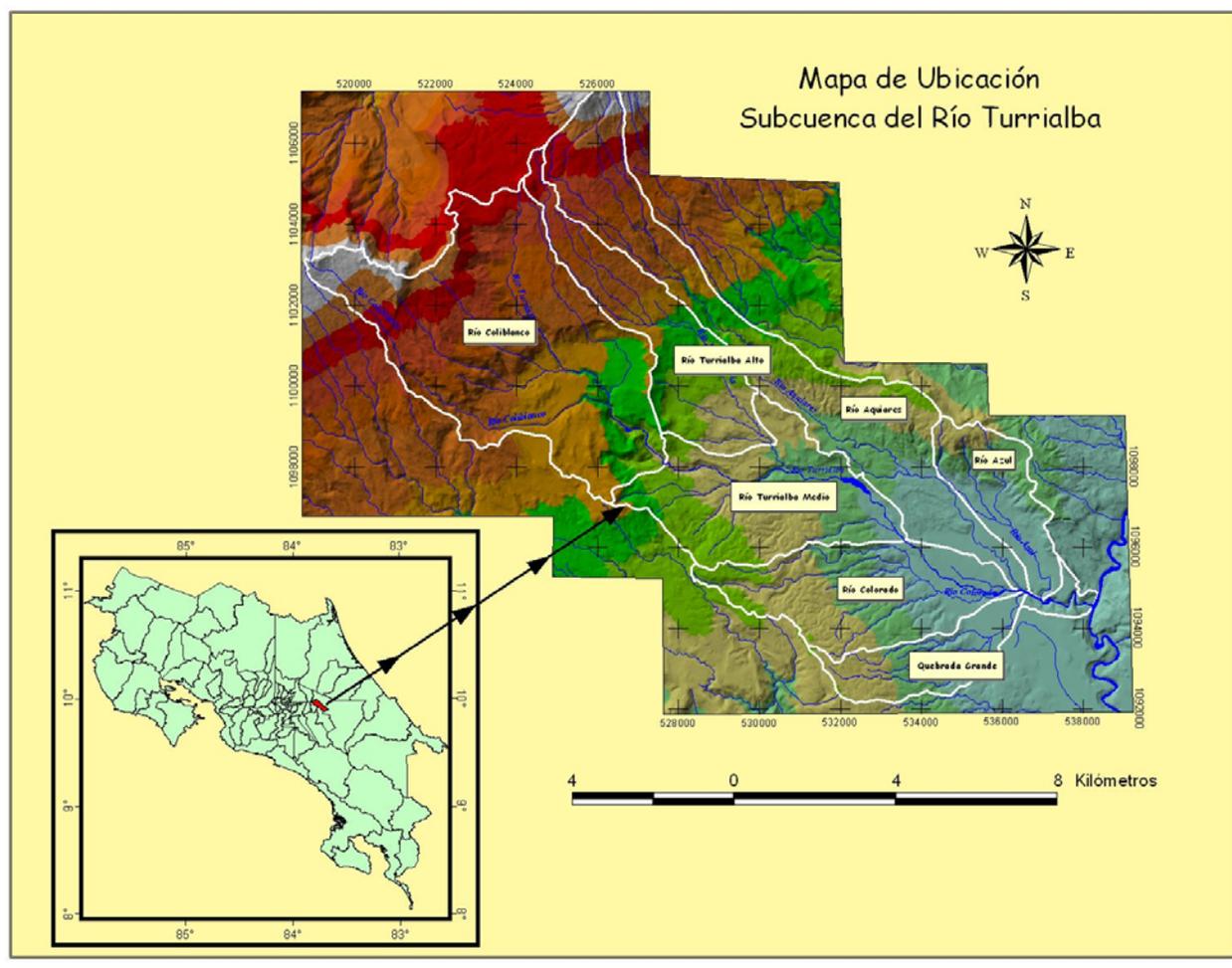


Figura 1. Mapa de la subcuenca del río Turrialba

3.1.2. Características hidrológicas generales de la subcuenca

Red hídrica de la subcuenca del río Turrialba

La subcuenca del río Turrialba es parte de la cuenca del río Reventazón. La subcuenca esta formada por ocho ríos principales que van a drenar directamente al río Turrialba, distribuidos en las partes alta, media y baja. La red de drenaje superficial de la subcuenca tiene forma dendrítica y paralela. Definiéndose esta red hídrica como ríos de montaña, con fuertes pendientes, con flujos de agua superficial muy fuertes; predominando en algunos sectores y transectos procesos de socavación en los cauces y taludes naturales de los ríos, principalmente en partes con poca cubierta vegetal y terrenos muy escarpados (ICE, 2000).

La subcuenca del río Turrialba presenta una precipitación anual de 2,261 mm anuales. El caudal promedio es de 10,7 m³/s. Suponiendo que un 20% del caudal remanente sea necesario dejarlo para fines ambientales, quedaría un caudal de utilización de agua para consumo humano, agrícola e industrial de 2.10 m³/s. Este caudal es suficiente para abastecer ampliamente las necesidades de abastecimiento de agua para el consumo humano de la población de la subcuenca del río Turrialba, siendo esta caudal igual a 0,20 m³/s; quedando un caudal restante de 1,90 m³/s (ICE, 2000).

El sistema hídrico principal de la subcuenca lo constituye el río Turrialba desde su nacimiento hasta la desembocadura en el río Reventazón. Entre los ríos principales que desembocan al río Turrialba, corresponden el río Colíblanco, río Playas, río Aquiares es uno de los ríos más grandes de la subcuenca, el río Jesús María, río Colorado, río Quebrada Grande, río Azul, río la Roncha, cada uno de los anteriores es alimentado por una gran cantidad de quebradas de orden permanente e intermitente (ICE, 2000).

3.2. Marco metodológico para la recolección de información

El presente trabajo de investigación se basó en la recopilación de dos tipos de información: primaria y secundaria, esta última nos sirvió de guía y referencia, en cambio la información primaria, fue la de mayor importancia. A continuación se describen la metodología aplicada.

3.2.1. Metodología para la recolección de información secundaria

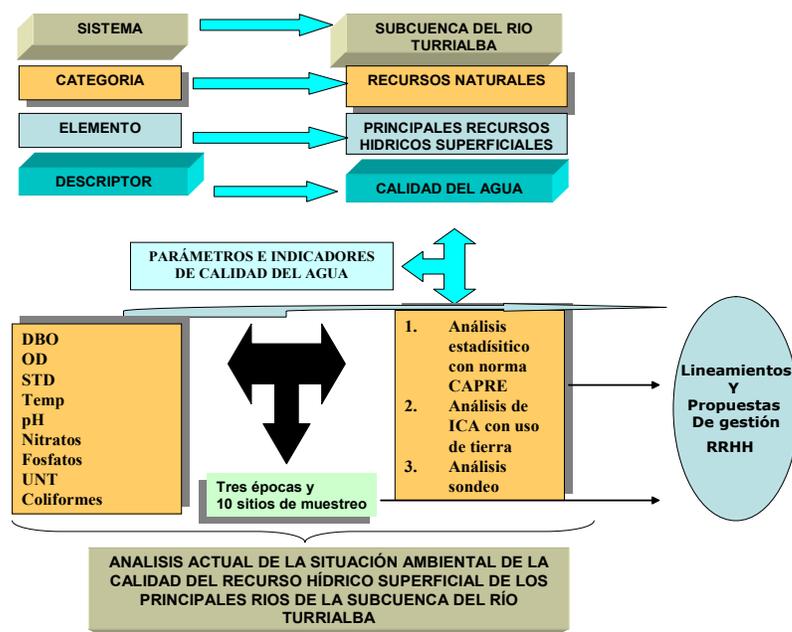
Se revisó, recopiló y seleccionó información secundaria de mayor importancia y relevancia relacionada con la subcuenca del río Turrialba, siendo esta la más adecuada para el mejor desempeño del presente trabajo académico científico. La información se analizó y luego se priorizó aquella que

estuviese relacionada específicamente con el recurso hídrico: hojas topográficas ISTARU y TUCURRIQUE (Escala 1:50000) editadas por el Instituto Geográfico Nacional (IGN), información climática del Instituto Meteorológico Nacional (IMN), mapas digitales elaborados en el marco del proyecto Terra (Escala 1:25000), mapas del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) y del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), información agrícola, pecuaria, social, económica, topografía, edafológica, climatológica, mapas cobertura y uso actual del suelo, trabajos científicos, tesis, artículos, revistas nacionales e internacionales sobre la zona de interés.

3.2.2. Metodología para la recolección de información primaria

Esta fase se desarrolló en varias etapas, donde el propósito era conocer con mayor detalle el estado actual de la calidad del agua de la subcuenca del río Turrialba, mediante la recolección de muestras de agua superficial en diferentes fechas y sitios, para sus posteriores análisis físicos, químicos y bacteriológicos. Se priorizaron aquellos sitios que se valoraron como representativos de fuentes de contaminación puntuales y no puntuales, y que pudieran estar representando la degradación del ecosistema acuático superficial, con el consiguiente peligro a la salud de la población y a la biota acuática. Se realizaron exploraciones y recorridos de campo en varias ocasiones para validar la información biofísica obtenida durante la recolección de información secundaria. Esto nos fue de mucha ayuda para ubicar los sitios definitivos para los muestreos de agua. En la figura 2 encontraremos los pasos metodológicos aplicados en el presente trabajo de investigación para el cumplimiento de los cuatro objetivos específicos y el objetivo general planteado.

Figura 2. Esquema metodológico general para el cumplimiento de los objetivos específicos y general



O.E. 1: Analizar la calidad del agua superficial por medio de parámetros físicos, químicos y bacteriológicos

Análisis descriptivo de la red hídrica de la subcuenca del río Turrialba

La subcuenca del río Turrialba se ubica en la cuenca del Reventazón. Esta formada por una extensa red hídrica constituida por ocho ríos principales que se conectan directamente al río Turrialba. Desde el punto de vista del patrón de la red de drenaje, tiene un orden dendrítico, propio de ríos montañosos, con fuertes pendientes, originando un flujo supercrítico, predominando los procesos de socavación en los cauces y taludes de aquellos ríos con carencia o poca vegetación riparia. Los ríos de mayor dimensión en la subcuenca, son el río Turrialba y Aquiares. Algunos de los ríos que forman parte de este sistema hídrico encontramos al río Playas, río Colíblanco, río Jesús María, río Esmeralda, río La Roncha, río Colorado, río Quebrada Grande, río Azul.

Esta subcuenca se caracteriza por una buena presencia de aguas superficiales, los ríos y sus afluentes mantienen el caudal durante todo el año. La presencia de caudal constante en los ríos se debe a la naturaleza misma de las condiciones climatológicas, hidrogeológicas y geomorfológicas; permitiendo recarga acuífera y un flujo de agua hacia las partes más bajas, donde la pendiente juega una función importante, siendo una de las características que permite la presencia de agua en la red hídrica todo el tiempo. Esta recarga se debe principalmente a tres mecanismos; el aporte del entorno boscoso, el material litológico y geomorfológico, áreas de zonas aluviales, todas las anteriores permiten la infiltración y percolación a las capas sub-superficiales de los suelos.

Este sistema hídrico al igual que otros de la zona es de mucha importancia al proveer de muchos beneficios a la zona y al país. En caso particular es de gran importancia en la generación hidroeléctrica, ecoturismo, recreación y la más importante se refiere a la fuente de abastecimiento para consumo humano. Es notoria que muchas actividades antropogénicas causan un impacto ambiental negativo a la calidad del agua superficial; principalmente observamos que el aumento de la población en la parte baja, donde se encuentra concentrada la población, lleva un aumento en la producción de desechos sólidos y líquidos, provocando el deterioro ambiental de los recursos hídricos superficiales de la subcuenca del río Turrialba, afectando la calidad, cantidad y disponibilidad del agua para otros usos, aguas abajo.

Descripción general de los principales ríos que drenan al río Turrialba

El río Turrialba nace en las cercanías del volcán Turrialba cerca de un sitio llamado La Esperanza; aproximadamente a una altura de 2750 msnm. En este punto donde nace es alimentado por tres tributarios o ríos que nacen al pie del volcán. La topografía es muy escarpada y existe vegetación

múltiestrato que influye en el mantenimiento del caudal, régimen de precipitación y temperatura y la cantidad de oxígeno disuelto. Se le puede considerar como zona esponjosa, de recarga acuífera por efecto del tipo particular de vegetación, permitiendo infiltración y percolación en dirección sub superficial y subterránea, facilitando y permitiendo afloramientos de manantiales aguas abajo. Finalmente el río Turrialba, se le une al río Reventazón, en el sito llamado del Bajo Chino.

El río Colíblanco, tiene una longitud de 8,75 Km El río Colíblanco nace en las cercanías de finca Los Guarumos a una altura promedio de 2680 msnm, pasando por la hacienda Colíblanco, San Rafael de Irazú, hacienda Los Alpes, Montivan hasta que finalmente se conecta al río Turrialba a una altura de 1400 msnm.

El río Playas tiene una longitud en su cauce principal de 18,62 Km Nace en las inmediaciones de la hacienda San Miguel, a una altura de 2650 msnm, localizada en la parte alta de la subcuenca del río Turrialba. Recibe dos tributarios antes de su llegada al río Turrialba. Uno de ellos viene de la finca Colinegro y desemboca a la altura de 1760 msnm al río Playas. Al igual que el río Turrialba y Colíblanco el caudal de este río es interceptado por la planta hidroeléctrica de Junta Administradora de Servicios Eléctricos de Cartago (JASEC).

El río Jesús María tiene una longitud de 10,54 Km Nace en la parte alta de la subcuenca del río Turrialba, a una altura de 2600 msnm en las proximidades de la hacienda La Reunión, finca Santa Ana, hacienda Palmira y La Pastora. Aproximadamente a la altura de 1440 y 1340 msnm respectivamente, el río Jesús María recibe la influencia de dos quebradas. De igual manera, aguas abajo, cerca de la hacienda Aquiares, las quebradas Cecilian, quebrada Mejías, quebrada Manzanas se le unen al río principal Jesús Maria. Estas tres últimas quebradas nacen entre los 1200 y 1300 msnm. Finalmente el río Jesús María desemboca en el río Turrialba a 1000 msnm, en la finca de Aquiares.

El río Aquiares nace en la parte alta cerca del volcán Turrialba. Este río es alimentado por cuatro quebradas, principalmente en la parte alta de la subcuenca. El recorrido de este río es paralelo al río Turrialba, desemboca en la parte baja de la subcuenca, en las inmediaciones de la ciudad de Turrialba. Otra de las quebradas que forman parte de red hídrica, son el río San Rafael, quebrada río Claro, quebrada Verbena Sur y Verbena Norte.

El río Esmeralda con una longitud del río de 4,19 km Tiene varios ríos de pequeño recorrido que desembocan directamente al río Turrialba. Uno de estos efluentes, es el río Zetillal nace a 1540 msnm desembocando al río Turrialba a una altura de 1000 msnm; drenando en el río Turrialba. Antes de llegar al río Turrialba la quebrada Zetillal es alimentada por un río que nace a una altura de 1340

msnm cerca de una finca llamado El Sitio y se une al río Turrialba a los 1190 msnm. El río de La Roncha, forma parte de esta red hídrica, nace en las inmediaciones de la finca cafetalera La Roncha. El río Serreno nace en la finca Santa Ana, a una altura de 2100 msnm, su recorrido es próximo a la hacienda La Trinidad y Hacienda Beatriz. Desemboca en el río Turrialba a una altura de 1460 msnm. Así mismo se encontró una quebrada que nace a una altura de 1620 msnm, cerca de la finca Santa Teresa, desembocando directamente al río Turrialba, a una altura de 1180 msnm.

Los ríos que se encuentran en la parte baja, reciben mayor impacto ambiental negativo por las urbanizaciones. Especialmente el río Colorado que tiene una longitud de 8,85 Km. Cruza la ciudad de Turrialba. Tiene varios tributarios como la quebrada El Poró, quebrada San Pedro, quebrada Puente Vigas, quebrada Barahona. El río Colorado Nace en el Alto Victoria y se une al río Turrialba en la urbanización de San Rafael.

El río quebrada Grande nace en San Juan Norte, recibe aguas de varias quebradas entre ellas tenemos, Quebrada Túnel, Gamboa, Noche Buena. El río Quebrada Grande se une al río Turrialba en la parte baja del barrio de San Rafael. El río Azul, únicamente recibe aporte de una quebrada y algunos cauces intermitentes, en épocas de lluvia.

Definición de la población y la unidad muestral

La unidad objetivo que se muestreo fueron las corrientes de agua que están siendo afectadas por agentes contaminantes, especialmente de carácter antropogénico. Para la selección de los sitios exactos a muestrear, se consideró la red hídrica de la subcuenca. Cada sitio funcionó como estación de muestreo del agua superficial, y con influencia de variables biofísicas y antrópicas que influyen en la degradación de la calidad del agua como la pendiente, uso de la tierra, escorrentía, densidad poblacional, etc. Así como la identificación de fuentes puntuales y no puntuales de contaminación, principalmente (Steel y Torrie, 1998).

Se consideraron como fuentes puntuales de contaminación las descargas de aguas residuales que van directamente a los cuerpos de agua. Caso de las aguas de origen domiciliar, municipal, comercial y agroindustrial. En este caso las aguas residuales de los centros urbanos de Turrialba, Santa Rosa, Santa Cruz. Las fuentes de contaminación de origen no puntual son las aguas residuales procedentes de los terrenos agrícolas y ganaderos de la zona de estudio (Mendoza, 1996).

Frecuencia y muestreo de agua superficial

Se tomó una muestra de agua en cada estación de muestreo en tres épocas, con el propósito de encontrar tipos, niveles y agentes probables de contaminación. A esta dinámica de repetición de datos

en diferentes épocas se les llama pseudo-réplicas. Se consideró el acceso a los sitios durante las fechas de muestreos, representatividad y recursos financieros disponibles. Cada uno de las estaciones de muestreos se definieron como estaciones fijas de monitoreo, para analizar los cambios de la calidad del agua y el posible efecto de época y estación de muestreo (Steel y Torrie, 1998). A cada estación de muestreo se le ubicó su posición geográfica y altitud utilizando el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), posteriormente utilizando el Sistema de Información Geográfica (ArcView 3.3) fueron ubicados en el mapa digital de la subcuenca.

Para la ubicación de las estaciones de muestreo se decidió dividir el área de la subcuenca en parte alta, media y baja, de manera que se distribuyera 10 estaciones de muestreos, ubicando dos en la parte alta, tres en la media y cinco en la baja, de manera que se tuvieran puntos más representativos donde se concentra la mayor densidad poblacional. El propósito es analizar el comportamiento de los parámetros de la calidad del agua superficial, observar la tendencia de las concentraciones a medida que vamos aguas abajo. El criterio para la división de las tres partes de la subcuenca fueron diferencias altitudinales, subdividiendo el área de estudio en tres rangos. La parte baja va de los 580 a 800 msnm, la parte media de 800 a 1100 msnm y alta a las estaciones en alturas mayores de 1100 msnm. (Ver Cuadro 7). Las estaciones ubicadas en la parte baja considerando el orden de altitudes tenemos la (E-4) río Turrialba, (E-1) río Colorado, (E-3) río Turrialba, (E-9) río quebrada Grande y (E-8) río Aquiares. En la parte media se ubicaron tres estaciones de muestreos (E- 2) río Colorado, (E-5) río Turrialba y (E-6) río Jesús María. Y por último para la parte alta fueron dos estaciones (E-7) río Aquiares y (E-10) río Colíblanco.

El cuadro 4 nos presenta la ubicación geográfica de las estaciones de muestreo de agua distribuidas en las tres secciones baja, media y alta de la subcuenca del río Turrialba y en la figura 3, tenemos el mapa de ubicación geográfica de las estaciones en la subcuenca.

Cuadro 4. Ubicación geográfica de las estaciones de muestreo de agua en la subcuenca del río Turrialba

ID	Sitio	Elevación (msnm)	Subcuenca	Ubicación geográfica	
				Latitud	Longitud
E-4	Río Turrialba	640	Baja	09° 54' 17"	83° 41' 09"
E-1	Río Colorado	646		09° 54' 17"	83° 41' 09"
E-3	Río Turrialba	648		09° 54' 25"	83° 40' 58"
E-9	Río Quebrada Grande	653		09° 53' 59"	83° 40' 10"
E-8	Río Aquiares	668		09° 54' 17"	83° 41' 09"
E-2	Río Colorado	847	Media	09° 55' 48"	83° 42' 32"
E-5	Río Turrialba	848		09° 55' 50"	83° 42' 32"
E-6	Río Jesús María	1041		09° 56' 25"	83° 43' 34"
E-7	Río Aquiares	1481	Alta	09° 58' 07"	83° 44' 20"
E-10	Río Colíblanco	1600		09° 56' 56"	83° 45' 56"

Breve descripción biofísica de las estaciones de muestreo para analizar la calidad del agua superficial

Para la ubicación de los 10 sitios de muestreo de agua en la subcuenca del río Turrialba se realizó un análisis previo donde fuese posible la ubicación de los mismos, en las hojas cartográficas y topográficas ISTARU 3445 IV y TUCURRIQUE 3445 I; del Instituto Geográfico Nacional de Costa Rica. Posteriormente se procedió a la etapa de reconocimiento y exploración de campo, para comprobar que efectivamente la ubicación de los sitios a nivel de gabinete eran ideales para el cumplimiento de la investigación.

Descripción de las estaciones de muestreos considerando las diferencias altitudinales desde la Ciudad de Turrialba al Volcán Turrialba

Cuarta estación de muestreo (E-4) río Turrialba: ubicado en las inmediaciones de Turrialba Centro en la sección baja de la subcuenca del río Turrialba en las cercanías del puente las Monjas. Este sitio se encuentra rodeado por centros urbanos abundantes. Geográficamente se localiza a 640 msnm. Con una posición geográfica de $09^{\circ} 54' 22''$ de Latitud Norte y $83^{\circ} 40' 51''$ de Longitud Oeste.

Primera estación de muestreo (E-1) río Colorado: se encuentra ubicado en la sección baja de la subcuenca del río Turrialba, en las inmediaciones de Turrialba Centro. Este sitio presenta una elevación de 646 msnm. Las coordenadas geográficas corresponde a $09^{\circ} 54' 17''$ de Latitud Norte y $83^{\circ} 41' 09''$ de Longitud Oeste.

Tercera estación de muestreo (E-3) río Turrialba: ubicado aguas abajo y próximo a varios alcantarillados sanitarios y pluviales que van directo al río Turrialba, donde recoge las aguas servidas residuales y negras de un sector de Turrialba Centro. Esta es una fuente puntual de contaminación de mucha importancia, la carga contaminante es significativa. Localizado en las cercanías del puente las Monjas. Encontramos cerca urbanizaciones, siendo un foco de posible fuente de enfermedades epidemiológicas a la población. Las coordenadas geográficas corresponden a $09^{\circ} 54' 22''$ de Latitud Norte y $83^{\circ} 40' 51''$ de Longitud Oeste. Con una elevación de 648 msnm.

Novena estación de muestreo (E-9) quebrada río Grande: ubicado aguas abajo en las inmediaciones de las fincas experimentales del CATIE, encontrándose a un extremo izquierdo aguas arriba y al extremo derecho aguas arriba urbanizaciones. Se encuentra a una altura de 653 msnm, con las coordenadas geográficas de $09^{\circ} 53' 59''$ de Latitud Norte y $83^{\circ} 40' 11''$ de Longitud Oeste. La vegetación ribereña es de presencia media, se localizan algunas especies de árboles y arbustos.

Octava estación de muestreo (E-8) río Aquiares: ubicado aguas abajo y cerca del beneficio de la Isabel. Cerca de este sitio la cobertura de suelos existe la presencia de los sistemas agroforestales

principalmente con el cultivo del café, presencia de malezas en las orillas del cauce. La posición geográfica es de $09^{\circ} 55' 05''$ de Latitud Norte y $83^{\circ} 40' 42''$ de Longitud Oeste. Con una elevación de 668 msnm.

Segunda estación de muestreo (E-2) río Colorado: este sitio se ubica en la sección media de la subcuenca y sus terrenos se encuentra ocupados por plantaciones de café de la Hacienda Juan Viñas y la presencia de centros urbanos del Barrio El Poró y Colorado. La altura es de 847 msnm. Con una posición geográfica de $09^{\circ} 54' 42''$ de Latitud Norte y $83^{\circ} 42' 09''$ de Longitud Oeste.

Quinta estación de muestreo (E-5) río Turrialba: ubicado en la sección media de la subcuenca del río Turrialba específicamente en los terrenos de la finca cafetalera La Roncha. La cobertura de suelos es café en combinación con sistemas agroforestales (árboles de sombra y café con poro). En la margen derecha de este punto de muestreo, encontramos de igual manera plantaciones de café con sistemas agroforestales (café con Eucalyptus) La ubicación geográfica es de $09^{\circ} 55' 50''$ de Latitud Norte y $83^{\circ} 42' 32''$ de Longitud Oeste. Con una elevación de 848 msnm.

Sexta estación de muestreo (E-6) Río Jesús María: ubicado en la sección media de la subcuenca del río Turrialba, aproximadamente 500 metros aguas abajo de la urbanización de Aquiares. La elevación en este punto es de 1041 msnm y la posición geográfica es de $09^{\circ} 56' 25''$ de Latitud Norte y $83^{\circ} 43' 34''$ de Longitud Oeste. Previo al sitio de muestreo el río cruza las plantaciones cafetaleras de la finca Aquiares.

Séptima estación de muestreo (E-7) río Aquiares: ubicada en la sección alta de la subcuenca del río Turrialba. Se consideró este punto por la accesibilidad a la toma de muestra en las diferentes épocas de estudio. Se encuentra a una altura de 1481 msnm. La ubicación geográfica corresponde a $09^{\circ} 58' 07''$ de Latitud Norte y $83^{\circ} 44' 20''$ de Longitud Oeste. La cobertura vegetal que rodea a este sitio es ribereña abundante, y en la sección aguas arriba encontramos pastos con árboles muy dispersos y la presencia de algunos sectores urbanos.

Décima estación de muestreo (E-10) río Colíblanco: ubicada en la sección alta de la subcuenca del río Turrialba, en las proximidades del puente en dirección a Capellades, se consideró este punto por la accesibilidad a la toma de muestra en las diferentes épocas de estudio. La ubicación geográfica corresponde a $09^{\circ} 56' 56''$ de Latitud Norte y $83^{\circ} 45' 56''$ de Longitud Oeste. Este sitio esta rodeado por vegetación ribereña secundaria, árboles y arbustos de abundante a semi abundante, aunque se observan aguas arriba pasturas con árboles dispersos. La altura de este es de 1600 msnm.

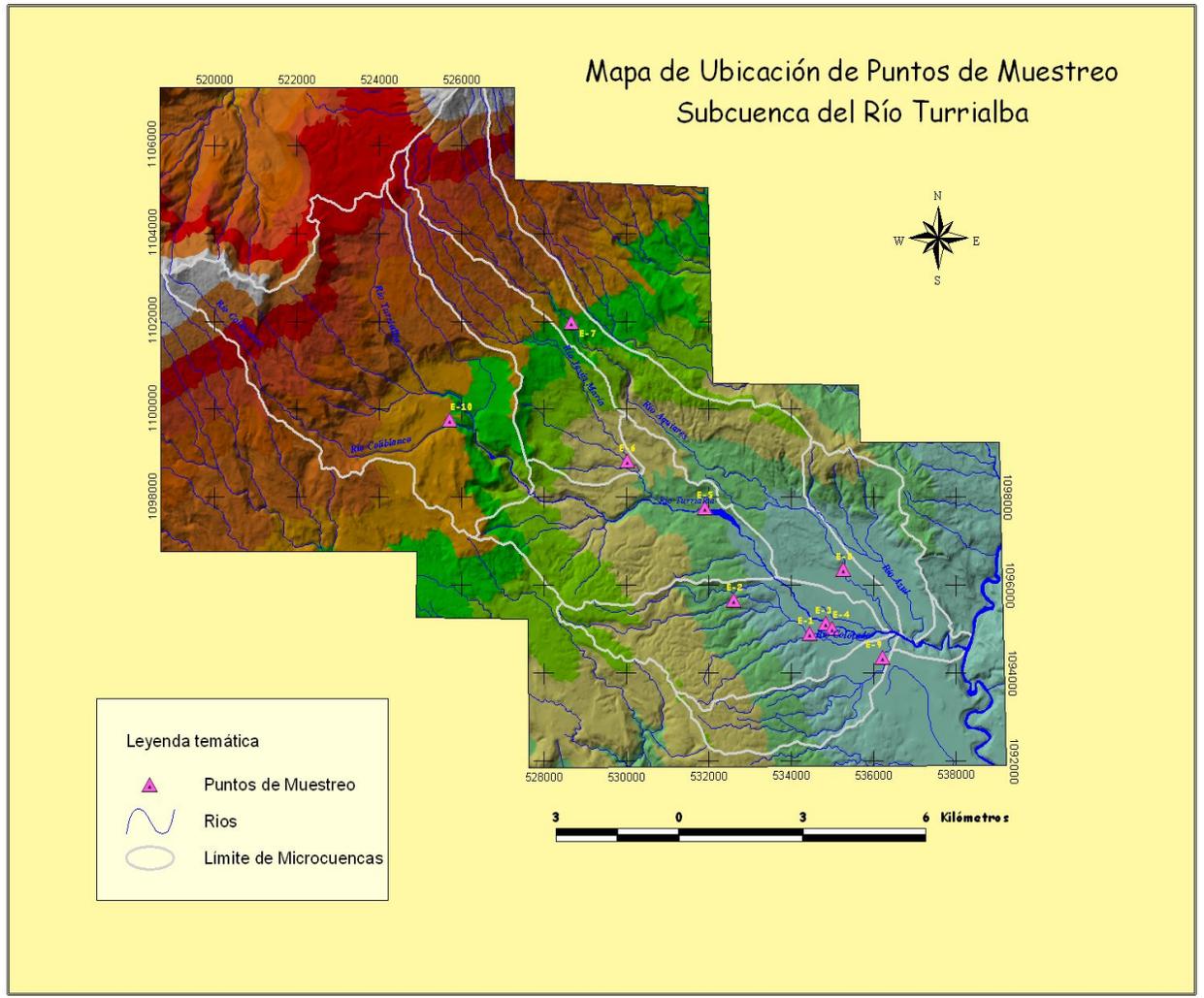


Figura 3. Mapa de los sitios de muestreo de aguas superficiales

El primer muestreo se realizó en el mes de mayo, el segundo en agosto y el tercero en el mes de noviembre. Para la selección de las fechas de muestreo se tomaron en cuenta criterios como; dinámica de lluvias, actividades de los sistemas de producción y de preparación de la tierra. Por cada fecha de muestreo se tomaron diez muestras, al final se obtuvo un total de 30 muestras por las tres fechas de muestreos, ver información (cuadro 5).

