

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE BIOLOGÍA

INFORME DE PRÁCTICA DE ESPECIALIDAD

“VALORACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LOS PRINCIPALES RÍOS DE LAS CUENCAS GRANDE DE TÁRCOLES Y REVENTAZÓN, MEDIANTE EL ANÁLISIS DE LA PSO, DBO Y NH₄, PARA LA CLASIFICACIÓN MEDIANTE EL SISTEMA HOLANDÉS.”

LIZBETH LEIVA LEIVA

CARTAGO, 2007



“VALORACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LOS PRINCIPALES RÍOS DE LAS CUENCAS GRANDE DE TÁRCOLES Y REVENTAZÓN, MEDIANTE EL ANÁLISIS DE LA PSO, DBO Y NH₄, PARA LA CLASIFICACIÓN MEDIANTE EL SISTEMA HOLANDÉS.”

Informe presentado a la Escuela de Biología del Instituto Tecnológico de Costa Rica por **Lizbeth Leiva Leiva** como requisito parcial para optar al título de Bachiller en Ingeniería en Biotecnología.

Miembros del Tribunal

MSc. Guillermo Calvo
Profesor Guía

Lic. Maria Guzmán
Directora DIGECA-MINAE

PHd. Jesús Mora
Lector

“VALORACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LOS PRINCIPALES RÍOS DE LAS CUENCAS GRANDE DE TÁRCOLES Y REVENTAZÓN, MEDIANTE EL ANÁLISIS DE LA PSO, DBO Y NH₄, PARA LA CLASIFICACIÓN MEDIANTE EL SISTEMA HOLANDÉS.”

Lizbeth Leiva Leiva

RESUMEN

Las cuencas de los ríos Reventazón y Gran de Tárcoles drenan un 70% de los desechos líquidos generados en el país, esto debido a la ineficiente cobertura del alcantarillado sanitario en el país. Debido a la falta de datos recientes sobre la calidad del agua de los ríos del país se llevo a cabo la clasificación de 19 ríos pertenecientes a las zonas altas de las cuencas mencionadas anteriormente, mediante la caracterización físico-química de los causes utilizando el método Holandés establecido en el Reglamento para la Clasificación de Cuerpos de Agua. Se evidenció un aumento en la contaminación de los causes conforme estos ingresan a las áreas más densamente pobladas de las ciudades que recorren, llegando a niveles de contaminación muy severa, por lo tanto estos no pueden ser utilizados para la realización de ninguna actividad humana. Los factores que pudieron ser determinantes en este tipo de contaminación son los residuos de origen doméstico, agrícola, industrial y los desechos sólidos arrojados por la población directamente en los ríos. Es importante contar con un sistema centralizado de información y bases de datos referentes a los recursos hídricos, con un sistema de monitoreo eficiente.

Palabras Clave: Río Reventazón, Tárcoles, Sistema Holandés, PSO, DBO, NH₄⁺, cuencas, MINAE, Reglamento de Clasificación de Cuerpos de Agua, CEQIATEC.

DEDICATORIA

A la fuerza creadora que me ha permitido llegar hasta aquí

...A mis padres

...A Tita

...A Marcos

AGRADECIMIENTOS.

A todas las personas que han estado a mi lado apoyándome en los momentos de debilidad, gracias por no dejarme caer.... Gracias Amigos.

A las personas que no creyeron en mí... gracias por darme mas fuerza para seguir adelante.

A toda mi familia, gracias por su apoyo incondicional.

A María Guzmán gracias por sus consejos y formarme como profesional.

A Guillermo y Jesús gracias por sus palabras de aliento y recomendaciones para la realización de este documento.

Al personal de DIGECA-MINAE y del CEQIATEC, por todo su apoyo y aportes.

A Viktor, Ronny, Bryan, Johanna, Warren, Tome y Victor por estar en los momentos que mas los necesité.....

A los profesores de la Escuela de Biología del ITCR, en especial a los profesores Elizabeth Arnaez, Claudia Zúñiga, Dora Flores y Jaime Brenes por su apoyo constante e incondicional durante mi carrera.

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
INTRODUCCIÓN	1
JUSTIFICACIÓN	5
OBJETIVO GENERAL	6
Objetivos específicos.....	6
MARCO TEÓRICO	7
Ubicación del área de estudio	12
Parámetros Analizados	16
Porcentaje de Saturación de Oxígeno (PSO).....	16
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).....	16
Nitrógeno Amoniacal (NH_4^+)	17
Sistema Holandés de Valoración de la calidad físico-química del agua.....	17
METODOLOGÍA	20
Trabajo de campo:	20
Trabajo de Laboratorio	21
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
Río Virilla (V1, V3, V5, V6)	22
Río Tiribí (T1)	30
Río María Aguilar (MA3).....	34
Río Torres (To4).....	36
Río Uruca (Uru)	38

Río Bermúdez (Ber)	40
Río Segundo (Seg).....	42
Río Ciruelas (Ci 2)	44
Río Alajuela (Ala)	46
Río Tizate (Tiz).....	48
Río Poás (Poa).....	49
Río Grande de San Ramón (SR).....	51
Río Purires (Pur).....	53
Río Reventado (Rev).....	55
Río Agua Caliente (AC)	56
CONCLUSIONES GENERALES	59
RECOMENDACIONES	61
BIBLIOGRAFÍA	62
Anexos	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Codificación, localización geográfica y dirección de los sitios de muestreo.	13
Tabla 2. Puntaje dado a los diferentes parámetros de acuerdo a los resultados obtenidos de los análisis químicos realizados, para cada punto de muestreo.	18
Tabla 3. Color otorgado según la ponderación de los puntajes obtenidos para los diferentes parámetros analizados en cada punto de muestreo	19
Tabla 4 Valoración cualitativa de la calidad de agua en el punto de muestreo del río Virilla estación V1.....	27
Tabla 5 Valoración cualitativa de la calidad de agua en el punto de muestreo del río Virilla estación V3.....	28
Tabla 6 Valoración cualitativa de la calidad de agua en el punto de muestreo del río Virilla estación V5.....	29
Tabla 7 Valoración cualitativa de la calidad de agua en el punto de muestreo del río Virilla estación V6.....	30
Tabla 8 Valoración cualitativa de la calidad de agua en el punto de muestreo del río Tiribí estación Ti 1	33
Tabla 9 Valoración cualitativa de la calidad de agua en el punto de muestreo del río Tiribí, estación T4.....	34
Tabla 10 Valoración cualitativa de la calidad de agua en el punto de muestreo del río Maria Aguilar MA 3.....	36
Tabla 11 Valoración cualitativa de la calidad de agua en el punto de muestreo del río Torres To4.....	38
Tabla 12 Valoración cualitativa de la calidad de agua en el punto de muestreo del río Uruca –Uru.....	40
Tabla 13 Valoración cualitativa de la calidad de agua en el punto de muestreo del río Bermudez –Ber	42

Tabla 14 Valoración cualitativa de la calidad de agua en el punto de muestreo del río Segundo –Seg	44
Tabla 15 Valoración cualitativa de la calidad de agua en el punto de muestreo del río Ciruelas –Ci2.....	46
Tabla 16 Valoración cualitativa de la calidad de agua en el punto de muestreo del río Alajuela–Ala	47
Tabla 17 Valoración cualitativa de la calidad de agua en el punto de muestreo del río Tizate –Tiz.....	49
Tabla 17 Valoración cualitativa de la calidad de agua en el punto de muestreo del río Poás –Poa.....	50
Tabla 18 Valoración cualitativa de la calidad de agua en el punto de muestreo del río Grande de San Ramón –SR	52
Tabla 19 Valoración cualitativa de la calidad de agua en el punto de muestreo del río Purires.....	54
Tabla 20 Valoración cualitativa de la calidad de agua en el punto de muestreo del río Reventado.....	56
Tabla 21 Valoración cualitativa de la calidad de agua en el punto de muestreo del río Agua Caliente - AC	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Codificación y ubicación de las estaciones de monitoreo establecidos para la toma de muestras.....	12
Figura 2. Variación temporal de la contaminación orgánica en términos de DBO5, PSO y NH4 para la estación en el río Virilla (V1).	23
Figura 3. Variación temporal de la contaminación orgánica en términos de DBO5, PSO y NH4 para la estación en el río Virilla (V3).	24
Figura 4. Variación temporal de la contaminación orgánica en términos de DBO5, PSO y NH4 para la estación en el río Virilla (V5).	25
Figura 5. Variación temporal de la contaminación orgánica en términos de DBO5, PSO y NH4 para la estación en el río Virilla (V5).	26
Figura 6. Variación temporal de la contaminación orgánica en términos de DBO5, PSO y NH4 para la estación en el río Tiribí (T1).	31
Figura 7. Variación temporal de la contaminación orgánica en términos de DBO5, PSO y NH4+ para la estación en el río Tiribí (T4).	32
Figura 8. Variación temporal de la contaminación orgánica en términos de DBO5, PSO y NH4 para la estación en el río Maria Aguilar, estación MA3	35
Figura 9. Variación temporal de la contaminación orgánica en términos de DBO5, PSO y NH4+ para la estación en el río Torres, estación To4.....	37
Figura 10. Variación temporal de la contaminación orgánica en términos de DBO5, PSO y NH4 para la estación en el río Bermudez, estación Ber.....	41
Figura 11. Variación temporal de la contaminación orgánica en términos de DBO5, PSO y NH4 para la estación en el río Segundo, estación Seg.	43
Figura 12. Variación temporal de la contaminación orgánica en términos de DBO5, PSO y NH4 para la estación en el río Ciruelas, estación Ci 2.	45
Figura 13. Variación temporal de la contaminación orgánica en términos de DBO5, PSO y NH4 para la estación en el río Alajuela, estación Ala.....	47

Figura 14. Variación temporal de la contaminación orgánica en términos de DBO5, PSO y NH4 para la estación en el río Tizate, estación Tiz	48
Figura 15. Variación temporal de la contaminación orgánica en términos de DBO5, PSO y NH4 para la estación en el río Poás, estación Poa.	50
Figura 16. Variación temporal de la contaminación orgánica en términos de DBO5, PSO y NH4 para la estación en el río Grande de San Ramón, estación SR.	51
Figura 17. Variación temporal de la contaminación orgánica en términos de DBO5, PSO y NH4 para la estación en el río Purires, estación Pur	53
Figura 18. Variación temporal de la contaminación orgánica en términos de DBO5, PSO y NH4 para la estación en el río Reventado, estación Rev.	55
Figura 19. Variación temporal de la contaminación orgánica en términos de DBO5, PSO y NH4 para la estación en el río Agua Caliente, estación AC.	57

INTRODUCCIÓN

Costa Rica posee un rico patrimonio natural que cada día se encuentra más amenazado por el deterioro de las cuencas hidrográficas, la contaminación de acuíferos y la degradación de humedales y zonas costeras. El agua, principal recurso natural con el que cuenta Costa Rica, se ha definido legalmente como un bien del dominio público, un bien social y un bien económico estratégico para el desarrollo.

Con el aumento de la población y el desarrollo industrial, los ríos se han convertido en el medio más fácil y económico para la eliminación de los desechos generados, tanto sólidos como líquidos trasladando de esta forma el problema de la contaminación a estos cuerpos de agua.

En nuestro país, se carece de un sistema eficiente de alcantarillado sanitario para la adecuada disposición de las aguas de residuo. Esfuerzos hechos décadas atrás, colapsaron con el aumento de la población y la ausencia de mantenimiento (Leiva, 2005). Solo el 24.8% de la población costarricense está cubierta por el sistema de alcantarillado sanitario; sin embargo, no todas las aguas colectadas son llevadas a una planta depuradora de aguas residuales. Solamente uno de cada 15 habitantes o un equivalente a 6.6% de la población, posee el servicio de alcantarillado sanitario y planta depuradora (Mora y Portugués, 2004). Sin embargo, el porcentaje de población servida con alcantarillado sanitario y planta depuradora que este actualmente operando es de tan sólo de 2 a 4%. La mayor cobertura de este servicio, se concentra en San José (51%), seguida por Heredia y Cartago (15%) En las restantes regiones del país la cobertura es menor al 10 % (INEC, 2000).

Aunque Costa Rica ha establecido una legislación y reglamentación para la disposición de aguas residuales, la misma no se cumple. El ineficiente manejo de vertidos se debe a deficiencias técnicas de los sistemas de tratamiento, al uso excesivo de tanques sépticos, a la ausencia de recursos para desarrollar acciones integrales, así como a la educación y costumbres de la población. Además de

traslapes de competencias e indefiniciones entre las organizaciones involucradas (MINAE, 2004).

La descarga directa de aguas negras a cauces de ríos y el uso excesivo de tanques sépticos son los factores contribuyentes de la contaminación de los cuerpos de agua (superficiales y subterráneas). Aproximadamente 250 000 metros cúbicos de aguas negras caen directa y diariamente al Río Virilla, que junto con Río Reventazón reciben el 70 % del total de aguas residuales sin tratar de todo el país (Estado de la Nación, 2005). Además, un 70 % de la población costarricense utiliza los sistemas de tanque séptico en el tratamiento del agua residual ordinaria (INEC, 2000). La mayoría de ellos presentan graves problemas estructurales y de funcionamiento, que han llevado a los dueños de las viviendas a tomar la decisión de conectar las aguas negras al sistema de alcantarillado pluvial, cuando los tanques dejan de funcionar. En general, la importancia de ajustarse a las regulaciones existentes es desconocida tanto por el profesional en el campo constructivo como por los usuarios y desde luego, frecuentemente se ignora la operación y mantenimiento que requieren estos sistemas (Minae, 2003). A lo anterior se debe agregar el hecho de que para construir no se realizan estudios de suelos y los tanques sépticos son construidos sin conocimiento del nivel freático, provocando la filtración de materia fecal a los acuíferos (Reynolds, 2001).

Investigadores e instituciones públicas y privadas, han hecho referencia a la contaminación que están sufriendo las cuencas en estudio, debido a la descarga directa de desechos líquidos domésticos, agrícolas e industriales al cauce. Se presentan también, prácticas agrícolas inadecuadas, principalmente relacionadas con el manejo de los suelos de los fertilizantes y de los plaguicidas y a inadecuadas prácticas en la disposición de los desechos sólidos, por mencionar algunos ejemplos.

La calidad del agua de nuestros ríos varía de la época seca a la época lluviosa, así como de las épocas de transición seca a lluviosa. De las 34 cuencas hidrográficas que tiene el país, 5 de ellas han sido clasificadas como las de mayor importancia, dada la gran cantidad de población ubicada alrededor de las mismas.

Estas se han visto afectadas principalmente por contaminación de: sedimentos, contaminación fecal causada los vertidos domésticos no tratados y contaminación orgánica debido a las descargas agroindustriales, con bajo nivel de tratamiento.

La legislación existente es Ley General de Aguas (1942), posteriormente la Ley Orgánica del Ambiente, la ley Forestal y la Ley de Conservación de Vida Silvestre se refieren también al tema. Además de algunas regulaciones por la vía del decreto como por ejemplo: Reglamento de vertido y reuso de aguas residuales y el Decreto Ejecutivo “Reglamento de creación de canon ambiental por vertido”.

El “Reglamento de vertido y reuso de aguas residuales”, establece la presentación de reportes operacionales con límites máximos permisibles para diferentes parámetros asignados según el tipo de actividad económica la cual es clasificada según el código CIU (Código Industrial Internacional Unificado).

El “Reglamento de Creación de Canon Ambiental por Vertido” (2004), se basa en el concepto de “que el que contamina paga”. Asimismo, compete a los entes generadores de contaminación, realizar las medidas oportunas para mitigar la contaminación vertida y así reducir el pago correspondiente. Como parámetros de reducción del nivel de contaminación la ley contempla los parámetros de DQO, los SST y la medición del caudal.

Existen nuevos proyectos de ley que se encuentran en trámite en la Asamblea Legislativa como lo son el de “Manejo Integrado del Recurso Hídrico” y el “Reglamento para la Clasificación y la Evaluación de la Calidad de los Cuerpos de Agua Superficiales”. Este último reglamento permitirá establecer criterios de calidad específicos para la clasificación y caracterización de los cuerpos de agua superficiales, de tal manera que se les pueda asignar a estos sistemas hídricos clasificaciones para el uso de sus aguas, tanto potencial (protección para su uso a futuro) como inmediato, considerando las condiciones que tiene en el presente (MINAE, 2003). Esta metodología se basa en tres parámetros, permitiendo realizar comparaciones entre varios cuerpos de agua bajo un criterio unificado, de forma sencilla y representativa lo que permite poder interpretar de forma sencilla

los resultados para evaluar los problemas de contaminación del cuerpo de agua de su interés.

Desafortunadamente, no se tienen datos recientes sobre la calidad de las aguas de las principales cuencas. Las cuencas de Tárcoles y Reventazón drenan los desechos de cerca el 70% de la población total del país, esto aunado a otras fuentes de contaminación que de una u otra manera llegan al cauce de los ríos, como lo son los desechos agrícolas, arrastre de sedimentos, escorrentía urbana y contaminantes atmosféricos en suspensión. De ahí la importancia de muestrear diferentes tramos de los principales afluentes en las partes alta y media de ambas cuencas con el fin de determinar los niveles de deterioro del río a lo largo de su cauce.

JUSTIFICACIÓN

Al momento de la formulación de este proyecto, se encontraba en trámite en la Asamblea Legislativa el “Reglamento para la Clasificación y la Evaluación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales” el cual permitirá controlar la contaminación de estos, basado en una clasificación de la calidad del agua, fundamentada en la prioridad de su uso. Mediante el Índice Holandés de Valoración de la calidad del agua para cuerpos receptores, donde se establecen 5 categorías de calidad en función de los usos potenciales. Esta metodología se explica con más detalle en el apartado METODOLOGIA.

La ejecución de este proyecto suministrará información reciente y confiable sobre la calidad de los cuerpos receptores. Instituciones como el MINAE y demás autoridades de gobierno contarán así con una herramienta que les permita identificar puntos críticos para iniciar planes de descontaminación de los cauces, monitorear el efecto que el cobro del canon ambiental pueda generar sobre la calidad de las aguas y por otra parte, dispondrá de información de partida sobre la cual inicie el proceso de negociación en las zonas de control para la recuperación ambiental de esos cuerpos receptores correspondiente a otra fase de implementación por el MINAE como parte de las metas de reducción de las cargas contaminantes establecidas en el Canon de Vertidos. El estudio se llevó a cabo en las partes alta y media de las Cuencas de los Ríos Grande de Tárcoles y Reventazón en los puntos de muestreo previamente establecidos.

OBJETIVO GENERAL

- Clasificar la calidad físico-química del agua en los cauces de los ríos Virilla, Tiribí, María Aguilar, Torres, Uruca, Bermúdez, Segundo, Ciruelas, Alajuela, Tizate, Poás, San Ramón, Purires, Reventado y Agua Caliente, en estaciones de monitoreo específicamente seleccionadas.

Objetivos Específicos

- Clasificar la contaminación del agua utilizando el método Holandés de Codificación por colores.
- Determinar los puntos de muestreo con mayor nivel de contaminación.
- Generar información actualizada sobre la situación de la contaminación de los ríos pertenecientes a la parte alta de las cuencas Grande de Tárcoles y Reventazón.

MARCO TEÓRICO

Costa Rica está localizada en la zona intertropical del Hemisferio Norte, entre los 8° y 11° N de latitud y los 82° y 87° grados W de longitud, en el continente americano. Cuenta con un área de 51 100 km² y limita al norte con Nicaragua, al sureste con Panamá, al este con el mar Caribe y al Oeste con el océano Pacífico. La población es de poco más de 4 millones de habitantes (INEC, 2000).

El clima se define como tropical húmedo entre los 0 y 600 metros sobre el nivel del mar (msnm), subtropical húmedo entre los 600 y 1600 msnm y frío para las zonas de mayor altitud. Con temperaturas entre los 18 y 27 grados Celsius a lo largo de todo el año y precipitaciones que oscilan entre los 1 300 y los 7 500 mm anuales, lo cual posiciona al país como uno de los países de mayor oferta de agua dulce del mundo (MINAE, 2005).

