

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
PROGRAMA DE ENSEÑANZA PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACIÓN
ESCUELA DE POSGRADUADOS

**CALIDAD DEL AGUA EN LA MICROCUENCA LOS HULES-TINAJONES,
CUENCA DEL CANAL, PANAMÁ**

Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado como requisito para optar al grado de ***Magister Scientiae*** en Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas

Por

JOSÉ LUIS MENESES SÁNCHEZ

Turrialba, Costa Rica

2003

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

MAGISTER SCIENTIAE

FIRMANTES:

Bommat Ramakrishna, Ph.D.
Consejero Principal

Francisco Jiménez, Dr.Sc.
Miembro Comité Consejero

Sergio Velásquez, M.Sc.
Miembro Comité Consejero

Fernando Casanoves, M.Sc.
Miembro Comité Consejero

Glenn Galloway, Ph.D.
Director Escuela de Posgrado

José Luis Meneses Sánchez
Candidato

DEDICATORIA

A Dios por darme siempre la fortaleza necesaria para seguir adelante en cada nuevo día de mi vida.

A mi hija Emily Isabel por brindarme la dicha de conocer ese sentimiento de amor hacia un hijo que fue la fuente de inspiración que me llevo a alcanzar con éxito esta nueva meta.

A mi esposa Katuska por todo su amor, dedicación y sacrificio durante mi estadía en CATIE.

A mis padres José y Leonidas, por sus valiosos consejos, sacrificios y apoyo en mi vida.

A mis hermanas Ilka, Viodelda y Bleysi por brindarme siempre su cariño incondicional.

AGRADECIMIENTOS

A mi profesor consejero Ph.D. Bommat Ramakrishna, por orientarme en este trabajo. Gracias por todo su interés, apoyo y enseñanza durante mi formación en CATIE.

A los miembros del comité asesor de tesis Dr.Sc. Francisco Jiménez, M.Sc. Sergio Velásquez y M.Sc. Fernando Casanoves, por su disposición para orientar la investigación, sus comentarios y acertadas sugerencias en este trabajo.

A la Secretaria Técnica, Unidad Ambiental, OFICUENCA, Dirección Ejecutiva Regional (Región 5, Capiro) y a la Agencia de La Chorrera del Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA) por todo el apoyo brindado durante el desarrollo de la presente investigación.

A la Comisión Interinstitucional de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá (CICH), Autoridad del Canal de Panamá (ACP) y a la Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM) por toda la colaboración brindada a este trabajo.

Al Laboratorio LASEF de la Universidad Autónoma de Chiriquí (UNACHI) y al Laboratorio AGROLAB por los servicios prestados en el análisis de las muestras de agua.

A mis compañeros de promoción y amigos, en especial a Alexander, Walter, Luis Manuel, Alex y Sonia quienes me brindaron su amistad y apoyo. Igualmente a mi paisano y amigo Edilberto por brindarme siempre su hospitalidad y colaboración.

Al personal de la Escuela de Posgrado por su constante ayuda. Al personal de la Biblioteca Conmemorativa Orton por su permanente colaboración.

En fin, quiero agradecer a todos y a cada una de las personas que de forma directa e indirecta me ayudaron a alcanzar esta meta.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	IV
RESUMEN	VII
SUMMARY	VIII
LISTA DE CUADROS	IX
LISTA DE FIGURAS	X
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. OBJETIVOS.....	3
<i>Objetivo general</i>	3
<i>Objetivos específicos</i>	3
1.2. HIPÓTESIS.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. CUENCA HIDROGRÁFICA DEL CANAL DE PANAMÁ.....	4
2.2. IMPACTOS DEL USO DE LA TIERRA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA.....	4
2.2.1. <i>Impacto de actividades sobre la calidad del agua en la cuenca del Canal</i>	7
2.3. CALIDAD DEL AGUA.....	8
2.3.1. <i>Determinación de la calidad del agua</i>	8
2.4. CONTAMINACIÓN DEL AGUA.....	9
2.4.1. <i>Contaminación por fuentes no puntuales</i>	10
2.4.2. <i>Contaminación por fuentes puntuales</i>	11
2.5. AUTODEPURACIÓN DE LAS AGUAS CONTAMINADAS.....	12
2.5.1. <i>Factores que participan en la autodepuración de las aguas contaminadas</i>	12
2.6. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA).....	13
2.7. INDICADORES ASOCIADOS A LA CALIDAD DEL AGUA.....	15
2.7.1. <i>Metodología para definición de indicadores</i>	15
2.7.2. <i>Indicadores físico-químicos</i>	16
2.7.3. <i>Indicadores bacteriológicos</i>	18
2.8. LA CALIDAD BACTERIOLÓGICA DEL AGUA POTABLE.....	19
2.8.1. <i>Bacterias patógenas transmitidas por el agua</i>	19
2.9. CRITERIOS BÁSICOS PARA EL MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA EN CUERPOS SUPERFICIALES.....	20
2.10. NIVELES DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA EN LA MICROCUENCA LOS HULES-TINAJONES.....	21
2.11. NORMAS PARA AGUAS RESIDUALES EN PANAMÁ.....	22
III. MATERIALES Y MÉTODOS	25
3.1. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	25
3.2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	26
3.2.1. <i>Red hídrica</i>	26
3.2.2. <i>Clima</i>	27
3.2.3. <i>Tipos de suelos</i>	27
3.2.4. <i>Uso actual del suelo</i>	27

3.2.5. Topografía	27
3.2.6. Flora y fauna	28
3.2.7. Demografía	28
3.2.8. Actividades económicas	28
3.3. RECOLECCIÓN DE DATOS	28
3.3.1. Aspectos metodológicos para la recolección de datos de fuentes secundaria	28
3.3.2. Aspectos metodológicos para la recolección de datos primarios	29
3.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE DATOS.....	39
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	40
4.1. ANÁLISIS DE LOS INDICADORES Y NIVELES DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA EN LA MICROCUENCA LOS HULES-TINAJONES	40
4.1.1. Resultado del análisis de conglomerados.....	40
4.1.2. Resultados del análisis de las variables de calidad del agua	41
4.2. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA COMO HERRAMIENTA DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO	59
4.3. RELACIONAR LA CALIDAD DEL AGUA CON EL MANEJO DE LA ACTIVIDAD PORCINA	63
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	68
5.1. CONCLUSIONES	68
5.2. RECOMENDACIONES	69
VI. LITERATURA CONSULTADA.....	72
VII. ANEXOS	75

MENESES SÁNCHEZ, JL. 2003. Calidad del agua en la microcuenca Los Hules-Tinajones, cuenca del Canal, Panamá.

RESUMEN

Palabras claves: calidad del agua, microcuenca, aguas residuales, indicadores, contaminación, *ICA*.

Se analizó la calidad del agua en la microcuenca Los Hules-Tinajones. Se conformaron cinco sitios dentro de la microcuenca con 11 estaciones de muestreo de agua. Una estación se ubicó dentro del área de influencia de una granja porcina debido a que las aguas residuales que genera constituyen una fuente puntual de contaminación del recurso hídrico. El nivel de contaminación del agua fue medido por medio de los indicadores coliformes fecales, coliformes totales, oxígeno disuelto, potencial de hidrógeno, demanda bioquímica de oxígeno, nitratos, fosfatos, temperatura, turbiedad y sólidos totales. Durante los meses de mayo a agosto se realizaron cuatro muestreos de agua con una frecuencia de 30 días. Se determinó el índice de calidad del agua (*ICA*) para cada una de las estaciones de monitoreo. Para cada variable en estudio se realizó un ANDEVA donde el modelo utilizado contempló el efecto tiempo y el efecto sitio y la interacción sitio*mes. Se encontró que las aguas residuales de la granja porcina inciden en la calidad del agua del río Tinajones cuando se producen derrames en las lagunas de estabilización, afectando la fauna acuática dentro de su área de influencia. Los niveles de oxígeno disuelto, coliformes fecales, fosfatos y turbiedad, indican que se está produciendo contaminación del agua. La presencia de *Escherichia coli* en las aguas superficiales de la microcuenca se debe a una contaminación por heces fecales humanas y representan un riesgo a la salud. La mayoría de los indicadores estudiados presentan una variación espacial y temporal. El *ICA* califica las aguas superficiales de la microcuenca en un estado regular quedando por debajo de buena y excelente. En base a los indicadores analizados el sitio más contaminado está ubicado en la parte baja de la microcuenca. El sitio con mayor riesgo de contaminación se encuentra ubicado dentro del área de influencia de la granja porcina. La contaminación de las aguas superficiales de la microcuenca indica que estas deben ser tratadas para consumo humano, riego agrícola, recreación y acuicultura, al no cumplir con las normas de calidad de Panamá.

MENESES SÁNCHEZ, JL. 2003. Water quality in the Los Hules-Tinajones micro-watershed, Canal watershed, Panama.

SUMMARY

Keywords: water quality, micro-watershed, residual water, indicators, contamination, Water Quality Index.

Water quality was analyzed in the Los Hules-Tinajones micro-watershed. A total of four samples were taken every 30 days between May and August at 11 stations located in five sites. One station was established within the influence of a pig farm, in order to assess the contaminating effects of residual waters. The level of contamination was measured by the following indicators: fecal coliforms, total coliforms, dissolved oxygen, hydrogen potential, biochemical oxygen demand, nitrates, phosphates, temperature, turbidity, and total solids. The Water Quality Index was calculated for each sampling station. An analysis of variance was performed on each variable, where the applied model considered the effect of time, the effect of site, and the interaction between site and month. It was found that residual water from the pig farm was affecting water quality and aquatic fauna of the Tinajones River, especially when the waste stabilization ponds overflowed. The levels of dissolved oxygen, fecal coliforms, phosphate and turbidity indicate that the water is polluted. The presence of *Escherichia coli* in superficial waters can be attributed to contamination by human feces, and represents a risk to health. The majority of the studied variables displayed both spatial and temporal variations. According to the Water Quality Index, the superficial waters of the micro-watershed can be classified as regular, and therefore are beneath good or excellent standards. According to the analyzed variables, the most contaminated site is located in the lower sector of the micro-watershed, and the site with the highest risk of contamination is located within the area of influence of the pig farm. The results indicate that the superficial waters of the micro-watershed do not comply with national water quality standards for human consumption, agricultural irrigation, recreation and aquaculture purposes, and therefore should be subjected to appropriate treatment.

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Composición de las deyecciones de cerdos (gr kg^{-1}).....	6
Cuadro 2. Parámetros del índice de calidad del agua, peso asignado e importancia.....	14
Cuadro 3. Niveles de nitratos y oxígeno disuelto, julio de 2002	21
Cuadro 4. Contenido bacteriológico, julio de 2002.....	22
Cuadro 5. Valores máximos permisibles para las descargas de efluentes líquidos de granjas porcinas a cuerpos receptores.....	24
Cuadro 6. Resultados de análisis de aguas residuales de Blue Ribbon Products, S.A.....	24
Cuadro 7. Localización de las estaciones de muestreo de agua.....	31
Cuadro 8. Calificación usada en el índice de calidad del agua.....	38
Cuadro 9. Medias de la variable coliformes fecales por mes en UFC/100 ml	42
Cuadro 10. Medias de la variable coliformes fecales por sitio en UFC/100 ml	42
Cuadro 11. Medias de la variable coliformes totales por mes en UFC/100 ml.....	43
Cuadro 12. Medias de la variable coliformes totales por sitio en UFC/100 ml	43
Cuadro 13. Medias de la variable potencial de hidrógeno por mes en unidades de pH.....	45
Cuadro 14. Medias de la variable potencial de hidrógeno por sitio en unidades de pH.....	46
Cuadro 15. Medias de la variable DBO_5 por mes en mg/l	46
Cuadro 16. Medias de la variable DBO_5 por sitio en mg/l.....	47
Cuadro 17. Medias de la variable nitratos por sitio en mg/l.....	48
Cuadro 18. Medias de la variable fosfatos por mes en mg/l	49
Cuadro 19. Medias de la variable fosfatos por sitio en mg/l	49
Cuadro 20. Medias de la variable temperatura por mes.....	51
Cuadro 21. Medias de la variable oxígeno disuelto por mes en mg/l.....	52
Cuadro 22. Medias de la variable oxígeno disuelto por sitio en mg/l.....	53
Cuadro 23. Medias de la variable turbiedad por mes en NTU.....	54
Cuadro 24. Medias de la variable turbiedad por sitio en NTU	54
Cuadro 25. Medias de la variable sólidos totales por mes en mg/l.....	56
Cuadro 26. Medias de la variable sólidos totales por sitio en mg/l	57
Cuadro 27. Medias del <i>ICA</i> por mes (valor numérico).....	59
Cuadro 28. Medias del <i>ICA</i> sitio por mes.....	60
Cuadro 29. Medias del <i>ICA</i> por sitio (valor numérico).....	61
Cuadro 30. Consumo de alimento por fase en la empresa Blue Ribbon Products, S.A.....	64
Cuadro 31. Producción de lisier por fase en la empresa Blue Ribbon Products, S.A.....	65

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación de la microcuenca Los Hules-Tinajones.....	25
Figura 2. Mapa de la red hídrica de la microcuenca Los Hules-Tinajones.....	26
Figura 3. Mapa de estaciones de muestreo de agua	30
Figura 4. Mapa de sitios de muestreo de agua y área de recarga o influencia.....	35
Figura 5. Conglomerado de similaridad entre estaciones.....	40
Figura 6. Comportamiento de la variable coliformes totales en función del sitio y el mes.....	44
Figura 7. Comportamiento de la variable fosfatos en función del sitio y el mes.....	50
Figura 8. Comportamiento de la variable turbiedad en función del sitio y el mes.....	55
Figura 9. Comportamiento de la variable sólidos totales en función del sitio y el mes.....	57
Figura 10. Mapa de gradiente de riesgo a la contaminación	58
Figura 11. Comportamiento del ICA en función del sitio y el mes.....	62
Figura 12. Mapa de valores del índice de calidad del agua (ICA) por sitio	63

I. INTRODUCCIÓN

En todo el planeta, el uso que le da el ser humano al agua dulce ha conducido a la contaminación de ríos, lagos y capas freáticas. El agua potable se hace escasa cada vez más. Para el año 2025, se predice que las extracciones de agua se incrementarán en un 50% en los países en vías de desarrollo mientras que en los países desarrollados en un 18%. Las consecuencias de estas extracciones será el deterioro o destrucción completa de los ecosistemas terrestres, de agua dulce y costeros que son fundamentales para la vida. Las causas de este deterioro inminente están dadas por el crecimiento de asentamientos humanos, el aumento del consumo, el desarrollo de infraestructura, la conversión en el uso del suelo y la utilización deficiente del mismo, como también por la descarga en el agua, en la tierra y en el aire de contaminantes químicos y biológicos, los cuales amenazan las funciones de los ecosistemas de agua dulce (UICN 2000).