Cuadro 5. Número y frecuencias de muestras de agua en la subcuenca del río Turrialba

Sitios de muestreos	Mes de muestreo	Frecuencias de muestreos	Subtotal de muestras	Total de muestras
10	mayo	primera	10	30
10	agosto	segunda	10	
10	noviembre	tercera	10	

Control de calidad aplicada a las tomas de muestras de agua

Las muestras de agua se tomaron siguiendo las recomendaciones de control y protocolo del Laboratorio de Servicios Químicos y Microbiológicos (CEQIATEC), del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITC), específicamente según el manual de procedimientos de muestreo químico (CQ-PM-QUI-11) los que garantiza la confiabilidad de los resultados obtenidos. El tipo de muestreo realizado en cada sitio se identifica como estación de monitoreo fija, siendo cada muestra de agua individual y simple.

Las muestras de agua recolectadas para el análisis físicos y químicos, se depositaron en botellas plásticas y vidrio; con capacidad de uno y dos litros. En el caso de las muestras de agua para análisis bacteriológico, se utilizaron bolsas de polietileno esterilizadas. Inmediatamente estas muestras de agua se almacenaron y conservaron en hieleras para evitar o minimizar cualquier alteración a las propiedades de la muestra, hasta llegar al laboratorio, para iniciar el proceso analítico de los parámetros que se estaba interesado en evaluar.

Metodología para análisis de laboratorio

La metodología empleada a cada una de las muestras de agua, para los diferentes análisis es la que utiliza el laboratorio CEQIATEC del Instituto Tecnológico de Cartago; Costa Rica, considerando la metodología recomendada del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20th ed. 1998-. APHA-AWWA-WEF, de los Estados Unidos de América. Estos análisis son acreditados en análisis químicos y microbiológicos de aguas potables y residuales ante el Ente Costarricense de Acreditación, según la Norma ISO 17025.

El análisis de turbidez se realizó por medio del instrumento conocido como turbidímetro nefelométrico. Para la detección de bacterias coliformes la técnica usada, fue la de N.M.P. (Número Más Probable), por medio de tubos múltiples. En el análisis de los sólidos totales disueltos, medición del pH y porcentaje de oxígeno disuelto se usó el potenciómetro electrónico. En el caso de la demanda bioquímica de oxígeno se utilizó el método del periodo de incubación. La metodología aplicada para medir la temperatura fue directamente al nivel de campo. Para su medición se utilizó el termómetro de precisión con columna de mercurio, con capacidad para medir temperatura entre $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

El termómetro era colocado en el agua directamente haciéndose varias veces las mediciones para minimizar errores y varianzas, cabe aclarar que en esta medición influye mucho la temperatura ambiental del aire al momento de la medición, la altura del punto de muestreo y la vegetación ribereña. A continuación en el cuadro 6 se presenta un resumen de los métodos utilizados para el análisis del agua.

Cuadro 6. Métodos utilizados para el análisis de los parámetros de calidad del agua

Parámetros	Unidades	Método Utilizado
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	Incubación
Oxígeno disuelto	% saturación	Potenciómetro electrónico
Sólidos totales disueltos	mg/l	
pH	Unidades de pH	
Temperatura	°C	Termómetro de precisión
Nitratos	mg/l	Titulación visual y alineación (kjedahl)
Fosfatos	mg/l	Espectrofotometría
Turbidez	UNT	Turbidímetro nefelométrico
Coliformes fecales	NMP/100 ml	Tubos múltiples

El análisis estadístico para la calidad del agua se ejecutó por medio de los programas estadísticos InfoStat y SAS. A cada uno de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos para valorar el estado de la calidad del recurso superficial, se realizaron análisis de varianza (ANDEVA), pruebas de DUNCAN, donde el diseño estadístico fue de bloques completamente aleatorizado, con estructura factorial de tratamientos. (InfoStat, 2003).

El modelo utilizado consideró el efecto de la época de muestreo, es decir los tres meses de muestreo (mayo, agosto y noviembre) de las estaciones de muestreos distribuidos en la subcuenca del río Turrialba, de manera que se logre cubrir ríos cercanos al volcán hasta los que están ubicados aguas abajo, donde se ubica la ciudad de Turrialba. Además se utilizó la prueba de rangos múltiples de Duncan, para el análisis de las medias al nivel de las épocas. Para cada uno de los parámetros estudiados se tiene un tamaño muestral de n=30. Ver (Anexos 1). Resultados de los Análisis de Varianza (ANDEVA).

El análisis de la información obtenida sobre la calidad del agua se realizó mediante el análisis de la varianza (ANDEVA) utilizando el modelo matemático estadístico siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \mu_i + e_{k(ij)}$$

Donde: Y_{ijk} : calidad del agua

μ_i : efecto de medición (mayo, agosto, noviembre)

μ : media general

$e_{k(i)}$: error de medición

O.E. 2. Caracterizar las aguas superficiales utilizando el índice de calidad del agua (ICA)

La metodología utilizada para el análisis de la calidad del agua es la propuesta por la Fundación Nacional de Sanidad de los Estados Unidos, conocida como el índice de calidad del agua (ICA-FNS). En total son nueve los indicadores de calidad del agua (ICA) para caracterizar el agua superficial de la subcuenca del río Turrialba, estos son los siguientes: oxígeno disuelto, pH, temperatura, nitratos, fosfatos, demanda bioquímica de oxígeno, sólidos totales disueltos, coliformes fecales y turbidez (Mitchell *et al*, 1991).

Cada uno de los resultados índices de calidad del agua se registraron y se transfirieron a unos gráficos de curvas de manera individual, los índices se localizan en el eje de la X y el valor numérico Q se localiza en el eje de las Y. Posteriormente interceptamos las dos anteriores, por medio de una curva que la definimos como curva de peso, donde se le definió un valor numérico. Este valor numérico llamado Q, se multiplicó por un número identificado como factor de revisión por cada prueba de calidad que proporciona una medida relativa de la importancia de la prueba a la calidad del agua. Finalmente se realizó a las nueve pruebas o parámetros, la sumatoria total para encontrar el valor índice de la calidad del agua (ICA).

En cada sitio de muestreo se determinó el índice de la calidad del agua. Los cálculos se realizaron empleando las curvas desarrolladas por la Fundación Nacional de Sanidad, para encontrar el valor del subíndice “i” de cada parámetro, el cual se obtiene del eje central de las ordenadas. Estas curvas relacionan la calidad del agua con respecto a la concentración del indicador o contaminante. El cálculo final se realizó utilizando la siguiente formula:

$$ICA = \sum_{i=1}^n W_i \times I_i$$

Donde W_i : Peso del i-esimo parámetro

I_i : Valor del sub-índice del i-s-esimo parámetro

Significado de cada variable utilizada en el valor índice de la calidad del agua (ICA)

- ICA: índices de la calidad del agua, valor entre 0 y 100
- Sub i: subíndice de la variable o parámetro i (oxígeno disuelto, pH, temperatura, nitratos, fosfatos, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), sólidos totales disueltos, coliformes fecales y turbidez) obtenidos en la curva de aptitud, que oscila entre 0 y 100.
- X: operación multiplicativa
- n: número de variables del análisis de contaminación
- W_i : peso o importancia ambiental del parámetro i, entre 0 y 1; $\sum_{i=1}^n$ Ver información en cuadro 7.

Cuadro 7. Pesos asignados a los indicadores de la calidad del agua según la Federación Nacional de Seguridad de los Estados Unidos de América (ICAFNS-USA).

Parámetros	Unidad	Valor medido	Factor de peso (Wi)	Valor Q	Total (W*I)
Demanda bioq de oxígeno	mg/l		0.11		
Oxígeno disuelto	% saturación		0.17		
Sólidos Totales Disueltos	mg/l		0.07		
pH	Unidad de pH		0.11		
Temperatura	°C		0.10		
Nitratos (NO ₃)	mg/l		0.10		
Fosfatos (PO ₄)	mg/l		0.10		
Turbidez	UNT		0.08		
Colif fecales	NMP/100 ml		0.16		
Total ICA					

Valor final del índice de calidad del agua: (subíndice oxígeno disuelto) 0.17 + (subínd coliformes fecales) 0.15+ (subínd potencial de hidrógeno) 0.12 + (subínd demanda bioquímica de oxígeno) 0.10+ (subíndnitratos) 0.10 + (subínd fosfatos) 0.10 + (subínd temperatura) 0.10 + (subínd turbidez) 0.08 + (sub índ sólidos totales disueltos) 0.08.

El valor que se obtiene es un índice de carácter general, orientado hacia aguas con potencial para abastecimiento humano, incorpora el efecto de sustancias de naturaleza tóxica como plaguicidas o metales pesados. La transformación de los valores asumidos por los parámetros en subíndices, se caracteriza por un rango que va de 0 (nivel mínimo de la calidad del agua) a 100 (nivel máximo de la calidad del agua). En el cuadro 8 encontramos la clasificación de la calidad del agua superficial de acuerdo a los rangos y valores índices de calidad de agua de acuerdo a la Fundación Nacional de Sanidad del los Estados Unidos de América.

Cuadro 8. Clasificación y rangos del índice de la calidad del agua de la Fundación Nacional de Sanidad

Rangos de Sumatorias y clasificación del índice de calidad del agua (ICAFNS) USA			
Rango ICA	Clasificación	Color	Etiqueta
91 - 100	Excelente	Azul	
71 – 90	Buena	Verde	
51 – 70	Regular	Amarillo	
26 – 50	Pobre	Naranja	
0 – 25	Muy pobre	Rojo	

O.E. 3: Analizar por medio de un sondeo exploratorio general a un grupo poblacional, los niveles de conocimiento y percepción sobre la situación ambiental del agua.

Se realizaron sondeos algunos informantes claves institucionales tomando como criterio aquellas instituciones relacionadas de alguna manera al medio ambiente y los recursos naturales de la subcuenca del río Turrialba. Además se enfatizó y tomo muy en cuenta el interés de la persona sobre la situación ambiental de la subcuenca del río Turrialba, particularmente en la situación del recurso hídrico como persona y profesional. Entre las instituciones consultadas figuran; el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), Instituto Costarricense de Electricidad (UMCRE-ICE), Instituto de Desarrollo Agrario (IDA), Ministerio de Salud (MINS), Ministerio de Educación Pública (MEP), Municipalidad de Turrialba, Área de Salud de la Caja Costarricense del Seguro Social (CCSS), Consejo Nacional de la Producción (CNP), Instituto Costarricense del Café (ICAFE).

La mecánica aplicada fue en calidad de conversación libre, donde cada persona consultada tenía la opción de libre expresión. Al menos se trato de conversar con dos personas de cada institución antes mencionada, ya que era difícil contar con el apoyo de todos los funcionarios, por estar ellos la mayor parte del tiempo ocupado en actividades laborales. Es importante aclarar que las preguntas eran abiertas y sencillas (ver sección anexo 4). La cantidad total de personas entrevistadas fueron 15 entre las diferentes instituciones.

Se realizaron sondeos de carácter general y exploratorios algunos pobladores, con el propósito de tener una panorámica general exploratoria de los niveles de conocimiento por individuo sobre la percepción de la problemática ambiental de la subcuenca del río Turrialba, principalmente en la calidad del agua (ver sección anexo 4). La muestra definida fue de 300 individuos tomando en consideración aspectos como el tiempo prestado de la persona, factor económico de esta actividad, el tiempo límite destinado a la etapa de campo y finalización de la maestría. Por las razones anteriores anunciadas se consideró la categoría de sondeo exploratorio; donde diera una idea general sobre el tema en investigación, en cuanto al nivel de conocimiento de los pobladores. En la medida de lo posible, se realizó las consultas a personas que tuvieran en nivel primaria aprobada, mayor de 15 años de edad y que tuvieran un mínimo de 5 años continuos de vivir en Turrialba.

Al sondeo se le aplicó análisis estadístico de la prueba de chi cuadrado usando el programa estadístico de SAS e InfoStat para observar el comportamiento de cada individuo con respecto a cada pregunta, de manera que se conozca los diferentes niveles de conocimiento sobre la situación ambiental de la subcuenca del río Turrialba, particularmente el tema de la calidad del agua.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

0E.1. Analizar la calidad del agua superficial por medio de parámetros físicos, químicos y bacteriológicos.

4.1. Análisis de los valores promedios estadísticos de los parámetros de la calidad del agua superficial por estación de muestreo ubicadas en la subcuenca del río Turrialba, comparando con la norma CAPRE

Con base a los resultados de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos practicados al agua superficial de la estación de muestreo (E-4) ubicada en el río Turrialba, el cuadro 9 nos presenta las concentraciones mensuales y el promedio por cada parámetro, permitiéndonos realizar la comparación con los valores recomendados por la norma CAPRE para agua de consumo humano. Es notable que de los nueve parámetros cuatro superaron los valores de la norma. Siendo la demanda bioquímica de oxígeno, fosfatos, turbidez y coliformes fecales. No obstante los siguientes parámetros oxígeno disuelto, sólidos totales disueltos, pH, temperatura y nitratos no superaron los valores CAPRE, por lo que no hay problema para estos cinco parámetros de los nueve definidos.

Cuadro 9. Análisis de los promedios de la calidad del agua de la estación de muestreo (E-4) río Turrialba

Parámetro	Mayo	Agosto	Nov	Promedios	Desviación Estándar	C.V.	Norma CAPRE	
							VRO	VMT
DBO (mg/l)	7.8	9.4	6.2	7.8*	1,60	20,51	≤ 2	2,5 a 4
OD (mg/l)	8.77	9.34	8.34	8.8	0,50	5,68	≥ 5	≤ 4
STD (mg/l)	170	242	210	207.33	36,07	17,39	≤ 300	≤ 1000
pH (unidades)	8.34	7.81	8.69	8.28	0,44	5,35	6,5 – 8,5	≤ 8,5
Temp (°C)	21.4	24.5	23.7	23.2	1,6	6,94	18 - 30	≤ 30
Nitratos (mg/l)	3.13	2.90	3.2	3.08	0,16	5,10	≤ 5	≤ 10
Fosfatos (mg/l)	0.96	84.00	2.6	29.19*	47,65	164,37	≤ 0,01	≤ 5
Turbidez (UNT)	21.00	8.00	1.3	10.10*	10,02	99,17	≤ 1	≤ 3
Colif. fecales	7500	11000000	1100	3669533.3*	6348371,16	173,00	0	0

Legenda: V.R: valor recomendado

V.M.T: valor mínimo tolerable

*: medias superadas por CAPRE

En el caso de la DBO media (7,8 mg/l) supero a la recomendación máxima tolerable (4 mg/l), evidenciando que en este punto de muestreo se da contaminación por material orgánico biodegradable, encargándose de la descomposición de la materia orgánica presente en el agua las bacterias aeróbicas, consumiendo oxígeno en la descomposición. Para el segundo parámetro que superó su valor medio (29,19 mg/l) en cuanto a la norma máxima tolerable (5 mg/l) nos referimos a los fosfatos, particularmente en este caso se debe al gran aporte de las aguas residuales de origen doméstico (jabonosas o grises). Otro factor importante es el carácter de ubicación en este punto de muestreo presentándose un efecto acumulativo de las descargas de aguas residuales comerciales.

El comportamiento de los niveles de turbidez media en este punto de muestreo (10,1 UNT) superó el valor máximo tolerable de CAPRE (3 UNT). Como consecuencia los niveles altos de turbidez conllevan a que el agua pierde la habilidad de tener mayor diversidad de vida acuática, provoca un aumento en la temperatura y peor es el caso que la presencia de gran cantidad de partículas facilita que microorganismos patógenos se oculten y el proceso de desinfección no tengan los efectos adecuados. Desde el punto de vista bacteriológico la media evidentemente superó lo recomendado por la norma CAPRE (negativo) por lo que especialmente desde este parámetro el agua en este sitio no califica para uso humano.

Un detalle importante considerando las concentraciones mensuales, tenemos que en mayo (7,500 NMP/100 ml), según el reglamento de Normas o criterios microbiológicos y valores admisibles para clasificar la calidad del agua potable, riego, recreación, acuicultura de Costa Rica (Cuadro 2), nos dice que con la concentración anterior puede ser usada para contacto terciario (paisajístico). Así mismo al considerar la concentración del mes de noviembre (1100 NMP/100 ml), además de considerarse potencialmente el uso anterior, puede darse el uso por contacto secundario (navegación) donde el reglamento anterior pide una concentración de 5000 NMP/100 ml.

El cuadro 10 nos detalla las concentraciones mensuales y el promedio por parámetros de la calidad del agua superficial para la estación de muestreo (E-1), ubicada en el río Colorado. Notamos que los parámetros que presentaron medias que superan a la norma CAPRE en la estación (E-4) son los mismos que se mantiene en esta. Los parámetros que no superan los valores de la norma CAPRE tenemos a bien mencionar son oxígeno disuelto, sólidos totales disueltos, pH, temperatura y nitratos. No así el caso de la demanda bioquímica de oxígeno, fosfatos, turbidez y coliformes fecales.

Cuadro 10. Análisis de los promedios de la calidad del agua de la estación de muestreo (E-1) río Colorado

Parámetro	Mayo	Agosto	Nov	Promedio	Desviación Estándar	C.V.	Norma CAPRE	
							VRO	VMT
DBO (mg/l)	11.4	10.9	6.2	9.5*	2,92	30,91	≤ 2	2,5 a 4
OD (mg/l)	8.09	9.36	8.3	8.6	0,67	7,82	≥ 5	≤ 4
STD (mg/l)	94	130	222.0	148.67	66,01	44,40	≤ 300	≤ 1000
pH (unidades)	8.07	7.75	8.0	7.95	0,17	2,22	6,5 – 8,5	≤ 8,5
Temp (°C)	25.2	24	23.7	24.3	0,79	3,26	18 - 30	≤ 30
Nitratos (mg/l)	4.80	4.27	4.2	4.42	0,45	10,46	≤ 5	≤ 10
Fosfatos (mg/l)	0.28	95.00	7.1	34.13*	53,59	161,6	≤ 0,01	≤ 5
Turbidez (UNT)	14.00	13.20	4.2	10.47*	4,00	35,43	≤ 1	≤ 3
Colif. fecales	11000	1500000	4600000	2037000.0*	2341155,06	114,9	0	0

Leyenda: V.R: valor recomendado

V.M.T: valor mínimo tolerable

*: medias superadas por CAPRE

Para la DBO media del cuadro 11 (9,5 mg/l) supera el valor máximo tolerable (4 mg/l) recomendado por CAPRE. Es conocido que las aguas con una DBO menor de 4 mg/l son consideradas

razonablemente limpias. Sin embargo reconocemos que los recursos superficiales (ríos) son los que por cultura de la población les consideran como vertederos de desechos líquidos y sólidos, incrementando donde existe alta densidad poblacional.

El segundo parámetro que se encuentra superando el valor máximo tolerable de CAPRE (5 mg/l), se refiere al fosfato resultando un valor medio de (34,13 mg/l). La presencia de este elemento en las aguas superficiales es resultado de las descargas de aguas residuales domésticas, donde se encuentran productos a base de fósforo como los detergentes utilizados ampliamente en labores de hogares. Así como en las aguas negras de locales comerciales, actividades agrícolas y ganaderas, donde utilizan productos químicos donde el principal elemento es el fósforo.

La dinámica en cuanto a la concentración media (10,47 UNT) de los niveles de turbidez, supera el valor máximo que la norma CAPRE tolera (3 UNT). Es evidente según el cuadro (11) que la concentración encontrada en cada mes supero el valor antes mencionado, siendo el menor nivel de turbidez encontrado en el mes de noviembre (4,2 UNT). Es importante mencionar que en este punto la sinuosidad del cuerpo de agua influye en la presencia de sustancias o elementos que influyen en la turbidez en la columna de agua por su dinámica hídrica en cuanto al movimiento se refiere.

Según las concentraciones de coliformes fecales de los tres meses de muestreos notamos que no califican para ser apta al consumo humano de acuerdo a la norma CAPRE, esta nos recomienda que el agua que se pretende potencializar para este fin, la presencia de estos organismos bacteriológicos debe ser negativa. En el caso de ser considerada para otros usos como el riego la máxima que se tolera es de 1000 NMP/100 ml. Sin embargo observemos la concentración de mayo fue de 11000 NMP/100 ml, esta próximo para el uso de recreación o paisaje, donde el reglamento dice que una concentración de 10000 NMP/100 ml (cuadro 2), es recomendable, superando este requisito ambiental de calidad.

Según los resultados presentados en el cuadro 12, cuatro parámetros se encuentran superando los valores de la norma CAPRE (DBO, fosfatos, turbidez y coliformes fecales) es evidente que las tasas de demanda de oxígeno son altas, es decir cuando un cuerpo de agua presenta una tasas mayor o cercana a 10 mg/l de DBO, se define como un cuerpo de agua altamente contaminadas producto de altas cantidades de material orgánico biodegradable. Se observó durante la recolección de las muestras de agua que el agua presentaba material orgánico en estado de degradación (desechos sólidos) aportado por fuentes contaminantes de origen puntual aguas arriba (colectoras de aguas pluviales y alcantarillado sanitario).

Cuadro 11. Análisis de los promedios de la calidad del agua de la estación de muestreo (E-3) río Turrialba

Parámetro	Mayo	Agosto	Nov	Prom	Desviación Estándar	C.V.	Norma CAPRE	
							VRO	VMT
DBO (mg/l)	19.0	9.5	15.8	14.8*	4,83	32,7	≤ 2	2,5 a 4
OD (mg/l)	8.38	9.34	8.30	8.7	0,57	6,67	≥ 5	≤ 4
STD (mg/l)	216	235	248	233.0	16,09	6,90	≤ 300	≤ 1000
pH (unidades)	7.27	7.33	7.42	7.34	0,07	1,02	6,5 – 8,5	≤ 8,5
Temp (°C)	23.7	25	23.9	24.2	0,70	2,89	18 - 30	≤ 30
Nitratos (mg/l)	4.40	3.65	3.7	3.92	0,42	10,70	≤ 5	≤ 10
Fosfatos (mg/l)	2.44	650.00	34.2	228.8*	365,04	159,4	≤ 0,01	≤ 5
Turbidez (UNT)	5.50	15.03	12.3	10.94*	4,90	44,84	≤ 1	≤ 3
Colif. fecales	110000	1500000000	46000000	515,370 000.*	853023242	165,51 66	0	0

Legenda: V.R: valor recomendado

V.M.T: valor mínimo tolerable

*: medias superadas por CAPRE

La presencia de los altos niveles de fosfatos en esta estación de muestreo (228 mg/l) con respecto al valor máximo tolerable de la norma CAPRE (5 mg/l), era de esperarse ya que tenemos influencia aguas arriba por descarga de aguas residuales (grises y negras) de varias colectoras que arrastran aguas pluviales y de alcantarillados sanitarios. Por la cercanía de la población a la estación de muestreo se presenta al igual que las dos estaciones anteriores un tipo particular de contaminación química causada por los detergentes domésticos e industriales, ya que estos se forman por un producto base o principio activo que llega a formar el 30% del producto activo hablamos del fósforo. La presencia de este elemento en el agua se debe a la composición química, que en su mayoría, contienen polifosfatos o fosfatos. Así mismo los desechos sólidos (aguas negras) contienen altas concentraciones de fósforo soluble (ortofosfatos).

El cuadro anterior encontramos que la turbidez media (10,9 UNT) encontrada supero la norma máxima tolerable por CAPRE (3 UNT). La turbidez se debe a la presencia de partículas orgánicas e inorgánicas presentes en la muestra o columna de agua, causada por diferentes sustancias que entran en la corriente de agua. En este caso considerando la alta concentración de fosfatos viene acompañada de sales alcalinas que se disuelven fácilmente en el agua. Además, otro tipo de partículas que influyen en la turbidez está relacionada a la materia orgánica en suspensión y material coloidal de suelos como arcilla, limo, que impacta en la estética del cuerpo de agua y provocando una alta demanda bioquímica de oxígeno.

En referencia a la contaminación bacteriológica por coliformes fecales es evidente que no cumple con los requerimientos para consumo humano de los valores de la norma CAPRE. Observamos en el cuadro (12) que la concentración menor se registra para el mes de mayo con 110000 NMP/100 ml. Considerando otros usos potenciales como el riego, recreación y acuicultura según (cuadro 2) de normas o criterios microbiológicos las concentraciones mensuales superan los valores CAPRE. Estas

altas concentraciones dejan el descubierto la baja cobertura de adecuados sistemas sanitarios (aguas negras) de la población de Turrialba.

Los resultados presentados en el cuadro 12 donde se muestran las concentraciones mensuales y el promedio de los parámetros que califican la calidad del agua superficial de la estación de muestreo del río Quebrada Grande, notemos que el patrón de comportamiento de los parámetros que superaron los valores recomendados por la norma de CAPRE son los mismos cuatro antes mencionados. Siendo la demanda bioquímica de oxígeno con un promedio fue de 7,8 mg/l, superando la norma (4 mg/l). En lo que respecta al segundo parámetro que supera el valor máximo tolerable (5 mg/l) es el fosfato, resultando una media de (24,23 mg/l). En este caso tenemos una particularidad en cuanto a las concentraciones mensuales, y nos referimos que el mes de agosto fue el que supero la norma con una diferencia muy marcada (68.00 mg/l) con relación a los otros dos meses de estudio. Posiblemente este resultado se debe a la posible descarga de aguas jabonosas poco antes de la hora de muestreo por la población asentada en la cercanía de las márgenes del cuerpo de agua.

Cuadro 12. Análisis de los promedios de la calidad del agua de la estación de muestreo (E-9) río Quebrada Grande

Parámetro	Mayo	Agosto	Nov	Promedio	Desviación Estándar	C.V.	Norma CAPRE	
							VRO	VMT
DBO (mg/l)	8.2	9.0	6.2	7.8*	1,49	19,28	≤ 2	2,5 a 4
OD (mg/l)	8.72	9.36	8.32	8.8	0,52	5,96	≥ 5	≤ 4
STD (mg/l)	123	101	100	108.00	64,45	43,35	≤ 300	≤ 1000
pH (unidades)	8.42	7.53	7.91	7.95	0,44	5,61	6,5 – 8,5	≤ 8,5
Temp (°C)	21.7	24	23.8	23.2	1,27	5,49	18 - 30	≤ 30
Nitratos (mg/l)	3.00	2.95	3.9	3.28	0,53	16,28	≤ 5	≤ 10
Fosfatos (mg/l)	0.54	68.00	4.2	24.23*	37,93	156,45	≤ 0,01	≤ 5
Turbidez (UNT)	8.40	2.74	6.7	5.95*	2,90	48,83	≤ 1	≤ 3
Colif. fecales	15000	460000	110000	195,000.*	234360,83	120,18	0	0

Legenda: V.R: valor recomendado V.M.T: valor mínimo tolerable *: medias superadas por CAPRE

Con respecto a los niveles medios de turbidez encontrados (5.95 UNT) supera a la norma CAPRE (3 UNT), aunque notemos que la diferencia no es muy grande con respecto a la norma, posiblemente las pocas partículas que influyen en los niveles de turbidez principalmente es de carácter químico, es decir las aportadas por la presencia de otros agentes contaminantes como la descarga de los desechos líquidos y sólidos, que al entrar en contacto con el agua son disueltos quedando suspendidas en la columna de agua (nutrientes como el fósforo).

La contaminación por coliformes fecales de nuevo se hace presente en esta estación de muestreo superando la media (195,000.00 NMP/100 ml) a los valores de la norma CAPRE, lo que nos deja una clara respuesta que las aguas superficiales no están libres en general de sufrir los efectos de contaminación por bacterias. En este caso pensamos que además la presencia de este tipo de

contaminación al igual que las estaciones anteriores se da como producto de la descarga al cauce de colectoras individuales de aguas negras por supuesto ilícitas en el recorrido de este o de las otras corrientes superficiales que se le unen aguas arriba. Se le suma el efecto de las parcelas con pastos dedicadas a la ganadería ubicada aguas arriba, donde el arrastre producto de la pendiente facilita la llegada de las bacterias.