A nivel nacional, el país dispone anualmente de poco mas de 110 mil millones de metros cúbicos de agua, con base en la precipitación promedio anual estimada de 168,2 km³, una escorrentía anual de 110,4 km³ y una evapotranspiración anual real de 53,2 km³ (MINAE, 2005). El 66,5% de este volumen corresponde a la escorrentía superficial, mientras que el 33,75% restante lo constituye el volumen anual de recarga natural a los acuíferos del país (MINAE, 2005).

El territorio se divide en 34 cuencas hidrográficas principales (17 por vertiente), con características bien definidas y asociadas con los dos regímenes de lluvia que se presentan el país; con extensiones que fluctúan entre 207 km² y 5 084 km².

La contaminación de las aguas superficiales y subterráneas en Costa Rica, se considera como uno de los factores críticos para la sostenibilidad de las fuentes de abasto a la población y las actividades económicas. El 75% de las fuentes de abastecimiento están calificadas como altamente vulnerables, principalmente las fuentes superficiales o manantiales. Durante el 2001, el acueducto metropolitano sufrió importantes sucesos de contaminación; estos eventos incrementaron el

riesgo sanitario de la población de la Gran Área Metropolitana (GAM) (Estado de la Nación, 2002).

El informe Estado de la Nación No.8. (2002), consideró que el tema ambiental de mayor preocupación fue la vulnerabilidad de recursos hídricos y la calidad del agua. De ahí la urgencia de adquirir un mejor conocimiento sobre la evolución de la calidad del agua en los principales cuerpos de agua y superficiales.

Actualmente el país no cuenta con un sistema de monitoreo de calidad de agua superficial establecido, organizado, sistemático y coordinado. Actualmente son varias las instituciones que intentan impulsar sistemas de evolución de la calidad del agua superficial, sin coordinación alguna y concentrados casi exclusivamente en la cuenca del Río Grande de Tárcoles (MINAE, 2004).

En general, la información y los datos generados en el país referentes al recurso hídrico, están dispersos en una serie de instituciones, que los utilizan para sus fines específicos, lo cual limita la gestión eficaz y eficiente en la administración del recurso. A lo anterior se suma la falta de articulación interinstitucional adecuada para unificar y validar los datos, no solo con el propósito de evitar duplicidades existentes, sino también con el fin de utilizarlos de forma efectiva en la toma de decisiones (Contraloría General de la República, 2002)

La cuenca del Río Grande Tárcoles se ubica en el sector central y occidental del Valle Central de Costa Rica y se extiende hasta la vertiente del Pacífico, abarcando parcialmente cinco de las siete provincias del país: San José, Alajuela, Heredia, Cartago y Puntarenas y con la presencia de 36 municipios de los 81 existentes en el país. Posee un área de 2 155,5 Km² lo que representa el 4,2% de la superficie nacional. Dicha cuenca se produce por la confluencia del río Virilla y el río Grande, los cuales se unen para formar el río Grande de Tárcoles, el cual tiene una longitud de 96,4 Km. y un caudal promedio mensual de 86,7 m³/seg (CNFL, 1998).

Según datos de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL) (1998) en la cuenca del río Grande de Tárcoles se concentra la mayor parte de la población del

país y las principales actividades productivas y económicas de Costa Rica. A lo largo de esta cuenca habitan dos millones trescientos treinta mil personas (2 330 000 hab., al mes de agosto, 2004), lo cual equivale a cerca de un 55% de la población nacional además, se ubican el 80% de las industrias que comprende las de alta tecnología, bebidas, químicas, agroindustriales, metalúrgicas así como el principal comercio y la mayor parte de las que ofrecen prestación de servicios del país. En esta cuenca se procesa más del 50% de la producción de café; además se desarrollan importantes actividades agrícolas y pecuaria (Espinoza y Villalta, 2004). Estas últimas ocupan un lugar preponderante.

Esta cuenca es, a su vez, la más contaminada del país y una de las mayores a nivel centroamericano. Recibe aproximadamente el 67% de la carga orgánica del país. La situación más crítica en la cuenca la representan las aguas superficiales principalmente en los parámetros de SST y coliformes totales, debido a las descargas de las aguas residuales domésticas. Las aguas subterráneas están siendo también fuertemente amenazadas por la expansión urbana y agrícola. Se han registrado problemas de contaminación especialmente por nitratos, posiblemente debido al uso de fertilizantes en los cultivos de café, por la percolación de las aguas negras provenientes de la utilización intensiva de más de 200.000 tanques sépticos, así como por la filtración de aguas contaminadas a los mantos acuíferos (Espinoza y Villalta, 2004).

La mayor parte de la población se ubica en la parte media de la cuenca, en el sector central oriental, especialmente en las subcuencas del río Tiribí, María Aguilar, Bermúdez, Torres y Virilla (Espinoza y Villalta, 2004).

La otra cuenca estudiada es la del río Reventazón que se ubica en la zona central de la Vertiente Atlántica de Costa Rica y comprende en su totalidad un área de 2 950 km², equivalente a un 5,20% del territorio nacional, con una longitud de 125 km. Parte de su territorio abarca segmentos de las provincias de Cartago y Limón y su población aproximada es de 395 000 habitantes (Asamblea Legislativa, 2005).

En la parte alta de la cuenca del Reventazón, que abarca un área de 1 530 kilómetros cuadrados, se produce el 38% de la hidroelectricidad del país, el 25% del agua potable del Área Metropolitana de San José; el 85% de la producción hortícola, el 33% de la ganadería y el 50% del cemento nacional, sin considerar los aportes de la parte baja de la cuenca (ICE, 1999).

El equilibrio de los recursos hídricos de la cuenca se encuentran amenazados, por procesos de degradación tales como la erosión y transporte de sedimentos, la sobre aplicación de pesticidas y fertilizantes químicos, la mala disposición de los desechos en las fincas, la carencia de sistemas de tratamiento de aguas residuales urbanas, la mala disposición de la basura urbana, la deforestación y la sobre utilización de la tierra por las malas prácticas agrícolas, entre ellas las de labranza de suelos para la horticultura (Asamblea Legislativa, 2005).

Los sectores oeste y noroeste de la cuenca (faldas de los volcanes Irazú y Turrialba), concentran el 16% del área de la cuenca, y producen el 70% de los sedimentos. La tasa de producción de sedimentos, en la parte media de estos sectores es significativa, con más de 45% del aporte de la cuenca, sobresaliendo las subcuencas Birris con 28,3 t/ha/año, y Aguacaliente – Reventado, con 23 t/ha/año; mientras que el sector sur, donde predominan los bosques en áreas protegidas, las tasas son del orden de 9t/año. Su precipitación media anual es de 3 600 mm, con una escorrentía de 2 614 mm, que equivalen a 83 L/seg-km² (ICE, 1999).

Los niveles de contaminación de las aguas de los ríos pertenecientes a la cuenca del Reventazón la sitúan en el segundo lugar, con un porcentaje del 11% respecto a la contaminación total del país. La carga de DBO es de 40 toneladas por día, lo cual es atribuido al efecto de los desechos domésticos, así como los industriales y los beneficios. Las ciudades que drena esta cuenca no cuentan con alcantarillado sanitarios (Asamblea Legislativa, 2005).

La cuenca del río Reventazón se encuentra en pleno desarrollo. Existe una demanda muy fuerte por sus recursos, tanto para la producción industrial como la agropecuaria. Esta mayor demanda, junto con el aumento de la población y el

aumento de los desechos producidos, ha iniciado un proceso de deterioro de los recursos (ICE, 1999). Este proceso se observa principalmente en la degradación de las tierras de producción, la contaminación de aguas y ambiente, el aumento de enfermedades relacionadas con el alto uso de agroquímicos y el aumento del riesgo a deslizamientos e inundaciones en las áreas críticas (ICE, 2000).

Ubicación del área de estudio

El área de estudio del proyecto se ubicó en las partes altas de dos cuencas: la del Tárcoles abarca el área de la provincia de San José, específicamente en el Cantón Central, Santa Ana, Moravia, Escazú y Mora, en la provincia de Heredia en los cantones de Santo Domingo y Belén, en la provincia de Alajuela en el cantón de Alajuela y la segundo tramo de cuenca que corresponde al Reventazón en la provincia de Cartago en los cantones de el Guarco y Paraíso. Geográficamente el proyecto se desarrollo en la parte alta y media de la cuenca del Río Grande de Tárcoles, que comprende los ríos María Aguilar, Tiribí, Uruca, Bermúdez, Segundo, Ciruelas, Torres, Alajuela, Tizate, Poás, Grande de San Ramón, y en la parte alta de la cuenca del Río Reventazón, los río Purires, Reventado y Agua Caliente

Proyecto: Evaluación y clasificación preliminar de la calidad del agua en la cuenca alta del Río Tárcoles y del Río Reventazón - Estaciones de monitoreo

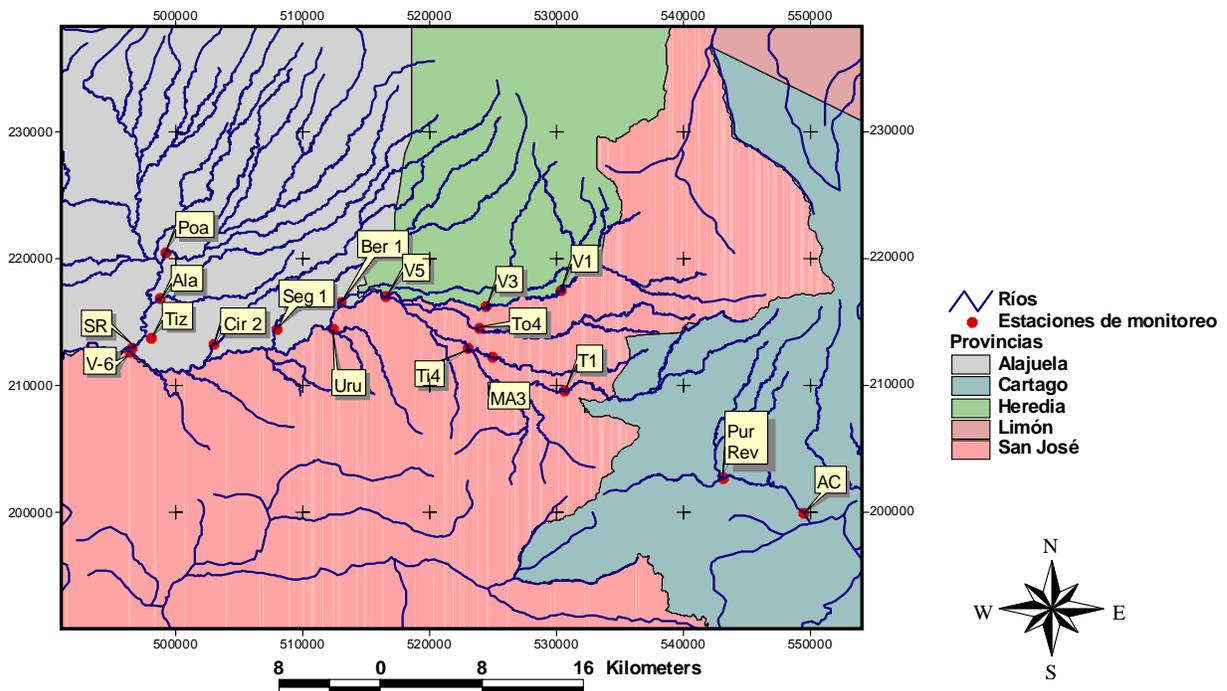


Figura 1. Codificación y ubicación de las estaciones de monitoreo establecidos para la toma de muestras

Fuente: Digea, MINAE

Para llevar a cabo el estudio se fijaron estaciones de monitoreo donde se realizó la medición de caudal y el muestreo de las aguas en los ríos principales del área seleccionada, correspondientes a la parte alta, media y baja de las subcuencas de los ríos. Otro factor importante al momento de esta selección fue la cercanía de lugares densamente poblados y los efluentes de las antiguas estructuras de los alcantarillados sanitarios. Los sitios de interés seleccionados se muestran en la tabla 1. Ver también localización en la figura 1 (mapa de área de estudio).

Tabla 1. Codificación, localización geográfica y dirección de los sitios de muestreo.

RÍO	ESTACIÓN	LONGITUD	LATITUD	DIRECCIÓN
Río Virilla	V5	516641	216915	San Antonio de Belén. Ingresar a Pedregal. Punto ubicado 25 m agua abajo de la unión de los Ríos Tiribí y Virilla (Planta Eléctrica Electriona)
Río Uruca	Uru	512300	512240	Carretera Próspero Fernández, desviarse a la derecha 1 Km antes de Brasil de Santa Ana, calle hacia Presa Virilla. Ingresar en urbanización en construcción 200 m antes del portón de la CNFL, llegar al final de calle.
Río Bermúdez	B_5	512946	216545	San Rafael de Alajuela, 200 m O y 700 m S de la plaza de deportes, hacia Planta Eléctrica Belén. El punto está ubicado 400 m S de Pipasa, 75 m aguas arriba del puente.
Río Segundo	Seg 1	507874	214437	Guácima, iglesia de Nuestro Amo entrada a la izquierda, continuar por 600 m Punto ubicado aguas abajo del puente.
Río Ciruelas	Ci 2	508265	217825	Puente sobre la Carretera Ciruelas - Rincón Herrera, 5m aguas abajo del puente, ingresar por el margen derecho del río

Río Virilla	V3	523304	216210	Entrar en calle a la derecha 100 m NO del puente en carretera San José – Heredia (entrada al Beneficio Santo Domingo). Continuar 200 m y desviarse a la derecha hacia el tajo. Tomar calle de tierra hacia la laguna ubicada al fondo del terreno.
Río Virilla	V1	530043	217042	Carretera entre San Vicente de Moravia y San Miguel de Santo Domingo de Heredia. Ingresar por portón a la derecha (sentido San Vicente - Santo Domingo) en la propiedad del Beneficio Libertad (el portón se encuentra 100 m antes del puente sobre el Río Ipís).
Río Tiribí	T1	530662	209481	Urbanización Cabaña. Llegar a la última parada de buses, continuar por el boulevard, 300 m SO, doblar al este en la última esquina. Entrada al costado este del play de niños.
Río Tiribí	Ti4	522928	212770	Ruta 7 Los Anonos – Escazú (punto sobre el río ubicado 250 m aguas arriba del puente viejo). Tomar calle a la derecha antes de la intersección hacia Pavas.
Río María Aguilar	MA3	524921	212187	Bajo La Cañada (carretera entre Sabana Sur y Hatillos). Primera entrada inmediatamente después del puente (sentido Sabana - Hatillos), ingresar 25 m hasta punto de acceso aguas arriba del puente.
Río Torres	To4	523790	214403	Puente en Bajo Los Ledesma. Tomar primera entrada a la derecha después del puente (sentido Rohmoser - Hospital México), ingresar 100 m y doblar a la derecha (pequeña calle sin salida que llega a la ribera del río).
Río Alajuela	Ala	498720	216760	250 m N del centro de Cebadilla, carretera a La Garita
Río Tizate	Tiz	497997	213721	500 m S del centro de Cebadilla, carretera a Planta Hidroeléctrica La Garita
Río Poás	Poa	502323	220724	De Manolos, continuar 2,8 Km rumbo a Naranjo, tomar camino a la izquierda y continuar 2,4 Km

Río Virilla	V-6	501414	211498	Puente sobre carretera Turrúcares - Piedras Negras, 25m antes de llegar al puente, punto de monitoreo se ubica aproximadamente 75m aguas abajo del puente
Río Grande de San Ramón	SR	497092	213244	Planta Hidroeléctrica La Garita
Río Purires	Pur	542915	202605	Tejar, puente sobre carretera entre Sabana y Guayabal
Río Reventado	Rev	542761	202824	Tejar, puente sobre carretera a Tobosí, 450 m S de esquina SO del parque de Tejar
Río Agua Caliente	AC	549503	199697	Paraíso, Navarro, 50 m aguas abajo del puente peatonal sobre el Río Agua Caliente

Parámetros Analizados

Los parámetros analizados para la determinación de la calidad del agua según el sistema Holandés de Clasificación de Cuerpos de agua comprende el Porcentaje de Saturación de Oxígeno (PSO), el Amonio (NH_4^+) y la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5).

Porcentaje de Saturación de Oxígeno (PSO)

El PSO se obtiene de la relación entre el Oxígeno Disuelto (OD) real obtenido en el sitio de medición y el O.D. teórico correspondiente a la condición de agua limpia a la presión atmosférica y la temperatura en el mismo sitio de medición.

El análisis de oxígeno disuelto mide la cantidad de oxígeno gaseoso disuelto (O_2) en una solución acuosa, este se expresa también como porcentaje de saturación de oxígeno para una mejor interpretación, de este modo entre más alejado de 100 % resulte la saturación más se han perdido las condiciones naturales, en términos de concentración el nivel mínimo de OD para sustentar la vida acuática es de 4 mg/L lo que equivale a un 65%. Concentraciones menores generan, además, molestias ambientales por malos olores y condiciones insalubres. Esta prueba se realiza en campo, para obtener datos reales de la calidad del agua.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

La demanda bioquímica de oxígeno es un indicador de la contaminación por materia orgánica presente en la corriente de agua. La prueba consiste en medir la cantidad de oxígeno consumida por microorganismos de la materia orgánica en descomposición, durante un periodo de tiempo específico (usualmente 5 días a 20 °C) (Standard Methods, 2001). La tasa de consumo de oxígeno en una corriente se afecta por un número de variables: temperatura, pH, la presencia de ciertos tipos de microorganismos y el tipo de material orgánico e inorgánico en el agua. La DBO también mide la oxidación química de la materia inorgánica (por ejemplo

la extracción del oxígeno del agua mediante reacción química). La concentración de DBO afecta directamente la disponibilidad de oxígeno disuelto en ríos y corrientes. A mayor DBO, el oxígeno se agota más rápido, lo que refleja un grado de alta contaminación donde solo pueden sobrevivir organismos tolerantes a la falta de oxígeno y con condiciones del agua de alta turbiedad, color y olor. Por otra parte, valores bajos de DBO reflejan un cuerpo de agua de calidad ecológica muy limpia, de baja turbiedad y color, oxígeno disuelto próximo a la saturación, con un contenido de sólidos volátiles y nutrientes bajos que permiten la existencia de fauna acuática de gran riqueza y diversidad (Milacron, 2004).

Nitrógeno Amoniacal (NH_4^+)

La importancia de la determinación de este parámetro radica en que su presencia en las aguas superficiales se atribuye a la actividad microbiana producto de la degradación de la materia orgánica nitrogenada proveniente de las aguas residuales domésticas. El amoníaco se encuentra en una solución acuosa en un equilibrio químico, controlado principalmente por el pH y la temperatura del agua, con el ión amonio. La toxicidad del amonio para los organismos acuáticos se relaciona con la forma no ionizada (amoníaco), debido principalmente a su elevada solubilidad en lípidos, lo que facilita su paso a través de las membranas biológicas, causando daños en las superficies respiratorias.

Sistema Holandés de Valoración de la calidad físico-química del agua

El Sistema Holandés de Clasificación para la Calidad del Agua permite trasladar información de concentraciones de las variables de mayor importancia en la valoración de la contaminación orgánica en una corriente de agua, como es la Demanda Bioquímica de Oxígeno, el Nitrógeno Amoniacal y el Oxígeno disuelto convertido en Porcentaje de saturación de Oxígeno por medio del Oxígeno Real *In Situ* y el valor teórico dado por la temperatura y la presión atmosférica en el sitio

de estudio, a un código de colores asignado a cada clase. Conforme al valor obtenido para cada parámetro, se asigna el puntaje correspondiente según lo indica en la tabla 2.

Tabla 2. Puntaje dado a los diferentes parámetros de acuerdo a los resultados obtenidos de los análisis químicos realizados, para cada punto de muestreo.