La protección, conservación, ordenamiento y manejo de las cuencas hidrográficas es parte integral del proceso de formulación de la Estrategia Nacional del Ambiente de Panamá, ya que el recurso hídrico es fundamental en el sustento y desarrollo de la economía nacional. En este sentido la cuenca hidrográfica del Canal, las ciudades adyacentes y la Región Interoceánica, constituyen el centro económico del país en donde se genera el 75% del producto interno bruto (ANAM 1999).

La cuenca del Canal, así como otras zonas de producción en Panamá, se encuentra sometida a intervenciones de sus ecosistemas por actividades agrícolas, ganaderas, agroindustriales y explotaciones de aves y cerdos (MIDA 2001). Heckadon *et al.* (1999) sostienen que actualmente las fuentes de agua dentro de la cuenca del Canal sufren de severos problemas ocasionados por las deficiencias en el manejo de los suelos, la deforestación, la sedimentación y la contaminación. El deterioro de los ecosistemas, acentuado por las graves formas de contaminación ambiental, la demanda creciente de recursos para satisfacer los intereses y las necesidades de la población y las situaciones de inequidad en la distribución de ingresos amenazan la disponibilidad de agua en la cuenca del Canal.

Se ha profundizado poco en estudios de la calidad de las aguas en Panamá. En el caso de la cuenca del Canal, poco se sabe de lo que ocurre en la mayoría de los cursos de

agua que fluyen a los lagos Gatún y Alajuela. El antecedente principal consiste en el estudio de 1975 de la Comisión del Canal, con puntos de muestreos localizados en su mayoría en el lago Gatún (Heckadon *et al.* 1999). La evaluación hecha por el PMCC (Proyecto de Monitoreo de la Cuenca del Canal de Panamá), ha sido muy general basado en indicadores de contaminación orgánica, inorgánica y microbiológica, cuyos resultados indican un creciente deterioro de la calidad de las aguas (Heckadon *et al.* 1999). Los tributarios menores de los lagos Gatún y Alajuela, aportan el 46% de la producción anual de agua para la cuenca del Canal y representan el 40% de su superficie de captación. Sin embargo, sobre estos ríos y quebradas, cuyas cuencas están mayormente deforestadas, se tiene poca información (Heckadon *et al.* 1999). La microcuenca Los Hules-Tinajones forma parte de estos afluentes menores del lago Gatún.

Los sistemas de producción agropecuarios de alta tecnología generan productos y beneficios económicos a Panamá pero generan un impacto negativo en la conservación de los recursos hídricos de las cuencas hidrográficas. Esto hace necesario la aplicación de normas para el control o disminución de residuos que degradan los ecosistemas (ANAM 1999).

En la microcuenca Los Hules-Tinajones no se tienen estudios sobre calidad del agua. Sin embargo, existe una creciente demanda de agua para consumo humano, navegación, recreación, uso agrícola y pecuario. Esto implica que se debe contar con un programa de monitoreo para garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico. Por otro lado, esta microcuenca no es afluente de ningún río principal de la cuenca del Canal, esto hace que los contaminantes presentes en el agua se depositen directamente en el lago Gatún.

Es importante señalar que la Planta Potabilizadora de Laguna Alta, que abastece a una población de 250,000 habitantes ubicados en los distritos de Arraiján, La Chorrera y Capira, capta el agua cruda del lago Gatún; esta captación o toma se encuentra a 0.70 km de la desembocadura del río Caño Quebrado y a 5.8 km de la desembocadura de la microcuenca Los Hules-Tinajones. Esto no deja de preocupar a los encargados de manejar la planta potabilizadora, ya que se puede dar la acumulación de contaminantes que afecten la calidad del agua cruda y eleven los costos de tratamientos. Esta situación implica que el manejo de estas microcuencas tenga una importancia adicional por el uso que se le da al agua.

Los problemas presentes en la microcuenca Los Hules-Tinajones requieren de acciones inmediatas para detener, revertir o minimizar los procesos de degradación que conllevan al continuo deterioro de la calidad del agua. Para la realización de estas acciones se necesita la participación y colaboración de todos los grupos sociales interesados en la microcuenca. Esto debe ser complementado con un nivel organizativo eficiente de las instituciones que permita enfrentar los nuevos y difíciles retos para preservar el recurso hídrico.

1.1. Objetivos

Objetivo general

?? Facilitar una línea de base práctica para el monitoreo de la calidad del agua en la microcuenca Los Hules-Tinajones.

Objetivos específicos

?? Analizar indicadores y niveles de contaminación del agua en la microcuenca Los Hules-Tinajones.

?? Determinar el índice de calidad del agua (*ICA*) como herramienta de monitoreo del recurso hídrico.

?? Relacionar la calidad del agua con el manejo de la actividad porcina.

1.2. Hipótesis

?? El nivel de contaminación del agua en la microcuenca Los Hules-Tinajones, expresado a través de diferentes indicadores, es mayor que lo permitido por la ley panameña.

?? La calidad del agua en la microcuenca Los Hules-Tinajones, varía en el tiempo y el espacio.

?? La forma en que se manejan los desechos generados por las granjas porcinas favorecen la contaminación del agua.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Cuenca hidrográfica del Canal de Panamá

La cuenca hidrográfica tradicional del Canal de Panamá cuenta con una superficie aproximada de 340,833 ha, esta integrada por tres subcuencas: Gatún con 231,162 ha, Alajuela con 99,694 ha y Miraflores con 9,977 ha. Los lagos Gatún y Alajuela que garantizan la navegación por el Canal ocupan el 13.7% (46,772 ha) de su territorio (ARI 1996). Los ríos principales de la subcuenca del lago Gatún son el río Ciri Grande ($9.3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), Gatún ($6.6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) y Trinidad ($6.6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$). Así mismo, los principales afluentes de la subcuenca Alajuela son los ríos Chagres ($31.4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), Pequení ($13.2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) y Boquerón ($7.7 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) (Heckadon *et al.* 1999). La microcuenca Los Hules-Tinajones es afluente directo del lago Gatún y no constituye parte integral de ningún río.

El agua del lago Gatún es usada principalmente para la navegación, generación de energía hidroeléctrica, consumo humano en los centros metropolitanos (Colón y Ciudad de Panamá), pesca, recreación, agricultura y ganadería. En el caso del lago Alajuela, el agua es utilizada para regular el nivel del lago Gatún, pesca, transporte, agricultura y ganadería. El 50% del agua de estos lagos se utiliza para esclusaje, 27% para generación hidroeléctrica, 5% en plantas potabilizadoras, 7% es pasada por vertederos y el 11% se pierde por evaporación (Heckadon *et al.* 1999).

2.2. Impactos del uso de la tierra sobre la calidad del agua

El desarrollo de actividades agrícolas puede contribuir con tres tipos de contaminantes como los sólidos en suspensión, organismos vivos y componentes químicos. Los sólidos en suspensión se originan de malas prácticas agrícolas que acentúan la erosión de los suelos, entre las cuales se pueden mencionar: arado, labranza, deforestación y sobrepastoreo. Los contaminantes químicos provienen de la fertilización, la aplicación de plaguicidas y las aguas de riego. Mientras que los residuos de agroindustrias y de cosechas pueden aportar cantidades considerables de materia orgánica que afectan la calidad del agua y la utilización de aguas servidas no tratadas para riego actúan como diseminador de organismos patógenos (Sagardoy 1993).

Las actividades de uso de la tierra inciden en la calidad bacteriológica del agua, que podrían originar problemas de salud. El contenido de bacterias en las aguas superficiales

podría verse incrementado como resultado de la actividad de pastoreo en la producción ganadera en las riberas de los ríos por el aporte de desechos o excretas (Kiersch 2000). Sin embargo, los impactos del uso agrícola de la tierra muchas veces son difíciles de distinguir de los impactos naturales o de los impactos de origen humano, como es el caso de la escorrentía agrícola cuando se compara con los sistemas de saneamiento rurales que contribuyen a la degradación de las aguas superficiales y subterráneas.

El aporte de sedimentos puede representar una sustancia contaminante tanto desde el punto de vista físico como químico. La contaminación física como resultado de los sedimentos es la turbidez (reducción en la penetración de la luz solar) y la sedimentación (reducción en la capacidad de almacenaje de los embalses, destrucción de las barreras de corales, pérdidas de las áreas de desove para ciertas especies ictícolas). La contaminación química producto de los sedimentos incluye la absorción de metales y el fósforo, al igual que las sustancias químicas orgánicas hidrofóbicas (Kiersch 2000).

Wong *et al.* (1997) señalan que los niveles de nitrógeno (N) y fósforo (P) pueden ser alterados en las aguas superficiales y subterráneas por un cambio en el uso de la tierra. Las actividades agrícolas pueden ocasionar un incremento en el aporte de nitrógeno a los cuerpos de agua producto de factores como la aplicación de fertilizante, el estiércol procedente de la producción ganadera y los lodos procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales de origen doméstico (Ramos y Ocio 1992). La producción ganadera, sin embargo, puede ser la fuente principal de fósforo en las aguas. La escorrentía directa de explotaciones ganaderas (bovino, porcino, cunicultura y avícola) intensivas puede llevar a una degradación seria de las aguas superficiales y subterráneas. Así tenemos que en la Unión Europea los desechos ganaderos representan el 30 por ciento de la carga de fósforo en las aguas superficiales; otros usos agrícolas contribuyen con el 16 por ciento (Kiersch 2000).

Los ecosistemas naturales pueden presentar un proceso de desequilibrio debido a la presencia de nutrientes en concentraciones elevadas. En este sentido Campbell (1987) manifiesta que la eutrofización es un proceso natural, pero que puede estar asociado con la contaminación por aguas negras y el lavado de fertilizantes agrícolas que contienen fósforo y nitrógeno, cuyas sales inorgánicas desempeñan un papel particular para los ecosistemas acuáticos. Por lo general ocurre cuando una masa de agua pasa de una

condición oligotrófica (o baja productividad) a eutrófica o de alta productividad. Para Canter (1998) los problemas asociados a la eutrofización pueden ser prácticos, como los inconvenientes vinculados a la calidad del agua potable derivados del exceso de algas (sabor y olor) o a su tratamiento (obstrucción de filtros o variaciones de pH).

Las explotaciones ganaderas intensivas como lo son las granjas porcinas generan un mayor rendimiento económico y facilitan su mantenimiento. Sin embargo, por la alta concentración de animales y la falta de espacios, su manejo implica la acumulación de residuos diversos difíciles de eliminar, que pueden afectar a los suelos, a los cursos de agua y a la belleza escénica por los malos olores. Así tenemos que las deyecciones (heces y orina) del ganado porcino al mezclarse forman el lisier, el cual presenta un alto contenido de materia sólida y constituye una fuente potencial de contaminación. Para reducir los riesgos de contaminación que puede ocasionar sobre el recurso hídrico debe ser tratado antes de ser vertido a un cuerpo de agua receptor. En el Cuadro 1 tenemos la composición de la orina, de las heces y del lisier del cerdo (Seoáñez 1999).

Cuadro 1. Composición de las deyecciones de cerdos (gr kg⁻¹)

Naturaleza de las deyecciones	MS	Mm	N total	N amoniacal	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	pH
Orina	40	-	4	-	0.05	5	-	-	-
Heces	23	-	5	-	3	3	-	-	-
Lisier	50	16	4.5	3	2.3	3	3	0.8	7

El régimen térmico de las aguas superficiales puede ser afectado por las prácticas de uso de la tierra. En pequeñas corrientes, la eliminación de la vegetación ribereña puede originar un incremento en la temperatura del agua dando lugar a la contaminación térmica. Un aumento en la temperatura conduce a reducir la solubilidad del oxígeno, lo cual puede incidir negativamente en la actividad biológica dentro del agua, así como en la capacidad autodepurativa del río (Brooks *et al.* 1991).

Kiersch (2000) manifiesta que aquellos impactos que se producen en la cuenca baja, como la presencia de materia orgánica y de agentes patógenos, son relevantes sólo en cuencas de tamaños menores. Los impactos de las prácticas de uso de la tierra en la calidad del agua, como la salinidad, la contaminación por pesticidas y la eutrofización debida al aporte de nutrientes, sin embargo, pueden ser considerados relevantes en

cuencas de tamaño medio y grande. Estos impactos podrían afectar muchos los usos del agua en la cuenca baja, como lo son los proveedores de servicios de agua potable, la industria, la pesca y otros usos agrícolas.