Los resultados de la estación de muestreo E-8 ubicada en la sección baja del río Aquiares, se demuestran que en el cuadro 13, de los nueve parámetros utilizados únicamente dos superaron la norma de calidad de agua de CAPRE, siendo la demanda bioquímica de oxígeno y los coliformes fecales. Esta difiere de las cuatro estaciones anteriores ya que se venía presentando la dinámica de cuatro parámetros los que superaban los valores de la norma. Vemos que para esta estación de muestreo los fosfatos y la turbidez no están representando problema en cuanto a su valor promedio, por lo menos en lo que respecta al valor tolerable.

Cuadro 13. Análisis de los promedios de la calidad del agua de la estación de muestreo (E-8) río Aquiares

Parámetro	Mayo	Agosto	Nov	Promedio	Desviación Estándar	C.V.	Norma CAPRE	
							VRO	VMT
DBO (mg/l)	8.2	9.7	7.0	8.3*	1,35	16,29	≤ 2	2,5 a 4
OD (mg/l)	8.98	9.34	8.32	8.9	0,51	5,82	≥ 5	≤ 4
STD (mg/l)	186	216	182	194.67	17,32	8,40	≤ 300	≤ 1000
pH (unidades)	8.02	8.17	8.48	8.22	0,23	2,85	6,5 – 8,5	≤ 8,5
Temp (°C)	20.2	25	23.8	23.0	2,49	10,86	18 - 30	≤ 30
Nitratos (mg/l)	3.91	3.52	2.5	3.32	0,72	21,99	≤ 5	≤ 10
Fosfatos (mg/l)	0.64	0.00	2.7	1.11	3,00	103,6	≤ 0,01	≤ 5
Turbidez (UNT)	5.80	1.35	1.5	2.88	2,54	88,63	≤ 1	≤ 3
Colif. fecales	4600	460	1500	2186.67*	2,15	98,49	0	0

Leyenda: V.R: valor recomendado

V.M.T: valor mínimo tolerable

*: medias superadas por CAPRE

Observemos la media de la DBO que evidentemente supera la norma CAPRE (4 mg/l), notemos que difícilmente los cursos de aguas superficiales están libre de contaminación sea de origen natural o antropogénica (no puntual y puntual), por mínimo que sea el impacto. La llegada a la corriente de agua de material orgánico que sea alimento para las bacterias aeróbicas encargadas de la degradación de la misma materia orgánica, utilizaran durante este proceso el oxígeno disponible. Acá observamos que el mayor aporte de material orgánico biodegradable es de origen vegetal.

Con respecto a la contaminación por coliformes fecales la media resultante dice (2186,6 NMP/100 ml), lo que nos lleva a decir que puede ser utilizada según (cuadro 2) para recreación, navegación y paisaje. Observemos un dato interesante si bien es cierto tenemos evidencia de contaminación bacteriológica en los tres meses de estudio, las concentraciones no son altas en comparación con las cuatro estaciones anteriores. En esta estación de muestreo podemos asegurar que la vegetación de

galería realiza un papel importante de protección a la llegada de microorganismos patógenos, además la turbulencia del río observada durante las épocas de muestreo influye en la posible dispersión de los microorganismos, así como la muerte rápida por la poca resistencia de estos a los movimientos rápidos de la corriente.

Notemos algo que la concentración de agosto (460 NMP/100 ml) según las normas bacteriológicas publicadas en la Gaceta de Costa Rica (cuadro 2) se puede considerar potencialmente en el uso de riego para árboles frutales y parques públicos, así como la recreación y piscicultura. Aclaremos que se considera únicamente con las características bacteriológicas de agosto. El agua superficial del mes de mayo que presentó una concentración de 4600 NMP, con esta característica bacteriológica de coliformes fecales puede potencialmente ser utilizada para recreación tal es el caso de navegación y paisaje. En el mes de noviembre la concentración registrada resultó de 1500 NMP/100 ml, siendo posible su uso sin ningún problema en navegación y recreación paisajística, sin embargo podríamos considerar el uso pero con medidas de seguridad higiénicas y sanitarias para el riego de parques públicos y campos deportivos, áreas verdes.

Los resultados promedios del cuadro 14 pertenecen a los parámetros que definen el estado de la calidad del agua superficial de la estación de muestreo ubicada en el río Colorado, con base a los resultados analíticos nos demuestran que de los nueve parámetros utilizados para comparar los promedios con los valores de la norma CAPRE, cuatro son los parámetros que superaron dicha norma. Observemos que son los mismos que en la mayoría de las estaciones de muestreos se han venido presentando con mayor frecuencia, es decir la demanda bioquímica de oxígeno, fosfatos, turbidez y los coliformes fecales.

Cuadro 14. Análisis de los promedios de la calidad del agua de la estación de muestreo (E-2) río Colorado

Parámetro	Mayo	Agosto	Nov	Promedio	Desviación Estándar	C.V.	Norma CAPRE	
							VRO	VMT
DBO (mg/l)	9.0	11.2	6.2	8.8*	2,50	28,47	≤ 2	2,5 a 4
OD (mg/l)	8.43	9.34	8.30	8.7	0,56	6,52	≥ 5	≤ 4
STD (mg/l)	174	168	182	174.6	7,02	4,02	≤ 300	≤ 1000
pH (unidades)	8.72	7.84	7.49	8.02	0,63	7,90	6,5 – 8,5	≤ 8,5
Temp (°C)	23.4	25	23.9	24.1	0,81	3,39	18 - 30	≤ 30
Nitratos (mg/l)	7.40	5.95	6.4	6.58	0,74	11,27	≤ 5	≤ 10
Fosfatos (mg/l)	0.65	30.00	3.2	11.28*	16,25	144,1	≤ 0,01	≤ 5
Turbidez (UNT)	3.70	13.19	4.2	7.03*	5,34	75,96	≤ 1	≤ 3
Colif. fecales	110000	110000	460000	226666.6*	202072,59	89,14	0	0

Leyenda: V.R: valor recomendado

V.M.T: valor mínimo tolerable

*: medias superadas por CAPRE

Como ya hemos mencionado anteriormente el valor máximo que se permite de acuerdo a la norma CAPRE para la DBO es de 4 mg/l, y observemos que el promedio resultante para la presente estación

de muestreo resultó de 8,8 mg/l respectivamente. El resultado obtenido es posible que aguas arriba del punto de colecta de la muestra encontramos casas en las proximidades y es posible que se este aprovechando el curso del río para depósitos y arrastre de material orgánico, que es degradado por las bacterias aeróbicas, consumiendo el oxígeno disuelto disponible.

En lo que respecta a los fosfatos la norma exige que el valor máximo tolerable permitido debe ser de 5 mg/l, sin embargo la media resultante fue de 11,28 mg/l, en este caso podemos indicar que la presencia de este elemento se debe al aporte de las descargas de aguas domésticas jabonosas que son vertidas sin tratamientos previos al río de las urbanizaciones ubicadas aguas arriba.

El indicador de los niveles de turbidez superan de igual manera el valor máximo tolerable de CAPRE (3 UNT), el valor medio para esta estación de muestreo resulto ser de 7,03 UNT, sabemos que las descargas de desechos orgánicos y la posible llegada de sedimentos del cultivo de café cercano al punto de muestreo aumenta los niveles de turbidez en el agua, provocando una apariencia de agua sucia o turbia. Por lo que pudimos apreciar durante la recolección de las muestras de agua que había presencia de partículas sólidas y materia orgánica en descomposición, que provoca la presencia de sustancias disueltas y suspendidas en el agua.

Lo que era de esperarse, debido a la existencia de urbanizaciones aguas arriba distribuidos a lo largo del recorrido del río, así como pequeños transeptos aguas arriba utilizados para que el ganado pastoree a campo abierto, es posible que se de el aporte de bacterias patógenas por los excrementos de los animales. Son razones que permiten la alta concentración de coliformes fecales, superando los valores de la norma CAPRE. Quedando inutilizadas para el consumo humano, recreación, riego y acuicultura.

En el cuadro 15 nos representa los resultados promedios de los parámetros utilizados para la calificación de la calidad del agua de la estación de muestreo ubicado en la sección media de la subcuenca del río Turrialba, en las inmediaciones de la finca La Roncha. Demostrando que de los nueve parámetros usados, tres (demanda bioquímica de oxígeno, fosfatos y coliformes fecales) fueron los que sus promedios lograron superar los valores de la norma CAPRE de la calidad del agua para consumo humano.

Cuadro 15. Análisis de los promedios de la calidad del agua de la estación de muestreo (E-5) río Turrialba (La Roncha)

Parámetro	Mayo	Agosto	Nov	Promedio	Desviación Estándar	C.V.	Norma CAPRE	
							VRO	VMT
DBO (mg/l)	8.4	7.3	6.3	7,4*	0,90	12,20	≤ 2	2,5 a 4
OD (mg/l)	8.80	9.34	8.58	8,9	0,39	4,39	≥ 5	≤ 4
STD (mg/l)	158	254	194	236,0	70,73	29,97	≤ 300	≤ 1000
pH (unidades)	8.64	8.12	8.72	8,4	0,32	3,83	6,5 – 8,5	≤ 8,5
Temp (°C)	20.8	25	22.3	22,7	2,12	9,37	18 - 30	≤ 30
Nitratos (mg/l)	3.09	2.99	3.7	2,6	0,60	22,37	≤ 5	≤ 10
Fosfatos (mg/l)	0.81	160.00	1.1	54,0*	91,76	169,82	≤ 0,01	≤ 5
Turbidez (UNT)	8.30	0.12	1.0	2,8	4,69	163,56	≤ 1	≤ 3
Colif. fecales	1100	43	150	431,0*	581,83	134,99	0	0

Leyenda: V.R: valor recomendado

V.M.T: valor mínimo tolerable

*: medias superadas por CAPRE

Observemos que la media en lo que respecta a la DBO (7,4 mg/l), superó el valor máximo tolerable de la norma CAPRE (4 mg/l), demostrándonos que existe introducción de agentes de contaminación por materia orgánica biodegradable. El aporte de material biodegradable principal se refiere al material orgánico vegetativo así como de desechos animales aguas arriba y de las tierras cercanas ocupadas con sistemas agroforestales con cultivo de café principalmente.

Para la contaminación provocada por los fosfatos de acuerdo a la media (54 mg/l) supero ampliamente los valores propuestos por la norma máxima tolerable (5 mg/l), es importante mencionar que aguas arriba de este estación de muestreo esta ubicada una pequeñas urbanización y es posible que previo a la recolección de la muestra haya sucedido una descarga de aguas residuales servidas crudas por el lavado o bien sea por que los desechos de fertilizantes a base de este elemento o la posibilidad de los efluentes agroindustriales.

Es evidente que los indicadores fecales son uno de los más importantes para evaluar la calidad del agua debido a que la mayoría de las enfermedades hídricas son gastrointestinales, causadas por la ingestión o el contacto de agua contaminada por bacterias patógenas que se encuentran en las heces de los seres humanos y animales de sangre caliente. Sin embargo notemos que el promedio obtenido para la presente estación de muestreo resultó de 431 NMP/100 ml, lógicamente superada por los valores de la norma CAPRE (0 NMP/100 ml), pero sabemos que dudosamente vamos a encontrar aguas superficiales en tales condiciones bacteriológicas. Posiblemente de considerarse el uso directo bajo estas concentraciones, únicamente es posible para otros usos en los cuales si califica como apta para el uso agrícola, como el riego de árboles frutales, campos deportivos, piscicultura, recreación, natación, donde se acepta según las normas bacteriológicas (cuadro 2) una concentración entre 500 a 10000 NMP. Es posible que de considerar el uso potable debe pasar por un sistema de tratamiento previo hasta la desinfección y cloración.

Los resultados de la estación de muestreo del río Jesús María se presentan en el cuadro 16, ubicado en la sección media de la subcuenca del río Turrialba, donde observamos que para el análisis y clasificación del agua superficial conforme a los nueve parámetros utilizados, son dos los que están superando los valores de la norma CAPRE. Nos referimos a la demanda bioquímica de oxígeno y coliformes fecales. Veamos que el promedio de la DBO es de 7,2 mg/l supera la norma recomendada y máxima tolerable que es de 4 mg/l.

Cuadro 16. Análisis de los promedios de la calidad del agua de la estación de muestreo (E-6) río Jesús María

Parámetro	Mayo	Agosto	Nov	Promedio	Desviación Estándar	C.V.	Norma CAPRE	
							VRO	VMT
DBO (mg/l)	8.0	8.0	6.6	7,2*	0,85	11,86	≤ 2	2,5 a 4
OD (mg/l)	9.04	9.45	8.90	9,1	0,28	3,13	≥ 5	≤ 4
STD (mg/l)	270	310	296	258,0	58,92	22,83	≤ 300	≤ 1000
pH (unidades)	8.07	8.05	7.99	8,0	0,40	0,51	6,5 – 8,5	≤ 8,5
Temp (°C)	19.9	22	20.5	20,8	1,08	5,20	18 - 30	≤ 30
Nitratos (mg/l)	3.00	1.74	2	2,8	1,03	36,48	≤ 5	≤ 10
Fosfatos (mg/l)	0.34	5.00	1.3	2,1	2,50	116,4	≤ 0,01	≤ 5
Turbidez (UNT)	2.00	0.10	0.2	1,0	0,95	91,97	≤ 1	≤ 3
Colif. fecales	7500	75	240	2,605.0*	4240,0	162,7	0	0

Leyenda: V.R: valor recomendado

V.M.T: valor mínimo tolerable

*: medias superadas por CAPRE

Sin embargo hay que reconocer que el solo hecho de ser agua superficial esta expuesta a la entrada de agentes contaminantes varios y en lo que respecta a la materia orgánica biodegradable no es la excepción. Se cree que esta estación de muestreo por su proximidad al cultivo de café en combinación con árboles (sistemas agroforestales) y la explotación ganadera aguas arriba puede estar influyendo en el arrastre de materia orgánica de origen vegetal y animal principalmente.

Con el caso de la contaminación bacteriológica utilizando el indicador universal y común de los coliformes fecales que se localizan en las heces de los seres humanos y los animales de sangre caliente, no era raro la presencia de estas bacterias en el agua superficial, indicando que el promedio encontrado fue de 2,605 NMP/100 ml, superando los valores recomendados por la norma CAPRE para definir el recurso hídrico para el consumo potable humano.

Pero veamos un detalle interesante desde el punto de vista de las características que regulan la dinámica del sistema acuático como el movimiento del agua en el sitio de muestreo se pudo notar que es un aspecto que puede estar influyendo en el transporte de los microorganismos aguas abajo, así como otro tipo de contaminantes y sin dejar de un lado el efecto de la vegetación ribereña que actúa como una barrera natural. Notemos que a manera general, el agua de esta estación de muestreo puede ser utilizada recreación. En el caso de la concentración bacteriológica del mes de agosto (75 NMP/100 ml) y noviembre (240 NMP/100 ml), perfectamente y sin ningún problema puede ser utilizada para

natación, navegación, riego de árboles frutales, parques públicos, áreas verdes, campos deportivos, piscicultura, donde se permite un máximo de 1000 NMP/100 ml. Observemos un caso particular que la concentración de agosto (75 NMP/100 ml), pudo ser utilizada para el cultivo de camarones (100 NMP/100 ml), y riego de legumbres (200 NMP/100 ml), de consumo fresco como el repollo.

Los parámetros utilizados en la clasificación del agua correspondientes a la estación de muestreo del río Aquiares se presentan en el cuadro 17, observemos que los parámetros que sus promedios superaron la norma CAPRE tenemos a bien mencionar la demanda bioquímica de oxígeno, la turbidez y los coliformes fecales. En el caso de la DBO la media resultante fue de 7,4 mg/l, superando el valor máximo tolerable normado (4 mg/l). En este caso el consumo del oxígeno es producto de la materia orgánica biodegradable de origen vegetal y animal que ente al cuerpo de agua para luego pasar por un proceso de descomposición por las bacterias aeróbicas.

Cuadro 17. Análisis de los promedios de la calidad del agua de la estación de muestreo (E-7) río Aquiares alta

Parámetro	Mayo	Agosto	Nov	Promedio	Desviación Estándar	C.V.	Norma CAPRE	
							VRO	VMT
DBO (mg/l)	7.7	7.4	7.1	7,4*	0,30	4,05	≤ 2	2,5 a 4
OD (mg/l)	9.54	9.71	9.54	9,5	0,09	1,02	≥ 5	≤ 4
STD (mg/l)	134	140	224	166,0	50,31	30,31	≤ 300	≤ 1000
pH (unidades)	8.11	8.03	8.3	8,1	0,14	1,76	6,5 – 8,5	≤ 8,5
Temp (°C)	17.3	19	17.2	17,8	1,01	5,67	18 - 30	≤ 30
Nitratos (mg/l)	4.08	59.00	3.8	22,9	31,78	142,5	≤ 5	≤ 10
Fosfatos (mg/l)	0.88	1.72	9.9	4,1	4,98	119,5	≤ 0,01	≤ 5
Turbidez (UNT)	13.70	1.08	20	11,5*	9,63	83,10	≤ 1	≤ 3
Colif. fecales	1100	43	15000	5,381.0*	8347,05	155,1	0	0

Leyenda: V.R: valor recomendado V.M.T: valor mínimo tolerable *: medias superadas por CAPRE

El segundo parámetro que indica superar los valores de CAPRE tenemos a los niveles de turbidez con 11,5 UNT, donde la norma máxima tolerable nos dice que 3 UNT es para considerar el agua de consumo humano. Recordemos que durante el proceso de la degradación de los materiales orgánicos (vegetales y animales) aún los desechos humanos sólidos y líquidos, al ser degradados por microorganismos acuáticos, estas partículas forman parte de las sustancias suspendas en la columna de agua influyendo en la turbidez.

Para los coliformes fecales es importante tomar en cuenta que es imposible encontrar agua superficial que no sea impactada por microorganismos como el caso de las bacterias patógenas. El promedio resultante para la presente estación es de 5380 NMP/100 ml, superando lógicamente el valor de la norma CAPRE para el consumo potable. Sin embargo veamos los requisitos de la norma bacteriológica del cuadro (2), que considerando el resultado promedio, perfectamente se potencializa para el uso recreativo, como el caso de la navegación y paisaje. Pero tomando en cuenta los resultados

mensuales veamos que el mes con menor grado de contaminación bacteriológica, le corresponde al mes de agosto con 43 NMP/100 ml, con esta característica se puede considerar el uso de cultivo de camarones que son un perfecto indicador biológico de calidad de agua y riego de legumbres y natación. Para el mes de mayo con 1100 NMP/100 ml, puede calificar de acuerdo a esta concentración bacteriológica para el riego de frutales, campos deportivos, áreas verdes, navegación, paisaje, piscicultura.

En el cuadro 18 tenemos los resultados promedios de los parámetros que clasifican la calidad del agua superficial de la estación de muestreo ubicada en el río Colíblanco de la parte alta de la subcuenca del río Turrialba. En resumen notemos que de nueve parámetros usados, tres de ellos (demanda bioquímica de oxígeno, fosfatos y coliformes fecales) son los que superan los valores tolerables de la norma CAPRE.

Cuadro 18. Análisis de los promedios de la calidad del agua de la estación de muestreo (E-10) río Colíblanco

Parámetro	Mayo	Agosto	Nov	Promedio	Desviación Estándar	C.V.	Norma CAPRE	
							VRO	VMT
DBO (mg/l)	8.6	7.4	7	7,6*	0,83	10,86	≤ 2	2,5 a 4
OD (mg/l)	9.56	9.71	9.34	9,5	0,18	1,95	≥ 5	≤ 4
STD (mg/l)	142	178	159	159,6	18,0	11,27	≤ 300	≤ 1000
pH (unidades)	8.28	8.35	7.88	8,1	0,25	3,10	6,5 – 8,5	≤ 8,5
Temp (°C)	17.2	19	18.2	18,1	0,90	4,97	18 - 30	≤ 30
Nitratos (mg/l)	1.38	1.10	1.3	1,26	0,14	11,44	≤ 5	≤ 10
Fosfatos (mg/l)	0.53	25.00	2.6	9,37*	13,56	144,71	≤ 0,01	≤ 5
Turbidez (UNT)	1.40	0.01	0.3	0,57	0,73	128,64	≤ 1	≤ 3
Colif. fecales	46000	43	43	15,362.0*	26533,29	172,72	0	0

Leyenda: V.R: valor recomendado

V.M.T: valor mínimo tolerable

*: medias superadas por CAPRE

En el primer parámetro tenemos la DBO con una media de 7,6 mg/l, es evidente la característica asignada al cuerpo de agua con esta media, ya que particularmente con DBO menores de 2 mg/l, son consideradas aguas relativamente limpias de materiales orgánicos biodegradables. Pero vemos que las tasas actuales de la demanda de oxígeno indican que se esta presentando la entrada de material orgánico biodegradable. Se observo durante la recolección de las muestras de agua que el agua presentaba una gran variedad de partículas disueltas y sustancias en la columna de agua que puede ser la que esta incidiendo que las bacterias aeróbicas consuman el oxígeno disponible.

Con respecto a la media de los fosfatos (9,37 mg/l) supero la recomendada por CAPRE (5 mg/l), caso particular se debe que aguas arriba del sitio de ubicación de la toma de muestra, tenemos cultivos hortícolas como el caso de la papa, que le aplican fertilizantes a base de fósforo y nitrógeno principalmente y por efecto de la topografía facilita que este sea arrastrado a las corrientes de agua en

absorción de las partículas coloidales del suelo (arcillas y limo). Así mismo los desechos de ganado principalmente aportan altas cantidades de este elemento al agua.

La contaminación por coliformes fecales esta claramente comprobado que no cumple con los requerimientos para consumo humano normados por CAPRE. Observamos que la media (15,362 NMP/100 ml) supera el valor aceptado. Pero analicemos el caso de las concentraciones de los meses de agosto y noviembre curiosamente fueron iguales (43 NMP/100 ml), es posible que durante esos meses el efecto de la dinámica hidráulica del cuerpo de agua como el caudal y la turbulencia hayan diluido y dispersado aguas abajo las bacterias coliformes. También podemos considerar el caso que previo al muestreo los dueños de las fincas ganaderas aguas arriba no se hayan visto en la necesidad de sacar a los potreros aledaños al río el hato ganadero.

Bajo las últimas condiciones bacteriológicas el agua del río Colíblanco puede ser potencialmente usada para el cultivo de camarones donde la norma bacteriológica (cuadro 2) dice que acepta 100 NMP/100 ml, de igual forma en el riego de legumbres (200 NMP/100 ml). Así mismo se puede utilizar para natación, riego de frutales, campos deportivos, áreas verdes, navegación, paisaje, piscicultura.

Con la finalidad de conocer si existen o no diferencias estadísticas significativas entre las tres épocas de muestreos para los nueve parámetro utilizados para clasificar la calidad del agua de la subcuenca del río Turrialba y comparar los valores promedios mensuales y la media general con la norma CAPRE, se realizó un análisis de varianza, donde los resultados los encontramos en el cuadro 19.

Cuadro 19. Análisis de variación estacional por épocas de muestreo de los parámetros de la calidad del agua en la subcuenca del río Turrialba

Parámetros	Media General	PROMEDIOS			F	P<0,05	Norma CAPRE	
		Mayo	Mayo	Mayo			VRO	VMT
DBO	8,66*	9,6*	8,9*	7,4*	1,6	0,2155	≤ 2	2,5 a 4
OD	8,96	8,8	9,4	8,6	11,0	0,0003**	≥ 5	≤ 4
STD	193,8	166,7	197,4	217,3	2,4	0,1094	≤ 300	≤ 1000
pH	8,06	8,1	7,8	8,0	1,4	0,2504	6,5 – 8,5	≤ 8,5
Temp	22,14	21,0	23,2	22,1	1,8	0,1785	18 - 30	≤ 30
Nitratos	5,35	3,8	8,8*	3,4	0,6	0,5450	≤ 5	≤ 10
Fosfatos	39,9*	1,3	111,8*	6,5*	7,2	0,0029**	≤ 0,01	≤ 5
Turbidez	6,45*	8,3*	5,4*	5,4*	1,1	0,3400	≤ 1	≤ 3
Colif. Fecal	89,550,095,3*	31,380*	151307 066*	511880 3,3*	0,0	0,9734	0	0

Leyenda estadística: NS: no significativo

*: significativo 0,05%

**: significativo 0,01%

Considerando los resultados del cuadro anterior de los promedios mensuales notamos que de los nueve parámetros tres de ellos superan la norma CAPRE en los tres meses de estudio. Siendo estos la demanda bioquímica de oxígeno, turbidez y coliformes fecales. En el caso de los fosfatos los resultados promedios de agosto y noviembre superaron la norma, únicamente el mes de mayo no supera CAPRE. En contraste cinco son los parámetros que no superaron los valores de la norma, nos referimos al oxígeno disuelto, sólidos totales disueltos, pH, nitratos y temperatura (ver cuadro 19).

En el caso de la demanda bioquímica de oxígeno el mes de noviembre presentó la concentración mínima con 7,4 mg/l, superando el valor máximo tolerable (4 mg/l). Observemos que la concentración media de turbidez en los tres meses supera al valor máximo tolerable (3 UNT) de acuerdo a la norma CAPRE, donde la concentración mínima resultante fue de 5,4 UNT. Los valores encontrados en lo que respecta a los coliformes fecales notamos que la norma CAPRE dice que estos microorganismos deben ser ausentes, por lo que desde el punto de vista de sus concentraciones promedios para los tres meses no califica según la norma.

Similar comportamiento resultó en los fosfatos, en donde los meses de agosto (111,8 mg/l) y noviembre (6,5 mg/l) fueron superados considerando sus concentraciones medias por el valor máximo tolerable. Especial atención merece que si bien es cierto la concentración del mes de mayo (1,3 mg/l) no supera la norma máxima, pero si al valor aceptable o recomendado. Así mismo, para los nitratos las concentraciones medias encontradas en dos de los tres meses de muestreos no superaron el valor de la norma aceptable o recomendado, sin embargo el mes de agosto (8,8 mg/l), supera el valor aceptable o recomendado (5mg/l), no así el valor máximo tolerable (10 mg/l).

De acuerdo al cuadro (20) de los 9 parámetros de la calidad del agua estudiados, solamente dos presentaron diferencias estadísticas significativas. En el caso del primer parámetro (oxígeno disuelto) se encontró diferencias para las épocas (0,0003 **). Considerando el cuadro (22) que define los grupos estadísticos para los dos parámetros antes mencionados, observamos que existen diferencias estadísticas significativas para el oxígeno disuelto, definiendo dos grupos estadísticos donde el mes de agosto (a) es estadísticamente diferente al mes de mayo y noviembre, siendo estos dos últimos iguales estadísticamente (b).

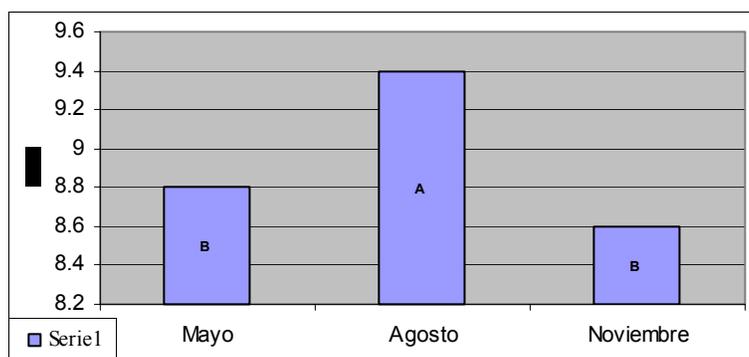
En relación al segundo parámetro que mostró diferencias estadísticas significativas para los tres meses de muestreos, se refiere al fosfato (0,0029**). En este caso los grupos estadísticos identificados son dos grupos, donde la categoría (a) representa al mes de agosto y en la categoría (b) los meses de mayo y noviembre respectivamente.

Cuadro 20. Promedios y pruebas de Duncán general de los parámetros de la calidad del agua superficial de la subcuenca del río Turrialba, para épocas de muestreo.

Parámetros	ÉPOCAS		
	mayo (1)	agosto (2)	noviembre (3)
DBO	9,63 (a)	8,91(a)	7,44(a)
Oxig. Disuelto	8,83(b)	9,43(a)	8,62(b)
STD	166,70(a)	197,40(a)	217,36(a)
pH	8,19(a)	8,09(a)	7,89(a)
Temperatura	21,08(a)	23,25(a)	22,10(a)
Nitratos	3,82(a)	8,81(a)	3,45(a)
Fosfatos	1,34(b)	111,87(a)	6,54(b)
Turbidez	8,38(a)	5,48(a)	5,42(a)
Colif fecales	176800(a)	2612041400(a)	72693460(a)

Leyenda: categorías estadística; a, b, c.

En la figura 4, tenemos representado gráficamente las medias y grupos estadísticos significativos para el parámetro oxígeno disuelto para las tres épocas de muestreo. Notemos que los resultados medios por cada mes con respecto al oxígeno disuelto, resultó ser mayor para el mes de agosto (9,4 mg/l), relacionando los datos de precipitación media (251 mm) como la menor registrada de los tres meses de estudio (anexo 3), y la media más baja de turbidez de (5,4 UNT) todas del mes de agosto, como la menor en comparación de mayo y noviembre, es posible la relación que a menor lamina o lluvia caída, menor turbidez en el agua y por ende mayor cantidad de oxígeno disuelto disponible.