	PSO, %	DBO, mg/L	N-NH⁺₄,mg/L
1	91 - 100	< = 3	< 0.50
2	71 - 90 111 - 120	3.1 – 6.0	0.50 – 1.0
3	51 - 70 121 - 130	6.1 – 9.0	1.1 – 2.0
4	31 - 50	9.1 – 15	2.1 – 5.0
5	< = 30 y > 130	> 15	> 5.0

Los parámetros analizados se presentan, en forma tabular para cada campaña de muestreo y fecha de monitoreo. De acuerdo a esta metodología la calidad en términos de esas variables se pondera con una puntuación la cual luego es sumada resultando en una clasificación numérica cuya clasificación se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Color otorgado según la ponderación de los puntajes obtenidos para los diferentes parámetros analizados en cada punto de muestreo

CLASE	PROMEDIO DE PUNTOS	CÓDIGO DE COLOR	INTERPRETACIÓN DE CALIDAD
1	3	AZUL	SIN CONTAMINACIÓN
2	4 - 6	VERDE	CONTAMINACIÓN INCIPIENTE
3	7 - 9	AMARILLO	CONTAMINACIÓN MODERADA
4	10 - 12	ANARANJADO	CONTAMINACIÓN SEVERA
5	13 - 15	ROJO	CONTAMINACIÓN MUY SEVERA

Este modelo de clasificación desde el punto de vista espacial, permitirá situar a un tramo particular del río, en una clasificación específica y temporalmente dependiente, ya que la clasificación obtenida en época lluviosa no se corresponderá con la observada durante el estiaje. El organismo competente a su vez deberá definir la época en la cual tendrán que realizarse las clasificaciones, así como garantizar la permanencia en el cauce de un caudal ecológico

METODOLOGÍA

Para lograr el cumplimiento de los objetivos anteriores se procedió a establecer dos tipos de trabajo, una a nivel de campo y otra a nivel de laboratorio.

Trabajo de campo:

- En el sitio de interés seleccionado se cuantificó in situ la velocidad de la corriente de agua, en tres puntos transversales diferentes y la profundidad transversal del río para determinar el área transversal. Con este parámetro calculado y la velocidad del río se determinó el caudal en el laboratorio utilizando la ayuda de una hoja electrónica de cálculo.
- La velocidad del río se anotó en una hoja de registro especial que identificaba el río ó quebrada, el personal involucrado en los aforos y recolección de muestras, estado del tiempo, aspecto del agua, así como el día y hora del monitoreo.
- Simultáneamente a la determinación de la velocidad de la corriente del agua del río se registraba In Situ la temperatura del agua mediante el medidor de oxígeno disuelto, Orión Model 830 equipado con un electrodo DO Probe 083010 y el pH con un pH-metro Hanna Instruments.
- Además se recolectó *In Situ* una muestra del río equivalente a 2 litros de agua en el centro de la corriente del cauce receptor, en un recipiente plástico identificado con un número el cual quedó debidamente registrado en las hojas de campo, para cada sitio. Un tercer envase se usó para la recolección de una muestra con H_2SO_4 como preservante para realizar la prueba de nitrógeno amoniacal.
- Cada muestra recolectada se colocó en hieleras a 4 °C para evitar su degradación y variación en el tiempo para su transporte al Laboratorio de Servicios Químicos y Microbiológicos del Instituto Tecnológico de Costa Rica (CEQIATEC), siempre en un lapso menor a las 48 horas después de

recolectada la muestra, tiempo máximo aconsejado para la determinación del DBO.

- La frecuencia de los monitoreos se basó en los intereses propios del estudio, resultando aproximadamente en un muestreo una vez por mes en cada punto seleccionado.

Trabajo de Laboratorio

- Las muestras que se recolectaron para su análisis en el laboratorio, se les determinó su concentración en DBO y compuestos nitrogenados como amonio.
- El uso de muestras control de concentración conocida fueron utilizadas en cada análisis para asegurar la buena ejecución del procedimiento de análisis empleado. Si los resultados obtenidos no se encuentran dentro de los límites permisibles, se debe hacer el análisis nuevamente.
- Para los análisis fisicoquímicos se siguieron las metodologías del **Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater, 20 th Edition 1992, de la APHA, AWWA and WEF.**

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados analíticos se presentan divididos según la estación de monitoreo. La calidad del agua de los diferentes ríos se ve afectada en los tres parámetros analizados: demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), Porcentaje de Saturación de Oxígeno (PSO) y Nitrógeno Amoniacal (NH_4). Con base en la concentración de DBO, amonio y el porcentaje de saturación de oxígeno, se codifica la calidad en cada tramo con el Código Holandés de Colores.

Los datos de obtenidos de cada punto de muestreo se graficaron para mostrar la variación temporal de la contaminación en PSO, DBO y NH_4 para las estaciones de los ríos seleccionados en ambas cuencas.

Río Virilla (V1, V3, V5, V6)

El estudio de la calidad del agua para la subcuenca del Río Virilla se presenta en las figuras 2, 3, 4 y 5. Las cuatro estaciones de monitoreo codificadas como V1: corresponde al tramo cabecera del área de estudio, V3 y V5 parte media y V6 salida del sector. Cabe destacar que este último punto de monitoreo es el colector de los demás cuerpos de agua y parte final del tramo alto de la cuenca del río Tárcoles. La distancia recorrida por la corriente de agua entre V1 a V6 se estima en 50 Km

Los datos analizados muestran que la contaminación orgánica expresada como DBO y NH_4^+ aumenta progresivamente de la parte alta hacia la parte media aguas abajo, en tanto que presenta niveles más depurados al llegar a la estación V6. Esta característica se puede deber a las condiciones propias de la topografía del cauce del río ya que presentan pendientes muy pronunciadas y gran cantidad de piedras en su corriente, lo que facilita los procesos de oxigenación vitales para que se dé una remoción de los materiales biodegradables al aumentar la PSO.

El DBO en V1 pasa de una concentración mínima de 0,37 mg/L durante el mes de junio, inicio de la época lluviosa, a concentraciones de 17,5 mg/L, que corresponde a una concentración elevada, particularmente si se considera que este se encuentra a pocos kilómetros aguas abajo de la naciente. Sin embargo,

estas concentraciones pueden deberse a que la estación de muestreo estaba situada aguas abajo de un beneficio de café y durante la época seca del año esta actividad tiene su punto máximo, como se evidencia en la figura 2. Este comportamiento tiende a bajar a mediados del año, cuando la actividad del beneficiado termina, los altos niveles de DBO afectan de forma directa el PSO.

Las condiciones del cauce favorecen una adecuada oxigenación del agua facilitando la incorporación del oxígeno y los niveles detectados de NH_4^+ presentes en el cuerpo de agua mantienen un comportamiento sumamente bajo del orden de 0,9 mg/L favorecido probablemente por las condiciones anteriores.

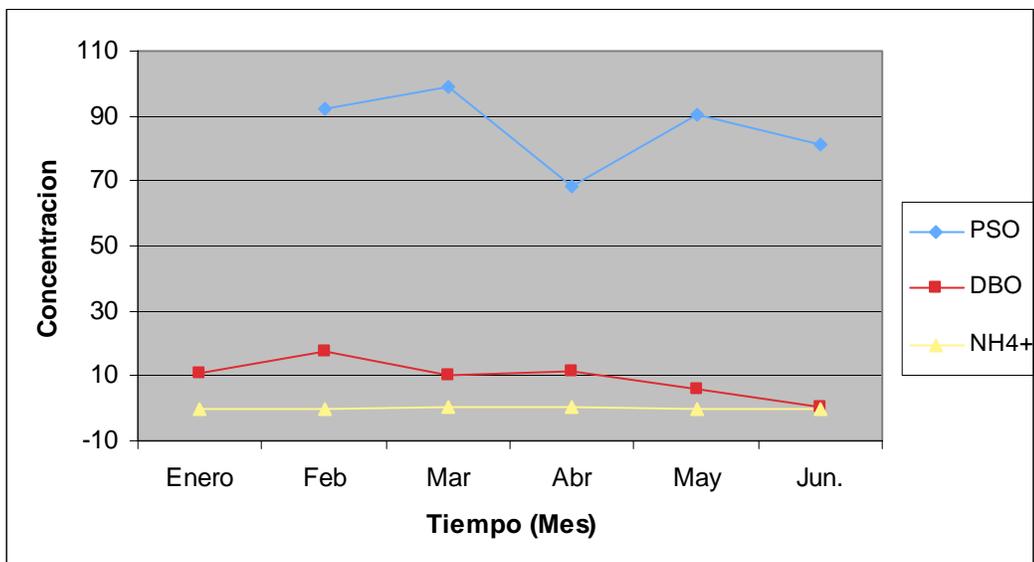


Figura 2. Variación temporal de la contaminación orgánica en términos de DBO_5 , PSO y NH_4 para la estación en el río Virilla (V1).

Fuente: Datos de Campo

La concentración de materiales biodegradables expresados como DBO pasa de mínimos 2,93 mg/L a máximos de 32,00 mg/L en V3, un drástico aumento en comparación con las concentraciones determinadas en el punto anterior, lo cual puede deberse al uso de estos cauces para descarga de aguas domésticas y especiales crudas provenientes tanto de viviendas de los precarios situados en los márgenes del río, lo cual se comprobó durante la realización de los muestreos; además de la existencia de descargas producidas por industrias cercanas. La concentración de Oxígeno en las aguas medida como PSO llegó a niveles bajos,

con un mínimo de 61,00% durante la época seca como lo muestra la figura 3, producto de la contaminación tanto biodegradable como conservativa o persistente, influenciada por materiales no degradables como los detergentes usados en los hogares y el aporte industrial, evidenciado también en los niveles de NH_4^+ los que aumentaron hasta llegar a una concentración máxima de 7,140 mg/L en el mes de abril.

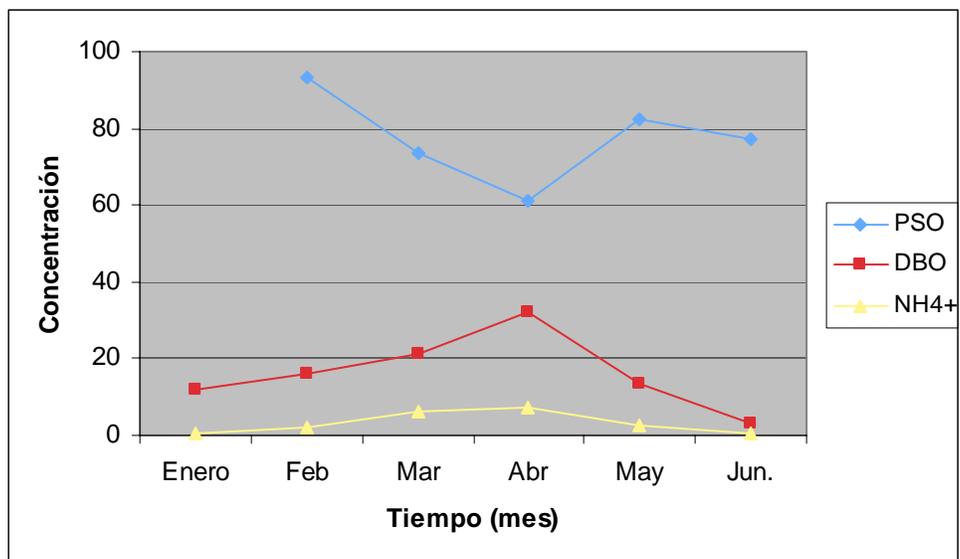


Figura 3. Variación temporal de la contaminación orgánica en términos de DBO_5 , PSO y NH_4 para la estación en el río Virilla (V3).

Fuente: Datos de Campo

Por otra parte, los datos generados a partir de las muestras tomadas en la estación V5 revelan una leve disminución en el PSO, al registrar un mínimo de concentración de 56,8 mg/L durante el mes de abril, caso contrario al mes de enero que fue cuando se determinó la máxima concentración de PSO con 82,4 mg/L.

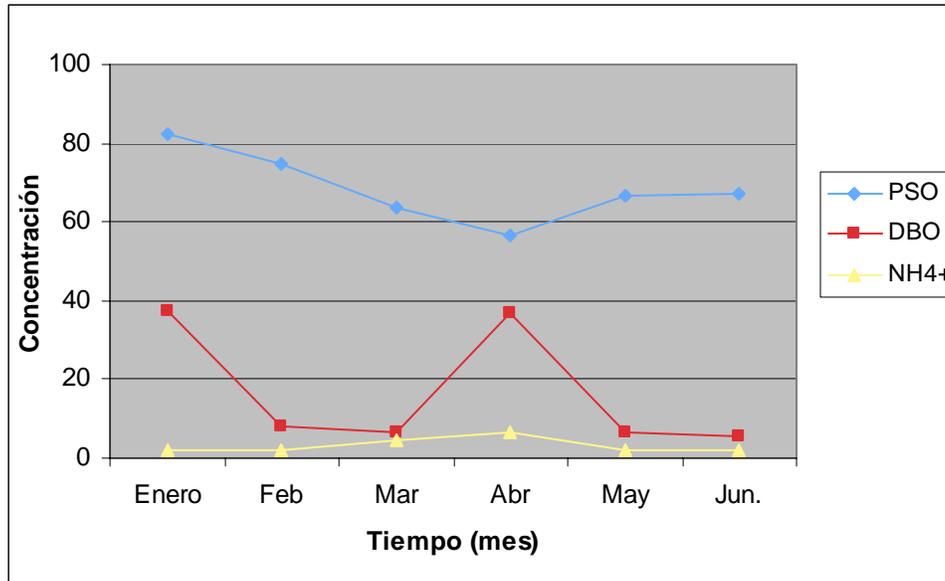


Figura 4. Variación temporal de la contaminación orgánica en términos de DBO₅, PSO y NH₄ para la estación en el río Virilla (V5).

Fuente: Datos de Campo

La contaminación orgánica medida como DBO, disminuyó al pasar concentraciones sumamente altas 37,5 mg/L durante el mes de enero hasta 5,50 mg/L durante el mes de abril, época en que se inician el periodo lluvioso, este aumento puede ser causado por la unión con el Tiribí y la ubicación de una planta hidroeléctrica aguas arriba, esto sin dejar de lado las descargas puntuales de que son víctimas los ríos evidenciados de igual manera en las concentraciones de NH₄⁺ que experimentaron un aumento al pasar de 1,947 mg/L a una concentración de 6.376 mg/L como lo evidencia la figura 4.

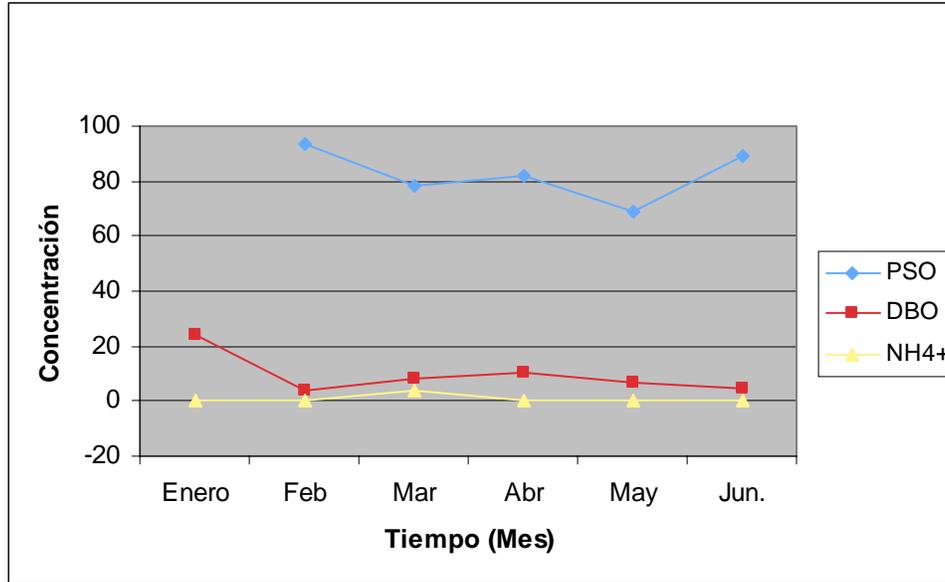


Figura 5. Variación temporal de la contaminación orgánica en términos de DBO₅, PSO y NH₄ para la estación en el río Virilla (V6).

Fuente: Datos de Campo

La figura 5 muestra como el PSO oscila entre valores de 68,7 a 93,5%, lo cual podría deberse a los procesos de auto depuración del río se ven favorecidos, la disminución de la concentración de materiales biodegradables, DBO, los que varían de mínimos 3,93 a 24,4 mg/L, retornando a condiciones muy similares al primer punto de muestreo sobre este río. Esta característica del poder de auto depuración que posee es sumamente importante ya en este punto se han unido la mayoría de los afluentes de esta subcuenca para pasar a formar la cuenca del Grande de Tárcoles, por su parte los materiales nitrogenados sufren un comportamiento especial dado por las condiciones de aireación que va experimentando la corriente de agua, así el amonio tiende a disminuir conforme la tendencia es hacia las condiciones aerobias, produciendo un aumento en la saturación de OD

Tabla 4 Valoración cualitativa de la calidad de agua en el punto de muestreo del río Virilla estación V1

Río Virilla (V1)				
Mes	Puntaje	Código color	Clase	Interpretación
Enero	5	Verde	2	Contaminación Incipiente
Febrero	7	Amarillo	3	Contaminación Moderada
Marzo	6	Verde	2	Contaminación Incipiente
Abril	8	Amarillo	3	Contaminación Moderada
Mayo	6	Verde	2	Contaminación Incipiente
Junio	4	Verde	2	Contaminación Incipiente

Fuente: Método Holandés de Clasificación del cuerpos de agua, con base en datos de campo

La contaminación que presenta el Río Virilla según el método de valoración cualitativa Holandés evidencia que en la estación de monitoreo V1 se registran los menores grados de contaminación mientras que conforme el río recorre la periferia de las ciudades y las aguas residuales especiales, la contaminación empieza aumentar gradualmente pasando por los grados de contaminación moderada, luego severa hasta llegar finalmente al nivel máximo de contaminación muy severa o grado 5. Este se produce en el mes de abril en las estaciones V3 y V5, esto por ser la época mas seca del año.

Tabla 5 Valoración cualitativa de la calidad de agua en el punto de muestreo del río Virilla estación V3

Río Virilla (V3)

Mes	Puntaje	Código color	Clase	Interpretación
Enero	6	Verde	2	Contaminación Incipiente
Febrero	9	Amarillo	3	Contaminación Moderada
Marzo	12	Anaranjado	4	Contaminación Severa
Abril	13	Rojo	5	Contaminación Muy Severa
Mayo	10	Anaranjado	4	Contaminación Severa
Junio	4	Verde	2	Contaminación Incipiente

Fuente: Método Holandés de Clasificación del cuerpos de agua, con base en datos de campo

De las cuatro estaciones monitoreadas son V3 y V5 presentan los niveles mas altos de contaminación durante mayor cantidad de meses produciendo la degradación de la calidad del agua, siendo los meses de febrero - abril donde se reporta una contaminación muy severa o categoría 5.

Tabla 6 Valoración cualitativa de la calidad de agua en el punto de muestreo del río Virilla estación V5

Río Virilla V5				
Mes	Puntaje	Código color	Clase	Interpretación
Enero	10	Anaranjado	4	Contaminación Severa
Febrero	9	Amarillo	3	Contaminación Moderada
Marzo	10	Anaranjado	4	Contaminación Severa
Abril	13	Rojo	5	Contaminación Muy Severa
Mayo	10	Anaranjado	4	Contaminación Severa
Junio	9	Amarillo	3	Contaminación Moderada

Fuente: Método Holandés de Clasificación del cuerpos de agua, con base en datos de campo

En el caso de la estación de monitoreo V6 presentada en la tabla 7, muestra condiciones considerablemente mas depuradas, esto podría deberse a que pocos kilómetros aguas arriba recibe las aguas del río Grande de San Ramón, que como se mostrara mas adelante, posee condiciones mas limpias, causando una posible dilución de las cargas contaminantes que han sido depositadas en este cause. Así mismo, las condiciones del cauce de este río son de topografía muy quebrada con gran cantidad de piedras lo que facilita los procesos de aireación del agua, aumentando la PSO, promoviendo la remoción de la materia contaminante.