2.2.1. Impacto de actividades sobre la calidad del agua en la cuenca del Canal

Los desechos provenientes de la población, industrias, agroindustrias, canteras, actividades agrícolas y basureros, han contribuido a los bajos valores de oxígeno disuelto y a los elevados niveles de coliformes fecales en la microcuenca del río Chilibre, siendo esta la más afectada en cuanto a calidad del agua dentro de la cuenca del Canal. En esta microcuenca se encuentra la toma de agua potable que abastece la ciudad de Panamá (Heckadon *et al.* 1999).

El deterioro de los ecosistemas, acentuado por las graves formas de la contaminación ambiental, la demanda creciente de recursos para satisfacer los intereses y las necesidades de la población, y las situaciones de inequidad en la distribución de ingresos amenazan la disponibilidad de agua en cuanto a cantidad y calidad. Algunas prácticas, como la tala indiscriminada, la inadecuada disposición de los desechos sólidos, el uso de plaguicidas, la extracción de piedras y arena de los cauces de ríos y la introducción de especies maderables exóticas, están generando impactos que alteran las características de los cuerpos de agua en la cuenca del Canal. Por otro lado, los cambios climáticos podrán tener grandes y graves consecuencias en el suministro de agua (Heckadon *et al.* 1999).

La sedimentación en los embalses y cuerpos de agua es otro grave problema, en donde los sedimentos y el agua compiten por la ocupación del mismo espacio físico. La deforestación y el asentamiento de poblaciones humanas son algunas de las causas de esta situación, cuyos antecedentes son la sobreexplotación de los recursos forestales, el cambio de uso de la tierra y la necesidad de procurar alimentos básicos a una parte importante de la población (Heckadon *et al.* 1999). Se tiene que la tasa promedio de erosión potencial en la cuenca del Canal es de aproximadamente $140 \text{ ton ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, con un rango oscilante que va de 7 a $227 \text{ ton ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, la erosión real es de $21 \text{ ton ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ valor considerado moderado. Se estima que de cada 4 m^3 de suelo erosionado, 1 m^3 se deposita en los lagos, en donde el 50% reduce la capacidad de almacenamiento de estos.

Para el año 1996 el lago Gatún había perdido por sedimentación el 8% de su capacidad útil de almacenaje y el lago Alajuela el 6% de su capacidad (ARI 1996).

El uso excesivo de fertilizantes en las actividades agrícolas, ha contribuido en el crecimiento de la vegetación acuática dentro de los lagos Gatún y Alajuela, lo que es señal del deterioro de la calidad del agua por contaminación, lo que dificulta el tránsito de barcos, aumentando el costo de operación de la vía acuática producto de la limpieza de malezas para facilitar la navegación (Heckadon *et al.* 1999).

2.3. Calidad del agua

La calidad del agua se define como las características del agua que pueden afectar su adaptabilidad a un uso determinado, es decir, la relación entre la calidad del agua y las necesidades del usuario. Otra definición de la calidad del agua toma en cuenta su contenido de sólidos y gases, ya sea que estén presentes en suspensión o en solución (Mendoza 1996).

El estudio de la calidad del agua es un proceso de enfoque múltiple para evaluar la naturaleza física, química y biológica de esta en relación a su calidad natural, efectos humanos, usos propuestos, especialmente usos humanos y acuáticos relacionados con la salud (FAO 1993).

2.3.1. Determinación de la calidad del agua

El análisis de cualquier agua revela la presencia de gases, elementos minerales y elementos orgánicos en solución o en suspensión, los cuales pueden tener un origen natural, rocas, suelo y aire o proceder de las actividades de producción y consumo humano, que originan una serie de productos de desecho que son vertidos, depurados o no, a las aguas para su eliminación. Es la naturaleza y la cantidad de estos elementos constituyentes los que definen un agua y precisan y limitan su empleo para los diversos usos: agua potable, industrial, agrícola o recreativo (Seoáñez 1999).

Existen los siguientes métodos para medir la calidad del agua:

?? **Métodos físico-químicos:** se basan en el estudio de los factores físico-químicos del agua y se llevan a cabo mediante una toma de muestras de los sistemas acuáticos, con la determinación de sus características físicas y con análisis de sus componentes químicos.

Estos métodos dan una información valiosa, pero se refiere únicamente al instante en que se obtuvo la muestra; por lo tanto, pueden dar resultados muy alarmantes o al contrario pasar desapercibidos ciertos factores para un uso determinado del agua. No indican el estado anterior al de la toma de muestras ni la capacidad de recuperación natural después de un aporte contaminante, tanto en el tiempo como en el espacio (James, citado por Seoáñez 1999).

?? **Métodos biológicos:** se fundamentan en el estudio de las comunidades de animales y de plantas acuáticas. Como cada comunidad responde a las condiciones físico-químicas del medio donde vive, toda alteración en éstas induce cambios que se manifiestan en el reemplazo de unas especies por otras o por la variación del número y proporción de cada una de ellas (Patrick, citado por Seoáñez 1999). En este contexto la caracterización biológica del agua parte de la determinación del grado de alteración de la condición biológica de la misma cuando se introducen sustancias tóxicas, materia orgánica que pueda descomponerse o cualquier forma de energía.

2.4. Contaminación del agua

Gallego (2000) manifiesta que la contaminación esta dada por la acción y el efecto de introducir materias o diversas formas de energía, o inducir condiciones en el agua, de manera directa o indirecta, dando lugar a una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función en un ecosistema.

Como el agua rara vez se encuentra en estado puro, su contaminación comprende cualquier organismo vivo, mineral o compuesto químico cuya concentración limite o impida los usos benéficos de esta (Ongley 1997). En este sentido Canter (1998) señala que los diferentes contaminantes que alcanzan los cuerpos de agua pueden provocar restricciones para un aprovechamiento seguro. Los efectos de una contaminación dependen del tipo y concentración de los agentes contaminantes, así tenemos que los compuestos orgánicos solubles con una alta demanda de oxígeno ocasionan la reducción del oxígeno en el agua superficial, lo que puede provocar la muerte de peces, la aparición de organismos acuáticos y la presencia de olores indeseables, debido a las condiciones anaeróbicas presentes.

2.4.1. Contaminación por fuentes no puntuales

Para Villegas (1995) la contaminación no puntual o difusa es causada por fuentes generalmente asociadas con escorrentía agrícola, silvicultural y urbana. En términos prácticos, la contaminación difusa no se produce por la descarga desde un lugar único y específico, sino que generalmente resulta de la escorrentía, precipitación y percolación; la contaminación de fuentes no puntuales se presenta cuando la tasa de los materiales contaminantes que entran en el cuerpo de agua o agua subterránea, exceden los niveles naturales.

En la mayoría de los países, las prácticas agrícolas y formas de utilización de la tierra, incluidas las operaciones de alimentación animal (granjas de engorde), se consideran como fuentes no localizadas. Las características principales de las fuentes no puntuales se deben a que responden a las condiciones hidrológicas, presentan dificultades para su medición o control directo (por ello son difíciles de regular) y se concentran en las prácticas de ordenación de la tierra y otras afines (Ongley 1997).

Se define como fuentes de contaminación no puntuales o no localizadas, aquellas aguas residuales o cualquier otra fuente contaminante que no tiene un punto claro de ingreso en los cursos de agua que los reciben (Ongley 1997), es decir, están distribuidas irregularmente en toda la cuenca y las descargas no se realizan de manera directa (Basterrechea *et al.* 1987).

Córdoba (2002) manifiesta que los contaminantes de fuentes no localizadas, cualquiera que sea su origen, se desplazan por la superficie terrestre o penetran en el suelo, transportados por el agua de lluvia. Estos contaminantes consiguen llegar hasta las aguas subterráneas, humedales, ríos, lagos y finalmente hasta los océanos en forma de sedimentos y cargas químicas. La repercusión ecológica de estos contaminantes puede ir desde pequeños trastornos hasta graves catástrofes ecológicas, sobre los peces, aves mamíferos y sobre la salud humana.

Las explotaciones ganaderas bovinas intensivas y extensivas son fuentes de contaminación no puntuales debido a que producen acumulaciones de residuos diversos difíciles de eliminar y que pueden afectar a los suelos, a los cursos de agua y a la estética del paisaje (olores). Actualmente, en aquellas explotaciones intensivas que no cuentan

con terrenos suficientes, se tiende a recoger las deyecciones en diferentes tipos de depósitos y mediante tratamientos diversos eliminarlas o exportarlas hacia sitios en que puedan tener cierta utilidad. Sin embargo, estas deyecciones tienen un contenido muy alto de materia orgánica que perturba por un lado el estado de las aguas, y a su vez la belleza escénica por los olores que producen durante su manejo (Seoánez 1999).

2.4.2. Contaminación por fuentes puntuales

La contaminación por medio de fuentes puntuales esta asociada a las actividades en que el agua residual va a parar directamente a las masas receptoras, un caso típico son las cañerías de descargas, en las que se pueden fácilmente cuantificar y controlar (Ongley 1997). Basterrechea *et al.* (1987) consideran como fuentes puntuales de contaminación las descargas directas de aguas residuales a los cuerpos de agua, sean estos de origen domiciliario o industrial. Cuando se realiza muestreo de aguas se recomienda ubicar un punto de muestreo antes del área de influencia de las fuentes potenciales de contaminación y otros puntos dentro y después de la referida área o zona crítica (OMS 1998).

Contaminación por actividades industriales: el contenido de contaminantes que presentan es innumerable dependiendo del tipo de producción. La contaminación que originan se puede deber a la materia inorgánica que se encuentra en suspensión y en solución, como también a sustancias orgánicas, desechos tanto químicos, fenólicos, orgánicos fermentables y tóxicos (Repetto y Morán 1991).

Contaminación de origen doméstico: las sustancias presentes en las heces humanas son una mezcla de compuestos orgánicos y minerales no disueltos. Los compuestos orgánicos son las grasas, jabones, proteínas, glúcidos y los productos provenientes de su descomposición, detergentes, aceites, minerales y otros desperdicios de origen animal. Cuando las aguas de origen doméstico contaminadas entran en contacto con agua destinada para uso potable, pueden transmitir su carga de bacterias y virus eventualmente presentes y causar enfermedades (Repetto y Morán 1991).

En la cuenca del Canal existe una creciente contaminación por aguas servidas de las industrias, agroindustrias y los tanques sépticos de las barriadas, las cuales son descargadas sin tratamiento alguno a las aguas de los ríos Chilibre y Chilibrillo. Además,

hay granjas porcinas y avícolas, que descargan sus aguas residuales directamente a los cauces de estos ríos, sin un tratamiento previo (Heckadon *et al.* 1999).

2.5. Autodepuración de las aguas contaminadas

Las corrientes de aguas superficiales poseen mecanismos que les permiten recuperar algunas condiciones físico-químicas luego de ser contaminadas. En los ríos los materiales incorporados se diluyen progresivamente en el agua sobre todo cuando se da un aumento en el caudal a medida que se reciben nuevos afluentes. Cuando se da este proceso se reduce la concentración de compuestos tóxicos que no están sujetos a descomposición o a la alteración de su naturaleza química (Elosegui *et al.* 1995). Para Branco (1984) la autodepuración de las aguas debe entenderse como la sucesión de etapas ecológicas que se inicia con la incorporación de los desechos hasta la recuperación de las características originales del ambiente acuático perturbado.

2.5.1. Factores que participan en la autodepuración de las aguas contaminadas

Para Rinaldi *et al.* (1979) los factores físicos, químicos y biológicos que intervienen simultáneamente y alternativamente en el proceso de estabilización a lo largo de un curso de agua son:

a. Dilución: aunque este proceso no altera la naturaleza química de los compuestos, ejerce una acción ecológica debido a que dispersa y reduce la concentración de los compuestos perjudiciales y reduce la demanda bioquímica de oxígeno.

b. Gravedad: la sedimentación de partículas orgánicas e inorgánicas en un cuerpo de agua contaminada reduce significativamente la contaminación. El aumento de transparencia que origina la sedimentación reduce considerablemente la demanda bioquímica de oxígeno en una masa de agua. Los materiales sedimentables representan cerca del 40% de la demanda de oxígeno de las aguas domésticas. La sedimentación y formación de depósitos de lodos orgánicos se da cuando la velocidad del agua es menor a 0.2 m s^{-1} . Sin embargo, cuando la velocidad varía entre 0.3 y 0.5 m s^{-1} el lodo depositado es arrastrado por las corrientes de aguas.

c. Turbulencia: el nivel de agitación del agua debido a su velocidad, pendientes del terreno como a la acción de los vientos, representan importantes factores de oxigenación del medio acuático. Los ríos con caídas y saltos presentan aguas más oxigenadas.

Además, tienden a depurarse con más rapidez debido a la transferencia de oxígeno del aire hacia el medio acuático, que los de baja velocidad o ambientes lénticos. Sin embargo, la turbulencia puede originar la mezcla de los sedimentos orgánicos aumentando la demanda de oxígeno disuelto.

d. Luz: la radiación solar ejerce una acción bactericida importante. Incide en forma directa sobre la capacidad fotosintética y la consiguiente producción de oxígeno por el fitoplancton y malezas acuáticas. Esto contribuye a compensar la demanda bioquímica de oxígeno, al saturar de oxígeno el medio acuático degradado.

e. Variación de la temperatura: cuando se incrementa la temperatura del agua aumentan las reacciones metabólicas, acelerando la eliminación de los contaminantes orgánicos, pero esta aceleración ocasiona una rápida disminución del oxígeno disuelto en el agua debido a que las aguas más calientes retienen y disuelven menos este gas.

f. Acciones químicas y bioquímicas: las actividades químicas y bioquímicas pueden intervenir en los procesos de autodepuración. Entre estas se mencionan la oxidación de compuestos y elementos entre otras.

g. Depredación: la depredación y parasitismo pueden tener un efecto relevante en el proceso de la declinación bacteriana que constituye uno de los aspectos claves de la autodepuración desde el punto de vista sanitario.