Nota: medias agrupadas con las mismas letras no son diferentes significativamente

Figura 4. Medias y grupos estadísticos del parámetro oxígeno disuelto (mg/l) por épocas

Sabemos que el oxígeno disuelto es un elemento de mucha importancia especialmente para la vida acuática y es uno de los parámetros más importantes para determinar la calidad y salud de un ambiente acuático, especialmente cuando se da el agotamiento de este vital elemento, conlleva a la producción de malos olores, indicando que producto de alta cantidad de materia orgánica biodegradable, los niveles bajaron en el agua superficial, por el consumo de las bacterias aeróbicas. Este elemento se toma en cuenta como indicador que agua con estas características no debe potenciar su uso para el consumo potable.

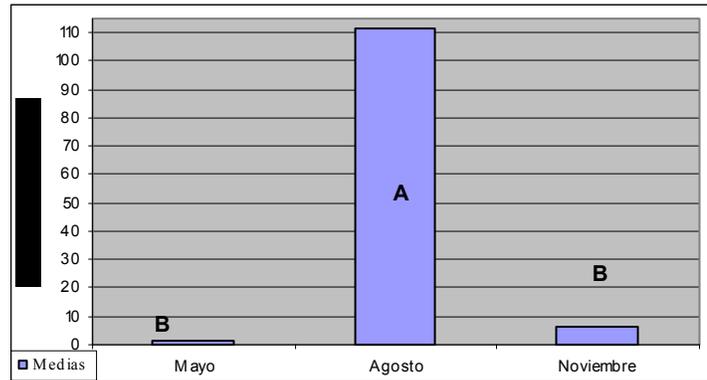
Este compuesto es de mayor importancia como indicador de la biota acuática donde el nivel mínimo tolerable para sostener la vida de los organismos acuáticos saludablemente es de 5 mg/l, indicándonos que en la medida que se supere el nivel anterior, el agua no presenta un riesgo en este aspecto para otros usos. En los cuerpos de agua dulce tropical la concentración de oxígeno disuelto se encuentra como promedio de 8,0 mg/l. En casos donde se encuentra menores de 4 mg/l afectan sensiblemente a los organismos acuáticos principalmente. Estos promedios encontrados superan al valor mínimo antes dicho para la salud del ambiente acuático, indicándonos que no tenemos problema en este caso.

Las diferencias de concentración de este compuesto esta asociado a diferentes cargas contaminantes que influyen en la variación de este parámetro, las aguas residuales que llegan a los ríos son diferentes, tenemos aguas residuales negras, materia orgánica biodegradable, aguas de escorrentía urbana, aguas de origen agropecuario, industria alimenticia, eso se acentúa por el aumento de la población, ocasionando un descenso en el oxígeno disuelto. Existe una relación entre la calidad de las aguas residuales de la parte baja y media, debido a la concentración de la población, aumentando la demanda bioquímica de oxígeno y el oxígeno disuelto disminuye. Al darse descargas de aguas residuales con alta carga orgánica, las bacterias descomponen esta materia y durante esta fase consumen el oxígeno que esta presente en la columna de agua, transformando el cuerpo de agua a condiciones anaeróbicas y anóxicas.

En la subcuenca del río Turrialba se presenta una particularidad con respecto a la concentración de oxígeno disuelto, y es que existe una relación directa con la temperatura, a menor temperatura mayor contenido de oxígeno disuelto. Por tratar un caso en la parte alta la concentración de oxígeno disuelto promedio fué de 9,56 mg/l y la temperatura media en la parte alta es de 16,9 °C. En el caso de la parte baja la temperatura registrada fue de 22,2 °C (anexo 3) y la concentración de oxígeno disuelto fue de 8,7 mg/l. Otra de las interacciones que se da en cuanto al contenido de oxígeno disuelto, es la velocidad y turbulencia del agua producto de la inclinación de la parte alta, caso donde el oxígeno disuelto es mayor en la parte alta, aguas abajo la turbulencia y el oxígeno va disminuyendo.

Otra de las relaciones que se puede rescatar importante es que en la parte baja se da una dinámica particular y es que la velocidad y movimiento del agua es un poco lento, en comparación con la parte alta y media por efecto de la topografía, posiblemente se presente un proceso de mineralización por parte de los microorganismos acuáticos, dándose la posibilidad de mayor consumo de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno y producción de gas carbónico, nitratos y fosfatos. Simultáneamente existe entrada de contaminantes que provoca una baja de oxígeno al agua, pasando a condiciones anaeróbicas y anóxicas, resultando la probabilidad de gases como metano, amonio, sulfuro de hidrógeno, originando malos olores y estética desagradable, producto de la descomposición de material orgánico e inorgánico, disminuyendo el oxígeno disponible en el agua.

El segundo parámetro que demostró diferencias significativas desde el punto de vista estadístico (cuadro 21) para las épocas de muestreo se refiere al fosfato (0,0029 **). Según la prueba de Duncán para la definición de grupos estadísticos (cuadro 22), observemos que se identifican dos categorías estadísticas. La categoría estadística (a) esta representada por el mes de agosto (11,87 mg/l), así mismo los meses de mayo (1,34 mg/l) y noviembre (6,54 mg/l) ambos están agrupados bajo la categoría estadística (b), siendo definidos estadísticamente iguales.



Nota: medias agrupadas con las mismas letras no son diferentes significativamente

Figura 5. Medias estadísticas del parámetro fosfatos (mg/l) por épocas

De acuerdo al análisis estadístico de la figura 7 sobre el comportamiento de los fosfatos en los tres meses de muestreos, efectivamente se presentaron diferencias estadísticas significativas; identificando dos grupos estadísticos. La categoría (a) representada por el mes de agosto con la media de 111.87 mg/l, fue la mayor en comparación con mayo y noviembre. En segundo orden considerando la concentración media por mes le corresponde el mes de noviembre (6.54 mg/l) y para la concentración menor el mes de mayo (1.34 mg/l). Estableciendo comparación de las medias encontradas con la norma de calidad de agua CAPRE, agosto y noviembre superan el valor máximo tolerable normado (5 mg/l) y el valor de 0.01 mg/l es el recomendado óptimo. No obstante, vemos que la media de mayo resulto de 1.34 mg/l, calificándole como superada por el valor recomendado optimo, pero aceptable para el valor máximo tolerable. Notamos que existe una relación directa en cuanto a la dinámica de las concentraciones medias de los fosfatos y nitratos (cuadro 22), es un hecho que estos dos elementos se encuentran de forma natural en el ambiente como parte del ciclo geoquímico natural de cada uno de ellos. Por naturaleza el fósforo es un elemento que fácilmente es hidrosoluble y lixiviable, principalmente en las formas de ortofosfatos aportado por las fuentes naturales, el hombre por medio de sus aguas domesticas (detergentes), efluentes industriales y fertilizantes.

Así mismo, la presencia y frecuencia de encontrar fosfato en el agua en las aguas superficiales, es producto de la contaminación antropogénica (puntual o urbana), particularmente la llegada de las aguas domesticas residuales grises principalmente donde haya mayor concentración poblacional y la poca alternativa de sistemas adecuados de tratamientos de aguas residuales con detergentes usados en

las actividades diarias de los hogares, el comercio alimenticio como las carnicerías, así como el aporte de aguas residuales de las instituciones públicas y privadas, por el uso de los jabones en la limpieza. Otro de los aportes importantes se debe a los vertidos de aguas servidas de los efluentes agroindustriales de los beneficios de café, ingenio azucarero, principalmente en la actividad del cultivo de la caña de azúcar se usa fertilizantes para el suelo a base de fósforo, elemento que después del nitrógeno exige más la caña de azúcar para lograr una maduración homogénea, rápida y efectiva.

Otra de la fuente de fósforo en el agua, es la que se deriva de los desechos ganaderos, el excremento, el agua residual del lavado de comederos, sitios de ordeño, donde por efecto de la escorrentía superficial favorece el arrastre de fósforo con partículas de suelos, hasta su llegada a la corriente de agua. Conocemos que el fósforo como contaminante natural ocurre pero en pequeñas cantidades, pero este nutriente está muy vinculado a las prácticas agrícolas y ganaderas, siendo un importante contaminante de las aguas superficiales, el movimiento de este elemento es facilitado por la topografía con la ayuda del flujo de aguas a través del perfil del suelo, su fácil movilidad y solubilidad resultado de la absorción y adsorción a las partículas coloidales de los suelos en el proceso de arrastre y erosión por las lluvias.

Otra de las posibles relaciones inversamente proporcional con las concentraciones medias de agosto (111,87 mg/l) con la precipitación media del mismo mes (251,9 mm), la mínima registrada, es posible que a menor solvente mayor soluto (menor agua mayor nutriente).

OE. 2. Caracterizar las aguas superficiales utilizando el índice de calidad del agua (ICA)

4.2. Caracterizar las aguas superficiales utilizando la metodología del índice de calidad del agua (ICA) de la Fundación Nacional de Sanidad de los Estados Unidos de América.

Considerando la metodología aplicada de la Fundación Nacional de Sanidad de los Estados Unidos de América, presentamos en el cuadro 21 los valores índices de calidad de agua mensuales y el promedio de los mismos por cada estación de muestreo. Así mismo en la figura 6 encontramos la dinámica de los valores índices de la calidad del agua (ICA). Notemos que el ICA más bajo fue de 34.6 unidades para la (E-3) situado en la parte baja, así mismo el ICA máximo resultó de 47.9 unidades ICA para la (E-10) de la parte alta. Según los valores resultantes en las 10 estaciones de muestreo el agua superficial en general califica de calidad pobre.

Cuadro 21. Valores índices de calidad de agua promedios por estación de muestreo y ubicación en la sección de la subcuenca

Sitio de muestreo	ID sitio	ICA mayo	ICA agosto	ICA nov	ICA Promedio
Río Turrialba	E-4	40.5	35.5	43.8	39.9
Río Colorado	E-1	45.0		38.2	39.3
Río Turrialba	E-3	36.4	34.5	32.9	34.6
Río quebrada Grande	E-9	44.0	38.7	33.3	38.7
Río Aquiares baja	E-8	44.6	39.9	44.6	42.7
Río Colorado	E-2	38.1	33.5	37.3	36.3
Río Turrialba	E-5	44.1	44.2	48.8	45.7
Río Jesús María	E-6	45.6	38.2	47.8	43.8
Río Colíblanco	E-10	46.2	46.7	50.7	47.9
Río Aquiares alta	E-7	44.9	43.5	36.5	41.6

El cuadro 21 nos refleja los valores índices de calidad de agua promedios por estaciones de muestreos ubicados en la subcuenca del río Turrialba, identificando las estaciones de muestreos de la parte baja con el índice de calidad de agua mas bajo. El índice de calidad de la estación (E-3), resultó ser el índice promedio más bajo de calidad de agua de las estaciones de muestreo ubicadas en las inmediaciones de la mayor densidad poblacional. Producto del aumento y efecto de la acumulación frecuente y mayor intensidad de agentes contaminantes puntuales principalmente, que se unen a las fuentes no puntuales. Caso muy importante de las fuentes puntuales de contaminación que degrada la calidad del agua superficial (ríos), se deriva por la mayor concentración de la población, aumentando la presión y vulnerabilidad a la degradación de la calidad del agua superficial principalmente.

Un aspecto muy importante a tomar en cuenta es el hecho que según las muestras de agua analizadas por el laboratorio del Tecnológico de Costa Rica, todas las muestras evidencian contaminación bacteriológica, quedando al descubierto la carencia o pocas alternativas adecuadas de tratamiento de

aguas residuales (grises y negras) y de los desechos sólidos, tomando en cuenta el efecto de bioacumulación de contaminación que se arrastra desde aguas arriba. Similar dinámica presento las estaciones (E-1, E-4, E-5, E-9).

El índice de calidad de agua de la estación de muestreo (E-2), ubicada en el río Colorado, resulto un índice de calidad de 36.3 unidades ICA. En este sitio se dan fuertes evidencias de contaminación por descargas de aguas residuales crudas al río Colorado. El fuerte impacto de contaminación que provoca la degradación de la calidad del agua superficial se debe a los vertidos que los hogares próximos al cuerpo de agua, descargan sus desechos sólidos y líquidos residuales. Así mismo el impacto de las actividades agrícolas y un pequeño sector ganadero, particularmente el cultivo del café ubicado en la mayor parte de la sección media de la subcuenca, provoca polución al agua superficial, y el fenómeno de bioacumulación por otras fuentes contaminantes como el cultivo de la caña de azúcar y pasturas aguas arriba.

Como un problema sociocultural la población aprovecha y ocupa lamentablemente los ríos como un vertedero para recibir y transportar desechos sólidos (basuras) y líquidos principalmente. El caso de la estación de muestreo (E-5) de la finca La Roncha, presento un valor índice de 45.7 unidades ICA y para la estación del río Jesús María (E-6) fue de 43.8 unidades ICA. Estos dos últimos sitios los agentes contaminantes se presentan con menor frecuencia en comparación con la presión de la estación (E-2), en lo que respecta a la presencia de importantes núcleos poblacionales (densidad poblacional menor), ya que se localizan a mayor distancia con respecto al punto de muestreo. Observamos al nivel de campo el volumen y velocidad del caudal juega un papel importante en el proceso de dilución y arrastre de los contaminantes, en comparación con la estación (E-2); de igual forma el papel que juega el bosque ribereño como barrera protectora a la entrada inminente de los contaminantes (sólidos y líquidos) aumentando la capacidad del sistema acuático de auto purificación y regeneración a las características naturales del sistema hídrico.

Las estaciones ubicadas en la parte alta de la subcuenca donde la densidad poblacional es mucho menor que en los casos antes mencionados, tal es el caso de la (E-7) río AQUIARES resultó de 41.7 unidades ICA y para la estación de muestreo del río Colíblanco (E-10) el valor índice fue de 47,9 unidades ICA respectivamente. Es posible que la diferencia entre estos dos sitios (6.3 unidades ICA), una de las razones que posiblemente se atribuye, es que notamos que durante los tres meses de muestreo el caudal del río Colíblanco presentó una particularidad en los niveles de turbidez y nitratos, con mayores concentraciones (anexos 2) en comparación con la (E-7), este fenómeno se produjo efectivamente porque el caudal en el punto de muestreo fue menor en comparación con AQUIARES, resultando las altas concentraciones. Además el uso de la tierra con cultivos anuales aguas arriba (ver

figura 8) en suelos de vocación forestal y sin prácticas de conservación de suelos, aumenta la susceptibilidad de erosión de suelos y lixiviación del nitrato y partículas de suelos.

En la estación de muestreo de la parte alta del río AQUIARES (E-7), se presentó contaminación por nitratos y turbidez, pero en concentraciones menores (anexos 2). Los resultados encontrados no representan un riesgo para la salud, según la norma CAPRE. Aquí notamos el papel importante que juegan la presencia de árboles en los cauces de los ríos, como barrera que minimiza o amortigua la entrada de contaminantes, así mismo la influencia del caudal en el desplazamiento de contaminantes. Para el fosfato la concentración fue de 9.37 mg/l, pasando el nivel máximo tolerable según CAPRE que es 5 mg/l. La presencia de fosfatos en el agua se debe a los desechos de ganado bovino (estiércol) principalmente, aportando mayor contenido de fósforo disuelto en la escorrentía. La pérdida de fósforo del suelo en forma de escorrentía se da en forma de fósforo disuelto con los sedimentos. A continuación presentamos la figura 4, donde encontraremos el mapa de la subcuenca del río Turrialba con los valores índices de la calidad del agua por cada sitio de muestreo.

En la figura 6 se muestran los consolidados de los cálculos ICA anteriormente demostrados por mes de estudio de cada estación de muestreo del agua superficial. Observemos que el índice promedio menor se presentó en la estación (E-3), ubicada en el río Turrialba aguas abajo de la descarga de aguas residuales de la población de Turrialba. Caso contrario la estación de muestreo que resultó con el índice de calidad de agua que superó las nueve estaciones de muestreo restantes se identifica como la (E-10), del río Colíblanco, ubicada en la parte alta de la subcuenca del río Turrialba. En el caso de las 10 estaciones distribuidas en la subcuenca del río Turrialba, de acuerdo a la metodología de la Fundación Nacional de Sanidad de los Estados Unidos de América, se clasifican el agua de calidad pobre.

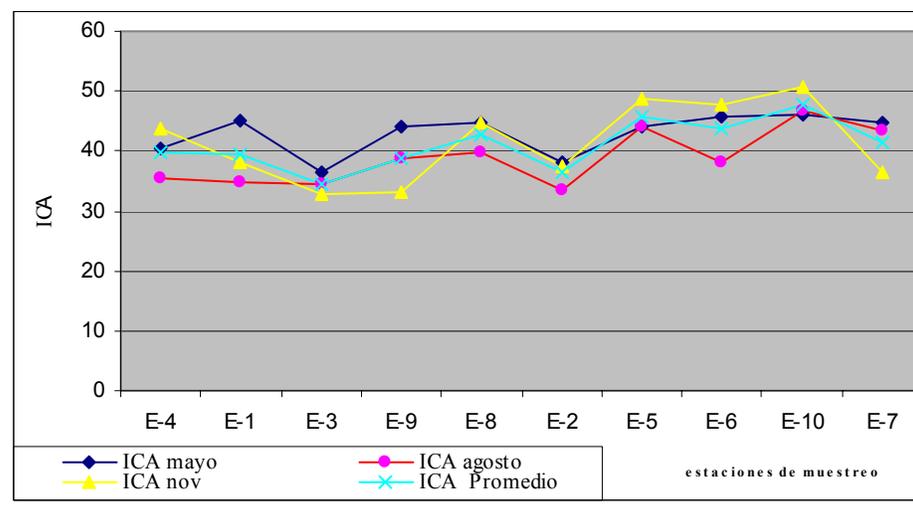


Figura 6. Valores mensuales y promedios del Índice de Calidad del Agua de las estaciones de muestreo

Es evidente la dificultad de estimar criterios acerca del estado de salud de un cuerpo de agua mediante el análisis individual de cada parámetro o indicador de la calidad del agua. La calidad del agua es continuamente modificada temporal y espacialmente por diversos factores que interactúan en sinergias complejas difíciles de predecir y evaluar. El analizar la aptitud de un cuerpo de agua se facilita si los parámetros medidos son integrados en un factor común que califique objetivamente la salud del mismo.

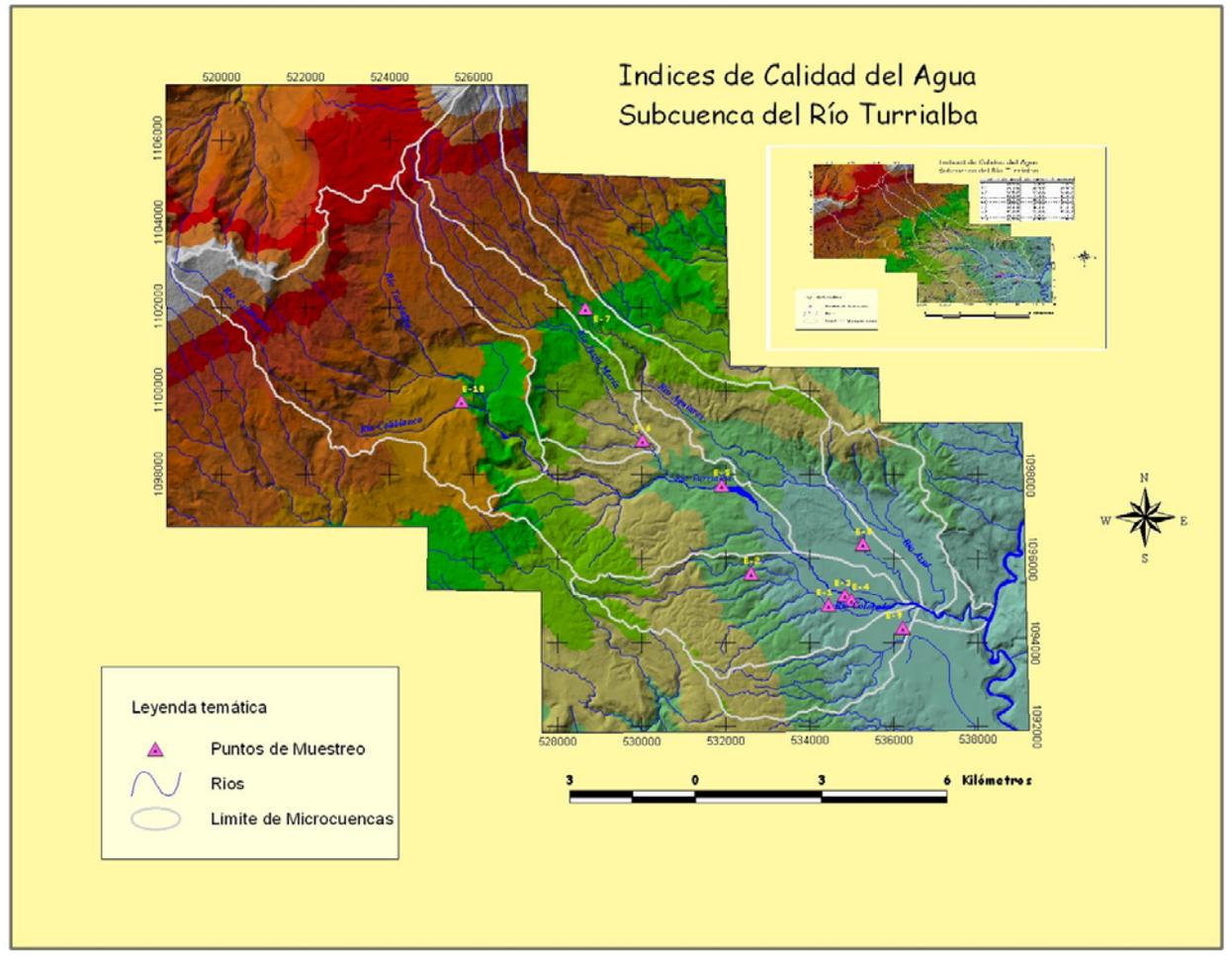


Figura 7. Valores índices de calidad del agua superficial

4.2.1. Principales usos de la tierra en la subcuenca del río Turrialba

El área de la subcuenca del río Turrialba es de 11,396.3 hectáreas. La subcuenca forma parte del área de conservación de la cordillera volcánica central de Costa Rica; administrado por el Ministerio de Ambiente y Energía (ACCVC-MINAE). Desde el punto de vista del uso de la tierra, la subcuenca del río Turrialba se considera económicamente productiva, principalmente por ocupación agrícola y ganadera, por el cultivo de café y ganadería en la parte alta principalmente, así como una buena presencia de tierras con bosque principalmente en la parte alta.

Según las estadísticas presentadas en el cuadro 54, observamos que a nivel general el uso agropecuario (69.2 %), de mayor importancia significando 7,890 Has. La tierra de uso agrícola es de 34.9% (3,980.6 Has) y en el caso ganadero es de 34.3 % es decir (3,909.3) Has. Estas cifras indican el 69.2 % del total del uso de la tierra de la subcuenca antes mencionado, ocupado por estos dos sistemas de producción, representando (7,890 Has). El uso de la tierra identificado con bosque, charrales, tacotales, y plantaciones forestales, representan el 24.4%, significando (2,786.8 Has). Considerando los valores anteriormente descritos de los usos de tierra más representativos de la subcuenca del río Turrialba, observamos que los tres usos anteriores (agrícola, pecuario y bosque) significa en total 93.7% del área de la subcuenca, es decir 10,676.8 Has de las 11,396.35 Has totales de la subcuenca en estudio. El uso de tierra para asentamientos humanos (urbanizaciones), se encuentra principalmente concentrada en la parte baja con 4.3 %, lo que significa 490.4 Has. Podemos concluir que esta subcuenca es eminentemente de uso agrícola, pecuario y forestal. En el cuadro 22 detallamos los usos identificados y en la figura 8, el mapa de cobertura actual del suelo de la subcuenca del río Turrialba.

Cuadro 22. Usos actuales de tierra identificados en la subcuenca del río Turrialba

ID de Uso	Leyenda	Hectáreas	%
4	Pasto	3454.70	30.31
6	Café	2585.50	22.69
2	Bosque	2545.80	22.34
7	Caña de azúcar	940.56	8.25
11	Asentamientos humanos	490.38	4.30
5	Pasto con árboles	454.65	3.99
8	Cultivos anuales	295.28	2.59
10	Cuerpos de agua	226.27	1.99
12	Charrales y tacotales	213.20	1.87
16	Cultivos múltiples	157.19	1.38
14	Plantaciones forestales	27.89	0.24
13	Suelo desnudo	2.81	0.02
9	Cultivos perennes	2.12	0.02
		11,396.35	100.00

Fuente: CATIE, 2006.

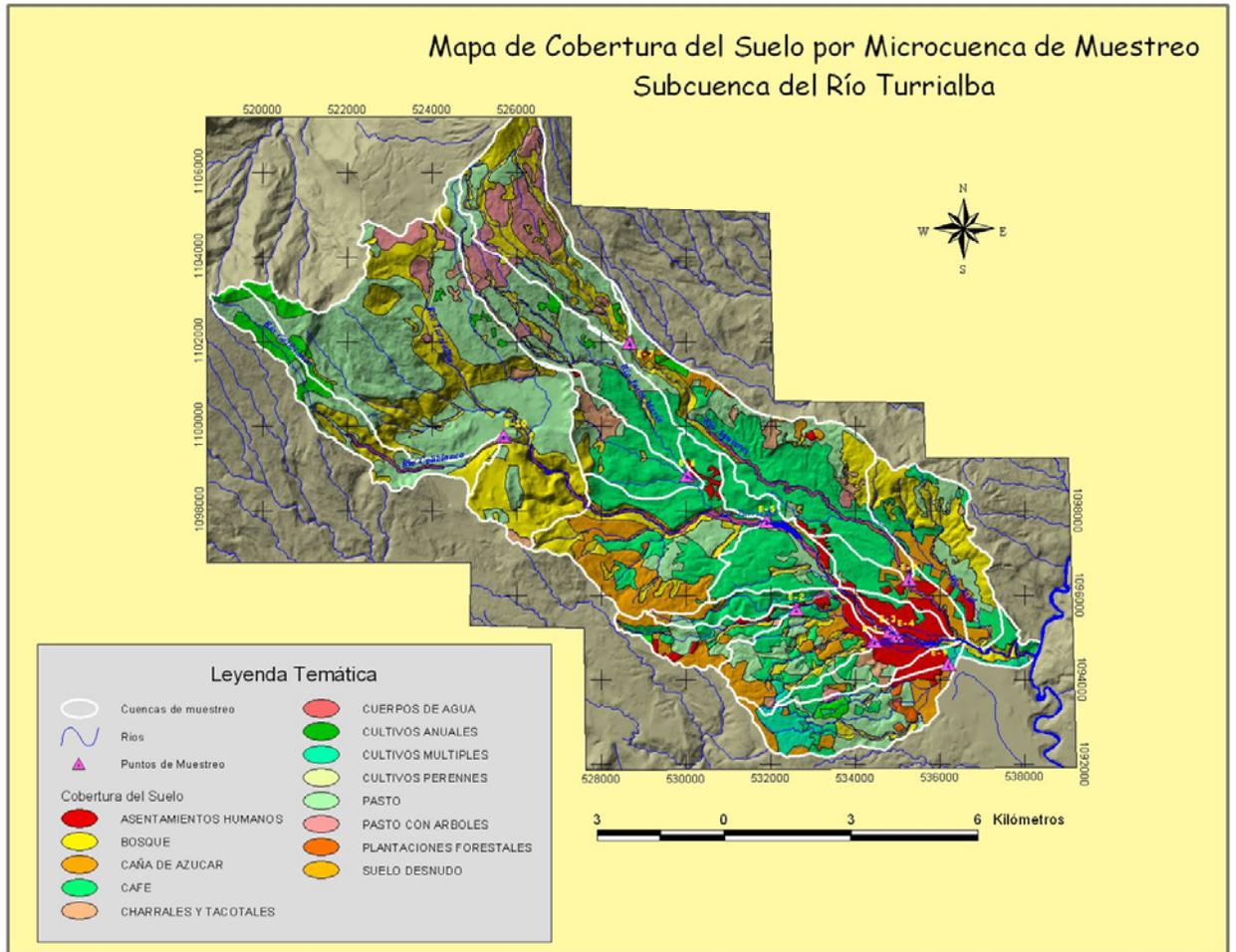


Figura 8. Mapa de los principales usos de la tierra en la subcuenca del río Turrialba

La distribución entre los principales usos de tierra identificados según el mapa anterior, encontramos pastos en la parte alta, abarcando un sector de la sección media, así como tierras dedicadas con bosques en las áreas cercanas del volcán Turrialba, de igual manera bosques de galería y áreas con cultivos anuales (hortalizas) en la parte alta de la subcuenca, principalmente en la subcuenca del río Coliblanco.

Otro de los usos representativos en la parte media de la subcuenca se refiere al café y caña de azúcar en dirección noroeste del parte agua. En el extremo este pasto, propiamente en el parte aguas de la microcuenca del Aquiares. El uso de la tierra en la parte baja tiene la relevancia principalmente de los asentamientos humanos, por las características propias de la geomorfología, adecuada para este fin, ya que presenta una pendiente suave a ligeramente inclinada. Aquí es donde se concentra la mayor cantidad de la población de la subcuenca. Además existe cobertura de tierra con café y caña de azúcar. Se observan algunos parches con bosques de regeneración y protección, así como plantaciones forestales.