Tabla 7 Valoración cualitativa de la calidad de agua en el punto de muestreo del río Virilla estación V6

Río Virilla V6				
Mes	Puntaje	Código color	Clase	Interpretación
Enero	6	Verde	2	Contaminación Incipiente
Febrero	4	Verde	2	Contaminación Incipiente
Marzo	9	Amarillo	3	Contaminación Moderada
Abril	7	Amarillo	3	Contaminación Moderada
Mayo	7	Amarillo	3	Contaminación Moderada
Junio	6	Verde	2	Contaminación Incipiente

Fuente: Método Holandés de Clasificación del cuerpos de agua, con base en datos de campo

Río Tiribí (T1, T4)

Los resultados del análisis de las muestras de agua tomadas para la subcuenca del Río Tiribí se presenta en las figuras 5 y 6, para dos estaciones de muestreo: T1 la parte más alta del trayecto estudiado y T4 la parte más baja. Entre el primer sitio de monitoreo T1 y el segundo T4 se estima una distancia recorrida por la corriente de agua de 10,0 Km.

Para la comparación de los diferentes puntos de muestreo se determino el valor central o promedio de los valores para los diferentes parámetros para poder establecer la comparación.

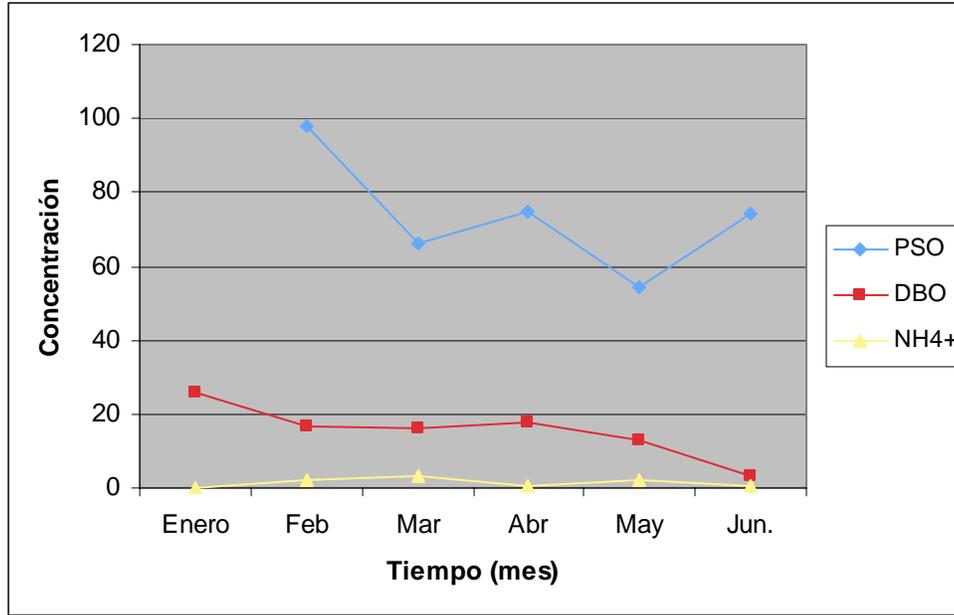


Figura 6. Variación temporal de la contaminación orgánica en términos de DBO₅, PSO y NH₄ para la estación en el río Tiribí (T1).

Fuente: Datos de Campo

La contaminación orgánica expresada como DBO, PSO y NH₄⁺ (figuras 5 y 6) aumenta progresiva pero moderadamente, de la parte alta hacia la baja de la corriente de agua. El DBO promedio pasa de 15,53 mg/L en T1 hasta 16,848 mg/L en T4; el PSO varía de 97,7% hasta 69,7 % en la misma secuencia y el NH₄⁺ pasa de 1,48 mg/l en T1 hasta 7,53 mg/L en T4. Como puede apreciarse en este escaso tramo de recorrido el cauce sufre un impacto significativo en cuanto al deterioro de la calidad del agua del punto de muestreo alto al más bajo.

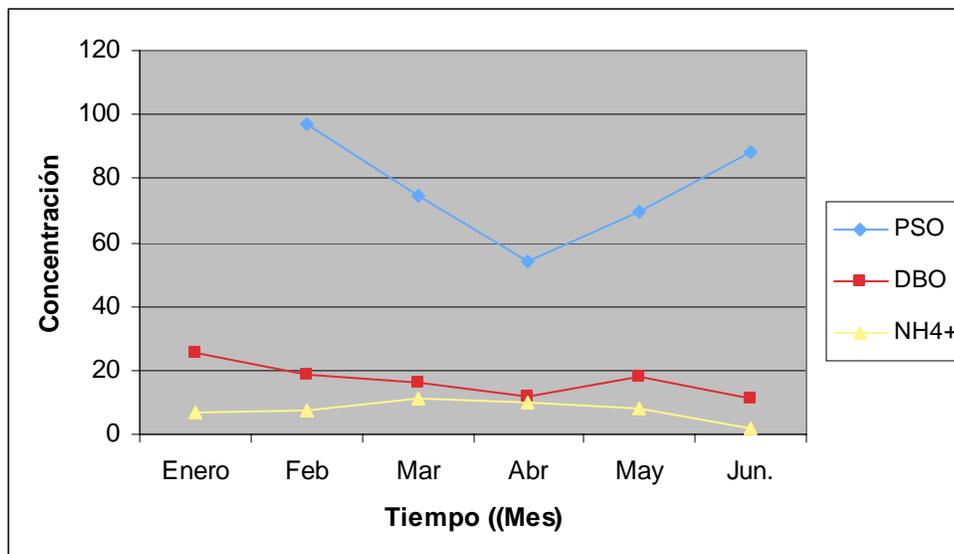


Figura 7. Variación temporal de la contaminación orgánica en términos de DBO5, PSO y NH_4^+ para la estación en el río Tiribí (T4).

Fuente: Datos de Campo

Es notorio el grado de contaminación en el punto de muestreo Ti 4, ya que se ubica aguas abajo del lugar en el que el Río Tiribí ha recibido la afluencia del Río María Aguilar, cuyas aguas presentan un nivel mucho mayor de contaminación (figura 6).

Los materiales nitrogenados sufren un comportamiento especial de acuerdo a las condiciones de aireación que va experimentando la corriente de agua. En este caso particular como se discutió antes el PSO es estable, manteniendo condiciones de aireación muy similares. El amonio, reflejado en las figuras 5 y 6, tiende a aumentar conforme la tendencia es hacia las condiciones anaerobias, pérdida de PSO, pasando en promedio de 1,48 en T1 a 7,53 mg/L en T4.

La valoración cualitativa de la contaminación del Río Tiribí muestra que en los sitios de muestreo T1 y T4, la clasificación predominante es la clase 4 o fuertemente contaminada. La época seca que abarca los meses de Febrero - Marzo son los que presentan un mayor grado de contaminación tipo 4 correspondiente a contaminación severa. Mientras que el mes de junio por las condiciones propias de inicio del período lluvioso y consiguiente aumento del

caudal registra una disminución de la contaminación pasando en la estación T1 de grado 4 a 2 o contaminación incipiente, en tanto que T4 pasa de grado 5 a grado 3.

Tabla 8 Valoración cualitativa de la calidad de agua en el punto de muestreo del río Tiribí estación Ti 1

Tiribí T1				
Mes	Puntaje	Código color	Clase	Interpretación
Enero	7	Amarillo	3	Contaminación Moderada
Febrero	10	Anaranjado	4	Contaminación Severa
Marzo	12	Anaranjado	4	Contaminación Severa
Abril	9	Amarillo	3	Contaminación Moderada
Mayo	11	Anaranjado	4	Contaminación Severa
Junio	6	Verde	2	Contaminación Incipiente

Fuente: Método Holandés de Clasificación del cuerpos de agua, con base en datos de campo

En el punto Ti-3 se evidencia la influencia de los beneficios de café en la DBO ya que incrementa las cargas contaminantes al lanzar sus aguas de residuo en sus aguas durante los primeros meses del año. El punto Ti-4 también presenta una tendencia similar al mostrar estos efectos aunado a los aportes del río María Aguilar que se encuentra muy contaminado aguas arriba de este punto de muestreo. Así mismo los valores determinados para el parámetro de NH_4^+ son altos, en las dos estaciones de monitoreo antes mencionadas.

Tabla 9 Valoración cualitativa de la calidad de agua en el punto de muestreo del río Tiribí, estación T4

Río Tiribí	Ti 4			
Mes	Puntaje	Código color	Clase	Interpretación
Enero	10	Anaranjado	4	Contaminación Severa
Febrero	11	Anaranjado	4	Contaminación Severa
Marzo	12	Anaranjado	4	Contaminación Severa
Abril	12	Anaranjado	4	Contaminación Severa
Mayo	13	Rojo	5	Contaminación Muy Severa
Junio	9	Amarillo	3	Contaminación Moderada

Fuente: Método Holandés de Clasificación del cuerpos de agua, con base en datos de campo

Río María Aguilar (MA3)

Los datos obtenidos referentes al porcentaje de saturación de oxígeno indican que durante los meses de marzo a mayo se presentan los menores porcentajes: 45,0%, 47,4% y 58,15 respectivamente. La época seca es la de menor caudal al disminuir el volumen de agua transportado por la corriente, al estar en la época seca y también se produce un aumento de temperatura lo que disminuye el PSO en el agua del río (Stanley, 1991). Lo que concuerda con los resultados obtenidos para el análisis de la DBO al reportar concentraciones de 18,8 y 18,6 mg/L durante los meses de Febrero y Marzo respectivamente, lo que revela los altos niveles de contaminación presentes en el agua de este río. De la misma manera al examinar los resultados del análisis del nitrógeno amoniacal presente, el cual es concordante con los datos anteriores, ya que se determinó

que durante los meses de marzo y abril se produjeron los niveles mas altos en las concentraciones situándose en 12,16 y 10,13 mg/L, tal como se refleja en la figura 7.

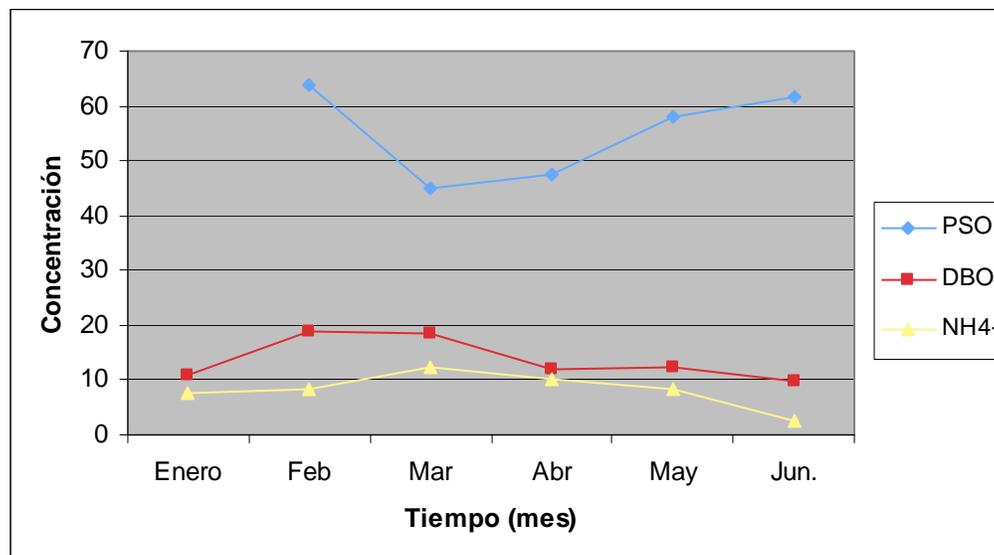


Figura 8. Variación temporal de la contaminación orgánica en términos de DBO5, PSO y NH4 para la estación en el río Maria Aguilar, estación MA3.

Fuente: Datos de Campo

Al realizar la ponderación para la clasificación de la calidad del agua del punto de muestreo MA3, se evidencia los altos niveles de contaminación al predominar la categoría 5 correspondiente a contaminación severa, durante los meses de Febrero a Abril, que es el periodo de menor precipitación durante la estación seca lo que tiende a concentrar los contaminantes en un menor caudal, condición que se ve mejorada al iniciar la época lluviosa en los meses de Mayo y Junio.

Tabla 10 Valoración cualitativa de la calidad de agua en el punto de muestreo del río María Aguilar MA 3

Río María Aguilar				
Punto de muestreo	Puntaje	Código color	Clase	Interpretación
Enero	9	Amarillo	3	Contaminación Moderada
Febrero	13	Rojo	5	Contaminación Muy Severa
Marzo	14	Rojo	5	Contaminación Muy Severa
Abril	14	Rojo	5	Contaminación Muy Severa
Mayo	12	Anaranjado	4	Contaminación Severa
Junio	11	Amarillo	3	Contaminación Moderada

Fuente: Método Holandés de Clasificación del cuerpos de agua, con base en datos de campo

Dado los altos niveles de contaminación encontrados en las aguas de estos puntos de muestreo, la calidad de estas no permiten que sean utilizadas por el ser humano para ningún uso, según lo establecido en el Decreto No. 33903-MINAE - S, estos altos niveles de contaminación se presentan durante los meses de mayor sequía por la reducción del caudal. Así también los bajos niveles de PSO presentes en el agua del río, se consideran inadecuados para sostener la vida acuática.

Río Torres (To4)

Los parámetros desarrollados para el tramo analizado del río Torres muestran niveles de contaminación altos como se exponen en la figura 8, se determinó que durante el mes de marzo se presentó el nivel mas bajo de PSO un 67,4% y un máximo de 80,6% durante el mes de Febrero, en tanto que la BDO

mostró valores de 12,56 mg/L durante el mes de Enero como la concentración mas baja aumentando hasta 35,5 mg/L en el mes de Abril donde se exhibió los niveles mas altos de contaminación orgánica. Asimismo, las concentraciones de nitrógeno amoniacal se encuentran altas ya que como mínimo se determino una concentración de 2,056 mg/L en el mes de Junio y un máximo de 12,757 mg/L. Estos niveles altos de contaminación pueden deberse a la cercanía de muchas viviendas del margen del río, la alta cantidad de desechos sólidos presentes en el cause, los efluentes de industrias manufactureras cercanas y la lentitud con que fluye el caudal de este río, este último punto en particular se da ya que no hay presencia en gran cantidad de piedras u otras interferencias que produzcan aireación del agua fluyente lo que facilitaría la remoción de materiales biodegradables.

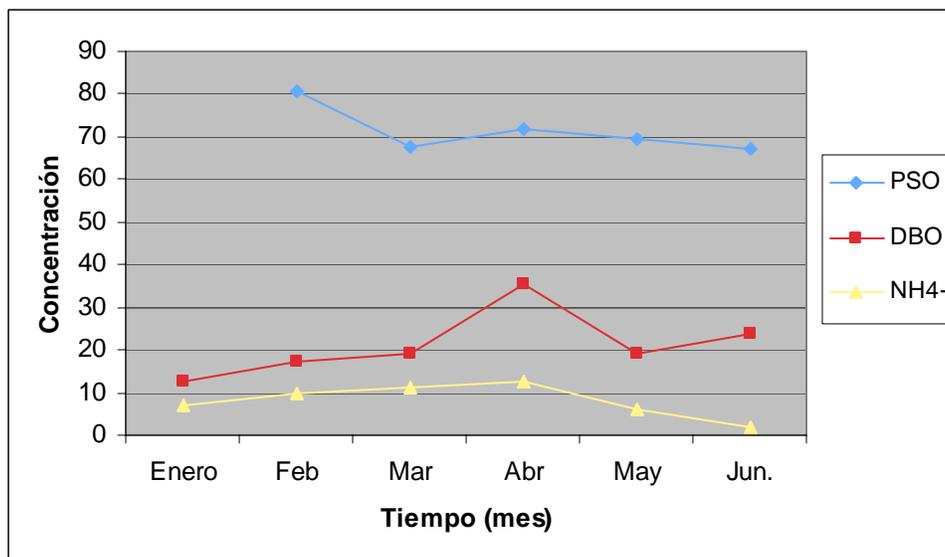


Figura 9. Variación temporal de la contaminación orgánica en términos de DBO5, PSO y NH_4^+ para la estación en el río Torres, estación To4.

Fuente: Datos de Campo

Los niveles de contaminación, en el tramo To4 del río Torres se clasifica como severa, siendo las clases cuatro y cinco las predominantes lo que indica que el río se encuentra severamente contaminado. Al ser receptor de cargas contaminantes de origen doméstico y de industrias manufactureras. La tabla 11

muestra la fluctuación que se da entre los grados de contaminación 4 y 5, pese a la alta carga contaminante recibida por el río, lo cual indicaría que este cuerpo posee una alta capacidad de auto-depuración.

Tabla 11 Valoración cualitativa de la calidad de agua en el punto de muestreo del río Torres To4.

Río Torres

Mes	Puntaje	Código color	Clase	Interpretación
Enero	9	Amarillo	3	Contaminación Moderada
Febrero	12	Anaranjado	4	Contaminación Severa
Marzo	13	Rojo	5	Contaminación Muy Severa
Abril	12	Anaranjado	4	Contaminación Severa
Mayo	13	Rojo	5	Contaminación Muy Severa
Junio	11	Anaranjado	4	Contaminación Severa

Fuente: Método Holandés de Clasificación del cuerpos de agua, con base en datos de campo

Río Uruca (Uru)

Los parámetros analíticos de las muestras tomadas en el cauce de este cuerpo de agua permiten determinar que el porcentaje de saturación de oxígeno se encuentran como mínimo en 59,2% en el mes de Abril y 90,7% para el mes de Marzo, registrando el valor máximo en este parámetro, por lo tanto un nivel adecuado para que se dé la degradación de compuestos orgánicos de forma adecuada. Los niveles de DBO favorecidos por la alta tasa de aireación que mantiene el cauce del río se hallan en una concentración mínima de 4,6 mg/L durante el mes de mayo, sin embargo el mes de Enero presentó un aumento en la cantidad de materia orgánica reflejada en un incremento del DBO que llegó a 13,4

mg/L, (figura 9). Las concentraciones de nitrógeno amoniacal detectadas fueron para el mes de junio como el mes de mayor concentración de este compuesto se registró con 0,92 mg/L. Cabe destacar que el cauce de este río mostraba gran cantidad de piedras y una topografía bastante irregular facilitando la aireación de la corriente de agua que arrastra, favoreciendo que los niveles de contaminación se mantengan relativamente bajos.

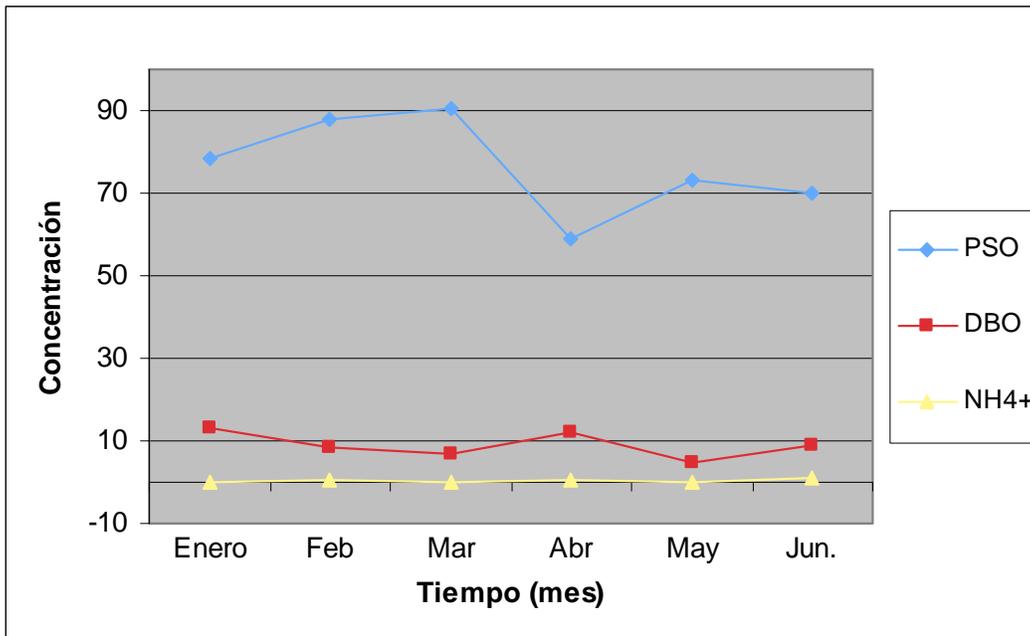


Figura 10. Variación temporal de la contaminación orgánica en términos de DBO5, PSO y NH4 para la estación en el río Uruca, estación Uru.
Fuente: Datos de Campo

Al ponderar los puntajes obtenidos a partir de los diferentes parámetros analizados en el punto de muestreo sobre el río Uruca, se determina que los niveles de la calidad del agua presentan una contaminación moderada durante la mayoría de los meses en que se realizó la toma de muestras, estos favorecidos por los altos porcentajes de saturación de oxígeno y las bajas concentraciones de nitrógeno amoniacal. Los niveles de contaminación en este punto de muestreo podrían deberse a los desechos sólidos y líquidos depositados en las aguas de este río, provenientes de las viviendas situadas en las cercanías. Un aspecto importante a destacar es que este cauce se ubica dentro de un cañón de

topografía quebrada con gran cantidad de piedras lo que facilita los procesos de remoción de la contaminación en sus aguas, lo que permite tener una gran capacidad autodepuradora.