2.6. Índice de calidad del agua (ICA)

Existen gran cantidad de factores que pueden afectar la calidad del agua de un río, lo que conlleva a que las condiciones del mismo fluctúen, esto hace necesario realizar mediciones periódicas para evaluar la calidad del agua (Mitchell *et al.* 1991). Así mismo manifiestan que en los últimos años se viene utilizando un índice estándar llamado el índice de calidad del agua (ICA), siendo el más usado de todos los índices de calidad del agua existentes. Para la contaminación de las aguas de origen orgánico, se tienen otros indicadores establecidos. Cuando existe mucho material orgánico presente en los arroyos, su división por medio de microorganismos crea gran demanda de oxígeno bioquímico, lo cual permite solamente la sobrevivencia de organismos tolerantes a bajas condiciones de oxígeno como *jejenes* y *tubifex* (Mitchell *et al.* 1991). La presencia de

algas y otras plantas acuáticas, son también indicadoras de exceso de nutrientes en el agua, lo cual conlleva a la eutrofización provocando serios efectos en la vida acuática al privarla de oxígeno y luz (Agrawal *et al.* 1997).

El índice de calidad del agua facilita la interpretación y entendimiento de los parámetros de calidad convencionalmente usados, y del proceso de contaminación. Este índice desarrollado por la Fundación de Sanidad Nacional de los Estados Unidos utiliza los parámetros convencionales de calidad del agua: oxígeno disuelto, coliformes fecales, potencial de hidrógeno, demanda bioquímica de oxígeno, nitratos, fosfatos, temperatura, turbidez y sólidos totales. A cada una de estas variables se les asigna un peso o importancia según el criterio de uso, comúnmente para consumo humano (Lobo 2000). Este índice expresa el estado de la calidad del agua en un rango de 0 a 100 unidades, determinando de esta manera condiciones entre críticas o pobres hasta muy óptimas. El peso obtenido para cada parámetro o indicador utilizado y su importancia dentro de la evaluación de calidad se presenta en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Parámetros del índice de calidad del agua, peso asignado e importancia

Parámetro o variable (i)	Wi	Importancia del parámetro
Oxígeno disuelto	0.17	Condiciones críticas para la vida acuática
Coliformes fecales	0.15	Contaminación fecal, limitante para aguas de consumo humano
Potencial de hidrógeno (pH)	0.12	Condiciones para la vida acuática y agua potable
Demanda bioquímica de oxígeno	0.10	Materia orgánica biodegradable, limitante para aguas de consumo humano
Nitratos	0.10	Determina niveles de eutrofización y riesgo por consumo
Fosfatos	0.10	Determina niveles de eutrofización
Temperatura	0.10	Crítico para la vida acuática y consumo humano
Turbidez	0.08	Limitante para aguas de consumo humano
Sólidos totales	0.08	Limitante para aguas de consumo humano
Total	1.00	

Fuentes: Canter 1998, Lobo 2000.

2.7. Indicadores asociados a la calidad del agua

Villegas (1995) señala que los indicadores de la calidad del agua son índices destinados a apreciar, de manera resumida el estado de un sistema, son herramientas para la toma de decisiones porque brindan información respecto a las consecuencias de ellas. Los indicadores deben reflejar las conexiones explícitas entre el comportamiento económico y la salud del ecosistema. Los indicadores deben ser definidos de acuerdo al sistema específico o a la situación específica a ser analizada, para comparar sistemas diferentes, los indicadores correspondientes deberán ser determinados dentro de un proceso lógico y repetible. Se tiene que asegurar de que la escogencia de los indicadores no toma lugar arbitrariamente o sólo subjetivamente y que todos los aspectos de un sistema que son significativos para su sostenibilidad son considerados (Villegas 1995).

Los indicadores deben ser definidos como herramientas para agregar y simplificar la información de una naturaleza compleja a una manera útil y práctica (Adriaanse 1993). Para Müller (1998) los indicadores son instrumentos que ayudan en la toma de decisiones, ya que permiten tener información en relación al pasado y los posibles impactos futuros. En este sentido manifiesta que un indicador de sostenibilidad es un número o cualidad que refleja el estado o condición de un proceso o fenómeno dado en relación con la sostenibilidad.

2.7.1. Metodología para definición de indicadores

La sostenibilidad implica tres metas, que a corto plazo pueden competir entre sí: los aspectos ecológicos, económicos y sociales que deben de tomarse en cuenta en forma simultánea. Siguiendo el marco lógico para la definición de los indicadores, se define en primera instancia el sistema a analizar. En forma práctica el **Sistema** identificado es la microcuenca en estudio. Luego dentro de este sistema se define una **Categoría** de análisis (manejo del sistema, el rendimiento, la tecnología y la base de recursos), siendo esta un aspecto significativo del sistema desde el punto de vista de la sostenibilidad. Cada categoría esta formada por **Elementos** (agua, suelo, flora, fauna y aire); estos elementos tienen características significativas que son los **Descriptor**s (calidad, cantidad, disponibilidad del elemento agua, erosión, materia orgánica entre otras). Por último se definen los **Indicadores** que son la medida de la operación del sistema sobre el descriptor. Los indicadores son la expresión numérica del descriptor de sostenibilidad

(Córdoba 2002). Estos indicadores de sostenibilidad pueden ser variables, parámetros e índices (Villegas 1995).

2.7.2. Indicadores físico-químicos

En cualquier estudio de calidad del agua se deben seleccionar los indicadores en función de los usos actuales y potenciales del agua en la cuenca. Entre los indicadores físico-químicos que evalúan el estado de los cursos de agua podemos mencionar:

Oxígeno disuelto: este es esencial para el mantenimiento de lagos y ríos saludables, pues la presencia de oxígeno es una señal positiva de vida acuática, mientras que su ausencia indica una fuerte contaminación (Mitchell *et al.* 1991). El oxígeno disuelto es muy importante porque es requerido por muchos microorganismos y peces en los cuerpos de agua. Su contenido cambia continuamente por variaciones en la temperatura del ambiente, por el movimiento del agua, procesos fotosintéticos, entre otros factores (Malina 1996).

Potencial de hidrógeno (pH): este parámetro indica la acidez o basicidad del agua y se define como el logaritmo natural negativo de la concentración de iones hidrógeno. Su valor tiene un rango entre 0 y 14, el agua pura es neutra con un valor de pH igual a 7. Los valores de pH en aguas naturales oscilan entre 5 y 8.5, mientras que los valores ácidos (menores a 7) son típicos de aguas con alto contenido de dióxido de carbono y ácidos húmicos. Las aguas cuyo valor de pH es mayor a 7 presentan alto contenido de bicarbonatos. Se tiene que las aguas pluviales causan variaciones marcadas en el pH, así como las descargas provenientes de fuentes ácidas o alcalinas (McCutcheon *et al.* 1992). Para Seoáñez (1999) el pH es la concentración de iones de hidrógeno en el agua. Los cambios en el valor de pH en el agua son importantes para muchos organismos, la mayoría de ellos se han adaptado a la vida en el agua con un nivel de pH específico y pueden morir si este es cambiado aunque sea un poco (Mitchell *et al.* 1991).

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅): constituye uno de los indicadores más ampliamente utilizados en los análisis de calidad del agua, es una medida de la cantidad de oxígeno usado por poblaciones microbianas del agua en respuesta a la introducción de material orgánico degradable (Malina 1996). Se refiere a la cantidad de oxígeno requerida para la oxidación aeróbica biológica de los sólidos orgánicos del agua (MINSAs 2002). La materia orgánica se alimenta por las bacterias aeróbicas que requieren oxígeno, en este

proceso la materia es degradada y oxidada (Mitchell *et al.* 1991). Esto provoca cambios en la vida acuática, pues mucho del oxígeno disuelto libre se consume por la bacteria aeróbica, robando a otros organismos acuáticos el oxígeno disuelto que necesitan para poder vivir, así organismos que son más tolerantes a niveles bajos de oxígeno disuelto pueden aparecer y hacerse más numerosos, tal como la carpa, la larva jején y las lombrices de drenaje (Mitchell *et al.* 1991).

Temperatura: Mitchell *et al.* (1991) manifiestan que la temperatura en un río es de suma importancia, debido a que muchas veces influye en las características físicas, biológicas y químicas del mismo, por lo que la cantidad de oxígeno disuelto en el agua, la velocidad de fotosíntesis de algas y plantas acuáticas, la velocidad metabólica de organismos y la sensibilidad de organismos a desechos tóxicos, parásitos y enfermedades es afectada.

Fosfatos: se refiere al fosfato orgánico e inorgánico. El fosfato orgánico está presente en las plantas y los animales. Tanto el fosfato orgánico como el inorgánico son los responsables de la presencia de algas y plantas acuáticas grandes. El exceso de fosfatos ocasiona el florecimiento de algas, iniciándose así el proceso de eutrofización, que no es más que un enriquecimiento del agua, comúnmente producida por fosfato proveniente de actividades humanas (Mitchell *et al.* 1991).

Nitratos: se derivan a partir de aguas residuales descargadas directamente y de sistemas sépticos en mal funcionamiento. Estos sistemas sépticos muchas veces son ubicados junto a pozos de agua, pudiendo contaminar el agua subterránea con nitratos (Mitchell *et al.* 1991). Igualmente se han encontrado altos niveles de nitratos en aguas subterráneas debajo de las tierras de cultivo, en las cuales el uso excesivo de fertilizantes pareciera ser la causa, especialmente en áreas de alta irrigación con suelos arenosos (Agrawal *et al.* 1997).

Turbiedad: se da por la presencia de sólidos suspendidos en el agua que reducen la transmisión de luz (Mitchell *et al.* 1991). Existe una variedad de sólidos suspendidos, entre ellos tenemos las arcillas, limos, materia orgánica y plancton y hasta desechos industriales y de drenaje (Seoáñez 1999). Cuando se presentan niveles altos de turbiedad, el agua pierde la habilidad de apoyar la diversidad de organismos acuáticos, las aguas se hacen más calientes al sostener partículas que absorben el calor de la luz solar y el agua caliente conserva menos oxígeno que el agua fría, lo que origina que al entrar menos luz

disminuye la fotosíntesis necesaria para producir más oxígeno. Otro fenómeno asociado a turbiedad es el hecho de que los sólidos suspendidos obstruyen las agallas de los peces, reducen los rangos de crecimiento y disminuye la resistencia a las enfermedades, al igual que previene el desarrollo de huevos y larvas (Mitchell *et al.* 1991).

Sólidos totales: consiste en una medida de las sales disueltas en una muestra de agua después de remover los sólidos suspendidos; también se define como la cantidad de residuos remanentes después que la evaporación del agua ocurre (Malina 1996). Los sólidos totales incluyen a los sólidos disueltos y a los sólidos suspendidos. Los materiales disueltos u orgánicos lo constituyen el calcio, bicarbonato, nitrógeno, fósforo, hierro, sulfato y otros átomos encontrados en el agua. Los sólidos suspendidos lo forman las partículas de sedimentos y barro de las corrientes de tierra, plancton, desecho industrial y de drenaje. La alta concentración de sólidos totales origina una baja calidad del agua y problemas de balance del agua para algunos organismos individuales. Cuando hay una baja concentración puede limitar el crecimiento de la vida acuática o restringir la existencia de ciertos organismos (Mitchell *et al.* 1991). Bruvold *et al.* citado por la OPS (1987) han clasificado el sabor del agua potable como excelente cuando el contenido de sólidos disueltos es menor a 300 mg/l. Aunque no se han registrados efectos nocivos por arriba de 1000 mg/l, se recomienda no exceder este valor guía.

2.7.3. Indicadores bacteriológicos

Seoáñez (1999) señala que los análisis bacteriológicos reflejan la presencia de bacterias que alteran y modifican las condiciones del agua para un uso determinado.

Coliformes fecales: comprende todos los bacilos Gram-negativos, aeróbicos o anaeróbicos facultativos no esporulados que: a) en la técnica de filtración por membrana, produzcan colonias de color azul dentro de 24 ± 2 horas cuando se incuban en un medio de cultivo específico para coliformes fecales a 44.5 ± 0.2 °C; b) en la técnica de tubos múltiples, pueden fermentar la lactosa con formación de gas a 44.5 ± 0.2 °C dentro de 24 ± 2 horas (MINSa 2002). Esta bacteria se encuentra en el excremento humano y de otros animales de sangre caliente entrando al sistema por medio de desecho directo de mamíferos y aves, entre otros (Mitchell *et al.* 1991). Igualmente se puede encontrar en aguas provenientes de efluentes industriales, materiales vegetales en descomposición y suelos (OMS 1998).

Coliformes totales: formadas por bacterias Gram-negativas, bastantes heterogéneas. Incluye bacterias fermentadoras de la lactosa como: *Enterobacter cloacae* y *Citrobacter freundii*, que pueden estar en heces como en el medio ambiente (aguas ricas en nutrientes, suelo, material vegetal en descomposición); en este grupo hay otras especies, que raramente o nunca se encuentran en las heces y multiplicarse en aguas potables de una calidad relativamente buena. En los suministros de agua para consumo humano no deben estar presentes bacterias coliformes y si las hay es un indicativo de tratamiento insuficiente, contaminación posterior al tratamiento o presencia excesiva de nutrientes. En este sentido el análisis de coliformes se puede utilizar como indicador tanto de la eficiencia del tratamiento como de la integridad del sistema de distribución (OMS 1998).