4.2.2. Análisis del uso actual de la tierra y su influencia en el valor índice de calidad del agua (ICA) por cada estación de muestreos ubicados en la subcuenca del río Turrialba

Estación 4 (E-4) Río Turrialba: el índice de calidad de agua resultante fue de 39.9 unidades ICA, definiéndose como agua de calidad pobre. El área que drena a esta estación de muestreo que influye en la calidad superficial es de 6,230.1 has. Entre los principales usos de tierra observamos bosque, pasto, pasto con árboles, café, caña de azúcar, cultivos anuales, asentamientos humanos y charrales. Los usos de mayor importancia que se encuentran incidiendo en la calidad del agua de esta estación de muestreo tenemos, pasto con 2446.1 has, en segundo lugar de importancia el bosque con 1508.2 has, café con 1205.4 has, le siguen la caña de azúcar, los cultivos anuales y los charrales, así como los asentamientos humanos próximos. El cuadro 14 nos demuestra las áreas con los usos respectivos que drenan en este sitio de muestreo.

Cuadro 23. Usos de suelos (has) identificados para la estación 4 (E-4) del muestreo de agua superficial

Bosque	Pasto	Pasto / árboles	Café	Caña azúcar	Cultivos anuales	Cuerpos agua	Asentamientos humanos	Charrales	Suelo desnudo
1508.2	2446.1	178.1	1205.4	328.4	235.4	129.5	73.1	122.9	2.8

Fuente: CATIE, 2006.

El uso de tierra más próximo que causa impacto ambiental negativo desde el punto de vista bacteriológico, se refiere a los asentamientos humanos en ambos extremos del cuerpo de agua, en este caso particularmente el aporte de las descargas de aguas domesticas residuales además de Turrialba, aguas arriba de la estación de muestreo los desechos líquidos y sólidos del poblado de Santa Rosa y Santa Cruz. Aguas arriba es decir en la parte media de la subcuenca, el uso predominante se refiere al cultivo del café, principalmente en la hacienda cafetalera de La Roncha y Aquiares, esta última sirve de frontera guía donde se da el cambio de uso entre el café y el pasto.

Es conocido que el primer indicador de importancia para que el agua pueda calificar como potable, es la presencia de coliformes fecales, lamentablemente el agua superficial es la que sufre primer impacto directo por estas bacterias; en este sitio los resultados encontrados fueron de 3,669.533.33 NMP/100 ml, es comprensible por las descargas residuales de aguas del centro poblado y el aporte de las tuberías de la red de drenaje aguas arriba, que drenan directamente sin previo tratamiento. En el caso de la demanda bioquímica de oxígeno el resultado fue de 7.8 mg/l, mismo que se explica por las condiciones de la presencia de coliformes fecales y materia orgánica biodegradable, para esta demanda de oxígeno.

Considerando la norma de agua potable CAPRE, los indicadores que no representan problema en cuanto a su concentración, tenemos el oxígeno disuelto, temperatura, pH, nitratos y los sólidos totales

disueltos; no superan los valores de la norma. Para los nitratos se debe tener especial atención a su presencia en el agua, aunque la concentración media no superó el valor óptimo (5 mg/l), es importante tener en cuenta que la sola presencia de esta en pequeñas cantidades, significa exponerse al riesgo de la salud pública, ya que los nitratos pueden ser transformados a nitritos, y este último es más tóxico aún en menores concentraciones es muy peligroso.

La concentración media de fósforo (29.19 mg/l), sobrepasa el valor máximo de la norma (5 mg/l) que se puede considerar para usar el agua potencialmente en el consumo potable, vemos el hecho que en este sitio los afluentes traen consigo altas concentraciones de fósforo en las aguas domésticas residuales principalmente grises y aguas negras. Para el indicador de los niveles de turbidez la concentración supero la norma, donde el máximo aceptable es de 5 UNT y el resultado encontrado fue de 10.10 mg/l, producto del aporte de material y partículas que influye en la turbidez del agua.

Estación 1 Río Colorado (E-1): según el resultado índice de calidad del agua (39.3), la estación de muestreo califica como agua de pobre calidad, principalmente en lo que respecta al consumo domestico potable. El área que drena a esta estación de muestreo es de 1000.2 has; los principales usos identificados tenemos bosque, pasto, pasto con árboles, café, caña de azúcar, cultivos anuales, asentamientos humanos, charrales y cultivos múltiples. Café, caña de azúcar y pasto, son los usos más representativos, seguido por el pasto y los asentamientos humanos respectivamente. En el cuadro 24, encontramos detallado los usos y el área ocupada por cada uso de los anteriormente mencionados.

Cuadro 24. Usos de suelos (has) identificados para la estación 1 (E-1) del muestreo de agua superficial

Bosque	Pasto	Pasto con árboles	Café	Caña de azúcar	Cultivos anuales	Asentamientos humanos	Charrales	Cultivos múltiples
88.5	190.8	9.2	346.7	253.3	7.1	72.3	12.1	22.1

Fuente: CATIE, 2006

De acuerdo a los contaminantes bacteriológicos la presencia de coliformes fecales imposibilita la utilización. Es evidente que en este sitio de muestreo la cercanía de las urbanizaciones aguas arriba influyen en la posibilidad de usar el cauce del río, para verter desechos sólidos y líquidos sin ningún tratamiento, contaminando el agua con bacterias patógenas de origen humano y animales de sangre caliente, especialmente el ganado que se encuentra pastoreando en potreros libres y en algunos casos se acercan a los cuerpos de agua, para saciar su sed y necesidades fisiológicas (excretas).

En el caso de la Demanda Bioquímica de Oxígeno, sus resultados evidencian el aporte de contaminación por materia orgánica en el agua, producto se da el consumo de oxígeno por bacterias al encargarse de la degradación de la misma, hace que la demanda de este elemento vaya en aumento. Posiblemente se debe al aporte de materia orgánica biodegradable de los sistemas de producción de

café, caña de azúcar y potreros, Los cuerpos de agua con DBO menores de 2 mg/l indican que es agua relativamente limpia y sana, es decir libre de material que necesite ser biodegradado. En el caso de considerarse el agua superficial para el posible uso domestico se tolera un valor máximo 4 mg/l de DBO y en el caso potable es más aconsejable 2 mg/l de DBO.

La concentración de la DBO en esta estación de muestreo fue de 9.5, es decir esta por encima de la norma y con claras evidencias de fuentes contaminantes cercanos como los asentamientos humanos principalmente, así como el aporte de material orgánico biodegradable de los sistemas de producción aguas arriba antes mencionado. Con este resultado de la DBO debe considerarse un tratamiento previo del agua y no usar de manera directa, principalmente en actividades domesticas y menos potable.

Con respecto al oxigeno disuelto, se encontró en el rango típico de los cuerpo de agua dulce que es de 8 mg/l, el valor encontrado fue de 8.6 mg/l. Este elemento es importante en el mantenimiento del caudal ecológico saludable para la biota acuática que necesita 5 mg/l. En lo que respecta a la temperatura esta en el rango de la norma CAPRE, no representa problema mayor. Para el caso de los sólidos totales disueltos la concentración media fue de 148.67 mg/l, la norma dice que valores menores de 300 mg/l es recomendable para ser potencialmente usada en actividades domesticas. Es posible que la presencia de bosques de galería presente este desempeñando su papel de filtro natural.

Con respecto las concentraciones de los iones de hidrogeno (pH) esta entre el rango recomendado por lo que no hay problema. El valor de pH en esta estación es de 7.95 y la norma dice que en el rango de 6.5 a 8.5, es potencialmente considerada para el uso domestico. En el caso extremo de valores de pH superiores a 11 unidades, se relaciona con irritación ocular y agravación de trastornos cutáneos. Por eso antes de considerar su uso directo, debe ser estabilizada de manera que no produzca efectos corrosivos, ni incrustantes en las tuberías de distribución. Con respecto a los nitratos y fosfatos; respectivamente el nitrato fue de 4.42 mg/l, no sobrepaso el valor recomendado por CAPRE y para el fosfato es de 34.13 mg/l, considerando la norma paso la norma del valor máximo tolerable (5 mg/l), su alta concentración se debe a la presencia de las urbanizaciones principalmente que usan elementos domésticos a base de fósforo (detergentes).

De acuerdo a los niveles de turbidez, sobrepasan el limite máximo que es de 5 UNT, el valor medido en este caso fue de 10.4, el peligro de usar agua con niveles mayores de 5 UNT, es que los microorganismos patógenos se ocultan en las partículas que inciden en la turbidez del agua. Las actividades agrícolas que se encuentran aguas arriba de la estación de muestreo y las aportadas por los asentamientos humanos, producen partículas que influyen en la turbidez.

Estación 9 (E-9) Quebrada Río Grande: De acuerdo al análisis de la calidad del agua basándose en el índice se clasifica como agua de calidad pobre con un ICA de 38.7 unidades. El área de drenaje en esta estación de muestreo es de 578 ha. Entre los principales usos definidos para esta estación de muestreo tenemos; bosque, pastos, café, caña de azúcar, cultivos anuales, asentamientos humanos, charrales, plantaciones forestales y cultivo múltiples. De acuerdo al porcentaje de área ocupada es notable según, el cuadro 25, que los pastos y caña de azúcar son los que se encuentran en mayor uso, seguido de café y bosques.

Cuadro 25. Usos de suelos (has) identificados para la estación 9 (E-9) del muestreo de agua superficial

Bosque	Pasto	Pasto árboles	Café	Caña azúcar	Cultivos anuales	Asentamientos humanos	Charrales	Plantación	Cultivos múltiples
34.7	185.7	5.410	63.9	120.9	25.9	21.7	2.6	28.0	89.0

Fuente: CATIE, 2006

Desde el punto de vista del impacto a la calidad del agua, la caña de azúcar como el mas cercano, así como el impacto antropogénico (asentamientos humanos) en dirección noroeste. Aguas arriba de este sitio, encontramos tierra con pasto y ganado, café y plantaciones forestales, así como cultivos anuales y caña de azúcar prácticamente en la divisoria del parte aguas. En la sección de aguas arriba es notoria la presencia de un cordón moderado de árboles en calidad de bosque ribereño.

En lo que respecta a los indicadores que se encuentran por encima de los valores tolerables de la norma CAPRE, para el agua de consumo doméstico, encontramos que para el indicador bacteriológico de coliformes fecales su concentración media fue de 195000 NMP/100 ml. Aportado por los lixiviados de los potreros aguas arriba y poblados con mal sistema de aguas negras (Noche Buena).

Para la DBO la concentración media encontrada de 7,8 mg/l superando al valor recomendable de la norma CAPRE (5 mg/l), en el caso de los fosfatos la concentración fue muy alta (24,23 mg/l), lo que superó al valor máximo tolerable (5 mg/l), para los niveles de turbidez encontrado (5,95 UNT), superando levemente la concentración máxima tolerable (5 mg/l). Los indicadores como contenido de oxígeno disuelto 8,8 mg/l, índice de acidez 7,95 pH, sólidos totales disueltos 108 mg/l, temperatura 23,2 °C y los nitratos 3,28 mg/l, se encuentran dentro de los rangos permitidos para el uso potencial doméstico y potable del agua. La presencia de árboles en el papel de bosques de galería es importante en la función de barrera o biofiltro vegetativo a la entrada excesiva de partículas que forman parte de los sólidos totales disueltos y los niveles de turbidez. La presencia de un buen caudal permite el constante nivel de oxígeno disuelto producto del movimiento y turbulencia del agua.

Estación 8 (E-8) Río Aquiares parte baja: El resultado índice de calidad del agua es de 42.7 unidades, clasificándola como agua de calidad pobre. El área que drena a este sitio de muestreo es de 2,108

has. Los usos de tierras definidos para esta estación de muestreo de aguas superficiales son bosque, pasto y pasto con árboles, café, caña de azúcar, cultivos anuales, asentamientos humanos y charrales. El uso de mayor cobertura es el pasto con 726,06 has, seguido por el café con 590.9 has y en tercer lugar el bosque con 562,4 has respectivamente. El cuadro 26 nos demuestra las áreas con sus respectivos usos que drenan en este sitio de muestreo.

Cuadro 26. Usos de suelos (has) identificados para la estación 8 (E-8) del muestreo de agua superficial

Bosque	Pasto	Pasto con árboles	Café	Caña de azúcar	Cultivos anuales	Cuerpos de agua	Asentamientos humanos	Charrales
562.4	473.0	253.6	590.9	77.6	27.0	57.7	20.0	45.9

Fuente: CATIE, 2006

Entre los usos de tierra identificados que influyen en la calidad de agua, encontramos el cultivo del café como el sistema de producción más próximo a la estación de muestreo, en lo que respecta a la parte baja y media con respecto al punto de muestra; así mismo aguas arriba el uso de tierra identificado es el pasto. Se encuentra una moderada influencia de bosque de galería.

En relación con el indicador bacteriológico presento una concentración media de coliformes fecales de 2,186 NNP/100 ml, tomando como guía los valores de la norma CAPRE, no es apta para el uso domestico de manera directa. De considerar medidas previas para reducir la concentración de bacterias patógenas y potencializar su uso en otras actividades, donde ingerir el liquido no es el propósito, es posible considerar en actividades como la natación (500 NMP/100 ml), navegación (5,000 NMP/100 ml) y paisajístico (10,000 NMP/100 ml), uso del agua para riego de árboles frutales, acuicultura y parques públicos permisible una concentración de 1,000 NMP/100 ml. Considerando el uso paisajístico en base al resultado encontrado, es el único que su puede usar sin problema.

La concentración media para la demanda bioquímica de oxígeno encontrada fue de 8.3 mg/l, esta concentración se encuentra por encima del valor máximo aceptable (5 mg/l). En el caso de las concentraciones de los siguientes indicadores; oxígeno disuelto (8.9 mg/l), temperatura (23.0 °C), potencial de hidrogeno (8.2 pH), sólidos totales disueltos (194.67 mg/l), nitratos (3.32 mg/l), fosfatos (1.11 mg/l) y niveles de turbidez (2.88 UNT); sus valores no presentan problemas serios de acuerdo a los valores de la norma CAPRE, aunque considerando el caso particular del fósforo, se encuentra en el rango del valor recomendable. Es posible que su presencia sea resultado del uso de fertilizantes fosfatados y el aporte de aguas residuales grises jabonosas de los hogares ubicados aguas arriba (detergentes).

Estación 2 (E-2) Río Colorado: según el índice de calidad del agua (36.3), se clasifica como agua de calidad pobre. El área que drena a esta estación de muestreo es de 281.2 has aproximadamente. Los usos de suelos identificados aguas arriba de esta estación encontramos bosque, pasto, café, caña de azúcar, cultivos anuales, asentamientos humanos y charrales. Similar a la estación anterior los usos más representativos son caña de azúcar, café, pasto y asentamientos humanos. El cuadro 27 nos demuestra los usos y el área de cobertura.

Cuadro 27. Usos de suelos (has) identificados para la estación 2 (E-2) del muestreo de agua superficial

Bosque	Pasto	Café	Caña de azúcar	Cultivos anuales	Asentamientos humanos	Charrales
14.2	66.5	77.6	88.1	7.1	24.5	3.2

Fuente: CATIE, 2006

Tomando como criterio principal el indicador bacteriológico por la importancia de calidad de agua para el uso domestico, según la norma CAPRE dice que no debe tener presencia de coliformes fecales y el resultado encontrado fue de 226,666.67 NMP/100 ml. Es evidente que se diera esa concentración por que aguas arriba y en las orillas del mismo recorrido del mismo tenemos presencia de casas. Así mismo, presencia de ganado en potreros pastando libremente y algunos hogares ubicados en la parte alta de esta quebrada con crianza de cerdos. La presencia de estas bacterias hace imposible el uso del agua para actividades domesticas.

Para el caso de la demanda bioquímica de oxigeno se encuentran por encima de la norma y califica como agua típica de sitios con actividades productivas como la agricultura y ganadería. La concentración encontrada en este sitio fue de 8.8 mg/l, rango que indica contaminación por aguas residuales con material orgánico biodegradable aportado por los sistemas de producción antes descritos. En el caso de los sólidos totales disueltos, la temperatura, el oxigeno disuelto y el pH, se encuentran entre la norma, por lo que no representan peligro alguno en caso de considerar el uso potencial del agua bajo estos índices, aunque es preferible considerar el tratamiento de agua mínimo.

Para el caso de los sólidos totales disueltos la concentración media fue de 174.67 mg/l, y la norma dice que valores menores de 300 mg/l puede potencialmente usarse para agua potable. Tomando el caso de la concentración de los nitratos en esta estación de muestreo que fue de 6.58 mg/l, sobrepasa el valor recomendable, sin embargo califica dentro del rango de los valores máximos admisibles dice que es preferible menor que 10 mg/l, aunque se tolera 25 mg/l, prestándole atención a este caso antes de ser usada de manera directa, ya que valores superiores a los 5 mg/l, provocan serios daños a la salud en especial a los lactantes de contraer una enfermedad llamada Metahemoglobinemia, que es la transformación del nitrato a nitrito, de igual manera se ha presentado en poblaciones adultas de

manera ocasional, cuando consumen el líquido con mucha frecuencia. Aquí es importante mencionar que la presencia de este elemento se debe al aporte de los desechos líquidos de la población y el de los sistemas de producción como café, caña de azúcar y las áreas con pasturas.

El fosfato como indicador de la calidad del agua dio como resultado 11.28 mg/l y de acuerdo a la norma CAPRE, el valor máximo tolerable es de 5 mg/l, indicando que mayor de ese nivel no debe ser usada de manera directa. El indicador de niveles de turbidez, sobrepasan el límite máximo que es de 5 UNT, el valor medido en este caso fue de 7.03. Es posible que las concentraciones de los indicadores anteriores se deben al aporte del elemento usado en actividades domésticas a partir de fósforo (detergentes) y el arrastre de partículas de suelo de los sistemas de producción como el caso de café.

Estación 5 (E-5) Río Turrialba parte media: El índice de calidad de agua para esta estación de muestreo fue de 45.7 unidades ICA. Según la metodología ICA FNS, el agua superficial se clasifica de pobre calidad. El área que drena a esta estación de muestreo es de 5,705.3 has; los usos de tierra identificados próximos al sitio encontramos tenemos bosque, pasto, pasto con árboles, café, caña de azúcar, cultivos anuales, asentamientos humanos y charrales. La cobertura de suelos con pasto es el de mayor cobertura (2398.2 Has), seguido por bosque y café. Los datos de áreas ocupadas por cada uso se encuentran a continuación en el cuadro 28 respectivamente.

Cuadro 28. Usos de suelos (has) identificados para la estación 5 (E-5) del muestreo de agua superficial

Bosque	Pasto	Pasto árboles	Café	Caña azúcar	Cultivos anuales	Cuerpos de agua	Asentamientos humanos	Charrales	Suelo desnudo
1486.4	2398.2	177.7	846.7	326.2	235.4	83.2	25.8	122.9	2.8

Fuente: CATIE, 2006

Los usos de tierra predominantes ambos lados de la estación de muestreo están ocupados por café. En dirección este donde se ubica el parte aguas de la microcuenca encontramos caña de azúcar. Un detalle muy importante es que aguas arriba tenemos presencia importante de bosque ripario, importante para el mantenimiento del caudal y el efecto de barrera tampón que se encarga de la auto purificación del agua, vegetación que funciona como filtro natural biológico. Aguas arriba encontramos la urbanización más próxima, siendo esta Aquiares.

Según los resultados de la DBO de esta estación de muestreo sus resultados evidencian el aporte de contaminación por materia orgánica biodegradable, generando el consumo de oxígeno por las bacterias que degradan la misma. Los cuerpos de agua con DBO menores de 2 mg/l, indican que es agua relativamente limpia o con muy poco material que necesite ser biodegradado. Considerando como referencia la norma CAPRE para el posible uso potable se tolera como valor máximo de 4 mg/l, en este caso la concentración de la DBO en esta estación fue de 7.3 mg/l, superando la norma. Esta

concentración deja como evidencia que esta siendo afectada por fuentes de contaminación de materia orgánica.

Con respecto a la concentración de oxígeno disuelto presentó 8.9 mg/l, típico de los cuerpos de agua dulce del trópico, importante para mantener vida acuática donde los organismos necesitan un mínimo de 5 mg/l. En lo que respecta a los resultados de los indicadores de temperatura 22.7 °C, sólidos totales disueltos 202 UNT y los niveles de pH fue de 8.49, no presentan problema alguno, ya que se encuentran dentro del valor recomendable admisible, pero para mayor seguridad son necesarios tratamientos previos. En el caso de la concentración de oxígeno disuelto, se debe a la naturaleza misma del cuerpo de agua, la turbulencia producto de la topografía y en el caso de la temperatura, la presencia de árboles riparios juega un papel termorregulador y los niveles de turbidez es producto del arrastre de partículas de suelos de las tierras cercanas.

La concentración de nitrato fue de 3.27 mg/l, se encuentra entre el valor recomendado según la norma CAPRE (5 mg/l) y los niveles de turbidez 3.14 UNT; este último paso ligeramente el valor máximo tolerable (3 UNT), pero puede ser potencialmente usado para el consumo doméstico. Para los fosfatos la concentración encontrada fue de 53.97 mg/l, el resultado está muy por encima del valor máximo tolerable (5 mg/l). Usar el agua puede traer problemas de intoxicación al ingerir el agua sin previo tratamiento que reduzca la concentración. La concentración encontrada posiblemente se debe a la causa que agua arriba del sitio, se presentó la descarga de aguas residuales jabonosas de un poblado cercano situado en las inmediaciones de la finca de Aquiares. Con las concentraciones bacteriológicas, como indicador principal para calificar el agua potable, la concentración fue de 431.00 NMP/100 ml, considerando la norma CAPRE nos dice que el agua que se destina al consumo potable no debe tener presencia de bacterias patógenas, por que afectan la salud de las personas.

Algo interesante considerando la concentración de coliformes fecales para potencializar el uso de agua en otras actividades, es posible considerar su uso para recreación principalmente natación o contacto primario donde la norma dice que para este fin debe ser de 500 NMP/100 ml. En el caso de la navegación y paisajístico, los valores máximos permitidos son de 5,000 y 10,000 NMP/100 ml respectivamente. Para actividades agrícolas, como el riego de legumbres el máximo es de 200 NMP/100 ml, lo que este recurso con la concentración actual de coliformes, no se debe usar por el riesgo de contaminación bacteriológica, provocando enfermedades gastrointestinales en el hombre.

Para el riego de árboles frutales califica el agua de este sitio, ya que nos dice que la concentración aceptable es de 1000 NMP/100 ml, así como ser usada para parques público, campos de deportivos y acuicultura, especialmente en las actividades de piscicultura, ya que la concentración debe ser de 1000 NMP/100 ml. Las anteriores fueron una publicación de (La Gaceta No 100 1997) de Costa Rica,

donde se presentan los valores admisibles por el reglamento para la calidad del agua potable. Todos los usos antes mencionados según la concentración encontrada, clasifican como potencialmente utilizable para cada uno de los fines, pero es necesario considerar medidas previas de tratamientos.

Estación 6 (E-6) Río Jesús María: El valor índice de calidad de agua correspondiente en esta estación de muestreo resultó de 43.8 unidades ICA respectivamente, clasificando el agua superficial de calidad pobre. El área de drenaje a esta estación de muestreo es de 835,3 has. Los usos de tierra definidos se refieren a bosque, pasto y pasto con árboles, café, cultivos anuales y asentamientos humanos. El principal uso representado se refiere al pasto respectivamente con 413.5 has, seguido del café y el bosque. El cuadro 29 nos muestra las áreas con los usos respectivos que drenan en este sitio de muestreo.

Cuadro 29. Usos de suelos (has) identificados para la estación 6 (E-6) del muestreo de agua superficial

Bosque	Pasto	Pasto con árboles	Café	Cultivos anuales	Asentamientos humanos	Charrales
112.2	413.5	82.8	192.0	20.0	0.6	14.2

Fuente: CATIE, 2006

Observamos que el uso de tierra más cercano que se encuentran influyendo en la calidad del agua superficial de este sitio, se refiere al café como el más próximo, en ambos lados y aguas arriba del sitio. Así mismo, aguas arriba en segundo orden de importancia, encontramos pastos en la parte alta y parches boscosos ribereños en la red hídrica aguas arriba del punto seleccionado para la colecta de muestras de agua superficial.

El comportamiento de los indicadores de calidad del agua analizados, en lo que respecta a la demanda bioquímica de oxígeno, presento una concentración de 7.5 mg/l, comparado con la norma CAPRE supera la norma (5 mg/l), por lo que nos indica que existe influencia de contaminación por aguas de escorrentía superficial principalmente de fuentes difusas, por la ubicación particular de este sitio, arrastrando residuos de materia orgánica biodegradable y soluble, como el caso de restos de plantas, así como el aporte de aguas residuales de un sector de la población de Aquiares.

En el caso de los siguientes indicadores oxígeno disuelto, temperatura, sólidos totales disueltos, potencial de hidrogeno (pH), concentración de nitratos, fosfatos y los niveles de turbidez; todos ellos se encuentran dentro del valor indicado y máximo aceptable, de acuerdo a los valores de la norma de calidad de agua de CAPRE. Las concentraciones encontradas en estos sitios de acuerdo al orden de los indicadores anteriormente mencionados son los siguientes; 9.1 mg/l, 20.8 °C, 292 mg/l, pH de 8.04, 2.25 mg/l de NO₃, fosfatos 2.21 mg/l y 0.77 UNT. Cabe mencionar que para el caso de la concentración de los sólidos totales disueltos la concentración antes mencionada (292 mg/l), esta muy

próxima al valor recomendado tolerable, para ser potencialmente usada en el consumo domestico, sin embargo, el motivo de esta concentración se debe al aporte de los sólidos en suspensión producto del transporte de sedimentos.

Observamos en este caso que las concentraciones bajas en esta estación de muestreo, son producto de la presencia importante de bosque de galería en todo el recorrido de la red hídrica, lo que esta efectuando su capacidad de auto purificación, por efecto de la pendiente y la presencia de lechos rocosos. En referencia a la concentración de bacterias coliformes fecales encontradas vemos que fue de 2605 NMP/100 ml; sobrepaso los valores de la norma CAPRE. La posibilidad de encontrar evidencias de contaminación bacteriológica de coliformes fecales se debe principalmente al origen marcado de la actividad ganadera ubicado aguas arriba, principalmente el ganado que pastorea en sitios cercanos a las fuentes de agua y en potreros libres. Es posible que los suelos presenten poca capacidad de infiltración y aumenta los procesos de erosión, acentuado por la pendiente y la poca vegetación que minimice la escorrentía, facilitando la llegada de las aguas residuales a los ríos.

Estación 7 (E-7) Río Aquiares: En este caso los usos identificados son en su mayoría pastos, seguido de bosques. Existen pequeñas áreas de cultivos anuales en las partes altas, así como charrales y tacotales. El índice de calidad de agua para esta estación de muestreo resulta ser de 47.9 unidades, caracterizándose como agua de calidad pobre. El área de drenaje para este sitio de muestreo de agua superficial es de 883.1 has respectivamente. Los usos de suelo identificados tenemos pastos en primer con 466 has aproximadamente, un poco mas del 50 % del área total. En segundo orden por el bosque y en menor proporción los cultivos anuales. En el cuadro 30 detallamos los usos y las áreas ocupadas.

Cuadro 30. Usos de suelos (has) identificados para la estación 7 (E-7) del muestreo de agua superficial

Bosque	Pasto	Pasto con árboles	Cultivos anuales	Charrales
403.3	224.6	241.7	10.1	3.5

Fuente: CATIE, 2006

El uso de tierra más próximo al sitio de muestreo se refiere a la presencia de bosque, como bosque de galería en ambos lados y aguas arriba; así mismo la red hídrica aguas arriba, durante su recorrido pasa por tierras ocupadas con pastos, combinados con árboles en calidad de sistemas agroforestales.

Con relación a la calidad del agua desde el punto de vista bacteriológico observamos que la concentración de coliformes fecales encontrada fue de 15,362 NNP/100 ml, considerando la norma CAPRE, esta no es apta para el uso domestico de manera directa. De considerar su uso potencial, es necesario considerar medidas previas para reducir la concentración de bacterias patógenas y posiblemente se use para otras actividades, donde el consumo no sea su fin, sino para actividades

paisajísticos o el mantenimiento del caudal ecológico donde se considera la concentración media de 10,000 NMP/100 ml. La presencia de pastos es indicador de hábitat ganadero, producto de ello la presencia de bacterias coliformes, así mismo el aporte de bacterias de los asentamientos humanos aguas arriba.

Con base a la concentración media de la DBO (7.7 mg/l), esta supera el valor máximo aceptable según la norma CAPRE (5 mg/l), indicándonos que existe contaminación no puntual (ganadería) principalmente y puntual (centros poblados), de origen orgánico biodegradable. Considerando el análisis de los siguientes indicadores; concentración de oxígeno disuelto (9.5 mg/l), temperatura (18.1°C), potencial de hidrogeno (8.17 pH), sólidos totales disueltos (159.67 mg/l), nitratos (1.26 mg/l) y niveles de turbidez (0.57 UNT); no representan riesgo en lo que respecta a las concentraciones antes descritas, con base a los valores de la norma CAPRE, no exceden los valores recomendados.