Tabla 12 Valoración cualitativa de la calidad de agua en el punto de muestreo del río Uruca –Uru.

Río Uruca

Mes	Puntaje	Código color	Clase	Interpretación
Enero	6	Amarillo	3	Contaminación Moderada
Febrero	6	Amarillo	3	Contaminación Moderada
Marzo	6	Amarillo	3	Contaminación Moderada
Abril	8	Amarillo	3	Contaminación Moderada
Mayo	5	Verde	2	Contaminación Incipiente
Junio	8	Amarillo	3	Contaminación Moderada

Fuente: Método Holandés de Clasificación del cuerpos de agua, con base en datos de campo

Río Bermúdez (Ber)

Para el tramo analizado en este río se encontraron niveles altos de contaminación, esto al analizar los diferentes resultados obtenidos ya que el porcentaje de saturación de oxígeno mostró su punto más alto durante el mes de Febrero con un 84,6%. Sin embargo, durante los mese de marzo a mayo se dio un descenso importante en el porcentaje de saturación de oxígeno presente siendo el mes de marzo en el que se encontró menor porcentaje (55,1%). La DBO presenta una concentración de 17,2 mg/L durante el mes de Febrero mostrando un comportamiento opuesto al PSO. Al comprar los parámetros de BDO y PSO se

observa un comportamiento inverso típico de las aguas contaminadas; al observar la figura 10 se evidencia como en los periodos donde hay niveles altos de DBO, el PSO tiende a disminuir producto de la contaminación en este punto.

Para el caso de la contribución de la contaminación dada por el nitrógeno amoniacal (figura 10) concentraciones máximas de 6,586 mg/L para el mes de enero de ahí se observa un descenso producto de la entrada de la época lluviosa ya que para el mes de mayo alcanza su nivel mas bajo con 1,106 mg/L.

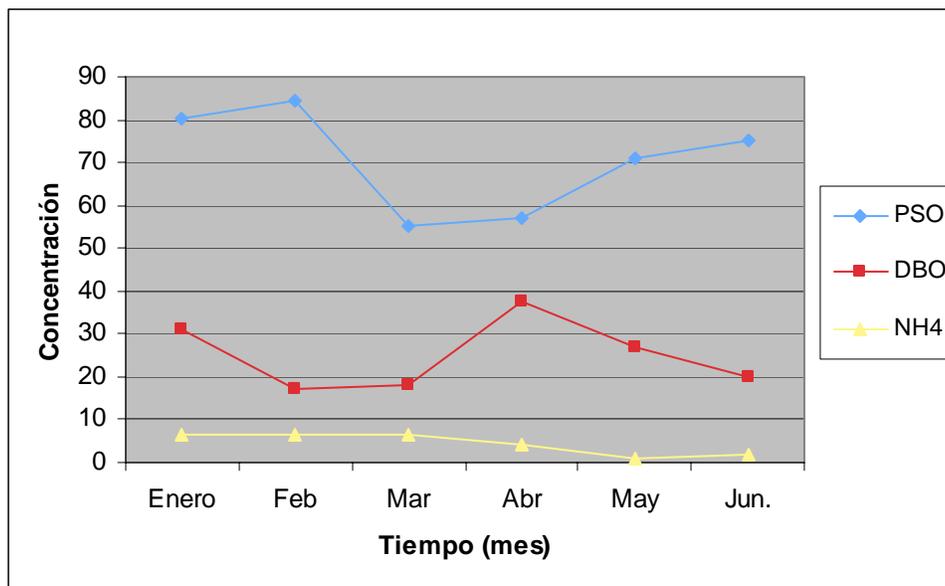


Figura 11. Variación temporal de la contaminación orgánica en términos de DBO₅, PSO y NH₄⁺ para la estación en el río Bermúdez, estación Ber.

Fuente: Datos de Campo

La clasificación de la calidad del agua del río Bermúdez, muestra que este río se encuentra severamente contaminado, favorecidos por las altas concentraciones de DBO y NH₄⁺, esto debido a que según datos de MINAE (2004) sobre el cauce de este río donde se ubican la mayor cantidad de beneficios de café, los cuales descargan las aguas residuales a este cauce.

Tabla 13 Valoración cualitativa de la calidad de agua en el punto de muestreo del río Bermúdez –Ber

Río Bermúdez

Mes	Puntaje	Código color	Clase	Interpretación
Enero	12	Anaranjado	4	Contaminación Severa
Febrero	12	Anaranjado	4	Contaminación Severa
Marzo	13	Rojo	5	Contaminación Muy Severa
Abril	12	Anaranjado	4	Contaminación Severa
Mayo	10	Anaranjado	4	Contaminación Severa
Junio	10	Anaranjado	4	Contaminación Severa

Fuente: Método Holandés de Clasificación del cuerpos de agua, con base en datos de campo

Río Segundo (Seg)

Los resultados de los análisis realizados al agua proveniente de este río mostraron valores mínimos de PSO 72,3% en el mes Abril, para el mes de Enero se determina la máxima concentración en este parámetro con un porcentaje de 91,0. En el caso de la DBO la máxima concentración se registra para el mes de enero con 27,2 mg/L, sin embargo para el mes siguiente la concentración llega a sus niveles mínimos con 4,90 mg/L, de ahí aumenta la concentración de la contaminación manteniéndose alrededor de los 14 mg/L durante los mese restantes. Para el parámetro de nitrógeno amoniacal el valor mas bajo registrado fue de 0,718 mg/L en el mes de Enero, evidenciándose en la figura 11 que durante el mes de Febrero la concentración por este parámetro fue de 4,319 mg/L, la mayor de toda la campaña de muestreo

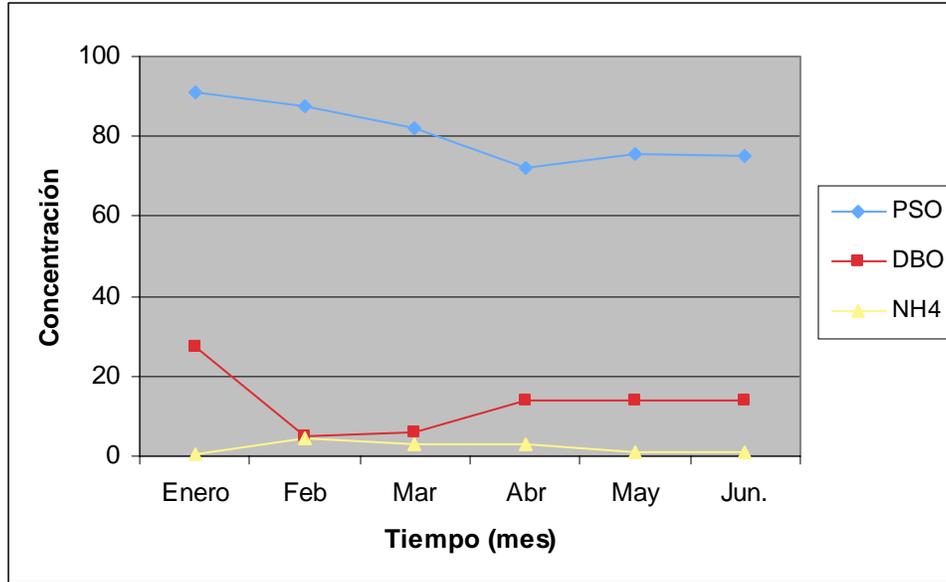


Figura 12. Variación temporal de la contaminación orgánica en términos de DBO₅, PSO y NH₄ para la estación en el río Segundo, estación Seg.

Fuente: Datos de Campo

La contaminación que presenta el Río Segundo presenta durante la mayoría de los meses es un grado de contaminación moderada. No obstante, durante el mes de abril esta situación cambia y aumenta significativamente al pasar a grado de contaminación severa lo que equivale a grado 4 (tabla 14).

Estos niveles de contaminación, favorecidos posiblemente por las descargas de los beneficios de café, así como de aguas residuales provenientes de domicilios cercanos al río

Tabla 14 Valoración cualitativa de la calidad de agua en el punto de muestreo del río Segundo –Seg

Río Segundo

Mes	Puntaje	Código color	Clase	Interpretación
Enero	8	Amarillo	3	Contaminación Moderada
Febrero	8	Amarillo	3	Contaminación Moderada
Marzo	9	Amarillo	3	Contaminación Moderada
Abril	10	Anaranjado	4	Contaminación Severa
Mayo	9	Amarillo	3	Contaminación Moderada
Junio	9	Amarillo	3	Contaminación Moderada

Fuente: Método Holandés de Clasificación del cuerpos de agua, con base en datos de campo

Río Ciruelas (Ci 2)

Este tramo comprobó ser un punto contaminado (figura 12) ya que los niveles de saturación de oxígeno se sitúan en un 74,3%, siendo los meses de enero y febrero los que poseen un mayor PSO en sus aguas con un 90,4% y un 81,2% respectivamente. La DBO alcanzó niveles altos en promedio al reportar 22,0 mg/L. Durante el mes de mayo su punto máximo de concentración de contaminación fue de 41,7 mg/L y la presencia de NH_4^+ reveló una concentración promedio de 5,0 mg/L y durante el mes de abril, presento una concentración de 10,82 mg/L, el nivel más alto. Este río tiene contribuciones de aguas negras y de industrias, al ser este cauce donde se descargan las aguas negras provenientes del alcantarillado sanitario de la provincia de Alajuela y al estar fuera de operación su planta de tratamiento.

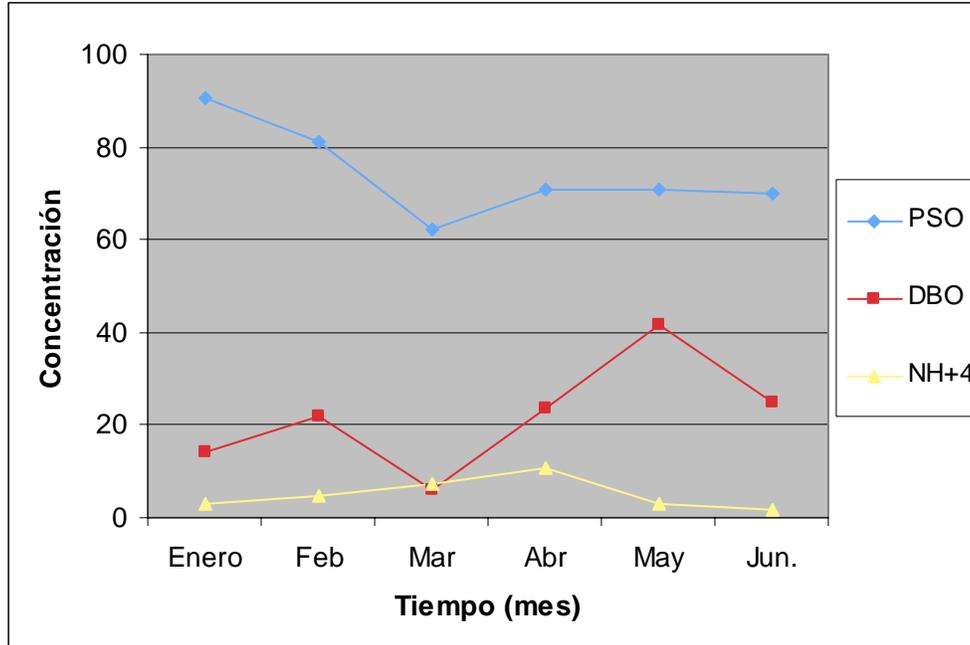


Figura 13. Variación temporal de la contaminación orgánica en términos de DBO5, PSO y NH4 para la estación en el río Ciruelas, estación Ci 2.

Fuente: Datos de Campo

La contaminación que presenta el Río Ciruelas presenta durante la mayoría de los meses un grado de contaminación severa. No obstante, durante el mes de abril esta situación cambia y aumenta significativamente al pasar a grado de contaminación muy severa lo que equivale a grado 5 (tabla 15).

Tabla 15 Valoración cualitativa de la calidad de agua en el punto de muestreo del río Ciruelas –Ci2

Río Ciruelas				
Mes	Puntaje	Código color	Clase	Interpretación
Enero	9	Amarillo	3	Contaminación Moderada
Febrero	11	Anaranjado	3	Contaminación Severa
Marzo	11	Anaranjado	3	Contaminación Severa
Abril	13	Rojo	4	Contaminación Muy Severa
Mayo	12	Anaranjado	3	Contaminación Severa
Junio	11	Anaranjado	3	Contaminación Severa

Fuente: Método Holandés de Clasificación del cuerpos de agua, con base en datos de campo

Río Alajuela (Ala)

Los parámetros determinados en este punto de muestreo indican que los niveles de saturación de oxígeno disuelto están en promedio en 76% durante los meses en que se realizaron los muestreos. Sin embargo durante el mes de de mayo este porcentaje llegó a un 65,1% que corresponde a la época seca. La concentración del DBO fue de 7,65 mg/L, concentración que es congruente con el punto mas alto de la concentración de la contaminación correspondiente al mes de mayo (figura 13), con 13,5 mg/L. Lo que evidencia la correlación existente entre el DBO y el PSO, ya que al aumentar la concentración de la contaminación tiende a disminuir el PSO, esto ya que se requiere mayores concentraciones de oxígeno para degradar la materia orgánica presente en el cuerpo de agua.

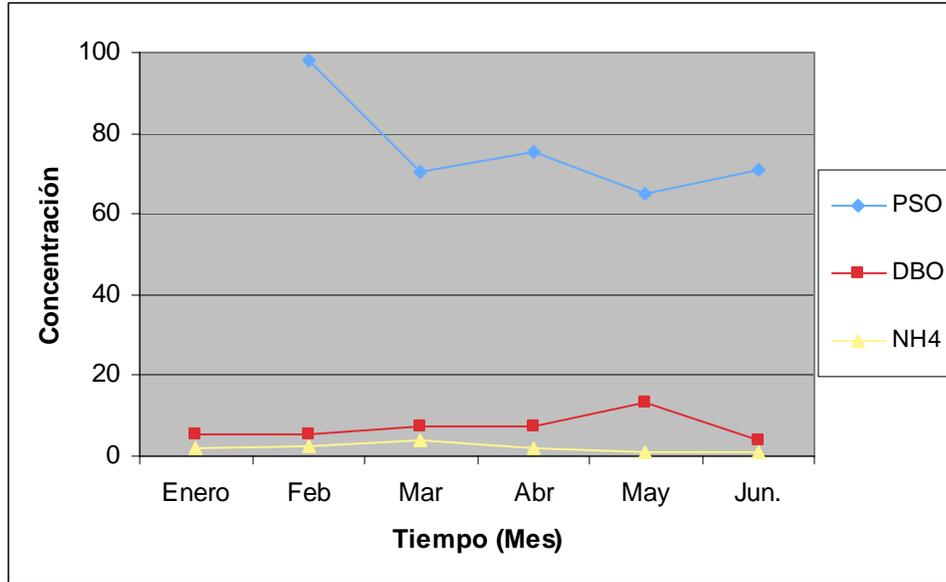


Figura 14. Variación temporal de la contaminación orgánica en términos de DBO₅, PSO y NH₄ para la estación en el río Alajuela, estación Ala.

Fuente: Datos de Campo

La valoración cualitativa de la calidad del agua de la estación de monitoreo Ala, es grado 3 que corresponde a contaminación moderada, durante el periodo en que se realizó el muestreo, (tabla 16)

Tabla 16 Valoración cualitativa de la calidad de agua en el punto de muestreo del río Alajuela–Ala

Río Alajuela				
Mes	Puntaje	Código color	Clase	Interpretación
Enero	6	Verde	2	Contaminación Incipiente
Febrero	7	Amarillo	3	Contaminación Moderada
Marzo	9	Amarillo	3	Contaminación Moderada
Abril	8	Amarillo	3	Contaminación Moderada
Mayo	7	Amarillo	3	Contaminación Moderada
Junio	8	Amarillo	3	Contaminación Moderada

Fuente: Método Holandés de Clasificación del cuerpos de agua, con base en datos de campo

Río Tizate (Tiz)

Este punto de muestreo muestra concentraciones de PSO de 78,26% en promedio, disminuyendo gradualmente durante los meses de época seca (figura 14), pero muestra un incremento conforme empieza la transición a la época lluviosa. La carga de materiales biodegradables pasa de un DBO de 18,2 mg/L en el mes de enero a 1,7 mg/L durante el mes de junio. Los materiales nitrogenados sufren una variación para el amonio entre 0,18 y 2,6 mg/L y promedio de 0,78 mg/L.

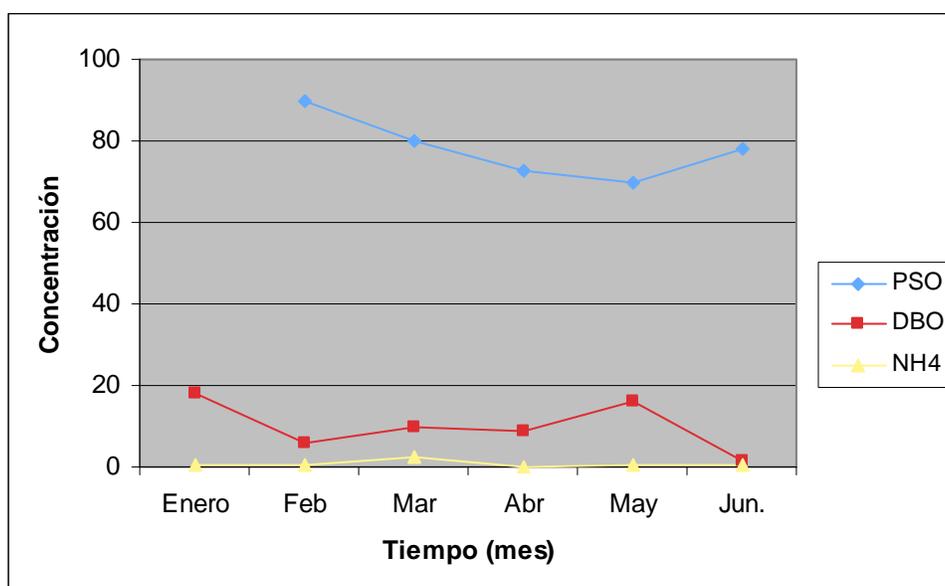


Figura 15. Variación temporal de la contaminación orgánica en términos de DBO5, PSO y NH4 para la estación en el río Tizate, estación Tiz.

Fuente: Datos de Campo

La valoración cualitativa del Río Tizate es predominantemente de tipo 2 correspondiente a contaminación incipiente, sin embargo los meses de Marzo y Mayo registran el grado 4 equivalente a contaminación severa.

Tabla 17 Valoración cualitativa de la calidad de agua en el punto de muestreo del río Tizate –Tiz

Río Tizate

Mes	Puntaje	Código color	Clase	Interpretación
Enero	6	Verde	2	Contaminación Incipiente
Febrero	5	Verde	2	Contaminación Incipiente
Marzo	10	Anaranjado	4	Contaminación Severa
Abril	6	Verde	2	Contaminación Incipiente
Mayo	10	Anaranjado	4	Contaminación Severa
Junio	6	Verde	2	Contaminación Incipiente

Fuente: Método Holandés de Clasificación de cuerpos de agua, con base en datos de campo

Río Poás (Poa)

La calidad del agua para la subcuenca del río Poás, cuya muestra se efectuó en la estación Poa, se detalla en la figura 15.