2.8. La calidad bacteriológica del agua potable

La contaminación directa o indirecta representa el peligro más común y más difundido en lo que concierne al agua potable, debido al efecto de las aguas servidas, otros desechos o de la excreta del hombre o de los animales. Cuando la contaminación es reciente y entre los factores que contribuyeron a ella se encuentran agentes portadores de enfermedades entéricas transmisibles, es posible que estén presentes algunos de los organismos vivos causales de las mismas. Resulta entonces que beber agua así contaminada, o emplearla en la preparación de determinados alimentos, puede producir un número elevado de casos de infección (OPS 1987).

2.8.1. Bacterias patógenas transmitidas por el agua

La contaminación fecal del agua potable puede darse debido a una variedad de organismos patógenos intestinales-bacterianos, virales y parasitarios cuya presencia está relacionada con enfermedades y portadores de tipo microbiano que pueden existir en determinado momento en la comunidad. Las bacterias patógenas intestinales se encuentran diseminadas en todo el planeta, entre las detectadas en agua potable contaminada se incluyen: *Salmonella*, *Shigella*, *Escherichia coli enteroxigena*, *Vibrio cholerae*, *Yersinia enterocolitica* y *Campylobacter fetus*. Todos estos organismos pueden ser causantes de enfermedades cuyo nivel de gravedad va desde una ligera gastroenteritis hasta casos graves y a veces fatales de disentería, cólera o tifoidea (OPS 1987).

La OPS (1987) indica que si el agua potable que usan las personas (para bañarse o beber) cuyos mecanismos de defensa naturales, locales o generales, se hallan disminuidos tal es el caso de personas de edad muy avanzada, de muy corta edad y de pacientes hospitalizados por quemaduras, o sometidos a terapia inmunosupresiva contiene gran cantidad de organismos como *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Acinetobacter*, *Klebsiella* y *Serratia*, estos pueden producir una serie de infecciones que afectan a la piel y las membranas mucosas de los ojos, oídos, nariz y garganta.

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

Dentro del proceso de monitoreo de la calidad de los cuerpos de agua Gilbert (1987) divide los estudios sobre contaminación ambiental en dos grandes áreas:

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

2. Investigación: se da cuando los datos de campo y laboratorio pueden ser colectados para estudios de transporte de contaminantes por medio de redes alimenticias y el ambiente hasta el ser humano. Igualmente cuando se determina y cuantifica la relación causa-efecto que controla los niveles de contaminación en el tiempo y espacio en un cuerpo de agua.

La ubicación de los sitios o estaciones de muestreo es un factor determinante en la validez de la información recolectada. Se pueden definir tres niveles en el proceso de selección de las estaciones de muestreo y punto de colecta: 1) macrolocalización de tramos del río que son representativos de la calidad de toda la cuenca; 2) la microlocalización que implica la ubicación del tramo precedente, de la estación de muestreo; 3) selección final del punto o puntos de toma de muestra, que dan el valor representativo del área monitoreada (Gilbert 1987).

Así mismo, en otros casos los sitios de muestreo se pueden definir de acuerdo al objetivo general que se persigue o la cuenca estudiada. Este criterio se basa en el aporte de los diferentes tributarios, población asentada en su área de influencia, de la relevancia socioeconómica y política. Este enfoque contempla la distribución de los recursos disponibles, capacidad instalada de los laboratorios y presupuesto asignado (Carrizo 1999).

2.10. Niveles de contaminación del agua en la microcuenca Los Hules-Tinajones

En la microcuenca Los Hules-Tinajones existe contaminación del agua por nutrientes, materia orgánica y coliformes fecales, provenientes de aguas residuales de zonas residenciales, lecherías, granjas avícolas, granjas porcinas, basureros y suelos erosionados. En julio de 2002, los sectores geográficos más preocupantes desde el punto de vista de contaminación de aguas están en la parte baja de los ríos Los Hules y Tinajones, aunque existen bastantes fuentes de contaminación bacteriológica en la parte media y alta de la microcuenca (CICH 2002). Niveles de nitratos y oxígeno disuelto se muestran en el Cuadro 3. Igualmente para coliformes fecales y coliformes totales en el Cuadro 4.

Cuadro 3. Niveles de nitratos y oxígeno disuelto, julio de 2002

Sitio	Código	Nitratos (mg/l)	OD (mg/l)
Los Hules	H-1	0.12	7.1
Los Hules (Puente a Arenosa)	H-2	0.17	5.9
Los Hules (Puente al N de Cerro Cama)	H-3	0.16	6.2
Los Hules (Bocana)	H-4	0.13	4.4
Los Tinajones (La Colorada)	T-1	0.15	7.0
Los Tinajones (Puente camino a Mendoza)	T-2	0.10	8.3
Los Tinajones (Bocana)	T-3	0.22	4.3
Lago Gatún (La Represa)	LG-1	0.13	6.0

Fuente: Datos de ACP, IRG-CICH, 2002.

Cuadro 4. Contenido bacteriológico, julio de 2002

Sitio	Código	Coliformes fecales (NMP/100 ml)	Coliformes totales (NMP/100 ml)
Los Hules	H-1	600	1,900
Los Hules (Puente a Arenosa)	H-2	600	3,300
Los Hules (Puente al N de Cerro Cama)	H-3	800	1,800
Los Hules (Bocana)	H-4	400	3,800
Los Tinajones (La Colorada)	T-1	200	2,200
Los Tinajones (Puente camino a Mendoza)	T-2	200	900
Los Tinajones (Bocana)	T-3	1,800	3,400
Lago Gatún (La Represa)	LG-1	0	200

Fuente: Datos de ACP, IRG-CICH, 2002.

2.11. Normas para aguas residuales en Panamá

En el problema de la contaminación del agua, los ríos son considerados como los cuerpos receptores naturales de las aguas residuales con su correspondiente carga de contaminantes y nutrientes. Por esta razón las cargas o concentración de contaminantes y nutrientes, constituyen el objeto de la regulación, por medio de leyes, decretos y normas, que permiten establecer la calidad apropiada del agua con la finalidad de que pueda ser aprovechada en los diferentes usos aplicables (Romero 1999).

El objetivo básico del tratamiento de aguas residuales es el de garantizar la salud y promover el bienestar de los individuos miembros de la sociedad. El vertido de aguas residuales a ríos o lagos, convierte a los habitantes de una región en usuarios directos e indirectos de estas. Esto hace que a medida que crece la población, aumente la necesidad de proveer sistemas de tratamientos o renovación que permitan eliminar los riesgos para la salud y minimizar los daños ambientales. En este sentido la prevención de la contaminación del agua y del suelo sólo es posible si se definen técnicas adecuadas de tratamiento y disposición de las aguas residuales. Sin embargo, es muy difícil que un programa de control tenga éxito si no se cuenta con los recursos financieros para su implementación, operación y mantenimiento permanente (Romero 1999).

El Ministerio de Salud de Panamá establece dentro del reglamento técnico de normas para aguas residuales, que la contaminación hídrica es la acción y el efecto de introducir materias o diversas formas de energía, o inducir condiciones en los cuerpos de agua, de forma directa o indirecta, que impliquen una alteración perjudicial en su calidad en relación a los usos que se le da y incluyendo la contaminación del entorno vinculado con el recurso agua (MINSa 2000).

Así mismo, el Código Sanitario en su artículo 205, prohíbe descargar directa o indirectamente los desagües de aguas usadas, sean de alcantarillados o de fábricas y otros, en ríos, lagos, acequias o cualquier curso de agua que pueda ser aprovechado para uso doméstico, agrícola o industrial, recreación y balnearios públicos, a menos que sean tratadas por métodos que las hagan inocuas, a juicio de la Dirección de Salud Pública (MINSa 2000).

El reglamento técnico de normas para aguas residuales establece los límites máximos permisibles que deben tener los vertidos de efluentes líquidos provenientes de actividades domésticas, comerciales e industriales, descargados a cuerpos y masas de aguas superficiales y subterráneas, en conformidad a las disposiciones legales vigentes en Panamá. Este reglamento permite proteger la salud de la población, el ambiente, y preservar los recursos hídricos, tanto superficiales como subterráneos, de la contaminación de origen antrópico (MINSa 2000).

La Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM) establece los parámetros que deben ser analizados para que los efluentes líquidos provenientes de la cría de ganado porcino puedan ser descargados a un cuerpo de agua receptor. Se tomó como base el listado de parámetros contaminantes significativos en cada tipo de industria según la Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las Actividades Económicas (CIIU) (ANAM 2002 a). En el Cuadro 5 tenemos los límites máximos permisibles establecidos por el MINSa para los parámetros que deben ser analizados en los efluentes líquidos de las granjas porcinas antes de ser descargados a un cuerpo de agua.

Cuadro 5. Valores máximos permisibles para las descargas de efluentes líquidos de granjas porcinas a cuerpos receptores

Parámetros	Unidad	Expresión	Lim. máx. permitido
Potencial de hidrógeno	Unidad	pH	5.5 – 9.0
Sólidos suspendidos	mg/l	SS	35
Sólidos totales	mg/l	ST	500
Turbiedad	NTU	NTU	30
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	DBO ₅	35
Demanda química de oxígeno	mg O ₂ /l	DQO	100
Demanda química de oxígeno/demanda bioquímica de oxígeno		DQO/ DBO ₅	1.25 – 2.5
Fósforo total	mg/l	P	5
Cloro residual	mg/l	Cl	1.5
Conductividad	µmhos/cm		2000
Nitratos	mg/l	NO ₃	6
Coliformes fecales	NMP/100 ml	CF	0
Coliformes totales	NMP/100 ml	CT	1000
Nitrógeno orgánico total	mg/l	N	10
Nitrógeno amoniacal	mg/l	NH ₃ -N	3

Los resultados de los análisis de las aguas residuales de la granja porcina Blue Ribbon Products, S.A. se presentan en el Cuadro 6. Los análisis fueron solicitados por la empresa consultora The Louis Berger Group Inc. y realizados en el Instituto Especializado de Análisis (IEA) de la Universidad de Panamá en junio de 2002 (ANAM 2002 b).

Cuadro 6. Resultados de análisis de aguas residuales de Blue Ribbon Products, S.A.

Parámetros	Unidades	Cantidad
Coliformes fecales	UFC/100 ml	>10 ⁶
Coliformes totales	UFC/100 ml	>10 ⁶
Potencial de hidrógeno	pH	8.0
Turbiedad	NTU	224.0
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	48.0
Demanda química de oxígeno	mg/l	624.0
Conductividad	µmhos/cm	1247.0
Fósforo	mg/l	1.5
Cloruros	mg/l	136.0
Nitratos	mg/l	0.0
Nitrógeno total	mg/l	385.0
Nitrógeno amoniacal	mg/l	60.0
Sólidos suspendidos	mg/l	1316.0
Sólidos totales	mg/l	2980.0

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización del área de estudio

La microcuenca Los Hules-Tinajones se encuentra ubicada geográficamente dentro de la cuenca del Canal, entre las siguientes coordenadas: 79° 52' 13.8" a 79° 57' 17.22" de Longitud Oeste y 8° 55' 28" a 9° 04' 44" de Latitud Norte (Figura 1). Administrativamente el área de estudio comprende los corregimientos de Amador, Iturralde, Arosemena, Mendoza y Hurtado, pertenecientes al distrito de La Chorrera, provincia de Panamá. La microcuenca inicia en la Loma La Divisa a 220 msnm y termina hasta desembocar en el lago Gatún a 32 mmsm, muy cerca del poblado de Tinajones Abajo.