Para el indicador del fosfato la concentración encontrada fue de 9.37 mg/l, comparando la norma CAPRE, considerando este contaminante las aguas con valores mayores de 5 mg/l de fosfato, no deben ser consideradas para el consumo potable principalmente. Es posible que su presencia sea resultado del uso de fertilizantes fosfatados y el aporte de aguas residuales grises jabonosas de los hogares ubicados aguas arriba (detergentes).

Estación 10 (E-10) Río Coliblanco: Tomando como referencia el resultado del índice de calidad del agua se clasifica como agua de calidad pobre, producto de un valor ICA de 41,6 unidades. El área de drenaje de esta subcuenca es de 544,5 ha. Los usos identificados para este sitio son pastos en primer lugar seguido del bosque y en tercer orden cultivos anuales. En el cuadro 31 encontraremos los usos con sus respectivas áreas ocupadas.

Cuadro 31. Usos de suelos (has) identificados para la estación 10 (E-10) del muestreo de agua superficial

Bosque	Pasto	Cultivos anuales	Cuerpos de agua
150.1	256.3	116.450	21.7

Fuente: CATIE, 2006

Los usos de tierra identificados en esta estación de muestreo tenemos bosque como el uso de tierra más inmediato al punto de muestreo, aguas arriba el uso de la tierra esta con pasturas principalmente y algunos parches boscosos, en la parte alta de la microcuenca encontramos un importante sector de tierra ocupada con cultivos anuales.

Considerando el análisis de los indicadores de calidad de agua en este sitio, vemos con respecto al indicador bacteriológico (coliformes fecales) su concentración media fue de 5381 NMP/100 ml,

tomando en cuenta las normas CAPRE, esta concentración clasifica el agua como no apta para el consumo humano. Para la demanda bioquímica de oxígeno su concentración fue superior al valor recomendable (4 mg/l), siendo la concentración resultante de 7,4 mg/l. En el caso de los nitratos, la concentración fue superada de acuerdo al valor recomendado óptimo (5 mg/l), en este caso la concentración encontrada fue de 22,29 mg/l; muy cerca del límite del valor máximo tolerable (25 mg/l), lo que se debe prestar especial atención a este elemento producto de las actividades ganaderas y agrícolas de los cultivos anuales de los alrededores y aguas arriba.

En relación al fosfato la concentración media resultante fue de 4,17 mg/l, este valor se encuentra cerca del valor del máximo tolerable (5 mg/l), ya que el óptimo es de 0,01 mg/l, de igual manera se le debe prestar atención al comportamiento de este elemento. Otro de los indicadores que presentó una concentración superior al valor máximo tolerable (5 UNT), se refiere a los niveles de turbidez, dicho valor en esta estación fue de 11,59 UNT. En el caso de los indicadores que no mostraron problema alguno en cuanto a la concentración para la selección del agua de uso potencialmente potable, tenemos al oxígeno disuelto 166 mg/l, índice de acidez 8.15 pH, sólidos totales disueltos 108 mg/l y temperatura 17.8 °C.

0E.3. Analizar por medio de un sondeo exploratorio general a un grupo poblacional, los niveles de conocimiento y percepción sobre la situación ambiental del agua.

4.3. Analizar por medio de un sondeo exploratorio general a un grupo poblacional, los niveles de conocimiento y percepción sobre la situación ambiental del agua.

La percepción del sondeo al nivel general de los informantes claves o actores locales de las instituciones consultadas y presentes en Turrialba, incluye personal del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), Ministerio de Salud (MINSA), Municipalidad de Turrialba, Área de Salud de la Caja Costarricense del Seguro Social (CCSS), Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), Consejo Nacional de Producción (CNP), Ministerio de Educación Pública (MEP), Municipalidad de Turrialba, Unidad de Manejo de la Cuenca del Reventazón del Instituto Costarricense de Electricidad (UMCRE-ICE), Instituto Costarricense del Café (ICAFE) en Turrialba.

El 100% de los consultados coinciden que se debe buscar iniciativas de coordinación entre las diferentes instituciones estatales y privadas, con un papel directo y protagónico activo. El 70% reconocen que cada institución trabaja muchas veces de forma aislada de acuerdo a la especialidad, y en algunos de los casos los impactos de los resultados son mínimos o los que no esperaban. Así mismo, el 100% considera que es importante que el tema ambiental se considere con visión integral, ya que es un tema transversal que se debe tratar en conjunto.

El 90% reconocen el esfuerzo de coordinación entre las diferentes instituciones, asegurando que efectuarse la unificación de trabajos institucionales los problemas ambientales de la subcuenca del río Turrialba minimizarían los impactos negativos, el deterioro y la degradación de los recursos naturales y el ambiente, mejorando la calidad de vida. Según el personal institucional el 50% coinciden que según experiencias en campañas de protección al ambiente, han percibido que la población muestra muy poco interés en apoyo de iniciativas institucionales de manera activa y continua, en pro de mejoras en calidad ambiental y manejo de los recursos naturales.

Es notoria la falta de sensibilidad humana ambiental que muchas veces se tienen sobre la visión con que se debe tomar la problemática ambiental y el mal uso de los recursos naturales, más aún la poca sensibilización sobre la degradación de los recursos hídricos superficiales, porque en la actualidad se sigue con la creencia que agua en cantidad es igual a tener agua de calidad y disponibilidad, sin considerar la subsiguiente vulnerabilidad a la contaminación del agua subterránea, que será en el futuro la única fuente potencial principalmente para el aprovechamiento doméstico y potable.

El sondeo exploratorio constó 11 preguntas a una población meta de 300 personas de diferentes barrios de Turrialba, la idea era tener un sondeo exploratorio al nivel general para valorar las diferentes percepciones y conocimiento sobre la situación ambiental general de la subcuenca del río Turrialba y la calidad del agua de consumo doméstico. Se decidió realizar un análisis para cada pregunta, con el propósito de obtener el porcentaje de percepción o conocimiento sobre el tema de investigación de la población. El cuadro 32 nos muestra los resultados obtenidos por medio de la prueba de Chi-cuadrado a los individuos de la población que participaron en el sondeo exploratorio y los diferentes niveles de comportamiento en cuanto al porcentaje de individuos con conocimiento.

Cuadro 32. Probabilidad de Chi Cuadrado aplicado al sondeo poblacional de los individuos por pregunta para medir niveles de conocimiento y percepción.

Preguntas	Dinámica				Probabilidad
	Respuestas		Porcentaje de conocimiento		Pr > X ²
	SI	NO	SI	NO	
P1	165	135	55 %	45 %	< 0.0001
P2	40	260	13 %	87 %	0,0032
P3	124	176	41 %	59 %	< 0.0001
P4	219	181	73 %	27 %	0,0023
P5	157	143	52 %	48 %	0,0096
P6	223	177	74 %	26 %	< 0.0001
P7	180	120	60 %	40 %	< 0.0001
P8	159	141	53 %	47 %	< 0.0001
P9	152	148	51 %	49 %	0,4239
P10	114	186	38 %	62 %	0,0012
P11	24	276	8%	92%	0,4443

Análisis de los niveles de percepción y conocimiento de la población por pregunta

En el caso de los niveles de conocimiento de la pregunta uno (P1) donde se preguntaba lo siguiente ¿Tiene conocimiento alguno sobre la situación ambiental y sanitaria del acueducto que le abastece de agua para el consumo doméstico? Considerando los datos del cuadro 32, de los 300 individuos sondeados, 165 decían conocer al respecto, esto significa el 55% de la población. Así mismo observemos que el 45% de ellos no conocen sobre la situación del acueducto. Es posible que este último comportamiento en la falta de interés, se deba a que ellos confían y están seguros que el servicio de agua es bueno y no representa problema alguno.

La pregunta dos (P2) donde necesitábamos averiguar lo siguiente ¿Ha tenido usted y su familia problemas de salud, enfermedades relacionadas o causadas por consumir agua de que ha llegado a su casa de dudosa calidad? Para esta pregunta el comportamiento resultó ser que 40 individuos efectivamente dijeron haber tenido un trastorno de salud con relación al consumo de agua, como el caso de diarrea. Esto representa que el 13% de la población se enteró por medio de la asistencia Médica, le indicó que el problema fue causado por la ingesta de agua contaminada y que posiblemente un virus o bacteria le provocó dicha enfermedad. Es posible que el manejo que en algunos hogares le den al agua de consumo humano no sea adecuado, dejando por algún descuido la exposición del recurso a ingerir que sea contaminado por descuido personal, causado por hábitos higiénicos y sanitarios no adecuados.

Para la pregunta tres (P3) obtuvimos que el 41% de la población que participó en el sondeo, es decir 124 individuos de los 300, dicen estar enterados que la Municipalidad o el acueducto encargado del servicio de distribución y abastecimiento de agua a su hogar, realiza con frecuencia análisis a la calidad del agua. En contraposición 176 individuos, esto representa el 59% de la población, no se dan cuenta si se realizan dichos análisis, ya que el agua que les llega a su casa es limpia, sin embargo suponen que se aplican los análisis, porque es un deber de los que brindan el servicio y que en realidad les gustaría que se les notifique sobre el estado de la calidad de agua.

El comportamiento de los individuos en la pregunta cuatro (P4) donde se deseaba conocer si estaría dispuesto a pagar una tarifa o costo ambiental adicional al pago actual que contribuya a la conservación, y protección del agua y el mejoramiento de la calidad en el servicio que le brinda la empresa, un porcentaje de 219 individuos dijeron estar de acuerdo siempre y cuando se cumpla lo prometido. Esto significa el 73% de la población sondeada dijo estar anuentes. Sin embargo vemos que un 27% correspondiente a 181 individuos, dijeron no estar disponibles a ese pago adicional, porque agua es lo que más tenemos.

Con respecto a la pregunta cinco (P5), donde se les preguntó si sabía que los tanques que se ocupa para el almacenamiento del agua y las tuberías que distribuyen la misma hasta su casa, reciben mantenimiento y/o se encuentran en buen estado, una población de 157 individuos dijo saber al respecto, esto significa un 52% de la población sondeada. Sin embargo un 48% que representa a 143 individuos de los 300, dijeron no saber o estar enterado sobre el estado y mantenimiento del sistema. Pero que era posible que reciban mantenimiento porque es parte del trabajo de los encargados de ofrecer el servicio de agua hasta sus hogares ya que ellos están pagando por el servicio.

En referencia a la pregunta seis (P6) una población de 223 individuos dijo conocer que los productos químicos usados en la agricultura, ganadería, desechos sólidos (basura), aguas residuales, y otros desechos de la población contaminan el agua y ponen en riesgo su salud; esta muestra representa el 74% de la población objetivo. De los 300 individuos sondeados, 77 dijeron no tener conocimiento al respecto, es decir el 26% de la población desconocían que las situaciones anteriores contaminan el agua, el ambiente y mucho menos relación con su salud.

Veamos el caso de la pregunta siete (P7), si han tenido problemas de escasez de agua o la suspensión del servicio, dijeron que efectivamente les ha sucedido este fenómeno 180 individuos, esto representa un 60% de la población. Las situaciones por las que se les ha suspendido el servicio porque a la empresa encargada de brindar el servicio de agua se le dañó una de las tuberías principales o están en fase de mantenimiento de la red. Así mismo un 40% de la población, representando 120 individuos de los 300, dijo que nunca han tenido este problema, lo atribuyen a que el agua en Turrialba es de calidad y en gran cantidad todo el tiempo.

Continuando con el análisis del sondeo para la pregunta ocho (P8) que decía lo siguiente, en alguna ocasión ha tenido problemas de mal sabor, color y olor raro el agua, resultando que 159 individuos, es decir el 53% de la población dijo que evidentemente han tenido esa problemática, particularmente en el caso de la cloración, donde el agua llega con un color blanco intenso y que al momento de tomarla presenta un sabor desagradable al paladar. Por el contrario un 37% de la población, significando 141 individuos, dijeron que no han presentado problema en este aspecto.

Los resultados para la pregunta nueve (P9) donde obtuvimos información si estaban enterados que en las escuelas, colegios, imparten materias relacionados al cuidado del ambiente, la salud de la población y en especial de la calidad del agua para consumo humano, lo que obtuvimos que 152 individuos (51%) están seguros que se imparten ya que ellos mismos en alguna manera recibieron algunas clases, aunque reconocen que de una forma muy débil, ya que como materia en si no se aplica, sino como una clase mas dentro de las materias de ciencias. Un sector que representa al 49% de la población sondeada, es decir 148 individuos, dicen que para ellos no se imparten materias relacionadas al

respecto ya que al parecer no es importante para el ministerio de educación pública y que sería importante que la incluyeran dentro de los cursos, desde la escuela.

En el caso de la pregunta diez (P10) donde se pretendió conocer a la población meta si sabían de ideas de proyectos para mejorar el servicio de agua, que ayuden al manejo, conservación y protección de las fuentes de agua, a lo que obtuvimos como resultado que un 38% de la población, es decir de los 300 individuos, 114 dijeron tener idea de actividades que según es para cuidar el agua y el ambiente. No obstante 186 individuos (62%) dijeron que no tenían la mínima idea que se estuviese haciendo algo al respecto, ya que como agua tenemos en abundancia no es importante por el momento.

El cuadro 33 y la figura 9 encontraremos los resultados del análisis de frecuencia de los niveles de percepción o conocimiento a los 300 individuos que participaron en el sondeo poblacional de la calidad del agua y la situación ambiental de la subcuenca del río Turrialba. Considerando las tres escalas de clasificación del nivel de conocimiento, la mayor parte de la población se califica de acuerdo a las frecuencias de preguntas conocidas o contestadas en un nivel medio de conocimiento, esto representa el 75% de la población objetivo, es decir de las 300 personas que se les aplicó el test, 226 se encuentran en esta categoría, según el patrón de conocimiento y percepción.

Cuadro 33. Frecuencia y clasificación de los niveles de conocimiento y percepción de la población de la subcuenca del río Turrialba que se le aplicó el sondeo exploratorio.

Frecuencia de preguntas contestadas	Escala de clasificación/conocimiento	Número de individuos/conocimiento	Porcentaje de individuos/conocimiento
1 a 3	Bajo	48	16%
4 a 7	Medio	226	75%
8 a 11	Alto	26	9%

Notemos que el nivel de conocimiento clasificado como alto, donde la frecuencia de preguntas conocidas supera las siete por cada individuo, representó a la población con el menor porcentaje de los tres resultantes, es decir el 9% significa un número de 26 individuos de los 300. El asunto es que posiblemente este comportamiento se haya dado resultado que las personas que están en este grupo poblacional, en su mayoría posean un buen nivel de preparación de enseñanza y educación. Los individuos que se encuentran en la categoría de nivel bajo de conocimiento clasificado por la frecuencia de preguntas contestadas, representan el 16% de la población objetivo, esto significa que de la población total que eran 300 individuos, 48 únicamente tenían conocimiento en tres preguntas. Acá posiblemente influyó el nivel de conocimiento en el proceso educativo o quizás el factor de no interesarle el tema ambiental que le rodea y la poca o nula voluntad de informarse por medio de la prensa escrita o espacios noticiosos por la televisión o radio escucha.

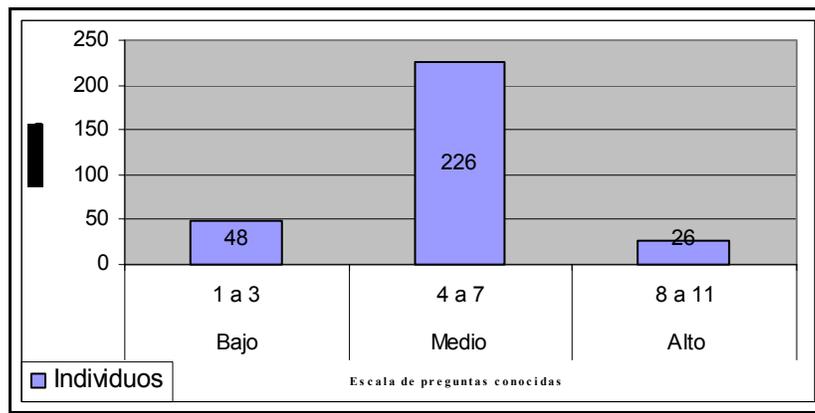


Figura 9. Dinámica de la frecuencia de los tres niveles de conocimiento y percepción de la población de la subcuenca del río Turrialba que se le aplicó el sondeo exploratorio.

OE.4. Proponer medidas potenciales alternativas que mitiguen el deterioro del agua superficial por efectos de la contaminación antropogénica.

4.4. Proponer medidas potenciales alternativas que mitiguen el deterioro del agua superficial por efectos de la contaminación antropogénica.

Promover iniciativas de gestión integral coordinada y dirigida por la Municipalidad de Turrialba, involucrando de manera activa a la población de Santa Rosa y Santa Cruz en la búsqueda de apoyo técnico y financiero para mejorar, rehabilitar y construir la infraestructura de los sistemas de saneamiento de aguas residuales grises, servidas, domésticas y negras. La integración y participación de actores conscientes de la sociedad es vital para el éxito de iniciativas y actividades propositivas al manejo de los recursos naturales y al ambiente, involucrando a instituciones, organizaciones, universidades y municipalidades, pero sobre todo a los dueños de las fincas.

La Municipalidad de Turrialba se encargue de la administración de los servicios de abastecimiento de agua potable y alcantarillado sanitario. Con la asesoría del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Como estrategia para la gestión, manejo y la conservación de los recursos hídricos en la subcuenca es posible impulsar la propuesta de una tarifa ambiental, tomando como referencia la experiencia de la Empresa de Servicios Públicos de Heredia. Aplicando la gestión y el manejo integrado del recurso hídrico dentro de la gestión empresarial.

Es necesario que el MINAE por medio de la dirección de Conservación de la Cordillera Volcánica Central (ACCVC) que se encarga del manejo del Parque Nacional Volcán Turrialba, formule una estrategia de gestión ambiental mediante la formalización de un convenio de cooperación de un pago por los servicios ambientales como el caso de la oferta hídrica a la población de Turrialba.

Un documento legal de compromiso entre la Municipalidad y la interdependencia de otras instituciones como el MINSA, MAG, CNP, Instituto del Café, sobre la aplicación de tecnologías sostenibles de producción limpia, como el tratamiento de sus aguas residuales.

Es importante que el gobierno municipal como actor clave debería conformar un Comité Operativo Municipal (COM) capaz de tomar decisiones y planifique medidas para la protección ambiental y social, coordinado y presidido por el Alcalde, integrando a diferentes instituciones del sector público y privado, sociedad civil. Este comité debe estar formado por comisiones sectoriales esenciales, siendo la comisión social, ambiental, económica-productiva, infraestructura y vivienda.

Promover la importancia que los gobiernos municipales como instancias claves deben contar en su estructura funcional las unidades de gestión ambiental (UGA). En el mayor de los casos conformada por cuatro departamentos vitales, evaluación, seguimiento y monitoreo, planificación y educación ambiental. Reconociendo que el tema ambiental no es sectorial, ya que trasciende el conjunto de actividades económicas y productivas de un sitio.

La gestión ambiental de las municipalidades y las otras instituciones ubicadas en la subcuenca deben involucrar la administración del uso y manejo de los recursos naturales por medio de acciones y medidas económicas, inversiones, procedimientos institucionales y legales para mantener, recuperar y mejorar la calidad del medio ambiente, disminuir la vulnerabilidad, asegurar la productividad de los recursos naturales y el desarrollo sostenible. Los principios rectores bajo el cual se fortalece la gestión ambiental son la descentralización, la equidad social y territorial, la responsabilidad y la participación ciudadana.

Al mismo tiempo buscar mecanismos para establecer una tarifa más objetiva (cobro mensual), de acuerdo al gasto real que hace cada sector y hogar sobre el recurso, ubicando un hidrómetro (medidor), de manera que esta medida sea útil para una adecuada gestión del agua. Al mismo tiempo brindar un servicio de calidad en lo que se refiere al sistema de distribución de agua y calidad de la misma.

Es necesario presentar una propuesta al Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, para que sea la entidad rectora guía para la vigilancia y control de la calidad del agua potable. Análisis periódico de monitoreo de la calidad ambiental del recurso hídrico superficial como parte de la agenda de trabajo de los planes anuales operativos (PAO), por medio de la coordinación de las diferentes instituciones estatales y privadas. Una de las visiones de estos monitoreos de agua, se de para efectos turísticos, como el caso de los balseros, centros de recreación y cultivo de peces en las cercanías de los

recorridos de los recursos hídricos. De manera que estas medidas adoptadas sean de seguridad ambiental y pública.

Implementar estrategias integrales de comunicación y educación ambiental transversal donde se enfatiza la educación a los sectores formales de escuelas y colegios y la extensión en tópicos socio-ambientales al sector informal como los diferentes grupos comunitarios organizados. Coordinado por el Ministerio de Educación Pública, Ministerio de Salud y la Municipalidad de Turrialba, Siendo necesario que conozcamos la realidad del agua que es agotable, que no se puede fabricar y que la estamos contaminando, pero estamos a tiempo de tomar medidas para su conservación y aprovechamiento sostenible.

Es necesario promover una cultura ambiental a la población en general, en especial para el recurso hídrico donde se integren valores fundamentales hacia el vital elemento con miras a un cambio de actitud por medio de valores como la conciencia colectiva, solidaridad, disciplina, justicia, sabiduría, medidas que logren la conservación y la eficiencia en el manejo del agua, que se integre la gestión del agua en el territorio, así como la educación y participación ciudadana.

Que la Municipalidad de Turrialba tome en consideración las medidas de mitigación de impacto ambiental de los futuros proyectos de desarrollo urbano principalmente en las planicies de inundación y áreas vulnerables a inundaciones, exigiendo a toda persona normal o jurídica que solicite el permiso de construcción en áreas cercanas a cauces de agua, que respete el área hidráulica propia de la corriente de agua y que entregue conforme, los planos de los respectivos sistemas de saneamiento y tratamiento de las aguas residuales grises y negras, así como el derecho del servicio de recolección domiciliar de los desechos sólidos, con el objetivo que el desarrollo urbano esté de acuerdo a la planificación urbana y el ordenamiento territorial municipal.

V. CONCLUSIONES

1. La contaminación que provoca mayor impacto por su intensidad y frecuencia es la orgánica influyendo principalmente en los parámetros como la demanda bioquímica de oxígeno, fosfatos y coliformes fecales, resultado del aporte de desechos líquidos y sólidos.
2. Es evidente que la degradación del agua superficial aumenta a medida que vamos dirección aguas abajo de la subcuenca del río Turrialba, relacionado por la fuerte presión que ejerce las fuentes puntuales de contaminación provocados por la concentración urbana de la población. Generándose un proceso de acumulación de estas fuentes, acelerando y agravando más la calidad del agua superficial del río Turrialba por el aporte y manejo inadecuado de las aguas residuales grises y negras de la población en general.
3. Las fuentes de contaminación más importantes de las estaciones de muestreos ubicadas aguas arriba están relacionadas con el patrón del uso actual de la tierra y los usos más representativos (ganadero y agrícola) influyendo en el aporte y presencia de nutrientes como fosfato, nitratos y turbidez por efectos de erosión de suelos.
4. Desde el punto de vista de la calidad bacteriológica por medio de los coliformes fecales como indicador para calificar el agua de consumo humano, los resultados demostraron que en las 10 estaciones de muestreos sus valores superaron la norma CAPRE, por lo que no califican como aptas para el consumo humano potable. Sin embargo se puede considerar para otros usos potenciales como el recreativo, navegación, paisajístico.
5. De acuerdo a los resultados del índice de calidad de agua para cada estación de muestreo, vemos el ICA menor le correspondió a la estación de muestreo (E-3) río Turrialba con 34.6 unidad ICA, ubicada en las inmediaciones de la población de Turrialba. En cambio, el valor índice mayor resultó para la estación de muestreo (E-10), con un resultado de 47.9 unidades ICA, ubicada en aguas arriba en el río Colíblanco.
6. Según la metodología aplicada del índice de calidad de agua de la Fundación Nacional de Sanidad (FNS-ICA) el agua superficial de las 10 estaciones de muestreo con base al valor resultante, se clasifican en la categoría como agua de calidad pobre, ya que sus valores no superaron las 50 unidades ICA.
7. Existe la percepción en los pobladores y el personal institucional de la subcuenca del río Turrialba que la dificultad de coordinación institucional minimiza el impacto de las acciones en pro del mejoramiento ambiental de la subcuenca del río Turrialba.

8. Los resultados del sondeo demuestran que el 75% de la población meta presenta un nivel medio de conocimiento o percepción sobre la situación ambiental del recurso hídrico de la subcuenca del río Turrialba. Resultado de la baja práctica de retroalimentación sobre las diferentes problemáticas a manera general que enfrenta la subcuenca, por parte de las instituciones encargadas.
9. Como consecuencia de la baja cobertura de hidrómetros en los hogares de la subcuenca del río Turrialba, es posiblemente el factor de mayor peso al que algunos pobladores no valoren el agua de consumo humano, considerándolo como un bien barato, sin restricciones de cantidad de uso y de una calidad relativamente buena.
10. Resulta evidente la dificultad de estimar criterios acerca del estado ambiental de un cuerpo de agua superficial únicamente mediante el análisis individual o de nueve parámetros usados en este estudio, así como la metodología misma. Además sabemos que la calidad es continuamente modificada en el tiempo y el espacio, por diversas razones complejas de predecir y evaluar, por lo que se debe considerar mayor frecuencia de muestras y sitios muestreos.

VI. RECOMENDACIONES

1. Resulta evidente la importancia de la metodología aplicada en el presente estudio en lo que se refiere a los parámetros e indicadores físicos, químicos y bacteriológicos para valorar la calidad del agua superficial, sin embargo sería bueno considerar parámetros e indicadores biológicos.
2. La calidad del agua superficial de la subcuenca de río Turrialba especialmente la parte alta, es donde presentó menor degradación en cuanto a su calidad, es inminente que se tomen acciones directas para mitigar o reducir los agentes que están impactando negativamente la calidad natural del cuerpo de agua, para que sea potencialmente usada en actividades recreativas, turísticas, acuicultura, aplicando técnicas de tratamiento y reducción de contaminantes con las concentraciones admisibles según la norma usada en el país.
3. Que la Municipalidad de Turrialba integre activamente la población de Turrialba, Santa Cruz, Santa Rosa, guiados por el Ministerio de Salud, ICAA, AyA, en la búsqueda de soluciones sanitarias y tratamiento de las aguas residuales que producen las diferentes actividades de la población, ya que el carácter antropogénico es la causa de mayor impacto y degradación a la calidad ambiental hídrica y los posibles efectos a la salud pública.
4. Creación de una comisión operativa u organismo de cuenca dirigida por la Municipalidad y la presencia de otras instituciones, que se encargue del manejo, gestión y administración del recurso hídrico, que impulse estrategias para el manejo integral e integrado del recurso hídrico superficial y subterráneo, con la participación de la sociedad en general, actores locales, instituciones públicas y privadas, los beneficiarios del recurso hídrico superficial y subterráneo.
5. Campañas de sensibilización que promueva una cultura ambiental del agua a la población en general dirigida por la Municipalidad, MEP, MINAE, y los acueductos rurales, sobre la importancia del agua y el costo que realmente significa, ya que la gente no tiene conciencia del valor de uso del recurso, porque las tarifas que se pagan por mes en la mayoría de los hogares no representa el volumen real, considerándose un cobro simbólico, por la carencia de un registro (medidor) de volumen real.
6. Que el Ministerio de Salud vigile y aplique efectivamente la ley nacional de aguas residuales basada en el reglamento de vertido y reuso, sobre la correcta disposición de las aguas residuales, por parte de los diferentes sectores que generan aguas residuales. Además verificar que estos sectores cumplan con los valores normativos del agua tratada previa a la llegada del agua superficial de la subcuenca.

7. Que la Municipalidad de Turrialba norme y regule planes de ordenamiento ambiental territorial, que disminuyan los problemas de crecimiento no planificado de la población, disminuyendo las fuentes potenciales de contaminación antrópica del agua superficial y subterránea.
8. Elaboración de un plan operativo de aplicación con medidas ambientales como el crecimiento y conservación de bosques de galería y áreas de protección, que minimicen el deterioro ambiental de los recursos natura en especial de los recursos hídricos como los ríos, áreas de recarga acuífera y nacientes, comprometiendo a las diferentes instituciones estatales y privadas a formar parte activa de las acciones preventivas y correctivas ambientales.
9. Al nivel de reflexión, no solo se trata de hacer pruebas y monitoreos de calidad en los cuerpos de agua, sino que también comunicar y notificar a los pobladores aledaños acerca de la situación ambiental de la subcuenca del río Turrialba, incentivando la preocupación pública y las acciones directas para mejorar el manejo del agua, conductas personales, industriales y políticas gubernamentales que afecten la calidad del agua.
10. Es necesario aclarar que la presente metodología del sondeo general exploratorio aplicado a la población para conocer los diferentes niveles de conocimiento o percepción, no se debe considerar que es un sentir de la población Turrialbeña, sino que es exclusivo a las 300 personas meta.