La DBO pasa de mínimos de 2,7 mg/L transportados por la corriente de agua a máximos de 22,8 mg/L y un promedio de 8,98, evidenciando el uso de estos cauces para descarga de aguas domésticas típicas.

El PSO, varía desde un 57% hasta un 96,7% de saturación, para un valor medio de 80,42, debido al consumo del oxígeno por los materiales oxidables. Los materiales nitrogenados sufren una variación mínima para el amonio entre 0,13 y 0,41 mg/L con una concentración media correspondiente a 0,15 mg /L.

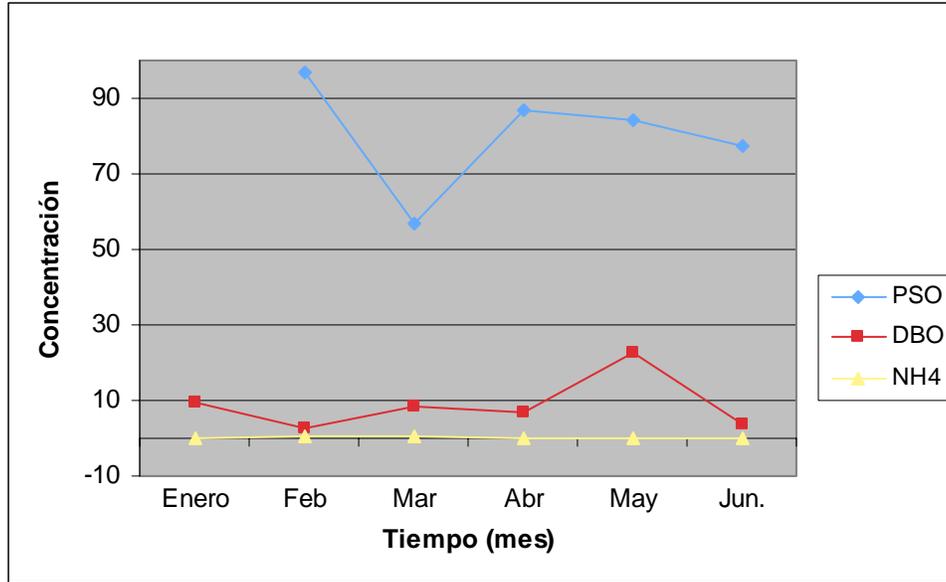


Figura 16. Variación temporal de la contaminación orgánica en términos de DBO₅, PSO y NH₄ para la estación en el río Poás, estación Poa.

Fuente: Datos de Campo

La valoración cualitativa del río Poás es predominantemente de grado 2 equivalente a contaminación incipiente, sin embargo se da una tendencia hacia la contaminación moderada durante los meses de marzo y mayo que va asociada a la aparición de la época seca.

Tabla 17 Valoración cualitativa de la calidad de agua en el punto de muestreo del río Poás –Poa

Río Poás				
Mes	Puntaje	Código color	Clase	Interpretación
Enero	4	Verde	2	Contaminación Incipiente
Febrero	3	Azul	1	Sin Contaminación
Marzo	7	Amarillo	3	Contaminación Moderada
Abril	6	Verde	2	Contaminación Incipiente
Mayo	8	Amarillo	3	Contaminación Moderada
Junio	5	Verde	2	Contaminación Incipiente

Fuente: Método Holandés de Clasificación del cuerpos de agua, con base en datos de campo

Río Grande de San Ramón (SR)

La calidad del agua para la subcuenca del Río Grande de San Ramón se presenta en la figura 16 en la estación de muestreo SR.

La carga de materiales biodegradables como DBO pasa de mínimos de 2,68 mg/L transportados por la corriente de agua a máximos de 34,5 mg/L y un promedio de 10,8 mg/L, por el posible uso de estos cauces para descarga de aguas domésticas típicas y de las actividades agrícolas.

El PSO varía desde un 58,4% hasta un 95,4 % de saturación y un valor medio de 78,5%, producto del consumo del oxígeno por los materiales biodegradables. Los materiales nitrogenados sufren una variación para el amonio entre 0,022 y 0,518 mg/L y promedio de 0,2 mg /L.

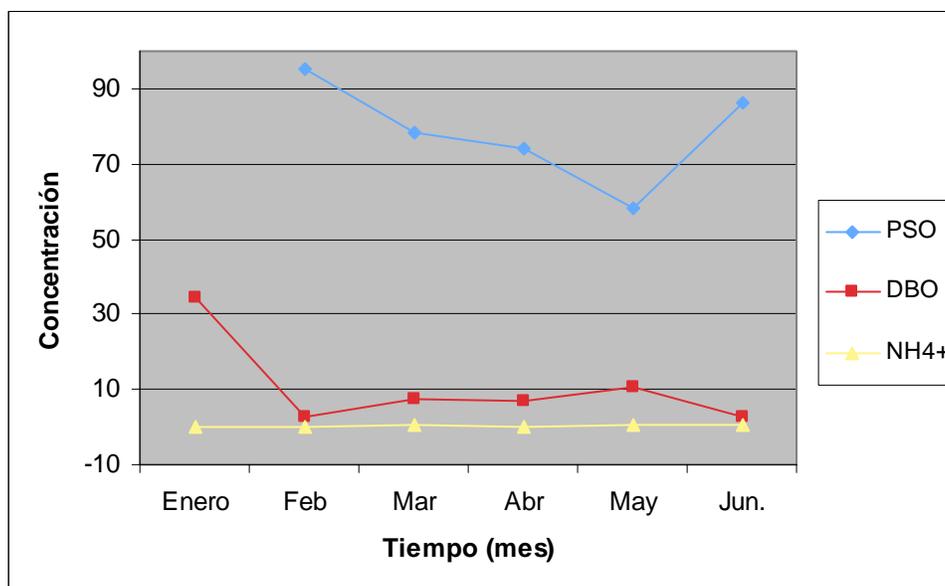


Figura 17. Variación temporal de la contaminación orgánica en términos de DBO₅, PSO y NH₄ para la estación en el río Grande de San Ramón, estación SR.

Fuente: Datos de Campo

La valoración cualitativa del Río Grande de San Ramón es predominantemente de tipo 2 correspondiente a contaminación incipiente. Los meses de marzo y mayo mostraron una tendencia de contaminación moderada; caso contrario durante el mes de febrero donde las condiciones fueron optimas al no poseer contaminación.

Tabla 18 Valoración cualitativa de la calidad de agua en el punto de muestreo del río Grande de San Ramón –SR

Río Grande de San Ramón

Mes	Puntaje	Código color	Clase	Interpretación
Enero	6	Verde	2	Contaminación Incipiente
Febrero	3	Azul	1	Sin Contaminación
Marzo	7	Amarillo	3	Contaminación Moderada
Abril	6	Verde	2	Contaminación Incipiente
Mayo	8	Amarillo	3	Contaminación Moderada
Junio	4	Verde	2	Contaminación Incipiente

Fuente: Método Holandés de Clasificación del cuerpos de agua, con base en datos de campo

Río Purires (Pur)

La calidad del agua para la subcuenca del Río Purires se presenta en la figura 17. El punto de muestreo identificado como Pur.

La carga de materiales biodegradables como DBO pasa de mínimos de 10,8 mg/L transportados por la corriente de agua a máximos de 14,8 mg/L, evidenciando el uso de estos cauces para descarga de aguas domésticas y de las actividades agrícolas desarrolladas cerca de sus márgenes.

El PSO varía desde un 65,6% hasta un 78,0% de saturación y un valor medio de 73,58%, debido al consumo del gas por los materiales oxidables. Los materiales nitrogenados sufren una variación para el amonio entre 0,6 y 4,15 mg/L y promedio de 1,98 mg /L.

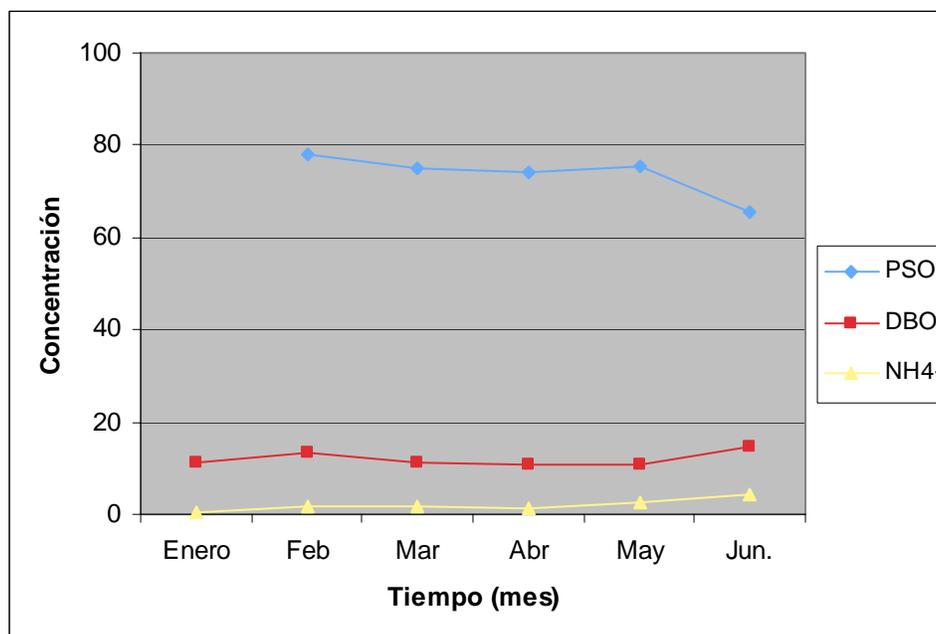


Figura 18. Variación temporal de la contaminación orgánica en términos de DBO5, PSO y NH4 para la estación en el río Purires, estación Pur.

Fuente: Datos de Campo

La valoración cualitativa del Río Purires es predominantemente de tipo 3 equivalente a contaminación moderada, presentando una degradación paulatina de la calidad de sus aguas a lo largo de los meses de estudio al pasar de clase 2 correspondiente a contaminación incipiente a clase 4, contaminación severa.

Tabla 19 Valoración cualitativa de la calidad de agua en el punto de muestreo del río Purires- Pur

Río Purires

Mes	Puntaje	Código color	Clase	Interpretación
Enero	6	Verde	2	Contaminación Incipiente
Febrero	9	Amarillo	3	Contaminación Moderada
Marzo	9	Amarillo	3	Contaminación Moderada
Abril	9	Amarillo	3	Contaminación Moderada
Mayo	10	Anaranjado	4	Contaminación Severa
Junio	11	Anaranjado	4	Contaminación Severa

Fuente: Método Holandés de Clasificación del cuerpos de agua, con base en datos de campo

Río Reventado (Rev)

Los parámetros analíticos de las muestras tomadas en el cauce de este cuerpo de agua permiten determinar que los niveles de saturación de oxígeno se encuentran en promedio en un 58%, presentando mínimos de 42,5% durante el mes de abril y máximos de 75,1% en el mes de febrero; en tanto que los niveles de DBO alcanzan valores altos en promedio de 16,0 mg/L, siendo el mes de febrero el mes en el que produce las menores concentraciones al registrar 5,3 mg/L lo que comprueba la relación que existe con el PSO ya que fue en este mes en el que se presentó el mayor PSO, asimismo durante el mes de abril cuando en el parámetro de DBO se registran 26,1 mg/L, la máxima concentración y el PSO obtiene su mínima concentración, figura 18. De la misma manera las concentraciones para el nitrógeno amoniacal que para el mes de febrero alcanza su mínimo con 0,54 mg/L, no manteniendo la tendencia al registrar la máxima concentración durante el mes de marzo con 3,55 mg/L, siendo el promedio de 2,06mg/L.

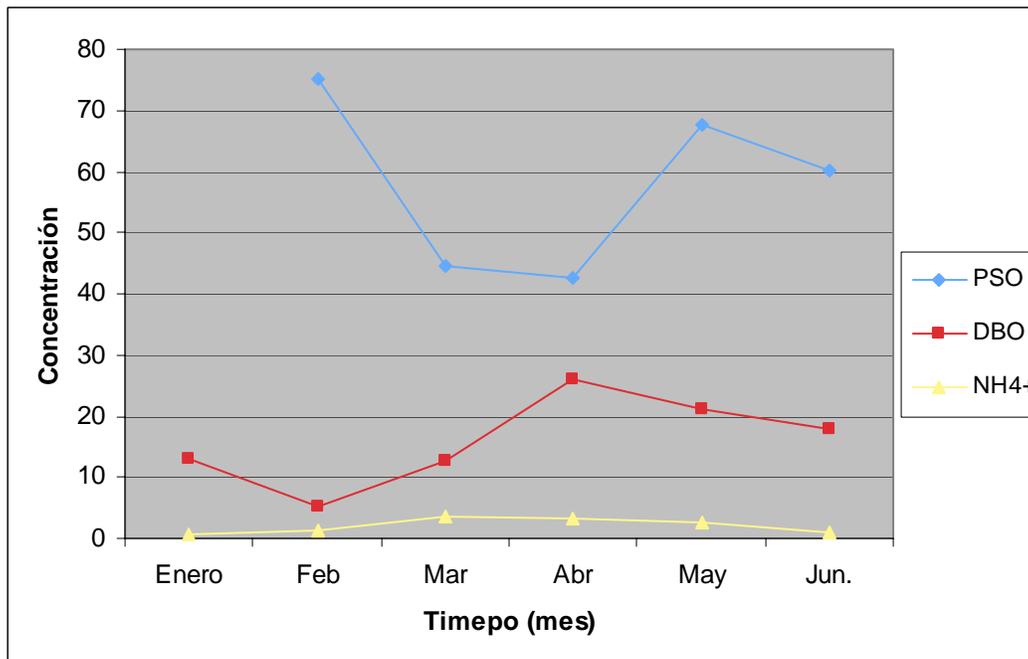


Figura 19. Variación temporal de la contaminación orgánica en términos de DBO₅, PSO y NH₄ para la estación en el río Reventado, estación Rev.

Fuente: Datos de Campo

La ponderación realizada para clasificar la calidad del agua sobre el río Reventado, con base en los parámetros analizados permite observar que este río

se encuentra severamente contaminado incluso llegando a superar los límites de calidad de las corrientes de agua para ser aprovechadas para uso humano, presentando una degradación de la calidad de sus aguas a lo largo del periodo en que se realizaron los muestreos.

Tabla 20 Valoración cualitativa de la calidad de agua en el punto de muestreo del río Reventado- Rev

Río Reventado (Rev)				
Mes	Puntaje	Código color	Clase	Interpretación
Enero	6	Verde	2	Contaminación Incipiente
Febrero	7	Amarillo	3	Contaminación Moderada
Marzo	12	Anaranjado	4	Contaminación Severa
Abril	13	Rojo	5	Contaminación Muy Severa
Mayo	12	Anaranjado	4	Contaminación Severa
Junio	10	Anaranjado	4	Contaminación Severa

Fuente: Método Holandés de Clasificación del cuerpos de agua, con base en datos de campo

Río Agua Caliente (AC)

La calidad del agua para la subcuenca del Río Agua Caliente, cuya muestra se efectuó en la estación AC, se detalla en la figura 19.

La carga de materiales biodegradables como DBO pasa de mínimos de 10,52 mg/L transportados por la corriente de agua a máximos de 25,65 mg/L, lo cual podría ser un reflejo que este cauce es utilizado para descargar aguas domésticas típicas y otras actividades productivas desarrolladas en sus márgenes.

El PSO varía desde 71,5% hasta 83,6% de saturación y un valor medio de 78,9%, debido al consumo del gas por los materiales oxidables. Los materiales nitrogenados sufren una variación para el amonio entre 0,245 y 1,4 mg/L y promedio de 1,01 mg /L.

Según datos de Leiva (2005), la Quebrada Los Molinos, afluente de este río, recibe las aguas negras provenientes del alcantarillado sanitario del Cantón Central de provincia de Cartago al estar fuera de operación su planta de tratamiento, asimismo los efluentes de 6 plantas de tratamiento que en el 2005, se encontraban en funcionamiento.

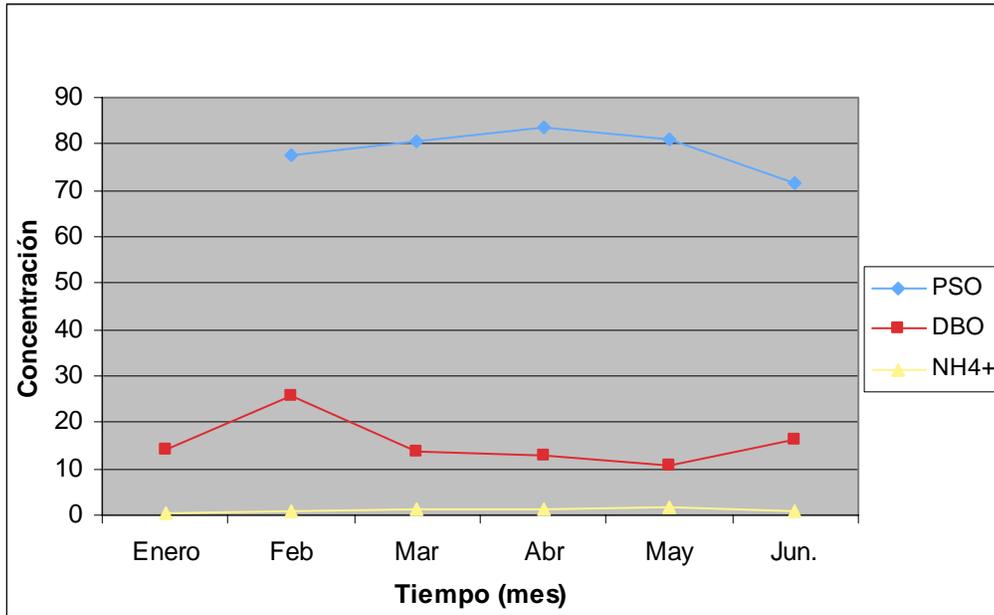


Figura 20. Variación temporal de la contaminación orgánica en términos de DBO₅, PSO y NH₄ para la estación en el río Agua Caliente, estación AC.

Fuente: Datos de Campo

La valoración cualitativa del Río Agua Caliente es predominantemente de tipo 3 que corresponde a contaminación moderada durante todos los meses en que se realizaron los muestreos.

Tabla 21 Valoración cualitativa de la calidad de agua en el punto de muestreo del río Agua Caliente – AC.

Río Agua Caliente

Mes	Puntaje	Código color	Clase	Interpretación
Enero	5	Verde	2	Contaminación Incipiente
Febrero	9	Amarillo	3	Contaminación Moderada
Marzo	9	Amarillo	3	Contaminación Moderada
Abril	7	Amarillo	3	Contaminación Moderada
Mayo	9	Amarillo	3	Contaminación Moderada
Junio	9	Amarillo	3	Contaminación Moderada

Fuente: Método Holandés de Clasificación del cuerpos de agua, con base en datos de campo

CONCLUSIONES GENERALES

1. Los resultados encontrados demuestran que en el cauce del río Virilla, la calidad del agua ha sufrido un deterioro a lo largo de su entrada al sector superior del área de estudio seleccionada, iniciando el punto V1 con calidad de contaminación incipiente, aumentando los niveles de contaminación hasta llegar a contaminación severa y muy severa en los tramos V3 y V5. Sin embargo, en punto V6 se evidencia la capacidad autodepuradora de este río al descender el nivel de contaminación hasta contaminación moderada.
2. En general se observa que en los tramos estudiados la contaminación va aumentando entre las primeras estaciones de monitoreo ubicadas en las entradas de los cuerpos de agua al Cantón Central de San José y las estaciones de los sectores medios y bajos de las subcuencas analizadas. Este comportamiento puede estar asociado al incremento en la densidad poblacional, lo cual a su vez puede implicar un aumento en las descargas de aguas residuales domésticas. La contribución industrial también está involucrada en estos aumentos de contaminación aunque no se conoce la intensidad de su aporte.
3. El río Tizate presenta variaciones muy drásticas en la calidad de sus aguas ya que varía de contaminación incipiente a severa para posteriormente retornar a una contaminación incipiente.
4. El río Bermúdez, a pesar de ser la región donde más se han percibido los beneficios del programa de mejoramiento ambiental del café, producto del convenio MINSA-ICAFFE que promueve un cambio tecnológico y control de los efluentes de esta actividad, aún los niveles de contaminación del río siguen siendo muy altos.
5. La valoración cualitativa de los diferentes puntos de muestreo revelan que de acuerdo a la calidad de sus aguas de la contaminación de los siguientes puntos de muestreo: V3, V5, T1, T4, Ber, Ci2, Rev, predomina la clasificación tipo 4 o severamente contaminada, por lo que en estos puntos

ya no son aptos para la realización de ninguna actividad humana. Al ser cuerpos receptores de los efluentes de la deteriorada red de alcantarillado sanitario.