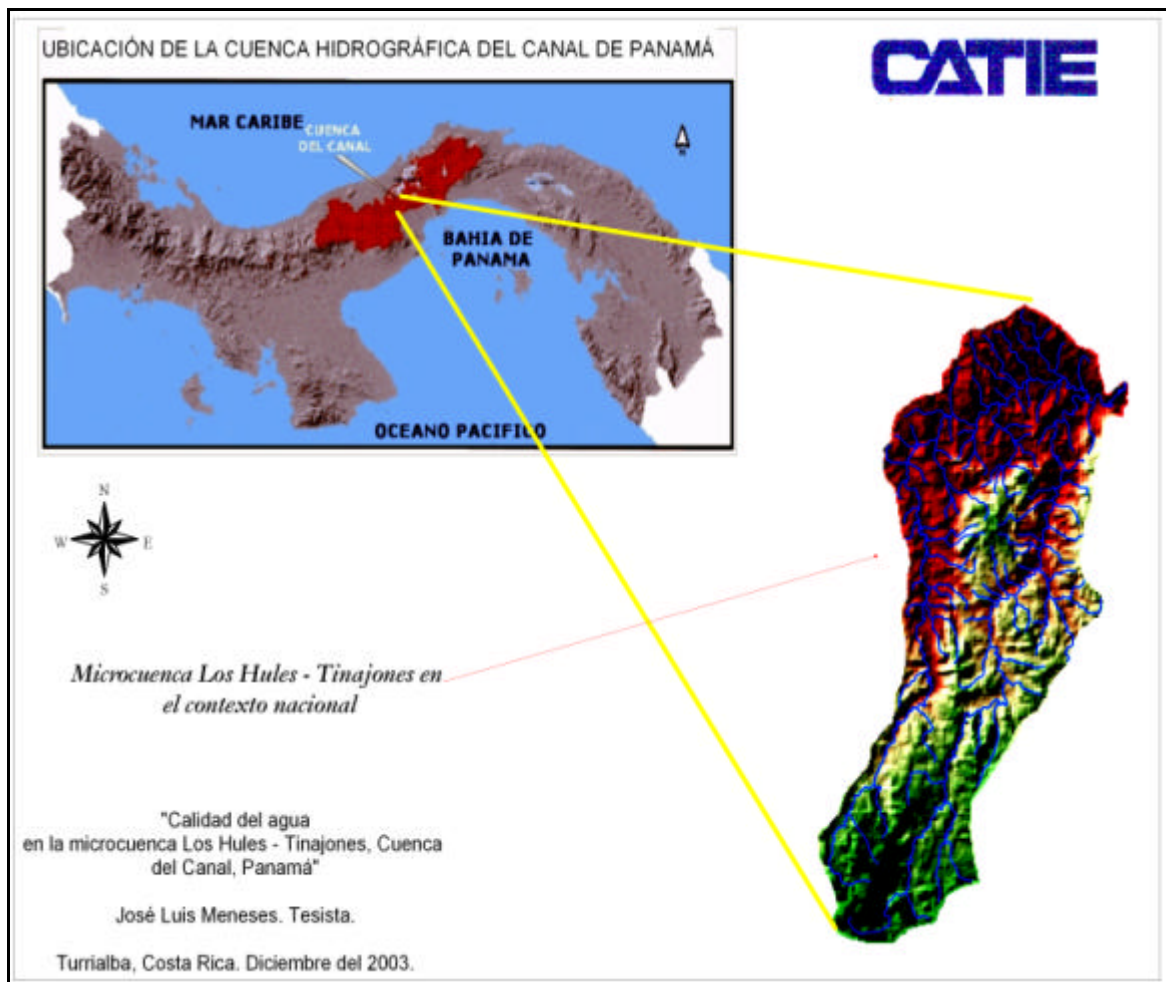


Figura 1. Mapa de ubicación de la microcuenca Los Hules-Tinajones

3.2. Características generales del área de estudio

3.2.1. Red hídrica

La red hídrica de la microcuenca en estudio la constituye el río Los Hules, siendo su principal afluente el río Tinajones, el cual tiene un recorrido casi paralelo al río principal, estos ríos se unen en la comunidad de Tinajones Abajo (Figura 2).

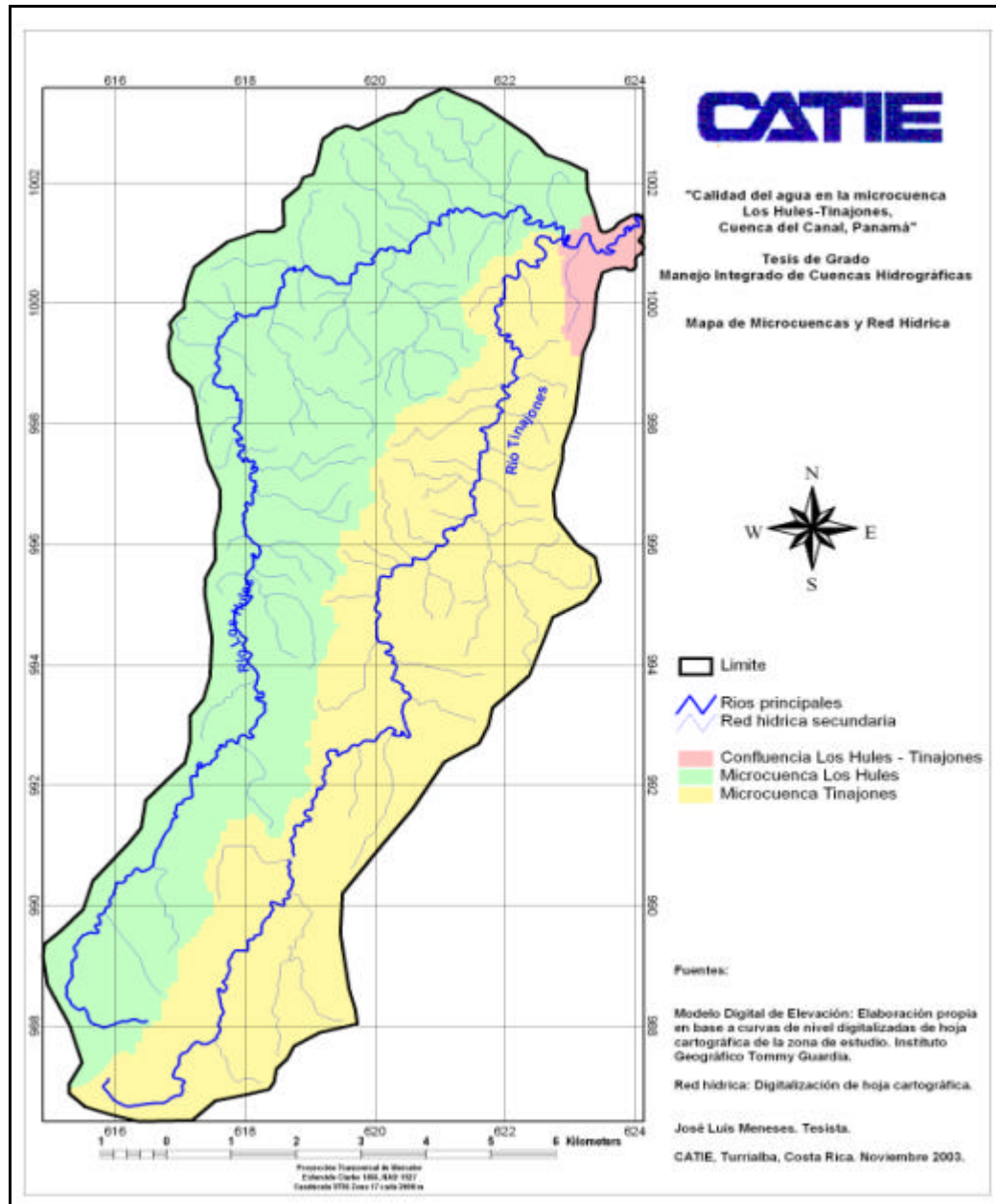


Figura 2. Mapa de la red hídrica de la microcuenca Los Hules-Tinajones

La densidad de drenaje es de 2.15 km/km² y cuenta con una superficie de captación de aproximadamente de 80.33 km². El río Los Hules tiene un recorrido de 27.22 km, el Tinajones de 24.93 km, la confluencia hasta llegar al lago Gatún de 2.46 km y los afluentes secundarios suman 117.17 km de longitud. El área de drenaje del río Los Hules es de 4223 ha, la de Tinajones es de 3670 ha y el área de la confluencia de ambos hasta el lago Gatún es de 140 ha. Para agosto de 2003 el río Los Hules presentó un caudal de 1.33 m³ s⁻¹, el Tinajones de 0.87 m³ s⁻¹ y la confluencia de ambos de 2.31 87 m³ s⁻¹.

3.2.2. Clima

La temperatura media anual es de 29 °C y la precipitación promedio anual es 2200 mm. Las áreas que generalmente reciben la mayor precipitación pluvial pertenecen a los pisos altitudinales húmedo y perhúmedo según las zonas de vida de Holdrige (Condit 1998). La humedad relativa anual es de 74% en promedio.

3.2.3. Tipos de suelos

Heckadon *et al.* (1986) señalan que el 60% de los suelos en cuenca del Canal son de vocación forestal. Predominan los suelos de origen *Ultisol*, sometidos a intensas precipitaciones y gran lavado de cationes intercambiables. Estos suelos pardo-rojizos, son muy susceptibles a la erosión por deslizamientos y remoción en masa, baja fertilidad, bajo contenido de materia orgánica y baja capacidad de intercambio catiónico.

3.2.4. Uso actual del suelo

En la microcuenca Los Hules-Tinajones, los suelos destinados a la actividad ganadera ocupan el 58% de la superficie, los matorrales representan el 30% y los pocos remanentes de bosques existentes cubren el 9% de la superficie. En la mayoría de las fincas los bosques han sido talados hasta la orilla de los ríos y quebradas, por lo tanto los bosques ribereños son escasos y muy alterados (CICH 2002). El resto de la superficie de la microcuenca esta destinada a la producción de cultivos como la piña, sandía, arroz, maíz y existen parcelas dedicadas a la reforestación con teca. Además, existen granjas avícolas y una porcina.

3.2.5. Topografía

El área de estudio se caracteriza por tener cerros con una altura máxima de 220 msnm, ubicados en la comunidad de Divisa, en donde se encuentra la naciente del río Los Hules y Tinajones, en la parte media de la microcuenca encontramos ondulaciones suaves y la

parte baja es casi plana. Esto hace que el 75% de la superficie tenga elevaciones menores a 140 msnm.

3.2.6. Flora y fauna

La flora está compuesta por remanente de bosques secundarios, matorrales, pastos y cultivos. Al igual que la flora, la fauna de la zona es característica de tierras bajas, con algunos elementos de tierras altas; la composición faunística está representada por especies del norte, centro y sur del continente. Así tenemos invertebrados terrestres, invertebrados acuáticos, peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos (ANCON 1995).

3.2.7. Demografía

Según el censo de población y vivienda de 2000, el número de personas existente en la microcuenca era de 2569, compuesta por 1210 mujeres y 1359 hombres (Contraloría General de la República de Panamá 2000). La densidad de la población es de 32 habitantes por km². Esta es una densidad muy baja al compararla con las áreas más pobladas de la cuenca del Canal, como son las subcuencas de Chilibre (387.5 hab/ km²) y Chilibrillo (417.7 hab/ km²). El 39.4% de la población cuenta con menos de 15 años, mientras que sólo el 5% sobrepasa los 65 años. El resto de la población (55.6%) se encuentra comprendida entre estas edades (15-64 años) que se consideran las de mayor producción en los seres humanos.

3.2.8. Actividades económicas

Las actividades económicas que predominan en orden de importancia son: la ganadería, la producción de aves de engorde, la producción de cerdos y el cultivo de piña. La mayor parte de la población económicamente activa son jornaleros, los cuales trabajan en las fincas y en las agroindustrias. El ingreso económico que perciben estas personas es relativamente bajo, monto que no supera los US\$ 200.00 mensuales (CICH 2002).

3.3. *Recolección de datos*

En esta investigación la recolección de datos se obtuvo de fuentes secundarias y se generaron datos primarios.

3.3.1. Aspectos metodológicos para la recolección de datos de fuentes secundaria

Se revisó y recopiló información secundaria relevante de la microcuenca, existente en la Comisión Interinstitucional de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá (CICH), la Autoridad del Canal de Panamá (ACP), el Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA) y

la Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM). La información recopilada esta basada en el manejo del recurso hídrico, niveles y fuentes de contaminación, mapas de uso actual de los suelos, topografía, división política, hidrografía, tipos de suelo, red vial, sistemas de agua potable y sitios de muestreo de aguas ubicados por la ACP. En la biblioteca de la Contraloría General de la República se consultó información de población y vivienda, como también de actividades productivas.

3.3.2. Aspectos metodológicos para la recolección de datos primarios

Objetivo 1. Analizar indicadores y niveles de contaminación del agua en la microcuenca Los Hules-Tinajones

En el presente estudio desarrollado se analizaron indicadores convencionales de calidad del agua para consumo humano entre los que tenemos: oxígeno disuelto, coliformes fecales, potencial de hidrógeno, demanda bioquímica de oxígeno, nitratos, fosfatos, temperatura, turbiedad y sólidos totales. Además, se determinó el contenido de coliformes totales y se identificó las bacterias presentes en las muestras de agua. La selección de estos indicadores de calidad del agua se hizo en base a la revisión bibliográfica realizada, también se consideró el costo de los análisis de laboratorio.

Para el análisis de los indicadores de calidad del agua se ubicaron estaciones de muestreo representativas dentro de la microcuenca, considerando aspectos como orden del cauce, estacionalidad, representatividad, accesibilidad, uniformidad, referencia de datos previos, fuentes puntuales y no puntuales de contaminación. En esta investigación desarrollada las fuentes puntuales de contaminación son las descargas directas de aguas residuales provenientes de la actividad porcina a un cuerpo de agua receptor. Mientras que la actividad ganadera extensiva, las granjas avícolas y las actividades agrícolas como lo es la producción de piña, son las principales fuentes de contaminación no puntual. En base a estos criterios se ubicaron 11 estaciones de muestreo de agua, las cuales se georeferenciaron empleado un GPS modelo Garmin (Figura 3).