VII. LITERATURA CONSULTADA

- Agüero, J. 2000. Análisis de vulnerabilidad a la contaminación de una sección de los Acuíferos del valle central de Costa Rica. San José, Costa Rica. Universidad de Costa Rica. 140 p.
- Arroyo, J. 1998. Indicadores de la calidad de la tierra, en la cuenca del río Térraba. San José, Costa Rica. Universidad de Costa Rica. 122 p.
- Beitia, A. 1989. Análisis de la problemática de la calidad del agua y formulación de recomendaciones para su manejo en la cuenca alta del río Chiriquí Viejo. Panamá. Centro Agronómico Tropical para la investigación y la Enseñanza (CATIE). Tesis de Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 242 P.
- Brooks, KN; Gregersen, H; Thames, J. 1991. Hidrologyc and the management of waterseheds. Primera edición. Iowa, USA. Iowa State University Press. Ames, Iowa. 392 p.
- Brugnoli, E. 1999. Guía para el estudio de la calidad del agua en Centroamérica, una aproximación a la armonización de las normas de calidad. Costa Rica. 95 p.
- Caragua, 2003. Contexto de desarrollo (en línea). Turrialba, Costa Rica. Consultado el 20 de Oct. 2003. disponible en www.caragua.org/HTML/DevelContextSpanish.htm.
- Canters, L. 2000. Manual de evaluación de impacto ambiental. Técnicas para la elaboración de Estudios de impacto. Madrid, España. 841 p.
- CAPRE. 1994. Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centroamérica, Panamá y República Dominicana. Normas de calidad del agua para consumo humano. San José, Costa Rica. 27 p.
- CEDARENA (Centro de Derecho Ambiental y de los Recursos Naturales) 2002. Proyecto de incidencia política de los recursos hídricos. Conflictos por el uso del agua. Consultado el 20 de octubre del 2004. Disponible en línea electrónica <http://www.cedarena.org/hidrico/docs/ Costarica>.
- Córdoba, A. 2002. Calidad de agua y su relación con los usos actuales en la subcuenca del río Jucuapa. Matagalpa, Nicaragua. Tesis de Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. Centro Agronómico Tropical para la investigación y la Enseñanza (CATIE). 143 P.
- Chaves, M. 2002. Análisis de la vulnerabilidad del recurso hídrico y opciones de manejo Sostenible en la cuenca del río San Carlos. San José, Costa Rica. Universidad de Costa Rica (UCR). 150 p.
- Chambers, P ; Guy, M; Grove, G ; Kent, R; Roberts, E; Gagnon, C. 2002. Nutrient losses from agriculture ; effects on Canadian surface and ground waters. In Steenvorrden, J; Claessen, F; Willems, J. Agricultura effects on ground and surface waters, research at the edge of sciencie and society. Oxfordshire, UK, International Association of Hidrologycal Sciencies. 384 p.
- Faustino, J. 1996. Criterios para la clasificación de los problemas y soluciones en la conservación de suelos y aguas. Turrialba, Costa Rica. Centro Agronómico Tropical para la investigación y la Enseñanza (CATIE). 60 p.

- FAO. 2000. Organización para la Agricultura y Alimentación. El riego en América Latina y el Caribe en cifras. Roma, Italia. FAO. 348 p.
- FAO, 1993. Organización para la agricultura y alimentación. Prevención de la contaminación del agua por la agricultura y actividades afines. Informe sobre temas hídricos I. Santiago de Chile, Chile. 385 p.
- Foster, S; Hirata, R. 1991. Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas. Lima, Perú. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales (CEPIS/ OPS/ OMS). 189 p.
- Foster, S; Brian, A; Morales, M; Tenjo, S. 1991. Estrategias de protección de aguas subterráneas. Lima, Perú. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales (CEPIS). 91 p.
- García, M. 1992. Contaminantes tóxicos prioritarios en agua. Universidad Nacional Autónoma de Chapingo. México. Primera edición. UACHM. México. 294 p.
- Gardi, J. 2001. Land use, agronomic management and water quality in a small Northern Italian watershed. 87 p.
- Gallego, M. 2000. El agua, vehículo de contaminación. Pagina electrónica (en línea) Turrialba, Costa Rica. Consultado Octubre 2003. Disponible en www.badad.com/no01/agua.html.
- GWP, 2000. Asociación Mundial del Agua. Manejo integrado de recursos hídricos. No 4. Estocolmo, Suecia. 64 p.
- Helmer, R; Español, I. 1999. Control de contaminación del agua. Guía para la aplicación de principios relacionados con el manejo de la calidad del agua. Primera edición. Lima, Perú. 546 p.
- Helmer, R; Español, I. 2000. Control de contaminación del agua. Guía para la aplicación de principios relacionados con el manejo de la calidad del agua. Segunda edición. Lima, Perú. 598 p.
- Henry, G; Heinke, G. 1999. Ingeniería Ambiental. Segunda Edición. México. Editora Prentice Hall, Inc. México. 800 p.
- InfoStat, 2003. InfoStat, Software estadístico: Manual del Usuario, Versión 1.5. Primera Edición, Grupo InfoStat, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Córdoba. Editorial Brujas Argentina. 232 p.
- Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). 2000. Plan de Manejo de la Cuenca del Reventazón. (UMCRE). Versión Digital. 1 Disco Compacto.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 1997. Taller sobre el uso de plaguicidas en América Central: memoria, Turrialba, Costa Rica. IICA - GTZ. 158 p.
- Jermar, M. 1987. Water Resources and Water Manegement. Development in Water Sciencies 28. Amsterdam. Elsevier. 385 p.

- Jiménez, F. 2003. Manejo de Desastres Naturales, Módulo 2. Turrialba, Costa Rica, Centro Agronómico Tropical para la investigación y la Enseñanza (CATIE). 284 p.
- La Gaceta No 100. Martes 27 de mayo de 1997. Reglamento para la calidad del agua potable. San José, Costa Rica.
- Meneses, J. 2003. Calidad del agua en la microcuenca los Hules tinajones, cuenca del canal de Panamá. Panamá. Tesis de Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. Centro Agronómico Tropical para la investigación y la Enseñanza (CATIE). 84 P.
- Mendoza, M. 1996. Impacto de la tierra, en la calidad del agua de la microcuenca del río Sábalos. Cuenca del río San Juan. Nicaragua. Tesis de Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. Centro Agronómico Tropical para la investigación y la Enseñanza (CATIE). 81 p.
- MINAE, 2002. Ministerio del Ambiente y Energía. Una Perspectiva sobre el Ambiente. San José, Costa Rica, MINAE. 161 p.
- Mitsi, N; Faga, T. 2002. Protecting your community's water supply using GIS (en línea) Consultado en Octubre del 2003. disponible en www.ssmgroup.com/news/press/_release.
- Mitchell, M; Stapp, W; Bixby, K. 1991. Manual de campo de proyecto del río. Una guía para monitorear la calidad del agua en el río Bravo. Segunda edición. Proyecto del Río. New México, USA. 200 p.
- Organización Mundial para la Salud (OMS). 1998. Consideraciones sobre el programa medio Ambiente y Salud en el Istmo Centroamericano. San José, Costa Rica. OMS. 50 p.
- Organización Mundial para la Salud (OMS). 1999. Guías para la calidad del agua potable: vigilancia y control de los abastecimientos de agua a la comunidad. Segunda Edición, Volumen 3. OMS, Suiza, Ginebra. 255 p.
- Organización Panamericana de la Salud (OPS). 1999. Control de contaminación de recursos hídricos. Primera edición. Lima, Perú. OPS. 96 p.
- Organización Panamericana de la Salud, (OPS). 2000. Control de contaminación de recursos hídricos. Segunda edición. Lima, Perú. OPS. 130 p.
- Ongley, E. 1997. Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos. Estudio de la Organización para la Agricultura y Alimentación. Riego y Drenaje 55. Roma, Italia. FAO. 116 p.
- Pote, DH; Reed, B; Daniel, TC; Nichols, DJ; Moore, PA; Edwards, DR & Fornica, S. 2001. Water quality effects of infiltration rate and manure application rate for soils receiving swine manure. Journal of Soil and Water Conservation, 56(1):32-37 p.
- Programa de Desarrollo Institucional Ambiental (PRODIA) 2000. Control de la contaminación industrial. Metodologías para monitoreo de agua y sedimentos en aguas superficiales y suelos afectados por contaminación de origen industrial. Bogota, Colombia. PRODIA. 122 p.
- Programa de las Naciones Unidas (PNUMA) 2001. Situación de los recursos naturales en América Latina. Washington (en línea) Consultado el 20 de Octubre del 2003. Disponible en www.rolac.unep.mx/recnat

- Randulovich, R. 1997. Sostenibilidad en el uso del agua en América Latina. Revista Forestal Centroamericana. Centro Agronómico Tropical para la Investigación y la Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. CATIE. No 18:13-17 p.
- Ramakrishna, B. 1997. Estrategia de Extensión para el manejo integrado de cuencas hidrográficas: Conceptos y Experiencias. Serie investigación y educación en desarrollo sostenible. San José, Costa Rica, IICA. 338 p.
- Reynolds, J. 2002. Manejo integrado de aguas subterráneas. Un reto para el futuro. Editorial San José. Costa Rica, UNED. 348 p.
- Rojas, R. 2003. Guía para la vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano. Lima, Perú. CEPIS, Perú. 320 p.
- Sanders, L. 1998. A manual of field hidrogeology. Northeastern Illinois University. Illinois, United States of America. Prentice Hall, Inc. 377 p.
- Schulz. C; Okun, D. 1990. Tratamiento de aguas superficiales para países en desarrollo. Primera edición, Editorial Limusa, México. 387 p.
- Steel, R; Torrie, J. 1998. Bioestadística: principios y procedimientos. Traducido por Martínez, R. Segunda edición. México. McGraw-Hill/Interamericana de México, S.A. de C.V. 1998. 622 p.
- Tim, U; Jolly, R. 1994. Evaluating agriculture nonpoint source pollution using integrated geographyc information systems hydrologyc water quality model. 25 p.
- Torres, L. 2003. Análisis de la vulnerabilidad del recurso hídrico de un sector de la gran área Metropolitana. San José, Costa Rica. Universidad de Costa Rica. 194 p.
- Tribunal Centroamericano del Agua 1999. El Agua realidad y utopía. Primera Edición. Editorial Fundación Guilombé. San José. Costa Rica. 150 p.
- United States Environmental Protection Agency (USEPA). 1992. National water quality inventory. Washigton, DC. USA, EPA. 309 p.
- Vidal, M ; Lopez, A ; Santoalla, MC; Valles, V. 2000. Factor analyses for the water resources contamination due to the use the livestock slurries as fertilizers. Agricultural Water Management. 45:1-15 p.
- Vilela, E. 2003. Usos predominantes de la tierra y la calidad del agua en la cuenca del río Gama, Distrito Federal de Brasil. Brasil. Tesis de Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. Centro Agronómico Tropical para la investigación y la Enseñanza (CATIE). 135 P.
- Villegas, J. 1995. Evaluación de la calidad de agua en la cuenca del Río Reventado, Cartago, Costa Rica, Bajo el enfoque de indicadores de sostenibilidad. Tesis de Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. Centro Agronómico Tropical para la investigación y la Enseñanza (CATIE). 118 P.
- Wagner, T; Shillings, K; Libra, R. 2000. The relationship of nitrate concentracions in stream to row crop land use in Iowa. Journal Enviromental Quality, 29:1462-1469 p.

ANEXOS

ANEXO 1

Salidas de SAS generales de los ANDEVA para la de las variables físicas, químicas y bacteriológicas de la calidad del agua superficial de la subcuenca del río Turrialba 2004

Anexo 1.1. Salida de SAS de ANDEVA para la Variable: Demanda Bioquímica de Oxígeno

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	15	166.2015556	11.0801037	2.36	0.0581
Error	14	65.6704444	4.6907460		
Corrected Total	29	231.8720000			

R-Square 0.716781 Coeff Var 25.00939 Root MSE 2.165813 DBO Mean 8.660000

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Sitio	2	27.9257778	13.9628889	2.98	0.0837
Rep(Sitio)	7	109.5928889	15.6561270	3.34	0.0262
Med	2	17.5149319	8.7574659	1.87	0.1911
Sitio*Med	4	3.7648889	0.9412222	0.20	0.9338

Tests of Hypotheses Using the Type III MS for Rep(Sitio) as an Error Term

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Sitio	2	27.9257778	13.9628889	0.89	0.4518

Duncan's Multiple Range Test for DBO

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	Sitio
A	9.620	15	Baja
A	7.811	9	Media
A	7.533	6	Alta

Duncan Grouping	Mean	N	Med
A	9.6300	10	1
B	8.9100	10	2
B	7.4400	10	3

Anexo 1.2. Salida de SAS de ANDEVA para la variable Oxígeno Disuelto

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	15	7.25246222	0.48349748	15.41	<.0001
Error	14	0.43912444	0.03136603		
Corrected Total	29	7.69158667			

R-Square 0.942908 Coeff Var 1.976025 Root MSE 0.177105 OD Mean 8.962667

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Sitio	2	2.87223111	1.43611556	45.79	<.0001
Rep(Sitio)	7	0.45535556	0.06505079	2.07	0.1162
Med	2	2.25020674	1.12510337	35.87	<.0001
Sitio*Med	4	0.45682889	0.11420722	3.64	0.0310

Tests of Hypotheses Using the Type III MS for Rep(Sitio) as an Error Term

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Sitio	2	2.87223111	1.43611556	22.08	0.0009

Duncan's Multiple Range Test for OD

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	Sitio
A	9.5667	6	Alta
B	8.9089	9	Media
B	8.7533	15	Baja

Duncan Grouping	Mean	N	Med
A	9.42900	10	2
B	8.83100	10	1
C	8.62800	10	3

Anexo 1.3. Salida de SAS de ANAVA para la variable Sólidos Totales Disueltos

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	15	59116.15556	3941.07704	2.06	0.0930
Error	14	26838.64444	1917.04603		
Corrected Total	29	85954.80000			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	STD Mean
0.687759	22.59241	43.78408	193.8000

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Sitio	2	13754.14444	6877.07222	3.59	0.0552
Rep(Sitio)	7	28693.32222	4099.04603	2.14	0.1072
Med	2	10102.49534	5051.24767	2.63	0.1068
Sitio*Med	4	3672.48889	918.12222	0.48	0.7508

Tests of Hypotheses Using the Type III MS for Rep(Sitio) as an Error Term

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Sitio	2	13754.14444	6877.07222	1.68	0.2540

Duncan's Multiple Range Test for STD

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	Sitio
A	222.89	9	Media
A	188.73	15	Baja
A	162.83	6	Alta

Duncan Grouping	Mean	N	Med
A	217.30	10	3
B A	197.40	10	2
B	166.70	10	1

Anexo 1.4. Salida de SAS de ANDEVA para la variable potencial de hidrógeno (ph)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	15	3.3099222	0.22066615	2.32	0.0624
Error	14	1.33442444	0.09531603		
Corrected Total	29	4.64441667			

R-Square 0.712682 Coeff Var 3.829642 Root MSE 0.308733 ph Mean 8.061667

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Sitio	2	0.37586111	0.18793056	1.97	0.1760
Rep(Sitio)	7	2.10395556	0.30056508	3.15	0.0321
Med	2	0.29840566	0.14920283	1.57	0.2435
Sitio*Med	4	0.37736889	0.09434222	0.99	0.4449

Tests of Hypotheses Using the Type III MS for Rep(Sitio) as an Error Term

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Sitio	2	0.37586111	0.18793056	0.63	0.5625

The SAS System

20

09:49 Tuesday, March 22, 2005

Duncan's Multiple Range Test for ph

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	Sitio
A	8.1822	9	Media
A	8.1600	6	Alta
A	7.9500	15	Baja

Duncan Grouping	Mean	N	Med
A	8.1940	10	1
A	8.0930	10	3
A	7.8980	10	2

Anexo 1.5. Salida de SAS de ANAVA para la variable temperatura (°C)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	15	182.1730000	12.1448667	11.71	<.0001
Error	14	14.5206667	1.0371905		
Corrected Total	29	196.6936667			

R-Square 0.926176 Coeff Var 4.599242 Root MSE 1.018425 TC Mean 22.14333

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Sitio	2	135.8760000	67.9380000	65.50	<.0001
Rep(Sitio)	7	21.2576667	3.0368095	2.93	0.0414
Med	2	20.2946022	10.1473011	9.78	0.0022
Sitio*Med	4	1.4666667	0.3666667	0.35	0.8373

Tests of Hypotheses Using the Type III MS for Rep(Sitio) as an Error Term

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Sitio	2	135.8760000	67.9380000	22.37	0.0009

The SAS System

21

Duncan's Multiple Range Test for TC

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	Sitio
A	23.5733	15	Baja
A	22.5333	9	Media
B	17.9833	6	Alta

Duncan Grouping	Mean	N	Med
A	23.2500	10	2
B	22.1000	10	3
C	21.0800	10	1

Anexo 1.6. Salida de SAS de ANDEVA para la variable Nitratos

Dependent Variable: NitratosSQRT

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	15	24.27516909	1.61834461	2.03	0.0963
Error	14	11.14099109	0.79578508		
Corrected Total	29	35.41616018			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	NitratosSQRT Mean
0.685426	41.24410	0.892068	2.162898

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Sitio	2	1.81327382	0.90663691	1.14	0.3480
Rep(Sitio)	7	12.21403083	1.74486155	2.19	0.1001
Med	2	1.55727260	0.77863630	0.98	0.4002
Sitio*Med	4	8.69059184	2.17264796	2.73	0.0718

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Sitio	2	1.81327382	0.90663691	1.14	0.3480
Rep(Sitio)	7	12.21403083	1.74486155	2.19	0.1001
Med	2	4.18841234	2.09420617	2.63	0.1071
Sitio*Med	4	8.69059184	2.17264796	2.73	0.0718

Tests of Hypotheses Using the Type III MS for Rep(Sitio) as an Error Term

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Sitio	2	1.81327382	0.90663691	0.52	0.6160

Duncan's Multiple Range Test for Nitratos

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	Sitio
A	11.777	6	Alta
A	4.041	9	Media
A	3.582	15	Baja

Duncan Grouping	Mean	N	Med
A	8.807	10	2
A	3.819	10	1
A	3.450	10	3

Anexo 1.7. Salida de SAS de ANDEVA para la variable Fosfatos

Dependent Variable: FosfatosSQRT

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	15	526.0000281	35.0666685	2.09	0.0887
Error	14	235.3796527	16.8128323		
Corrected Total	29	761.3796808			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	FosfatosSQRT Mean
0.690851	105.7331	4.100345	3.878016

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Sitio	2	37.8161328	18.9080664	1.12	0.3524
Rep(Sitio)	7	170.9584057	24.4226294	1.45	0.2611
Med	2	266.8764344	133.4382172	7.94	0.0050
Sitio*Med	4	50.3490552	12.5872638	0.75	0.5750

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Sitio	2	37.8161328	18.9080664	1.12	0.3524
Rep(Sitio)	7	170.9584057	24.4226294	1.45	0.2611
Med	2	162.4423416	81.2211708	4.83	0.0254
Sitio*Med	4	50.3490552	12.5872638	0.75	0.5750

Tests of Hypotheses Using the Type III MS for Rep(Sitio) as an Error Term

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Sitio	2	37.81613276	18.90806638	0.77	0.4969

Duncan's Multiple Range Test for Fosfatos

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	Sitio
A	63.63	15	Baja
A	22.49	9	Media
A	6.77	6	Alta

Duncan Grouping	Mean	N	Med
A	111.87	10	2
B	6.54	10	3
B	1.34	10	1

Anexo 1.8. Salida de SAS de ANDEVA para la variable Turbidez

Dependent Variable: TurbidezSQRT

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	15	29.09669813	1.93977988	2.03	0.0972
Error	14	13.39347178	0.95667656		
Corrected Total	29	42.49016991			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	TurbidezSQRT Mean
0.684787	41.67094	0.978098	2.347196

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Sitio	2	6.10141292	3.05070646	3.19	0.0722
Rep(Sitio)	7	16.15044143	2.30720592	2.41	0.0763
Med	2	3.26354873	1.63177436	1.71	0.2173
Sitio*Med	4	3.58129506	0.89532377	0.94	0.4715

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Sitio	2	6.10141292	3.05070646	3.19	0.0722
Rep(Sitio)	7	16.15044143	2.30720592	2.41	0.0763
Med	2	3.24943930	1.62471965	1.70	0.2186
Sitio*Med	4	3.58129506	0.89532377	0.94	0.4715

Tests of Hypotheses Using the Type III MS for Rep(Sitio) as an Error Term

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Sitio	2	6.10141292	3.05070646	1.32	0.3257

Duncan's Multiple Range Test for Turbidez

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	Sitio
A	8.231	15	Baja
A	6.082	6	Alta
A	3.646	9	Media

Duncan Grouping	Mean	N	Med
A	8.380	10	1
A	5.482	10	2
A	5.415	10	3

Anexo 1.9. Salida de SAS de ANDEVA para la variable Coliformes fecales

Dependent Variable: ColiformesFECLOG

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	15	319.9299026	21.3286602	3.18	0.0184
Error	14	93.9544328	6.7110309		
Corrected Total	29	413.8843354			

R-Square Coeff Var Root MSE ColiformesFECLOG Mean
 0.772994 21.27248 2.590566 12.17801

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Sitio	2	154.5612673	77.2806336	11.52	0.0011
Rep(Sitio)	7	93.6498950	13.3785564	1.99	0.1288
Med	2	13.3597048	6.6798524	1.00	0.3943
Sitio*Med	4	58.3590355	14.5897589	2.17	0.1251

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Sitio	2	154.5612673	77.2806336	11.52	0.0011
Rep(Sitio)	7	93.6498950	13.3785564	1.99	0.1288
Med	2	3.8891268	1.9445634	0.29	0.7528
Sitio*Med	4	58.3590355	14.5897589	2.17	0.1251

Tests of Hypotheses Using the Type III MS for Rep(Sitio) as an Error Term

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Sitio	2	154.5612673	77.2806336	5.78	0.0330

Duncan's Multiple Range Test for Coliformes fecales

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	Sitio
A	178877133	15	Baja
A B	370610	6	Alta
A	124689	9	Media

Duncan Grouping	Mean	N	Med
A	261204140	10	2
A B	7269346	10	3
A	176800	10	1

Anexo 1.10. Salida de SAS de las medias y desviaciones estándar de las variables físicas, químicas y bacteriológicas de la calidad del agua superficial de la subcuenca del río Turrialba, por sitios y épocas de muestreos

Level of Sitio	Demanda Bioquímica de Oxígeno				Oxígeno Disuelto	
	Level of Med	N	Mean	Std Dev	Mean	Std Dev
Alta	1	2	8.1500000	0.63639610	9.55000000	0.01414214
Alta	2	2	7.4000000	0.00000000	9.71000000	0.00000000
Alta	3	2	7.0500000	0.07071068	9.44000000	0.14142136
Baja	1	5	10.9200000	4.74468123	8.58800000	0.35195170
Baja	2	5	9.7000000	0.71763500	9.34800000	0.01095445
Baja	3	5	8.2400000	4.24299423	8.32400000	0.01673320
Media	1	3	8.4666667	0.50332230	8.75666667	0.30730007
Media	2	3	8.6000000	2.25166605	9.37666667	0.06350853
Media	3	3	6.3666667	0.20816660	8.59333333	0.30022214

Level of Sitio	Sólidos Totales Disueltos				Potencial de Hidrógeno	
	Level of Med	N	Mean	Std Dev	Mean	Std Dev
Alta	1	2	138.000000	5.6568542	8.19500000	0.12020815
Alta	2	2	159.000000	26.8700577	8.19000000	0.22627417
Alta	3	2	191.500000	45.9619408	8.09500000	0.30405592
Baja	1	5	157.800000	49.0224438	8.02400000	0.45478566
Baja	2	5	184.800000	64.7896597	7.71800000	0.31610125
Baja	3	5	223.600000	14.5189531	8.10800000	0.49856795
Media	1	3	200.666667	60.5750224	8.47666667	0.35444793
Media	2	3	244.000000	71.5262190	8.00333333	0.14571662
Media	3	3	224.000000	62.6418391	8.06666667	0.61857363

Level of Sitio	Temperatura				Nitratos	
	Level of Med	N	Mean	Std Dev	Mean	Std Dev
Alta	1	2	17.2500000	0.07071068	2.73000000	1.9091883
Alta	2	2	19.0000000	0.00000000	30.0500000	40.9414826
Alta	3	2	17.7000000	0.70710678	2.55000000	1.7677670
Baja	1	5	22.4400000	1.99072851	3.84800000	0.7825407
Baja	2	5	24.5000000	0.50000000	3.45800000	0.5633560
Baja	3	5	23.7800000	0.08366600	3.44000000	0.5983310
Media	1	3	21.3666667	1.81750745	4.49666667	2.5147631
Media	2	3	24.0000000	1.73205081	3.56000000	1.1621055
Media	3	3	22.2333333	1.70098011	4.06666667	2.2120880

Level of Sitio	Nitratos				Fosfatos	
	Level of Med	N	Mean	Std Dev	Mean	Std Dev
Alta	1	2	1.75561219	0.54373862	0.7050000	0.247487
Alta	2	2	4.48926769	4.55992887	13.3600000	16.461446
Alta	3	2	1.70764246	0.51760453	6.2500000	5.161880
Baja	1	5	2.07837037	0.18833687	2.0440000	2.364081
Baja	2	5	1.98550161	0.14046060	179.4000000	265.651652
Baja	3	5	1.98004295	0.15584411	9.4600000	13.863189
Media	1	3	2.19208403	0.53586510	0.6000000	0.238956
Media	2	3	1.96816738	0.52865465	65.0000000	83.216585
Media	3	3	2.09385602	0.52311607	1.8666667	1.159023

Level of Sitio	Fosfatos				Turbidez	
	Level of Med	N	Mean	Std Dev	Mean	Std Dev
Alta	1	2	1.0948116	0.11302738	7.55000000	8.6974134
Alta	2	2	3.2698595	2.51714884	0.54500000	0.7566043
Alta	3	2	2.4927924	1.03536089	10.15000000	13.9300036
Baja	1	5	1.4750874	0.67834087	10.94000000	10.94000000
Baja	2	5	10.6906558	9.05606686	8.06400000	6.0895509
Baja	3	5	2.7193121	1.79071973	5.69000000	4.5547228
Media	1	3	1.0444827	0.11655023	4.66666667	3.2593455
Media	2	3	6.8455826	5.28743775	4.47000000	7.5517481
Media	3	3	1.5100301	0.36015790	1.80000000	2.1166010

Level of Sitio	Turbidez		-----TurbidezSQR-----		-----ColiformesFEC-----	
	Level of Med	N	Mean	Std Dev	Mean	Std Dev
Alta	1	2	2.57334681	1.68990308	60500	70004
Alta	2	2	0.98556168	0.38384419	1100	0
Alta	3	2	2.71105988	2.56910659	1050230	1484599
Baja	1	5	3.27749048	0.93411466	295200	450750
Baja	2	5	2.74355724	1.13847138	522314000	723889089
Baja	3	5	2.33646734	0.95585065	14022200	18569462
Media	1	3	2.19900279	0.70468438	57000	48446
Media	2	3	1.75399915	1.68529833	156400	262925
Media	3	3	1.40978441	0.68466186	160667	259230

ANEXO 2.

ANEXO 2.1. Concentraciones encontradas de los parámetros o variables de la calidad del agua superficial de la subcuenca del río Turrialba. 2004

Rep	Mes	Estación	DBO(mg/l)	OD(mg/l)	STD(mg/l)	pH	ToC	Nitratos (mg/l)	Fosfatos(mg/l)	Turbidez UNT	Coli fecales NMP/100 ml
1	mayo	E-10	8.60	9.56	142.00	8.28	17.20	1.38	0.53	1.40	46000
1	agosto		7.40	9.71	178.00	8.35	19.00	1.10	25.00	0.01	43
1	nov		7.00	9.34	159.00	7.88	18.20	1.30	2.60	0.30	43
2	mayo	E-7	7.70	9.54	134.00	8.11	17.30	4.08	0.88	13.70	1100
2	agosto		7.40	9.71	140.00	8.03	19.00	59.00	1.72	1.08	43
2	nov		7.10	9.54	224.00	8.31	17.20	3.80	9.9	20.00	15000
3	mayo	E-2	9.00	8.43	174.00	8.72	23.40	7.40	0.65	3.70	110000
3	agosto		11.20	9.34	168.00	7.84	25.00	5.95	30.00	13.19	110000
3	nov		6.20	8.30	182.00	7.49	23.90	6.40	3.20	4.20	46000000
4	mayo	E-5	8.40	8.80	158.00	8.64	20.80	3.09	0.81	8.30	1100
4	agosto		7.30	9.34	254.00	8.12	25.00	2.99	160.00	0.12	43
4	nov		6.60	8.58	296.00	8.72	22.30	2.00	1.30	0.20	150
5	mayo	E-6	8.00	9.04	270.00	8.07	19.90	3.00	0.34	2.00	7500
5	agosto		7.30	9.45	310.00	8.05	22.00	1.74	5.00	0.10	75
5	nov		6.30	8.90	194.00	7.99	20.50	3.80	1.10	1.00	240
6	mayo	E-1	11.40	8.09	94.00	8.07	25.20	4.80	0.28	14.00	11000
6	agosto		10.90	9.36	130.00	7.75	24.00	4.27	95.00	13.20	1500000
6	nov		6.10	8.34	222.00	8.04	23.70	3.90	4.20	6.70	4600000
7	mayo	E-3	19.00	8.38	216.00	7.27	23.70	4.40	2.44	5.50	110000
7	agosto		9.50	9.34	235.00	7.33	25.00	3.65	650.00	15.03	1500000000
7	nov		15.80	8.30	248.00	7.42	23.90	3.70	34.20	12.30	46000000
8	mayo	E-4	7.80	8.77	170.00	8.34	21.40	3.13	0.96	21.00	7500
8	agosto		9.40	9.34	242.00	7.81	24.50	2.90	84.00	8.00	11000000
8	nov		6.20	8.34	210.00	8.69	23.70	3.20	2.00	1.30	1100
9	mayo	E-8	8.20	8.98	186.00	8.02	20.20	3.91	6.00	5.80	4600
9	agosto		9.70	9.34	216.00	8.17	25.00	3.52	0.00	1.35	460
9	nov		7.00	8.32	216.00	8.48	23.80	2.50	2.70	1.45	1500
10	mayo	E-9	8.20	8.72	123.00	8.42	21.70	3.00	0.54	8.40	15000
10	agosto		9.00	9.36	101.00	7.53	24.00	2.95	68.00	2.74	460000
10	nov		6.10	8.32	222.00	7.91	23.80	3.90	4.20	6.70	110000

ANEXO 2.2. Resumen de los promedios estadísticos de los parámetros de la calidad del agua superficial en la subcuenca del río Turrialba 2004.