6. Los puntos de muestreo Uru, Seg, Ala y Pur, poseen una calidad de contaminación en sus aguas clasificadas como tipo 3 o contaminación moderada.
7. El punto de muestreo To4, se clasifica dentro de las categorías de contaminación muy severa a severa ya que la contaminación mostrada fluctúa entre ambas categorías sin predominio de una.
8. La calidad de las aguas para el punto de monitoreo MA3 predomina la clasificación tipo 4 o severamente contaminada, por lo que este río ya no es apto para realización de ninguna actividad humana.
9. Se considera que la contaminación predominante es de origen doméstico, dado los valores altos de nitrógeno amoniacal asociado a la presencia humana. La contaminación detectada con base en los parámetros de DBO, porcentaje de saturación de OD, amonio muestran que los valores obtenidos no permiten la existencia de calidades constantes para usos prioritarios como el de potabilización representado por las categorías azul y verde, durante la época muestreada.
10. La deteriorada calidad de algunos tramos de los ríos analizados puede perjudicar la salud pública de las poblaciones adyacentes, debido a la alta carga contaminante que es vertida sobre sus cauces.

RECOMENDACIONES

- Centralizar la información y los datos generados en el país referentes a los recursos hídricos. Con el fin de que su gestión sea más eficaz y eficiente para la administración del recurso hídrico.
- Crear en el país un sistema de monitoreo de calidad de agua superficial establecido, organizado, sistemático y coordinado entre las diferentes partes rectoras del recurso hídrico nacional.
- Realizar monitoreos en los que se abarquen tanto la estación seca como la lluviosa con el fin de determinar las variaciones de las cargas contaminantes, así como el efecto de dilución que podría tener sobre éstas la precipitación de la época lluviosa.

BIBLIOGRAFÍA

- Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica, 2005. Creación de la Comisión para el Manejo de la Cuenca del Río Reventazón, Proyecto de Ley. Expediente 16.0191 Diciembre de 2005
- Compañía Nacional de Fuerza y Luz, S.A, 1998. Perfil. Plan de Mejoramiento Ambiental de la parte Alta de la cuenca del Río Virilla (Plama Virilla). San José Costa Rica.
- Contraloría General de la Republica, Auditoria Operativa sobre el uso, manejo y explotación del recurso hídrico en términos de cantidad. DFOE-AM-41/2002. San José, Costa Rica, Diciembre de 2002.
- Decreto N° 33117- MINAE Reglamento de Creación de Canon Ambiental por Vertido
- Decreto N° 33601-MINAE-S. Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales. Alcance N° 8 a la Gaceta N° 55, San José Costa Rica, 19 de Marzo del 2007
- Espinoza y Villalta, 2004. Primera Etapa del Plan de Manejo Integral del Recurso Hídrico, Estrategia Nacional para la GIRH en Costa Rica. Estudio de caso sobre la contaminación de las cuencas de los ríos Virilla y Grande de Tárcos (Cuenca 24). San José, Costa Rica.
- Estado de la Nación, Informe N°10.Octubre 2005
- Estado de la Nación. Informe N°8, Octubre, 2002
- Glynn, H.y Gary, H. 1999. Ingeniería Ambiental, Prentice Hall, México.
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos), 2000. IX Censo de Población y V de Vivienda. San José, Costa Rica.
- Instituto Costarricense de Electricidad, 1999. Plan de Manejo Integral de la Cuenca del Río Reventazón. Informe Diagnostico. Zorrea Ingenierie SNC – Gomez, Cajiao y Asociados S.A.- Sinergia 69 S.A. San José Costa Rica
- Instituto Costarricense de Electricidad, 2000. Plan de Manejo Integral de la Cuenca del Río Reventazón. Proyecto de Manejo de Áreas Prioritarias Resumen Ejecutivo. Zorrea Ingenierie SNC – Gomez, Cajiao y Asociados S.A.- Sinergia 69 S.A. San José Costa Rica

- Leiva, L. 2005. "Contaminación por vertidos en la zona alta y media de la cuenca del Río Reventazón". Contribución realizada para el Undécimo Estado de la Nación. San José, Dirección de Gestión y Calidad Ambiental, MINAE.
- Ley Nº 7317 Ley de Conservación de la Vida Silvestre, San José Costa Rica, 30 Octubre de 1992
- Ley Nº 7554 Ley Orgánica del Ambiente, San José Costa Rica, 4 de Octubre 1995.
- Manahan, Stanley, 1991. Environmental Chemistry. Lewis Publishers, Inc. 5 ed.
- MINAE, 2004. Informe de diagnóstico. Plan Nacional de Manejo Integral del Recurso Hídrico: la Estrategia Nacional para el MIRH. San José, Plan Nacional de Manejo del Recurso Hídrico, Ministerio de Ambiente y Energía.
- Ministerio de Ambiente y Energía, 2005. Estrategia para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos en Costa Rica. Diagnostico. Costa Rica
- Mora y Portugués, 2004. Situación de cobertura y calidad del agua para consumo humano en Costa Rica al año 2003. San José, Laboratorio Nacional de Aguas, ICAA.
- Reynolds, 2001. Proyecto Cuencas Ambientales, CINPE, UNA, Heredia
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th Edition, APHA-AWWA-WEF, 1015 fifteen street NW. Washington DC, 2000
- Villegas Osorio, Javier Gustavo, 1995. Evaluación de la Calidad del agua en la Cuenca del Río Reventado, Cartago, Costa Rica, bajo el enfoque de indicadores de Sostenibilidad. Tesis de Maestría CATIE.

Anexos

Decreto Reglamento de Clasificación de Cuerpos de Agua

No. _____ MINAE-S.

**EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA
EI MINISTRO DE AMBIENTE Y ENERGÍA
Y LA MINISTRA DE SALUD**

De conformidad con los artículos 50 y 140 incisos 3 y 18 de la Constitución Política; 64 y 65 de la Ley Orgánica del Ambiente No. 7554 del 4 de octubre de 1995; 49 de la Ley de Biodiversidad No. 7788 de 30 de abril de 1998; 2 de la Ley General de Salud No. 5395 del 30 de octubre de 1973, 17 de la Ley de Aguas No. 276 de 27 de agosto de 1942 y 27 inciso 1 de la Ley General de Administración Pública No. 6227 de 02 de mayo de 1978.

CONSIDERANDO

1. Que la protección del recurso hídrico incide positivamente en la salud humana y los ecosistemas, lo cual es un elemento sustancial para alcanzar el desarrollo sostenible del país.
2. Que la calidad de algunos cuerpos de agua superficial del país han sufrido un deterioro progresivo, poniendo en riesgo a las especies originarias de los ecosistemas acuáticos continentales.
3. Que dado el grado de contaminación citado en el considerando anterior, se hace imposible, en muchos casos, el uso de esta agua para diferentes fines como lo son el consumo domiciliario, industrial, el riego, la pesca y la recreación.
4. Que la calidad de algunos tramos de ríos de Costa Rica puede perjudicar la salud pública de las poblaciones adyacentes.
5. Que muchas de las especies originarias de los ecosistemas acuáticos continentales del país están en alto riesgo por la calidad del ambiente acuático.
6. Que es necesario definir un control para la contaminación de los cuerpos de agua basado en una clasificación del agua, fundamentada en la prioridad de su uso.
7. Que los organismos del bentos son uno de los grupos de vida acuática más representativos de las aguas tropicales, fáciles de muestrear y de identificar.
8. Que es imperativo recuperar y conservar la integridad física, química y biológica de los cuerpos de agua superficiales de Costa Rica, con el fin de que estas aguas puedan ser utilizadas para diferentes fines sociales, económicos y ambientales que contribuyan al desarrollo del país, asegurando una mejor calidad de vida para todos sus ciudadanos.

9. Que es urgente desarrollar estrategias, con el fin de alcanzar la recuperación y conservación de los cuerpos de agua en función de los diferentes usos definidos en el presente Reglamento y según la clasificación dada a las cuencas respectivas por el organismo encargado.
10. Que resulta imperativo lograr una mejoría significativa en la calidad del agua que se desemboca en la zona costera.

POR TANTO,

DECRETAN

El siguiente:

“REGLAMENTO PARA LA EVALUACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LA CALIDAD DE CUERPOS DE AGUA SUPERFICIALES”

CAPITULO I

ASPECTOS GENERALES

Artículo 1.- OBJETIVOS.

El presente Decreto tiene como objetivo fundamental reglamentar los criterios y metodología que serán utilizados para la evaluación de la calidad de los cuerpos de agua superficiales y que ésta permita su clasificación para los diferentes usos que pueda darse a este bien.

Artículo 2.- ÁMBITO DE APLICACIÓN

La metodología y criterios de evaluación y clasificación contemplados en este reglamento, se aplicará a todos los cuerpos de agua superficiales del país.

Artículo 3.- DEFINICIONES. Se establecen las siguientes definiciones para la mejor interpretación del presente Reglamento:

- a) **ANÁLISIS BIOLÓGICO:** Se refiere a los resultados del análisis microbiológico y de organismos bentónicos.
- b) **BENTOS:** Flora o fauna que vive en el fondo de cualquier ecosistema acuático de agua dulce, salobre o salado. Puede arrastrarse, socavar o mantenerse atado sobre cualquier sustrato.
- c) **CAUDAL ECOLÓGICO:** Caudal de mantenimiento, es el caudal que hay que dejar en un río aguas abajo de cada aprovechamiento de regulación o derivación (modificación del régimen natural) para que se mantenga un nivel admisible de desarrollo de la vida acuática.
- d) **COLIFORME FECAL:** Bacilo gramnegativo no esporulado, que puede desarrollarse en presencia de sales biliares u otros agentes tensoactivos con propiedades similares de inhibición de crecimiento; no tienen citocromo oxidasa y fermentan la lactosa con producción de ácido, gas y aldehído a temperaturas de 44 o 44,5 °C, en un período de 24 a 48 horas. También se les designa como Coliformes Termo-resistentes o Termotolerantes.

- e) **CUERPO DE AGUA SUPERFICIAL:** Es todo aquel manantial, río, quebrada, arroyo permanente o no, lago, laguna, embalse natural o artificial, turbera o, pantano de agua dulce.
- f) **DBO₅:** Demanda Bioquímica de Oxígeno, es una medida aproximada de la cantidad de materia orgánica bioquímicamente degradable presente en una muestra de agua, se define por la cantidad de oxígeno requerido por los microorganismos aeróbicos presentes en la muestra para oxidar la materia orgánica a una forma inorgánica estable. Debe ser medido a los cinco días y a 20 grados centígrados.
- g) **DQO:** Demanda Química de Oxígeno, es una medida equivalente al oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica, en una muestra de agua que es susceptible a oxidación por un oxidante químico fuerte como el dicromato (en medio ácido y en presencia de una fuente de calor).
- h) **ENTE COMPETENTE:** Ministerio de Ambiente y Energía. (MINAE)
- i) **HABITAT:** Es el espacio físico o lugar de condiciones muy propias. Es el lugar donde vive o el lugar donde se buscaría un organismo.
- j) **MACROINVERTEBRADO BENTÓNICO:** Organismo acuático perteneciente al grupo de los invertebrados que vive adherido al sustrato y con un tamaño tal que puede ser observado sin necesidad de equipo óptico de aumento.

CAPÍTULO II

CLASIFICACIÓN Y MONITOREO DE LOS CUERPOS DE AGUA SUPERFICIALES.

Artículo 4.- PARÁMETROS FÍSICOS-QUÍMICOS PARA LA CLASIFICACIÓN INICIAL O RECLASIFICACIÓN. Se establecen como parámetros físicos-químicos de análisis requeridos para la clasificación inicial o reclasificación de un cuerpo de agua, el porcentaje de saturación de Oxígeno, la Demanda Bioquímica de Oxígeno y el Nitrógeno Amoniacal, parámetros contemplados en el Índice Holandés de Valoración de la Calidad para los cuerpos de agua superficiales.

Artículo 5.- PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS COMPLEMENTARIOS Además de los parámetros mencionados en el artículo anterior, se establecen como parámetros físicos, químicos y biológicos de análisis complementario, junto con sus valores, los referidos en el Cuadro 1. Estos parámetros se deberán analizar en aquellos casos en que el Ministerio de Ambiente y Energía o el Ministerio de Salud, lo consideren necesario en resguardo del medio ambiente y/o la salud humana.

Cuadro 1. Parámetros complementarios para la determinación de la calidad de las aguas de cuerpos superficiales para las clases establecidas en el presente Reglamento.

Parámetros Complementarios (Unidades)	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5
Turbiedad (UNT)	<25	25 a <100	100 a 300	(1)	(1)
Temperatura (°C)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
Potencial de hidrógeno (pH)	6,5 a 8,5	6,5 a 8,5	6,0 a 9,0	5,5 a 9,5	5,5 a 9,5
Nitratos, NO ₃ ⁻ (mg N /L)	<5	5 a <10	10 a <15	15 a <20	>20
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	<20	20 a <25	25 a <50	50 a <100	100 a 300
Cloruros (como Cl) (mg/L)	<100	100 a 200	NA	NA	NA
Fluoruros (como F) (mg/L)	<1,0	1 a 1,5	NA	NA	NA
Color (Pt-Co)	2,5 a 10	10 a 100	(1)	(1)	(1)
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	<10	10 a 25	25 a 100	100 a 300	>300
Sólidos Disueltos (mg/L)	<250	250 a <500	500 a 1000	>1 000	> 1 000
Grasas y Aceites (mg/L)	ND	ND	ND	ND	15 a 25
Sustancias activas al azul de metileno (mg/L)	ND	ND	ND a 1	1 a 2	2 a 5
Arsénico (mg/L)	< 0,01	< 0,01	0,01 a 0,05	> 0.05	>0,05
Boro (mg/L)	0,1	0,2	0,5	1	1
Cadmio (mg/L)	<0,005	0,005	0,01	0,02	0,02
Cianuro (mg CN ⁻ /L)	<0,1	0,1 a <0,2	0,2	>0,2	>0,2
Cobre (mg/L)	<0,5	0,5 a <1	1,0 a 1,5	1,5 a 2,0	2,0 a 2,5
Cromo Total (mg/L)	<0,05	0,05	0,20	0,50	>0,5
Magnesio mg MgCO ₃ / L	<30	30 a 50	> 50	> 50	> 50
Mercurio (mg/L)	<0,001	0,001	0,002	0,004	0,005
Níquel (mg/L)	<0,05	0,05	0,1	0,2	0,3
Plomo (mg/L)	<0,03	0,03 a <0,05	0,05 a <0,10	0,10 a <0,20	0,20
Selenio (mg/L)	<0,005	0,005 a <0,010	0,010 a <0,020	0,020 a <0,050	0,050
Sulfatos (SO ₄) ⁻² (mg/L)	<150	150 a 250	>250	>250	>250
Parámetros orgánicos					
Sumatoria de los Compuestos Organoclorados (mg/L)	ND	ND	ND	0,01	0,01
Sumatoria de los Compuestos Organofosforados (mg/L)	ND	ND	ND	0,01	0,01
Biológicos					
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	< 20	20 a 1000	1000 a 2000	2000 a 5000	>5000

ND: No detectable por el método utilizado.

NA: No aplicable

(1) Natural o que no afecte el uso indicado

Artículo 6.- CLASIFICACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LA CALIDAD DEL AGUA. Para la clasificación de la calidad de los cuerpos de agua en una de las cinco categorías definidas en el presente Reglamento se utilizará el Índice Holandés de Valoración de la Calidad del Agua para Cuerpos Receptores. Los niveles Calidad serán determinados según la metodología presentada en el Apéndice I.

CAPITULO III CRITERIOS PARA LA DEFINICIÓN DE LOS USOS DE LOS CUERPOS DE AGUA SUPERFICIAL.

Artículo 7.- DE LOS USOS

De acuerdo a la clasificación de la calidad de los cuerpos de agua superficial, se establecen cinco categorías de usos del agua:

Cuadro 2. Clasificación de los Cuerpos de Agua según el uso potencial, y tratamiento que requiera.

Usos	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5
Abastecimiento de agua para uso y consumo humano	Con tratamiento simple con desinfección	Con tratamiento convencional	Con tratamiento avanzado	No utilizable	No utilizable
Abastecimiento de agua para actividades industriales destinadas a la producción de algunos alimentos de consumo humano	Sin tratamiento previo o con tratamiento simple de desinfección	Con tratamiento convencional	Con tratamiento avanzado	No utilizable	No utilizable
Abastecimiento de agua para abrevadero y actividades pecuarias.	Sin limitaciones	Sin limitaciones	Sin limitaciones	Con limitaciones	No utilizable
Actividades recreativas de contacto primario.	Utilizable	Utilizable	No utilizable	No utilizable	No utilizable
Acuicultura.	Utilizable	Utilizable	No utilizable	No utilizable	No utilizable

Usos	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5
Fuente para la conservación del equilibrio natural de las comunidades acuáticas.	Utilizable	No utilizable	No utilizable	No utilizable	No utilizable
Fuente para la protección de las comunidades acuáticas.	Utilizable	Utilizable	No utilizable	No utilizable	No utilizable
Generación hidroeléctrica.	Utilizable	Utilizable	Utilizable	Utilizable con limitaciones	Utilizable con limitaciones
Navegación.	No utilizable	No utilizable	Utilizable	utilizable	Utilizable
Riego de especies arbóreas, cereales y plantas forrajeras.	Utilizable	Utilizable	Utilizable	No utilizable	No utilizable
Riego de plantas sin limitación, irrigación de hortalizas que se consumen crudas o de frutas que son ingeridas sin eliminación de la cáscara.	Utilizable	Utilizable	No utilizable	No utilizable	No utilizable

Pese a las limitaciones que puedan surgir: se deberá tomar en cuenta el análisis de los parámetros complementarios para su definición.

Artículo 8.- DE OTROS USOS

Para cualquier otro uso no especificado en el cuadro anterior o en casos particulares que sean debidamente justificados por el interesado, el Ministerio de Ambiente y Energía podrá definir los usos apropiados a una calidad específica, en tanto se haga la consulta al Comité Técnico de Revisión que se crea en el artículo 21 de este Reglamento, quien emitirá su recomendación al respecto.

Artículo 9.- MODIFICACIÓN EN LA ASIGNACIÓN

Cuando la protección de la Salud Pública y del Medio Ambiente así lo requiera, y con la debida justificación técnica, el Ministerio del Ambiente y Energía podrá modificar la asignación de uso de un cuerpo de agua de una calidad determinada.

CAPÍTULO IV

DE LA METODOLOGÍA PARA TOMA DE MUESTRAS DE AGUA

Artículo 10.- MÉTODOS ANALÍTICOS FÍSICO-QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS

Para los efectos de este Reglamento, los métodos de referencia para la toma de muestras y para los análisis de aguas superficiales serán los contenidos en la última edición de los "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", según decreto No. 25018-MEIC, publicado en el Diario Oficial La Gaceta No. 59 del 25 de marzo de 1996.

CAPÍTULO V DEL MONITOREO BIOLÓGICO

Artículo 11.- CLASIFICACIÓN BIOLÓGICA DE LA CALIDAD DE LOS CUERPOS DE AGUA SUPERFICIALES

El presente Reglamento establece como organismos indicadores de la calidad del agua a los grupos representantes de los macro invertebrados bentónicos.

Artículo 12. – DEL RESPONSABLE DEL MUESTREO Y DEL ANÁLISIS

El responsable de la toma y el análisis de la muestra de organismos bentónicos deberá ser un profesional en Biología incorporado al Colegio de Biólogos.