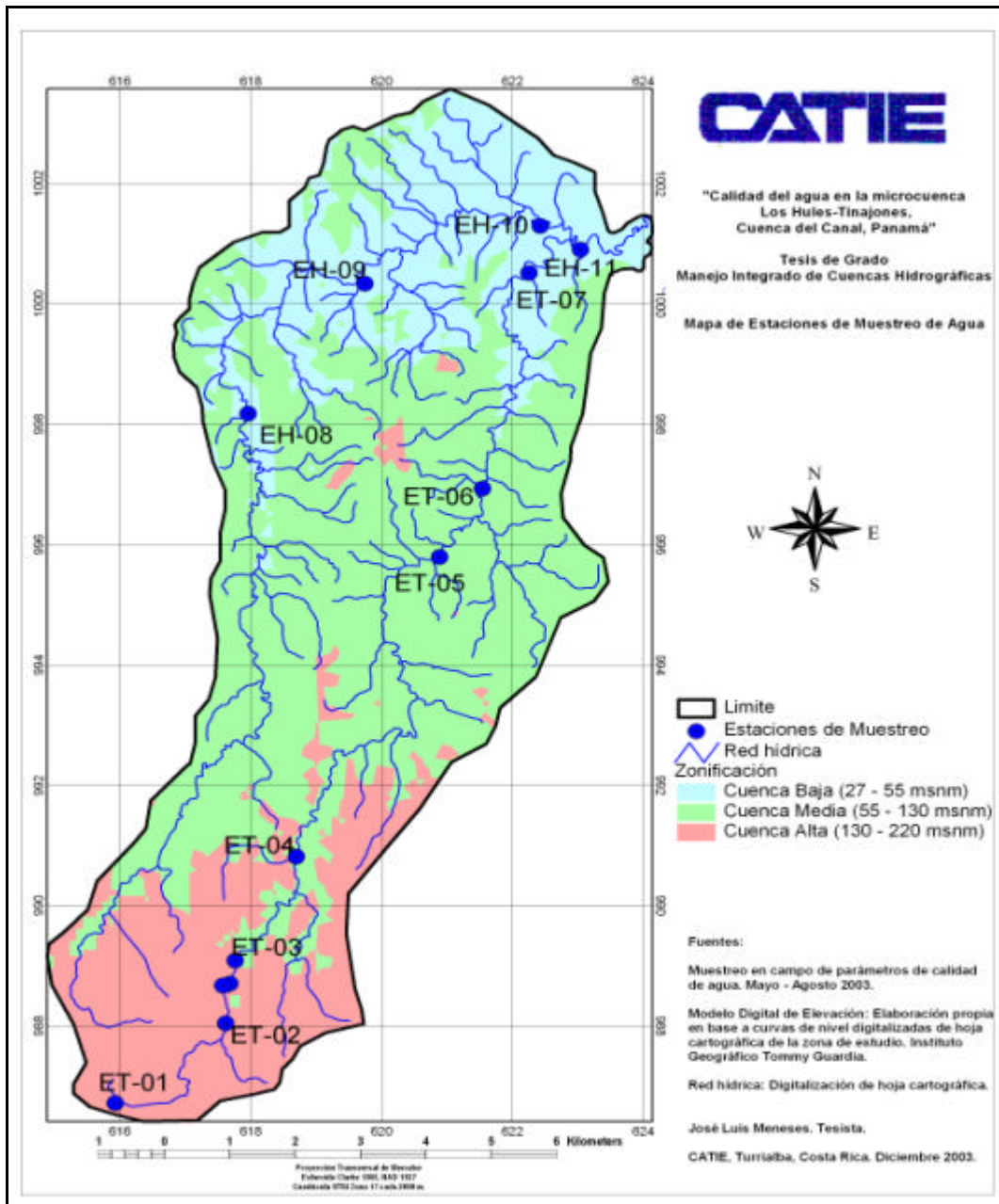


Figura 3. Mapa de estaciones de muestreo de agua

Para facilitar el acceso a las estaciones de muestreo de agua se presenta una descripción de cada una, el código asignado y algunos aspectos relevantes de las mismas. En el Cuadro 7 se indica la ubicación de las diferentes estaciones, el código asignado y las coordenadas.

Cuadro 7. Localización de las estaciones de muestreo de agua

Lugar	Código	Coordenadas UTM	
		Este	Norte
1. Río Tinajones-Naciente	ET-01	615927	986713
2. Río Tinajones-Puente sobre quebrada Caño Quebrado	ET-02	617618	988045
3. Río Tinajones-Área de influencia de Blue Ribbon Products, S.A.	ET-03	617760	989086
4. Río Tinajones-Puente antes de La Colorada	ET-04	618697	990813
5. Río Tinajones-Captación Acueducto Cerro Cama	ET-05	620885	995788
6. Río Tinajones-Puente camino a Mendoza	ET-06	621538	996924
7. Río Tinajones-Antes de la confluencia con el río Los Hules	ET-07	622253	1000505
8. Río Los Hules-Puente carretera a Arenosa	EH-08	617961	998172
9. Río Los Hules-Puente camino a Las Pavas	EH-09	619746	1000327
10. Río Los Hules-Finca Hermanos Victoria	EH-10	622422	1001291
11. Río Los Hules-Después de desembocadura río Tinajones	EH-11	623038	1000898

Estación río Tinajones-Naciente (ET-01): ubicada en la Loma La Divisa cerca de la comunidad de Divisa, es la segunda naciente más importante de la microcuenca Los Hules-Tinajones. Esta naciente se encuentra deforestada, es un área utilizada para la actividad ganadera extensiva, en donde los animales pastorean libremente y depositan sus deyecciones sobre las pequeñas corrientes de agua existentes, dando lugar a la contaminación orgánica. Para finales del mes de abril esta naciente no presenta flujo superficial, apareciendo el mismo aproximadamente 250 metros aguas abajo.

Estación río Tinajones-Puente sobre quebrada Caño Quebrado (ET-02): esta estación de muestreo de agua se encuentra en el camino que conduce al principal poblado del corregimiento de Arosemena, antes de la entrada de la empresa Blue Ribbon Products, S.A. Para efecto de la investigación se tomó como el punto antes del área de influencia de la granja porcina, siguiendo las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Es importante mencionar que este sector del río Tinajones se conoce como quebrada Caño Quebrado, 200 metros aguas arriba de esta estación se encuentra la confluencia de la quebrada El Amargo.

Estación río Tinajones-Área de influencia de Blue Ribbon Products, S.A. (ET-03): para llegar a esta estación de muestreo de agua se debe tomar el camino de piedra que conduce hacia el corregimiento de Arosemena, a 405 m de la carretera de asfalto que va de El Espino a la comunidad de Cerro Cama se encuentra la entrada hacia este sitio. Desde esta entrada hay que realizar un recorrido de 2.24 km por camino de tierra (el cual es conocido como Callejón H. Almanza) para llegar a dicha estación. Esta estación de

muestreo de agua se ubicó a 460 m aguas abajo de las lagunas de estabilización de la empresa Blue Ribbon Products, S. A., ya que es el punto con mejores condiciones de accesibilidad al área de influencia de esta granja porcina. Es importante mencionar que el acceso a un punto más cercano a las lagunas presenta el inconveniente de que las visitas a esta empresa son restringidas por los niveles de bioseguridad que manejan. En este sitio las márgenes del río Tinajones se encuentran bordeadas por vegetación secundaria.

Estación río Tinajones-Puente antes de La Colorada (ET-04): este puente se encuentra ubicado en la carretera de asfalto que conduce de El Espino a Cerro Cama, a 2.2 km antes de la escuela primaria de la comunidad de La Colorada. Este sitio es utilizado como basurero clandestino por los moradores de las comunidades aledañas. En verano es usado como balneario improvisado por la población joven del área. Este punto coincide con la estación de muestreo de agua T-1, ubicada por IRG-CICH en el 2002 (Plan de Acción para las subcuencas de los ríos Los Hules-Tinajones y Caño Quebrado).

Estación río Tinajones-Captación acueducto Cerro Cama (ET-05): esta estación de muestreo de agua se ubica en la comunidad de Tinajones Arriba, dentro del área de captación del acueducto de Cerro Cama. En este punto se encuentra instalada una turbina eléctrica que bombea el agua cruda hasta los reservorios, en donde es tratada antes de entrar a la red de distribución de agua potable de la comunidad. Aproximadamente 50 m aguas arriba de este punto hay un abrevadero para ganado bovino en donde los animales depositan sus deyecciones en las corrientes de aguas.

Estación río Tinajones-Puente camino a Mendoza (ET-06): esta estación de muestreo de agua se encuentra localizada en el puente que esta sobre el camino de piedra que va de Cerro Cama hacia el principal poblado del corregimiento de Mendoza. Durante la estación lluviosa en los drenajes que descargan a este puente se observa la presencia de gran cantidad de sedimentos provenientes de los taludes mal construidos a ambos lados del camino los cuales tienen ángulos de 90°. Es importante mencionar que el área alrededor de este sitio es utilizada para la actividad ganadera extensiva, en donde hay un pastoreo excesivo en los potreros. Este sitio coincide con la estación de muestreo de agua T-2, ubicada por IRG-CICH en el 2002.

Estación río Tinajones-Antes de la confluencia con el río Los Hules (ET-07): corresponde al punto más bajo estudiado del río Tinajones, ubicado en la comunidad de Tinajones Abajo. En el mismo sus moradores realizan diversas actividades en época de verano como lavar ropa y bañarse. Alrededor este sitio existen pequeñas parcelas agrícolas dedicadas a la producción de granos básicos como lo son arroz y maíz. Para la estación lluviosa las letrinas de algunas casas que se encuentran alrededor de esta estación se desbordan al subir el nivel freático, lo que provoca que las heces humanas sean transportadas hasta el cauce del río Tinajones.

Estación río Los Hules-Puente carretera a la Arenosa (EH-08): esta estación de muestreo de agua se encuentra localizada en el puente que esta sobre la carretera de asfalto que conduce de Cerro Cama a Arenosa, a 2.3 km de la terminal de buses de Cerro Cama. Este sitio es utilizado como basurero clandestino por los moradores de la comunidad de Los Hules. En las márgenes de este sector del río Los Hules hay vegetación secundaria. Este punto coincide con la estación de muestreo de agua H2, ubicada por IRG-CICH en el 2002.

Estación río Los Hules-Puente camino a Las Pavas (EH-09): este punto de muestreo de agua se encuentra ubicado en Los Hules Abajo, en el puente que esta sobre el camino de piedra que va de la comunidad de Cerro Cama a Las Pavas, a 2.6 km de la iglesia católica de Cerro Cama. Este sitio coincide con la estación de muestreo de agua H3, ubicada por IRG-CICH en el 2002.

Estación río Los Hules-Finca Hermanos Victoria (EH-10): esta estación de muestreo de agua se encuentra localizada dentro de la finca de los Hermanos Victoria, en Los Hules Abajo. La finca se dedica a la producción ganadera extensiva e intensiva, lo que ocasiona que los animales depositen sus deyecciones en forma directa sobre las corrientes de aguas de este sitio. En este sector del río Los Hules se observa la sedimentación de su cauce, lo que origina inundaciones durante la estación lluviosa, afectando la actividad ganadera del área al tener que movilizar los animales hacia los puntos altos.

Estación río Los Hules-Después de la desembocadura del río Tinajones (EH-11): se ubica en la comunidad de Tinajones Abajo, a este lugar se le conoce también con el nombre de El Cutarro. Este punto de muestreo de agua se encuentra a 200 m de la escuela primaria, se caracteriza por ser un embarcadero en donde se observa la presencia de pequeños botes con remos que son utilizados por los dueños de las fincas ganaderas que se encuentran en Los Hules Abajo. Corresponde al punto más bajo tomado para el estudio dentro de la microcuenca Los Hules-Tinajones.

Las 11 estaciones de muestreo de agua se agruparon en cinco sitios o regiones (Figura 4) dentro de la microcuenca tomando en cuenta su posición geográfica, con la finalidad de encontrar diferencias entre sitios. A cada sitio se le asignó un código T1, T2, T3, H1 y HT, quedando conformado cada uno de la siguiente manera T1 (ET-01 y ET-02), T2 (ET-03), T3 (ET-04, ET-05 y ET-06), H1 (EH-08, EH-09 y EH-10) y HT (ET-07 y EH-11). El sitio T1 tiene un área de recarga o influencia de 372 ha, T2 de 106 ha, T3 de 2383 ha, H1 de 4103 ha y HT de 917 ha. Para determinar los cambios en el tiempo se realizó un muestreo por mes durante cuatro meses (de mayo a agosto), se inició el día 01 de mayo y se finalizó el 03 de agosto de 2003; la frecuencia entre muestreo fue de aproximadamente 30 días. Es importante realizar pruebas de calidad del agua en períodos largos para detectar los cambios en un ecosistema.