Estaciones de muestreo de agua	ID	DBO (mg/l)	OD (mg/l)	STD mg/l	pH	ToC	NO 3 (mg/l)	PO 4 (mg/l)	UNT	Colif fecales NMP/100 ml
Río Coliblanco	E-10	7.4	9.6	166.0	8.2	17.8	22.3	4.2	11.6	5,381.0
Río Aquiares	E-7	7.7	9.5	159.7	8.2	18.1	1.3	9.4	0.6	15,362.0
Río Jesús María	E-6	7.5	9.1	292.0	8.0	20.8	2.2	2.2	0.8	2,605.0
Río Turrialba (La Roncha)	E-5	7.3	8.9	202.0	8.5	22.7	3.3	54.0	3.1	431.0
Río Colorado	E-2	8.8	8.7	174.7	8.0	24.1	6.6	11.3	7.0	226,666.7
Río Aquiares (La Isabel)	E-8	8.3	8.9	194.7	8.2	23.0	3.3	1.1	2.9	2,186.7
Río quebrada Grande	E-9	7.8	8.8	108.0	8.0	23.2	3.3	24.2	5.9	195,000.0
Río Turrialba)	E-3	14.8	8.7	233.0	7.3	24.2	3.9	228.9	10.9	515370000.0
Río Colorado	E-1	9.5	8.6	148.7	8.0	24.3	4.4	34.1	10.5	2,037,000.0
Río Turrialba	E-4	7.8	8.8	207.3	8.3	23.2	3.1	29.2	10.1	3,669,533.3
Norma CAPRE	VRO	2	> 5	300	6,5 a 8,5	18 - 30	5	0,01	1	0
	VMA	4	< 4	1000	> 8,5	> 30	10	5	3	0
VRO: valor recomendado óptimo VRM: valor recomendado máximo Color rojo: valor promedio que supera lo máximo aceptable Color negro: valor promedio dentro de la norma Color azul: valor máximo tolerable en el agua										

ANEXOS 3.

Cálculos de los valores Índices de la Calidad del Agua (ICA) por cada estación de muestreos ubicados en la subcuenca del río Turrialba

Cuadro 3.1. Cálculo del ICA para la estación de muestreo (E-4) río Colorado, en el mes de Mayo

	Unidad	Valor medido	Factor peso	Valor encontrado	Total
DBO	mg/l	7.8	0.11	42	4.62
OD	% saturación	8.77	0.17	10	1.7
STD	mg/l	170	0.07	75	5.25
pH	Unidades de pH	8.34	0.11	77	8.47
Temp	°C	21.4	0.1	17	1.7
NO ₃	mg/l	3.13	0.1	80	8
PO ₄	mg/l	0.96	0.1	41	4.1
Turbidez	UNT	21.00	0.08	61	4.88
Coliformes fecales	NMP/100 ml	7500	0.16	11	1.76
Total ICA					40.48

Cuadro 3.2. Cálculo del ICA para la estación de muestreo (E-4) río Colorado, en el mes de Agosto

Parámetro	Unidad	Valor medido	Factor peso	Valor encontrado	Total
DBO	mg/l	9.4	0.11	36	3.96
OD	% saturación	9.34	0.17	6	1.02
STD	mg/l	242	0.07	68	4.76
pH	Unidades de pH	7.81	0.11	91	10.01
Temp	°C	24.5	0.1	13	1.3
NO ₃	mg/l	2.90	0.1	85	8.5
PO ₄	mg/l	84.00	0.1	2	0.2
Turbidez	UNT	8.00	0.08	68	5.44
Colí fecales	NMP/100 ml	11000000	0.16	2	0.32
Total ICA					35.51

Cuadro 3.3. Cálculo del ICA para la estación de muestreo (E-4) río Colorado, en el mes de Noviembre

Parámetro	Unidad	Valor medido	Factor peso	Valor encontrado	Total
DBO	mg/l	6.2	0.11	49	5.39
OD	% saturación	8.34	0.17	7	1.19
STD	mg/l	210	0.07	71	4.97
pH	Unidades de pH	8.69	0.11	83	9.13
Temp	°C	23.7	0.1	13	1.3
NO ₃	mg/l	3.2	0.1	83	8.3
PO ₄	mg/l	2.6	0.1	21	2.1
Turbidez	UNT	1.3	0.08	99	7.92
Colí fecales	NMP/100 ml	1100	0.16	22	3.52
Total ICA					43.82

Cuadro 3.4. Cálculo del ICA para la estación de muestreo (E-1) río Colorado en el mes de mayo.

Parámetro	Unidad	Valor medido	Factor peso	Valor encontrado	Total
DBO	mg/l	11.4	0.11	30	3.3
OD	% saturación	8.09	0.17	7	1.19
STD	mg/l	94	0.07	85	5.95
pH	Unidades de pH	8.07	0.11	83	9.13
Temp	°C	25.2	0.1	13	1.3
NO ₃	mg/l	4.80	0.1	70	7
PO ₄	mg/l	0.28	0.1	99	9.9
Turbidez	UNT	14.00	0.08	70	5.6
Coliformes fecales	NMP/100 ml	11000	0.16	10	1.6
Total ICA					44.97

Cuadro 3.5. Cálculo del ICA para la estación de muestreo (E-1) río Colorado en el mes de Agosto

Parámetro	Unidad	Valor medido	Factor peso	Valor encontrado	Total
DBO	mg/l	10.9	0.11	31	3.41
OD	% saturación	9.36	0.17	6	1.02
STD	mg/l	130	0.07	81	5.67
pH	Unidades de pH	7.75	0.11	91	10.01
Temp	°C	24	0.1	13	1.3
NO ₃	mg/l	4.27	0.1	70	7
PO ₄	mg/l	95.00	0.1	2	0.2
Turbidez	UNT	13.20	0.08	72	5.76
Colí fecales	NMP/100 ml	1500000	0.16	2	0.32
Total ICA					34.69

Cuadro 3.6. Cálculo del ICA para la estación de muestreo (E-1) río Colorado en el mes de noviembre

Parámetro	Unidad	Valor medido	Factor peso	Valor encontrado	Total
DBO	mg/l	6.1	0.11	50	5.5
OD	% saturación	8.3	0.17	7	1.2
STD	mg/l	222.0	0.07	70	4.9
pH	Unidades de pH	8.0	0.11	83	9.1
Temp	°C	23.7	0.1	13	1.3
NO ₃	mg/l	4.2	0.1	80	8.0
PO ₄	mg/l	7.1	0.1	9	0.9
Turbidez	UNT	4.2	0.08	87	7.0
Colí fecales	NMP/100 ml	4600000	0.16	2	0.3
Total ICA					38.2

Cuadro 3.7. Cálculo del ICA para la estación de muestreo (E-3) río Turrialba en el mes de mayo.

Parámetro	Unidad	Valor medido	Factor peso	Valor encontrado	Total
DBO	mg/l	19.0	0.11	13	1.43
OD	% saturación	8.38	0.17	9	1.53
STD	mg/l	216	0.07	71	4.97
pH	Unidades de pH	7.27	0.11	91	10.01
Temp	°C	23.7	0.1	14	1.4
NO ₃	mg/l	4.40	0.1	77	7.7
PO ₄	mg/l	2.44	0.1	23	2.3
Turbidez	UNT	5.50	0.08	84	6.72
Colí fecales	NMP/100 ml	110000	0.16	2	0.32
Total ICA					36.38

Cuadro 3.8. Cálculo del ICA para la estación de muestreo (E-3) río Turrialba en el mes de Agosto

Parámetro	Unidad	Valor medido	Factor peso	Valor encontrado	Total
DBO	mg/l	9.5	0.11	35	3.85
OD	% saturación	9.34	0.17	6	1.02
STD	mg/l	235	0.07	69	4.83
pH	Unidades de pH	7.33	0.11	90	9.9
Temp	°C	25	0.1	12	1.2
NO ₃	mg/l	3.65	0.1	77	7.7
PO ₄	mg/l	650.00	0.1	2	0.2
Turbidez	UNT	15.03	0.08	68	5.44
Colí fecales	NMP/100 ml	1500000000	0.16	2	0.32
Total ICA					34.46

Cuadro 3.9. Cálculo del ICA para la estación de muestreo (E-3) río Turrialba en el mes de noviembre

Parámetro	Unidad	Valor medido	Factor peso	Valor encontrado	Total
DBO	mg/l	15.8	0.11	19	2.09
OD	% saturación	8.30	0.17	7	1.19
STD	mg/l	248	0.07	68	4.76
pH	Unidades de pH	7.42	0.11	83	9.13
Temp	°C	23.9	0.1	13	1.3
NO ₃	mg/l	3.7	0.1	82	8.2
PO ₄	mg/l	34.2	0.1	2	0.2
Turbidez	UNT	12.3	0.08	71	5.68
Colí fecales	NMP/100 ml	46000000	0.16	2	0.32
Total ICA					32.87

Cuadro 3.10. Cálculo del ICA para la estación de muestreo (E-9) Parte río Quebrada Grande en el mes de mayo

Parámetro	Unidad	Valor medido	Factor peso	Valor encontrado	Total
DBO	mg/l	8.2	0.11	47	5.17
OD	% saturación	8.72	0.17	10	1.7
STD	mg/l	123	0.07	83	5.81
pH	Unidades de pH	8.42	0.11	78	8.58
Temp	°C	21.7	0.1	16	1.6
NO ₃	mg/l	3.00	0.1	80	8
PO ₄	mg/l	0.54	0.1	53	5.3
Turbidez	UNT	8.40	0.08	80	6.4
Colí fecales	NMP/100 ml	15000	0.16	9	1.44
Total ICA					44

Cuadro 3.11. Cálculo del ICA para la estación de muestreo (E-9) Parte río Quebrada Grande en el mes de agosto

Parámetro	Unidad	Valor medido	Factor peso	Valor encontrado	Total
DBO	mg/l	9.0	0.11	35	3.85
OD	% saturación	9.36	0.17	6	1.02
STD	mg/l	101	0.07	85	5.95
pH	Unidades de pH	7.53	0.11	91	10.01
Temp	°C	24	0.1	13	1.3
NO ₃	mg/l	2.95	0.1	81	8.1
PO ₄	mg/l	68.00	0.1	2	0.2
Turbidez	UNT	2.74	0.08	99	7.92
Colí fecales	NMP/100 ml	460000	0.16	2	0.32
Total ICA					38.67

Cuadro 3.12. Cálculo del ICA para la estación de muestreo (E-9) Parte río Quebrada Grande en el mes de noviembre

Parámetro	Unidad	Valor medido	Factor peso	Valor encontrado	Total
DBO	mg/l	6.1	0.11	49	5.39
OD	% saturación	8.32	0.17	7	1.19
STD	mg/l	100	0.07	85	5.95
pH	Unidades de pH	7.91	0.11	83	9.13
Temp	°C	23.8	0.1	13	1.3
NO ₃	mg/l	3.9	0.1	81	8.1
PO ₄	mg/l	4.2	0.1	14	1.4
Turbidez	UNT	6.7	0.08	6.7	0.54
Colí fecales	NMP/100 ml	110000	0.16	2	0.32
Total ICA					33.316

Cuadro 3.13. Cálculo del ICA para la estación de muestreo (E-8) río Aquiares (Puente la Isabel) en el mes de mayo

Parámetro	Unidad	Valor medido	Factor peso	Valor encontrado	Total
DBO	mg/l	8.2	0.11	45	4.95
OD	% saturación	8.98	0.17	11	1.87
STD	mg/l	186	0.07	74	5.18
pH	Unidades de pH	8.02	0.11	85	9.35
Temp	°C	20.2	0.1		1.8
NO ₃	mg/l	3.91	0.1		7.4
PO	mg/l		0.1	51	5.1
Turbidez	UNT	5.80	0.08		6.72
Colí fecales	NMP/100 ml	4600	0.16	14	2.24
					44.61

Cuadro 3.14. Cálculo del ICA para la estación de muestreo (E-8) río Aquiares (Puente la Isabel) en el mes de agosto

Parámetro	Unidad	Valor medido	Factor peso	Valor encontrado	Total
DBO	mg/l	9.7	0.11	34	3.74
OD		9.34	0.17		1.02
STD		216	0.07	71	
pH	Unidades de pH	8.17		80	8.8
Temp	°C	25	0.1	12	1.2
NO ₃	mg/l		0.1	78	7.8
PO ₄	mg/l	0.00	0.1		0
Turbidez	UNT		0.08	99	7.92
Colí fecales	NMP/100 ml	460		28	4.48
Total ICA					39.93

Cuadro 3.15. Cálculo del ICA para la estación de muestreo (E-8) río Aquiares (Puente la Isabel) en el mes de noviembre

Parámetro	Unidad	medido	Factor peso	encontrado	Total
	mg/l		0.11	47	
OD	% saturación		0.17		1.19
STD	mg/l	182	0.07	75	5.25
pH		8.48	0.11	83	9.13
	°C	23.8	0.1	13	1.3
NO ₃	mg/l	2.5	0.1		8.5
PO ₄	mg/l	2.7	0.1	21	2.1
Turbidez	UNT	1.5	0.08	98	7.84
Colí fecales	NMP/100 ml	1500	0.16	20	3.2
Total ICA					43.68

Cuadro 3.16. Cálculo del ICA para la estación de muestreo (E-2) río Colorado en el mes de mayo.

Parámetro	Unidad	medido	Factor peso	Valor encontrado	Total
DBO	mg/l	9.0	0.11	38	4.18
OD	% saturación	8.43	0.17	8	1.36
STD	mg/l	174	0.07	76	5.32
pH	Unidades de pH	8.72	0.11		7.81
Temp	°C	23.4	0.1	15	1.5
NO ₃	mg/l	7.40	0.1		5.4
PO	mg/l	0.65	0.1	51	5.1
Turbidez	UNT	3.70	0.08	89	7.12
Coliformes fecales		110000	0.16		0.32
Total ICA					

Cuadro 3.17. Cálculo del ICA para la estación de muestreo (E-2) río Colorado en el mes de Agosto

Parámetro	Unidad	Valor medido	Factor peso	Valor encontrado	Total
DBO	mg/l	11.2	0.11	28	3.08
OD	% saturación	9.34	0.17	6	1.02
STD	mg/l	168		77	5.39
pH	Unidades de pH	7.84	0.11	91	10.01
	°C	25	0.1	12	1.2
NO ₃	mg/l	5.95	0.1	65	6.5
PO ₄	mg/l	30.00		2	0.2
Turbidez	UNT	13.19	0.08	72	5.76
Colí fecales	NMP/100 ml	110000	0.16	2	0.32
Total ICA					33.48

Cuadro 3.18. Cálculo del ICA para la estación de muestreo (E-2) río Colorado en el mes de noviembre

Parámetro	Unidad	Valor medido	Factor peso	Valor encontrado	Total
DBO		6.2	0.11	49	5.39
OD	% saturación		0.17	7	1.19
STD	mg/l	182	0.07	75	5.25
pH	Unidades de pH	7.49	0.11		9.13
Temp		23.9	0.1	13	1.3
NO ₃	mg/l	6.4	0.1	60	6
PO ₄	mg/l	3.2	0.1	18	1.8
Turbidez	UNT	4.2	0.08	87	6.96
Colí fecales	NMP/100 ml	460000	0.16	2	
Total ICA					37.34

Cuadro 3.19. Cálculo del ICA para la estación de muestreo (E-5) río Turrialba (Finca La Roncha) en el mes de mayo

Parámetro	Unidad	Valor medido	Factor peso	Valor encontrado	Total
DBO	mg/l	8.4	0.11	40	4.4
OD	% saturación	8.80	0.17	10	1.7
STD	mg/l	158	0.07	87	
pH	Unidades de pH	8.64	0.11	72	7.92
Temp	°C	20.8	0.1	18	1.8
NO ₃	mg/l	3.09	0.1	79	7.9
PO ₄	mg/l	0.81	0.1	44	4.4
Turbidez	UNT	8.30	0.08	80	6.4
Colí fecales	NMP/100 ml	1100	0.16		3.52
					44.13

Cuadro 3.20. Cálculo del ICA para la estación de muestreo (E-5) río Turrialba (Finca La Roncha) en el mes de agosto

Parámetro	Unidad	Valor medido	Factor peso	Valor encontrado	Total
DBO	mg/l	7.3		42	4.62
OD	% saturación	9.34	0.17	6	1.02
	mg/l	254	0.07	65	4.55
pH	Unidades de pH	8.12	0.11	82	9.02
Temp	°C	25	0.1	12	1.2
NO ₃	mg/l	2.99	0.1	85	8.5
PO ₄	mg/l	160.00	0.1	2	0.2
Turbidez	UNT	0.12	0.08	80	6.4
Colí fecales	NMP/100 ml	43	0.16	54	
Total ICA					44.15

Cuadro 3.21. Cálculo del ICA para la estación de muestreo (E-5) río Turrialba (Finca La Roncha) en el mes de noviembre

Parámetro	Unidad	medido	Factor peso	Valor encontrado	Total
DBO	mg/l	6.6	0.11	49	5.39
OD	% saturación	8.58	0.17	7	1.19
	mg/l	194	0.07	73	5.11
pH	Unidades de pH	8.72	0.11	83	9.13
Temp		22.3	0.1	13	1.3
NO ₃	mg/l	3.7	0.1	82	8.2
PO	mg/l	1.1	0.1	39	3.9
Turbidez	UNT	1.0		100	8
Colí fecales	NMP/100 ml	150	0.16	41	6.56
Total ICA					48.78

Cuadro 3.22. Cálculo del ICA para la estación de muestreo (E-6) río Jesús María en el mes de mayo

Parámetro	Unidad	Valor medido	Factor peso	Valor encontrado	Total
DBO	mg/l		0.11	41	4.51
OD	% saturación	9.04	0.17	11	
STD	mg/l	270	0.07	64	4.48
pH		8.07	0.11	83	9.13
Temp	°C	19.9	0.1	19	1.9
NO ₃	mg/l	3.00	0.1	80	8
PO ₄	mg/l	0.34		64	
Turbidez	UNT		0.08	94	7.52
Colí fecales	NMP/100 ml	7500	0.16	11	1.76
					45.57

Cuadro 3.23. Cálculo del ICA para la estación de muestreo (E-6) río Jesús María en el mes de agosto

Parámetro	Unidad	Valor medido	Factor peso	Valor encontrado	Total
DBO	mg/l	8.0	0.11	41	4.51
OD	% saturación	9.45	0.17	6	1.02
STD	mg/l	310	0.07	59	4.13
pH	Unidades de pH	8.05	0.11	82	9.02
Temp	°C	22	0.1	17	1.7
	mg/l	1.74	0.1	91	9.1
PO ₄	mg/l	5.00	0.1	12	1.2
Turbidez	UNT	0.10	0.08		0
Colí fecales	NMP/100 ml	75	0.16	47	7.52
Total ICA					38.2

Cuadro 3.24. Cálculo del ICA para la estación de muestreo (E-6) río Jesús María en el mes de noviembre

Parámetro	Unidad	Valor medido	Factor peso	Valor encontrado	Total
DBO	mg/l	6.6	0.11	48	5.28
OD	% saturación		0.17		1.19
STD		296		68	
pH	Unidades de pH	7.99	0.11	83	9.13
Temp	°C	20.5	0.1	13	1.3
NO ₃	mg/l	2.0	0.1	90	9
PO ₄	mg/l		0.1	35	3.5
Turbidez	UNT	0.2	0.08	100	8
Colí fecales	NMP/100 ml	240	0.16	35	5.6
Total ICA					47.76

Cuadro 3.25. Cálculo del ICA para la estación de muestreo (E-10) río Colíblanco en el mes de mayo

Parámetro	Unidad	Valor medido	Factor peso	Valor encontrado	Total
DBO	mg/l	8.6	0.11	46	5.06
OD	% saturación	9.56	0.17	12	2.04
STD	mg/l	142	0.07	80	5.6
pH	Unidades de pH	8.28	0.11	77	8.47
Temp	°C	17.2	0.1	23	2.3
NO ₃	mg/l	1.38	0.1		9.2
PO ₄	mg/l	0.53	0.1	53	5.3
	UNT	1.40	0.08	93	7.44
Colí fecales	NMP/100 ml	46000	0.16	5	0.8
Total ICA					46.21

Cuadro 3.26. Cálculo del ICA para la estación de muestreo (E-10) río Colíblanco en el mes de agosto

Parámetro	Unidad	Valor medido	peso	Valor encontrado	Total
	mg/l	7.4	0.11	43	4.73
OD	% saturación	9.71	0.17	5	
STD	mg/l	178	0.07	74	5.18
pH		8.35	0.11	73	8.03
Temp	°C	19	0.1	20	2
NO ₃	mg/l	1.10	0.1	99	9.9
PO ₄	mg/l	25.00	0.1	2	0.2
Turbidez	UNT	0.01	0.08	89	7.12
Colí fecales	NMP/100 ml	43	0.16	54	8.64
Total ICA					46.65

Cuadro 3.27. Cálculo del ICA para la estación de muestreo (E-10) río Colíblanco en el mes de noviembre

Parámetro	Unidad	Valor medido	Factor peso	Valor encontrado	Total
DBO	mg/l	7	0.11	48	5.28
OD	% saturación	9.34	0.17	7	1.19
STD	mg/l	159	0.07	77	5.39
pH	Unidades de pH	7.88	0.11	83	9.13
Temp	°C	18.2	0.1	13	1.3
NO	mg/l	1.3	0.1	95	9.5
PO ₄	mg/l	2.6	0.1	21	2.1
Turbidez	UNT	0.3	0.08	100	8
Colí fecales	NMP/100 ml	43	0.16	55	8.8
Total ICA					50.69

Cuadro 3.28. Cálculo del ICA para la estación de muestreo (E-7) río Aquiares en el mes de mayo

Parámetro	Unidad	Valor medido	Factor peso	Valor encontrado	Total
DBO	mg/l	7.7	0.11	48	5.28
OD	% saturación	9.54	0.17	12	2.04
STD	mg/l	134	0.07	81	5.67
pH	Unidades de pH	8.11	0.11	83	9.13
Temp	°C	17.3	0.1	23	2.3
NO ₃	mg/l	4.08	0.1	70	7
PO ₄	mg/l	0.88	0.1	43	4.3
Turbidez	UNT	13.70	0.08	71	5.68
Colí fecales	NMP/100 ml	1100	0.16	22	3.52
Total ICA					44.92

Cuadro 3.29. Cálculo del ICA para la estación de muestreo (E-7) río Aquiares en el mes de agosto

Parámetro	Unidad	Valor medido	Factor peso	Valor encontrado	Total
	mg/l		0.11	43	4.73
OD	% saturación	9.71	0.17	5	
STD	mg/l	140	0.07	74	5.18
pH		8.03	0.11	85	9.35
Temp	°C	19	0.1	20	2
NO ₃	mg/l	59.00	0.1	8	
PO ₄	mg/l	1.72	0.1	40	4
Turbidez	UNT	1.08	0.08	99	7.92
Colí fecales	NMP/100 ml	43	0.16	54	8.64
Total ICA					43.47

Cuadro 3.30. Cálculo del ICA para la estación de muestreo (E-7) río Aquiares en el mes de noviembre

Parámetro	Unidad	Valor medido	Factor peso	Valor encontrado	Total
DBO	mg/l	7.1	0.11	46	5.06
OD	% saturación	9.54	0.17	8	1.36
STD	mg/l	224	0.07	69	4.83
pH	Unidades de pH	8.3	0.11	83	9.13
Temp	°C	17.2	0.1	13	1.3
NO ₃	mg/l	3.8	0.1	82	8.2
PO ₄	mg/l	9.9	0.1	2	0.2
Turbidez	UNT	20.0	0.08	62	4.96
Colí fecales	NMP/100 ml	15000	0.16	9	1.44
Total ICA					36.48

ANEXO 4. Datos Climatológicos

Anexo 4.1. Datos Climatológicos Mensuales Medios de la Subcuenca del Río Turrialba 2004													
Precipitación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	
Sección baja	137.9	119.6	149.7	119.8	468.8	258.9	231.3	231.7	241.8	127.5	425.7	0.0	
Sección media	193.0	189.2	88.7	129.1	277.1	241.0	274.0	274.2	268.3	257.0	316.9	314.4	
Sección alta	118.4	98.7	52.7	46.6	283.5	206.2	167.2	249.8	234.0	132.8	113.8	152.3	
Promedio	149.8	135.8	97.0	98.5	343.1	235.4	224.2	251.9	248.0	172.4	285.5	155.6	
Temperatura	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	
Sección baja	21.0	21.2	21.2	22.6	22.2	22.6	22.4	22.3	22.3	23.0	22.4	21.7	
Sección media	18.2	18.3	18.8	19.5	20.2	20.2	19.9	20.1	20.3	20.0	19.6	18.7	
Sección alta	16.0	16.2	16.6	16.8	16.9	17.0	16.8	16.9	17.0	16.7	16.4	16.1	
Promedio	18.4	18.6	18.9	19.6	19.8	19.9	19.7	19.7	19.9	19.9	19.5	18.8	
Humedad Relativa	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	
Sección baja	89.1	88.0	89.3	88.8	93.0	90.7	89.3	89.7	88.7	88.2	91.3		
Sección alta	83.0	89.0	87.0	87.0	89.0	89.0	89.0	89.0	88.0	89.0	89.0	89.0	
Promedio	86.1	88.5	88.2	87.9	91.0	89.9	89.2	89.4	88.4	88.6	90.2	89.0	

ANEXO 5.

5.1. Primer Formulario utilizado en el sondeo institucional.

Número de la entrevista: _____

Nombre: _____ Número de cedula: _____

Fecha: _____ Hora: _____ Edad: _____ Sexo: _____

Preguntas

1. ¿ Considera usted que la institución a la que usted representa debe buscar soluciones integrales a la situación ambiental de la subcuenca del río Turrialba?
2. ¿ Considera usted que esta institución trabaja en conjunto con otras instituciones en pro de la mejora de la situación ambiental de la subcuenca del río Turrialba?
3. ¿ Considera que la conservación y protección del ambiente y los recursos naturales en especial de los recursos hídricos, es competencia solamente de un sector?
4. ¿ Cree Cuales son los principales problemas o dificultades que usted considera influyen negativamente en la degradación ambiental actual de la subcuenca?
5. ¿ Que tipos de propuestas usted cree que son necesarias para tomar decisiones y acciones que mejoren y detengan el avance de la degradación de los recursos naturales de la subcuenca?

5.2. Segundo Formulario utilizado en el sondeo poblacional.

Número de la entrevista: _____

Nombre: _____ Número de cedula: _____

Fecha: _____ Hora: _____ Edad: _____ Sexo: _____

Barrio o Comunidad: _____

1. ¿Tiene usted conocimiento alguno sobre la situación ambiental y sanitario del acueducto que le abastece de agua para el consumo doméstico? (P1)
2. ¿Ha tenido usted y su familia problemas de salud, enfermedades relacionadas o causadas por consumir agua de que ha llegado a su casa de dudosa calidad? (P2)
3. ¿Sabe si la Municipalidad o el acueducto encargado del servicio de distribución y abastecimiento de agua a su hogar, realiza con frecuencia análisis a la calidad del agua? (P3)
4. ¿Estaría dispuesto (a) a pagar una tarifa o costo ambiental que contribuya a la conservación y protección del agua a la empresa que le brinda el servicio? (P4)
5. ¿Sabe usted si los tanques que se ocupa para el almacenamiento del agua y las tuberías que distribuyen la misma hasta su casa, les dan mantenimiento yo se encuentran en buen estado? (P5)
6. ¿Tiene conocimiento que los productos químicos usados en la agricultura, ganadería, desechos sólidos, aguas residuales, la basura y otros desechos de la población contaminan el agua y ponen en riesgo su salud? (P6)

7. ¿Alguna vez ha tenido problemas de escasez de agua o la suspensión del servicio? (P7)
8. ¿En alguna ocasión ha tenido problemas de mal sabor, color y olor raro el agua? (P8)
9. ¿Sabe si en las escuelas, colegios, imparten materias relacionados al cuidado del ambiente, la salud de la población y en especial de la calidad del agua para consumo humano? (P9)
10. ¿Conoce o sabe de ideas o proyectos para mejorar el servicio de agua, que ayuden al manejo, conservación y protección de las fuentes de agua? (P10)
11. ¿Tiene medidor o sistema que registre el volumen real de agua en su casa? (P11)