Artículo 13. – METODOLOGÍA DE MUESTREO

El presente Reglamento define tres metodologías de muestreo en función de las características físicas de los cuerpos de agua, y una metodología alternativa en caso de duda de los resultados obtenidos, habiendo aplicado las metodologías "a" y "b". Las metodologías son:

- a. Ríos y quebradas con profundidades iguales o menores a 1 metro, y ancho igual o menor a 15 metros.
 - i. Técnica: Red de mano con malla de 500 µm. y apertura de 20 a 25 cm.
 - ii. Zona de muestreo: Diferentes micro-hábitats dentro del río.
 - iii. Mecanismo de muestreo: muestra compuesta de tres sub-muestras con red de mano, cada una recolectada en un tiempo de 5 minutos. El muestreo se realiza con el desplazamiento por los micro-hábitats identificados en el sitio, removiendo el fondo del río y colectando el material removido en la red. En caso de que el volumen de la muestra resulte inmanejable, se podrá proceder a una división aleatoria de la muestra, en la cual cada submuestra será representativa de la muestra total.
 - iv. Preservación de la muestra: con etanol de 96°; preservación de los organismos: en etanol de 70°.

- b. Ríos y quebradas con profundidades mayores a 1 metro, y ancho mayor a 15 metros.
 - i. Técnica: Red de mano con malla de 500 μm . y apertura de 20 a 25 cm.
 - ii. Zona de muestreo: Orillas hasta 1 metro de profundidad, ubicando diferentes micro-hábitats dentro del río, removiendo el fondo del río y colectando el material removido en la red.
 - iii. Mecanismo de muestreo: Muestra compuesta de tres sub-muestras con red de mano, cada una recolectada en un tiempo de 5 minutos. El muestreo se realiza con el desplazamiento por los micro-hábitats identificados en el sitio, removiendo el fondo del río y colectando el material removido en la red. En caso de que el volumen de la muestra resulte inmanejable, se podrá proceder a una división aleatoria de la muestra, en la cual cada submuestra será representativa de la muestra total.
 - iv. Preservación de la muestra: Utilización de etanol de 96°; preservación de los organismos: en etanol de 70°.

- c. Ríos y quebradas de difícil acceso o donde no se pueda utilizar Red de Mano
 - i. Técnica: Sustrato artificial consistente en adoquines dentro de mallas de plástico, según el protocolo de muestreo del Apéndice II.
 - ii. Número de sustratos por punto de muestreo: 4.
 - iii. Distancia entre sustratos: 10 metros.
 - iv. Zona de muestreo: Diferentes micro-hábitats dentro del río.
 - v. Tiempo de exposición: Mínimo 30 días entre la colocación y la recolección.
 - vi. Mecanismo de muestreo: Recolección de los sustratos artificiales, limpieza y concentración del material (ver protocolo de muestreo).
 - vii. Preservación de la muestra: Utilización de etanol de 96°; preservación de los organismos: en etanol de 70°.

En caso de duda de los resultados del muestreo realizado con las metodologías “a” y “b”, se deberá recurrir al método de la colecta directa, basado en el muestreo manual con pinzas, por un tiempo de 120 minutos. Se hace una colecta de todo tipo de sustratos encontrados en los diferentes micro-hábitats, tales como piedras, hojarasca, madera. Con los sustratos de gran tamaño, se podrán recolectar los organismos directamente haciendo uso de las pinzas y con los sustratos pequeños (piedras pequeñas, hojas por ejemplo), se colocarán dentro de una bandeja blanca, de fondo plano que contiene agua a un nivel que apenas cubra la superficie del fondo. Los organismos en la bandeja con agua, empezarán a moverse, lo que facilita su observación y recolección. Todos los organismos recolectados se colocan en un vial con alcohol de 70°, debidamente rotulado.

Artículo 14. – DEL ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS BENTÓNICAS

Para el análisis de las muestras de organismos macro invertebrados bentónicos se deberá seguir la metodología establecida en la última edición de los “Rapid Assesment Biological Protocols” de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos de América.

Artículo 15. – DE LA IDENTIFICACIÓN DE LOS ORGANISMOS BENTÓNICOS

Todos los organismos bentónicos recolectados deberán ser identificados hasta el máximo nivel taxonómico posible. El mínimo nivel que se aceptará es el de familia, con excepción del Filo Annelida.

Artículo 16. - PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS BENTÓNICOS

Los resultados del análisis de las muestras de organismos bentónicos deberán ser presentados en forma cuantitativa y cualitativa, detallando:

- a. Lista taxonómica de los organismos encontrados
- b. Número total de organismos – Abundancia
- c. Número total de taxa – Riqueza biológica
- d. Valor de Índice Biológico: BMWP-CR (“Biological Monitoring Working Party” modificado para Costa Rica), calculado con base en la Metodología descrita en el Apéndice III.

Artículo 17. – DE LA COLECCIÓN DE LAS MUESTRAS BIOLÓGICAS

Todas las muestras biológicas recolectadas en los monitoreos deberán ser entregadas al Museo de Zoología de la Escuela de Biología de la Universidad de Costa Rica o al Museo Nacional.

CAPÍTULO VI DE LOS RESULTADOS

Artículo 18. – ACERCA DEL CONTENIDO DE LOS REPORTES DE CALIDAD

Los reportes de calidad de aguas superficiales deberán contener la información solicitada en el protocolo de campo del Apéndice IV y los resultados de los Índices Físico-Químico y Biológico.

Artículo 19. – DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA

La calidad físico-química y biológica de un cuerpo de agua superficial se establecerá haciendo uso del Índice de Clasificación Holandés de Valoración y el Índice Biológico (BMWP-CR).

Artículo 20.- COMPATIBILIDAD EN LOS RESULTADOS DE LOS ÍNDICES

En aquellos casos en que el valor del Índice de Clasificación Holandés y el valor del Índice Biológico presenten una diferencia de más de una clase entre ellos, el muestreo se deberá repetir por una vez, en un período no mayor a 30 días naturales. En caso de que se mantenga la diferencia de clases se clasifica en la de menor calidad.

CAPÍTULO VII DE LAS COMPETENCIAS

Artículo 21.- Comité Técnico de Revisión

Créase el Comité Técnico de Revisión del Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de los Cuerpos de Agua Superficiales, el cual estará integrado por un máximo de dos representantes, titular y suplente, y de orientación técnica afín al contenido del presente Reglamento, cada uno de ellos proveniente de las siguientes instituciones:

- a. Ministerio de Ambiente y Energía
- b. Ministerio de Salud
- c. Ministerio de Agricultura y Ganadería
- d. Representación de los Gobiernos Locales a través del IFAM
- e. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
- f. Otros Entes administradores de Alcantarillado Sanitario (EAAS)
- g. Instituto Costarricense de Electricidad
- h. Consejo Nacional de Rectores
- i. Colegio de Químicos de Costa Rica
- j. Colegio de Microbiólogos y Químicos Clínicos de Costa Rica
- k. Colegio de Biólogos de Costa Rica
- l. Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos
- m. Unión Costarricense de Cámaras y Asociaciones de la Empresa Privada.
- n. Cámara de Agricultura y Agroindustria
- o. Organizaciones no Gubernamentales

Artículo 22.- Funciones Comité Técnico de Revisión

Serán funciones del Comité Técnico de Revisión:

- a) Asesorar a las entidades competentes en todo lo relativo a la aplicación de este Reglamento.
- b) Revisar y proponer modificaciones al presente Reglamento.
- c) Deliberar, proponer y justificar técnicamente la incorporación de parámetros adicionales al Índice Físico-Químico de Clasificación para los Cuerpos de Agua Superficiales.

La organización interna de este comité se regirá según lo contemplado en los artículos 49 y siguientes de la Ley General de la Administración Pública.

Artículo 23: Ente competente

El Ministerio de Ambiente y Energía en coordinación con el Ministerio de Salud, será el responsable de:

- a) Aplicar el presente Reglamento
- b) Mantener a disposición de cualquier interesado las actualizaciones de los métodos, parámetros e índices incluidos en el presente Reglamento.
- c) Disponer y resolver sobre el dominio, aprovechamiento, utilización, gobierno o vigilancia de las aguas de dominio público.
- d) Coordinar y buscar financiamiento para la realización de los análisis científicos que sean necesarios para lograr la clasificación y re-clasificación programadas.
- e) Realizar las acciones necesarias para que la evaluación y clasificación de los cuerpos de agua sea informado y difundido a todas las instancias responsables de toma de decisiones, relacionadas con el recurso hídrico.
- f) Convocar y coordinar al Comité Técnico de Revisión del Presente Reglamento con una periodicidad no mayor de tres años.

CAPÍTULO VIII: DISPOSICIONES FINALES

Artículo 24.-Vigencia.

Rige a partir de su publicación.

TRANSITORIO ÚNICO

Dentro del plazo de un año a partir de la publicación del presente Reglamento, el Comité Técnico Revisor deberá considerar otros parámetros adicionales para incorporar al Índice Físico-Químico de Clasificación para los Cuerpos de Agua Superficiales en el que considere los parámetros más representativos del cuadro 1, con el fin de lograr un Índice que permita evaluaciones con resultados más realistas sobre la calidad hídrica del recurso.

APÉNDICE I

METODOLOGÍA DEL SISTEMA HOLANDÉS DE VALORACIÓN DE LA CALIDAD FÍSICO-QUÍMICA DEL AGUA

El Sistema Holandés de Clasificación para la Calidad del Agua permite trasladar información de concentraciones de las variables de mayor importancia en la valoración de la contaminación orgánica en una corriente de agua, como es la Demanda Bioquímica de Oxígeno, el Nitrógeno Amoniacal y el Oxígeno disuelto convertido en Porcentaje de saturación de Oxígeno por medio del Oxígeno Real *In Situ* y el valor teórico dado por la temperatura y la presión atmosférica en el sitio de estudio, a un código de colores asignado a cada clase.

Este modelo de clasificación desde el punto de vista espacial, permitirá situar a un tramo particular del río, en una clasificación específica y temporalmente dependiente, ya que la clasificación obtenida en época lluviosa no se corresponderá con la observada durante el estiaje. El organismo competente a su vez deberá definir la época en la cual tendrán que realizarse las clasificaciones, así como garantizar la permanencia en el cauce de un caudal ecológico.

Para clasificar un agua superficial se requiere sumar los puntos correspondientes en cada uno de los ámbitos respectivos, de cada una de las variables de acuerdo al siguiente cuadro.

Cuadro 3. Cuadro de asignación de puntajes según el Sistema Holandés de Valoración de la Calidad Físico-Química del Agua para cuerpos receptores.

PUNTOS	PSO (%)	DBO (mg/L)	N-NH ⁴⁺ (mg/L)*
1	91 – 100	< = 3	< 0.50
2	71 - 90 111 – 120	3.1 – 6.0	0.50 – 1.0
3	51 - 70 121 – 130	6.1 – 9.0	1.1 – 2.0
4	31 – 50	9.1 – 15	2.1 – 5.0
5	< = 30 y > 130	> 15	> 5.0

* Nitrógeno amoniacal

PSO: Porcentaje de Saturación de Oxígeno Disuelto, O.D. Se obtiene de la relación entre el O.D. real obtenido en el sitio de medición y el O.D. teórico correspondiente a la condición de agua limpia a la presión atmosférica y la temperatura en el mismo sitio de medición.

DBO₅: Demanda Bioquímica de Oxígeno, obtenida en condiciones estándar de 20°C e incubación durante 5 días.

La suma obtenida de puntos se traslada seguidamente a un código de colores con el cual queda clasificada la calidad del agua del cuerpo receptor de acuerdo al grado de contaminación propio según el siguiente cuadro. Finalmente para cada clase desde la 1 a la 5 y su asignación correspondiente de color queda definida desde el estado de calidad no contaminada hasta aquel totalmente contaminado.

Cuadro 4. Cuadro de asignación de clases de calidad del agua según el Sistema Holandés de codificación por colores, basado en valores de PSO, DBO y nitrógeno amoniacal.

Clase	Sumatoria de puntos	Código de Color	Interpretación de Calidad
1	3	Azul	Sin contaminación
2	4 - 6	Verde	Contaminación incipiente
3	7 - 9	Amarillo	Contaminación moderada
4	10 - 12	Anaranjado	Contaminación severa
5	13 - 15	Rojo	Contaminación muy severa

APÉNDICE II

METODOLOGÍA DE LOS SUSTRATOS ARTIFICIALES

1. Colocación y Tiempo de Exposición

- a) En cada estación de muestreo se coloca un juego de sustratos artificiales consistente en cuatro adoquines, cada uno dentro de una malla de plástico suave; las medidas de los adoquines son 0,1 m de alto, 0,2 m de largo y 0,08 m de ancho lo que representa un área total de 0,088 m²/adoquín.
- b) Los sustratos artificiales se ubicaran en el lecho del canal o quebrada, atados unos a otros por medio de una cuerda no degradable y con una distancia mínima de 10 m uno del otro.
- c) C)Este juego de sustratos permanece dentro del agua por un período de un mes antes de su recuperación.

2. Colecta

- a) Se recupera el conjunto malla-adoquín del agua de forma rápida y segura, depositándolo inmediatamente en un contenedor plástico.
- b) Se extrae el adoquín de la malla plástica y se limpia suavemente con un cepillo o brocha de cerdas suaves.
- c) Se limpia la malla agitándola vigorosa pero cuidadosamente en el agua contenida en el contenedor, hasta que todos los organismos que se encontraban adheridos a la superficie se depositen en el contenedor.
- d) Posterior al lavado del sustrato, cada una de las muestras resultantes se hace pasar por un filtro de malla de 250 µm, dentro del cual se lava para eliminar todo el material particulado fino.
- e) El material retenido en la malla luego del lavado se trasvasa a un recipiente plástico de 500 ml y se preserva con etanol al 96% (puro).

APÉNDICE III

ÍNDICE BMWP-CR

El **BMWP-CR** (*Biological Monitoring Working Party modificado para Costa Rica por Astorga, Martínez, Springer y Flowers*) es un índice que se calcula sumando las puntuaciones asignadas a los distintos taxones encontrados en las muestras de macro invertebrados y que se citan en el listado del Cuadro 5. La puntuación se asigna en función del grado de sensibilidad a la contaminación.

Cuadro 5. Puntajes para las familias identificadas en Costa Rica.

9	O Polythoridae D Blephariceridae; Athericidae E Heptageniidae P Perlidae T Lepidostomatidae; Odontoceridae; Hydrobiosidae; Ecnomidae
8	E Leptophlebiidae O Cordulegastridae; Corduliidae; Aeshnidae; Perilestidae T Limnephilidae; Calamoceratidae; Leptoceridae; Glossosomatidae B Blaberidae
7	C Ptilodactylidae; Psephenidae; Lutrochidae O Gomphidae; Lestidae; Megapodagrionidae; Protoneuridae; T Platystictidae Cr Philopotamidae Talitridae; Gammaridae
6	O Libellulidae M Corydalidae T Hydroptilidae; Polycentropodidae; Xiphocentronidae E Euthyplociidae; Isonychidae
5	L Pyralidae T Hydropsychidae; Helicopsychidae C Dryopidae; Hydraenidae; Elmidae; Limnichidae E Leptohiphidae; Oligoneuriidae; Polymitarciidae; Baetidae Cr Crustacea Tr Turbellaria

4	C	Chrysomelidae; Curculionidae; Haliplidae; Lampyridae; Staphylinidae; Dytiscidae; Gyrinidae; Scirtidae; Noteridae
	D	Dixidae; Simulidae; Tipulidae; Dolichopodidae; Empididae; Muscidae; Sciomyzidae; Ceratopogonidae; Stratiomyidae; Tabanidae
	H	Belostomatidae; Corixidae; Naucoridae; Pleidae; Nepidae;
	O	Notonectidae
	E	Calopterygidae; Coenagrionidae
3	Hi	Caenidae
		Hidracarina
	C	Hydrophilidae
	D	Psychodidae
	Mo	Valvatidae; Hydrobiidae; Lymnaeidae; Physidae; Planorbidae; Bithyniidae;
2	A	Bythinellidae; Sphaeridae
	Cr	Hirudinea: Glossiphonidae; Hirudidae; Erpobdellidae
		Asellidae
1	D	Syrphidae
	A	Oligochatea (todas las clases)

Nota: D: Diptera; E: Ephemeroptera; P: Plecoptera; T: Trichoptera; O: Odonata; C: Coleoptera; M: Megaloptera; H: Hemiptera; L: Lepidoptera; B: Blattodea; Tr: Tricladida; Cr: Crustacea; A: Annelida; Mo: Molusco.

La clasificación de las aguas según este índice adquiere valores comprendidos entre 0 y un máximo indeterminado que, en la práctica no suele superar 200.

En función de este puntaje se establecen 6 niveles de Calidad para el Agua (los dos primeros pertenecen al grupo de aguas no contaminadas).

Cuadro 6. Clasificación de la Calidad del Agua en Función del Puntaje Total Obtenido

NIVEL DE CALIDAD	BMWP'	Color Representativo
Aguas de calidad excelente.	>120	Azul
Aguas de calidad buena, no contaminadas o no alteradas de manera sensible.	101-120	Azul
Aguas de calidad regular, eutrófia, contaminación moderada.	61-100	Verde
Aguas de calidad mala, contaminadas.	36-60	Amarillo
Aguas de calidad mala, muy contaminadas.	16-35	Naranja
Aguas de calidad muy mala extremadamente contaminadas.	<15	Rojo

APÉNDICE IV

PROTOCOLO DE CAMPO DEL MUESTREO

1. **Localización:**
2. **Municipalidad:**
3. **Nombre del cuerpo de agua:**
4. **Sitio de muestreo:**
5. **Hoja Cartográfica:**
6. **Función (uso) del curso de agua/sitio de muestreo:**
7. **Responsable del muestreo:**
8. **Fecha:**
9. **Hora:**

10. Tipología del curso de agua

- A. Tipo: curso inicial-medio-bajo-desembocadura.
- B. Río/quebrada (tierra baja, montaña), canal, estanques, laguna, lago, otros_____.
- C. Ancho: _____m. Profundidad: _____m. Pendiente: _____-_____.
- D. Velocidad del agua: rápido, moderado, lento, estancado (_____m/s).
- E. Nivel de agua en función de: marea, precipitación, estación de bombeo, inundación_____.
- F. Estructura del banco: natural, pedregoso, gavión, crecimiento a través de piedras, concreto_____.
- G. Tipo de sustrato: concreto (___%), piedras-arena gruesa (___%), arena (___%), arcillo-lodoso (___%), limoso (___%).

H. Condición del sustrato: limpio, cubierto con material orgánico, precipitación de lodo o sedimento.

I. Presencia de materia orgánica: Si_____ No_____.

a) Descripción del tipo de materia orgánica: Paquetes de hojarasca, particulado fino.

J. Trabajos de ingeniería: canalizado, regulado, extracción de material_____.

Vegetación

K. Expuesta: abierta, semi-abierta, cubierta (_____% de superficie iluminada).

L. Vegetación acuática:_____.

M. Vegetación en el banco:_____.

11. **Ambiente en los alrededores:** agrícola, industrial, residencial, otros.

Estado de la contaminación.

A. Caracterización visual: ninguna, mediana, moderada, contaminada, muy contaminada.

B. Presencia de: desechos orgánicos, espumas, aceites, organismos muertos, desechos sólidos.

C. Fuentes de contaminación: doméstica, industrial, agrícola, otras.

D. Presencia de peces: _____.

E. Observación personal: _____.

F. Referencia: _____.

G. Color _____ del _____ agua: _____
Olor: _____.

H. Transparencia: clara, turbia, muy turbia, no trasparente (_____ cm. Secchi).

12. Muestreo.

A. *Técnica de muestreo:*

I. Red de mano:

II. Sustrato Artificial:

12.A.II.1. Número de muestras: _____ Tiempo de
exposición: _____.

12.A.II.2. Fecha de instalación: _____ Fecha de
recolección: _____.

III. Draga:

12.A.III.1. Número de muestras: _____.

B. *Condiciones ambientales:*

I. Antes del muestreo: _____.

II. Durante el muestreo: _____.

C. *Otros comentarios:* _____.

13. **Figura del sitio de muestreo:** (Hacer el croquis del sitio de muestreo)

Dado en la Presidencia de la República, a los nueve días del mes de marzo del dos mil siete.

Oscar Arias Sánchez

Roberto Dobles Mora
Ministro del Ambiente y Energía

María Luisa Ávila Agüero
Ministra de Salud