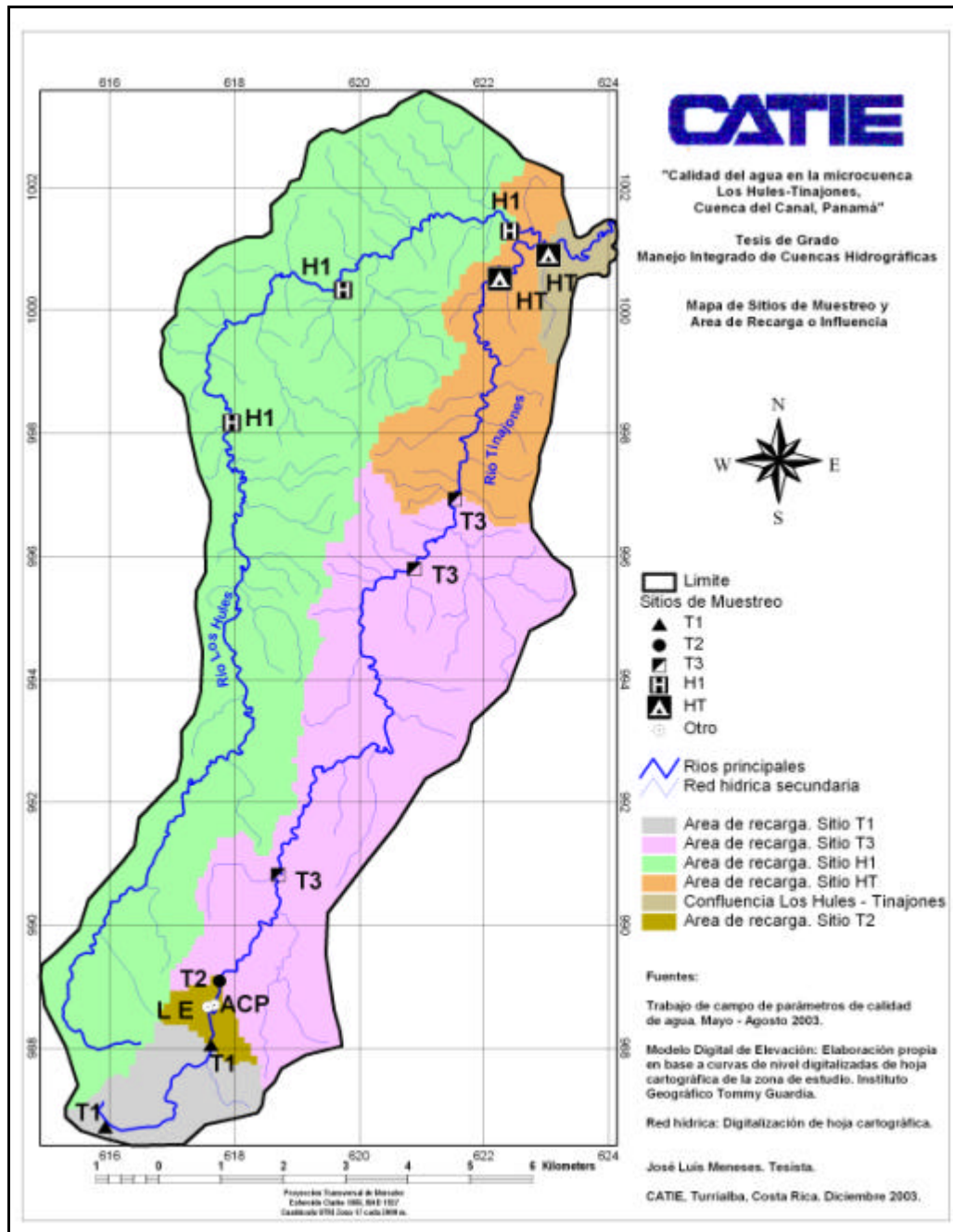


Figura 4. Mapa de sitios de muestreo de agua y área de recarga o influencia

Mediante análisis físico-químicos y bacteriológicos de laboratorios se determinaron los niveles en que se encuentran los indicadores de calidad del agua. En cada estación se tomó una muestra de agua de dos litros en envases plásticos de un litro para el análisis de los parámetros (potencial de hidrógeno, demanda bioquímica de oxígeno, nitratos,

fosfatos, turbiedad y sólidos totales) y para el análisis de oxígeno disuelto se tomó una muestra de agua de 300 ml en una botella de vidrio con tapón esmerilado, la cual se agitaba para eliminar las burbujas de aire dentro de la muestra de agua, una vez desalojadas estas se agregaba un ml de sulfato de manganeso ($Mn SO_4$) y un ml de ácido de sodio ($Na_2 S_2O_8$) para capturar el oxígeno presente en el agua. Las variables físico-químicas se analizaron en el Laboratorio de aguas y servicios físicoquímicos (LASEF) de la Universidad Autónoma de Chiriquí. La temperatura del agua se tomó en campo utilizando un termómetro digital para fluidos. Para los análisis bacteriológicos de cada estación se tomó una muestra de agua de 100 ml, en una bolsita plástica especial que se utiliza para coleccionar muestras en campo. Los análisis bacteriológicos fueron realizados en el Laboratorio AGROLAB, el cual ofrece el servicio de control de calidad en aguas a nivel bacteriológico. Los análisis solicitados se realizaron de acuerdo a los procedimientos del "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19th edición 1995". Todas las muestras de agua se preservaban en una hielera a una temperatura de dos a cuatro °C hasta llegar a los respectivos laboratorios, los cuales se encuentran ubicados en David, provincia de Chiriquí a siete horas del área de estudio. Se escogieron estos laboratorios porque son los que tienen los costos más económicos en los análisis.

Como se definieron cinco sitios dentro de la microcuenca se utilizó una técnica de conglomerados (método de *Ward* y distancia *Euclídea*) para verificar la consistencia de la clasificación de sitios. Las variables analizadas fueron oxígeno disuelto, coliformes fecales, coliformes totales, potencial de hidrógeno, demanda bioquímica de oxígeno, nitratos, fosfatos, temperatura, turbiedad y sólidos totales. Esto permitió determinar cambios en la calidad del agua a lo largo del cauce.

Se determinaron los caudales en metros cúbicos por segundo ($m^3 s^{-1}$) en las estaciones de muestreo cada vez que se coleccionaban las muestras de agua a analizar, con la finalidad de relacionarlos con la calidad del agua y generar datos sobre caudales en esta microcuenca. Se utilizó un correntómetro o molinete de lectura digital tipo Gurley, modelo Price 1100.

Objetivo 2 Determinar el índice de calidad del agua (ICA) como herramienta de monitoreo del recurso hídrico

Los índices tienen un rol importante ya que comúnmente son utilizados como herramientas básicas para el monitoreo de los datos ambientales recolectados. Los datos ambientales monitoreados conllevan una rutina de mediciones de variables físicas, químicas y biológicas mediante las cuales se intenta proveer índices de las condiciones ambientales (Ott 1978).

Para desarrollar este objetivo en cada estación de muestreo se determinó el índice de calidad del agua (ICA). Los cálculos se realizaron empleando primeramente las curvas desarrolladas para encontrar el valor del subíndice "i" de cada parámetro, el cual se obtiene del eje de las ordenadas. Estas curvas relacionan la calidad del agua con respecto a la concentración del indicador o contaminante. El cálculo final se realizó de la siguiente manera:

ICA = Índice de calidad del agua, entre 0 y 100, $\sum_{i=1}^n (Sub\ i) \cdot w_i$ donde:

Sub i = subíndice de la variable o parámetro i (oxígeno disuelto, coliformes fecales, pH, demanda bioquímica de oxígeno, nitratos, fosfatos, temperatura, turbiedad y sólidos totales), obtenido en las curvas de aptitud, oscila entre 0 y 100.

?: Operación multiplicativa

w_i = Peso o importancia ambiental del parámetro i, entre 0 y 1, $\sum_{i=1}^n$

n = número de variables del análisis de contaminación.

Para Canter (1998) y Lobo (2000), el procedimiento propuesto constituye una operación de adición de los subíndices obtenidos para cada uno de los nueve parámetros.

Valor final del índice de calidad del agua = (Sub índice_{oxígeno disuelto}) 0.17 + (Sub índice_{coliformes fecales}) 0.15 + (Sub índice_{potencial de hidrógeno}) 0.12 + (Sub índice_{demanda bioquímica de oxígeno}) 0.10 + (Sub índice_{nitratos}) 0.10 + (Sub índice_{fosfatos}) 0.10 + (Sub índice_{temperatura}) 0.10 + (Sub índice_{turbidez}) 0.08 + (Sub índice_{sólidos totales}) 0.08.

Es importante mencionar que el valor que se obtiene es un índice de carácter general, orientado hacia aguas con potencial para abastecimiento humano, no incorpora el efecto de sustancias de naturaleza tóxica como pesticidas o metales pesados (De Cardoso *et al.* 1993, Canter 1998). Dinius (1972) manifiesta que la transformación de los valores

asumidos por los parámetros en subíndices, se caracteriza por un rango que va de 0 (nivel mínimo de calidad) a 100 (máximo nivel de calidad). Por lo tanto si los resultados de todos los análisis se convierten a un porcentaje de contaminación, el agua es evaluada no sólo en términos que sean fácilmente comprendidos por la mayoría de la gente, sino que se suministra un número (calificación) que puede interactuar algebraicamente con los otros números de cada tipo de análisis de agua. El Cuadro 8 presenta la interpretación del índice de calidad del agua.

Cuadro 8. Calificación usada en el índice de calidad del agua

Calificación	Rango numérico	Color
Muy mala	0-25	Rojo
Mala	26-50	Naranja
Regular	51-70	Amarillo
Buena	71-90	Verde
Excelente	91-100	Azul

Objetivo 3. Relacionar la calidad del agua con el manejo de la actividad porcina

Se realizó un recorrido de campo con el director de la agencia del MIDA de La Chorrera con la finalidad de ubicar las granjas porcinas existentes y determinar su relación con la calidad del agua superficial en la microcuenca Los Hules-Tinajones, debido a que las aguas residuales que generan representan una fuente puntual de contaminación al recurso hídrico. Además, se contó con la colaboración de líderes comunales para esta actividad. En estas giras de campo solamente se identificó una empresa porcina (Blue Ribbon Products, S.A.) dentro de la microcuenca. Para poder tener acceso a esta empresa se solicitó autorización a su junta directiva.

Obtenida la autorización de la junta directiva de la empresa Blue Ribbon Products, S.A., por medio de visitas de campo se realizó un diagnóstico de su sistema de producción, con la finalidad determinar la cantidad de desechos generados y evaluar su potencial de contaminación sobre el recurso hídrico de la microcuenca Los Hules-Tinajones. Los componentes principales de este diagnóstico fueron: datos generales de la finca, manejo de la producción porcina, infraestructura sanitaria, usos del agua, sistemas de

tratamientos utilizados para el manejo de las aguas residuales y aspectos sociales de la empresa.

Para el cálculo de las cantidades de desechos producidos se tomó en cuenta el número de animales existentes en la granja porcina, el consumo de alimento diario, el porcentaje de digestibilidad de los cerdos (30 %), la producción de lisier en base al estado fisiológico del animal y el volumen de agua utilizado por día en las diferentes actividades de manejo.

3.4. Análisis estadísticos de datos

El diseño del estudio fue completamente aleatorizado con estructura factorial de tratamientos. Para cada variable en estudio (parámetros e *ICA*) se realizó un ANDEVA donde el modelo utilizado contempló el efecto tiempo, en este caso los meses (mayo, junio, julio y agosto) y el efecto sitio (distancia o posición de los puntos a lo largo del río) y la interacción sitio*mes. Se utilizó la prueba de LSD *Fisher* para detectar diferencias entre medias. Las variables fueron transformadas en los casos en que no se cumplían los supuestos del ANDEVA.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis de los indicadores y niveles de contaminación del agua en la microcuenca Los Hules-Tinajones

4.1.1. Resultado del análisis de conglomerados

Debido a que se definieron cinco regiones o sitios dentro de la microcuenca, tomando en cuenta la posición geográfica de cada uno de ellos, se verificó la consistencia de esta clasificación respecto a la totalidad de las variables mediante un análisis de conglomerados utilizando el método de *Ward* y la distancia *Euclídea*. Las variables consideradas fueron oxígeno disuelto, coliformes fecales, coliformes totales, potencial de hidrógeno, demanda bioquímica de oxígeno, nitratos, fosfatos, temperatura, turbiedad y sólidos totales. Los resultados del análisis de conglomerado (Figura 5) muestran la formación de los cinco grupos o sitios conformados por las estaciones que se sugirieron por cercanía. Al haber similitud entre estaciones cada, sitio esta conformado de la siguiente manera: T1 (ET-01 y ET-02), T2 (ET-03), T3 (ET-04, ET-05 y ET-06), H1 (EH-08, EH-09 y EH-10) y HT (ET-07 y EH-11). En el Anexo 5 se pueden ver los resultados de laboratorio de las variables físico-químicas y bacteriológicas de calidad del agua.

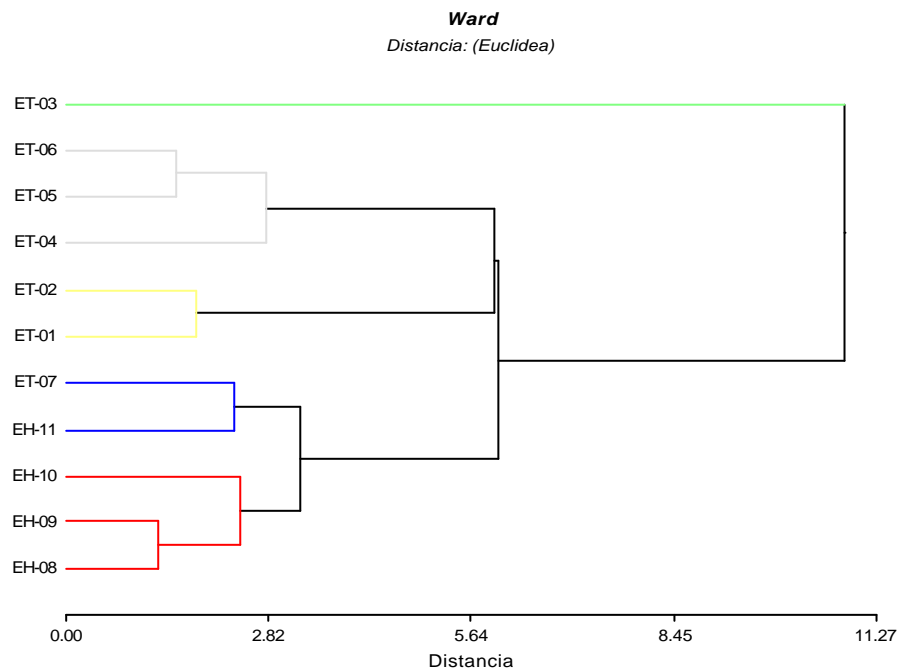


Figura 5. Conglomerado de similitud entre estaciones

Al haber similaridad entre algunas estaciones de muestreo se pueden formar cinco sitios o regiones bien definidos en la microcuenca, dentro de los cuales se tienen estaciones con pocas diferencias en los valores de los indicadores de calidad del agua estudiados. Esto simplifica y reduce los costos de un programa de monitoreo de la calidad del agua si se llega a implementar en la microcuenca Los Hules -Tinajones.

4.1.2. Resultados del análisis de las variables de calidad del agua

Dado que muchas de las variables fueron discretas se realizaron transformaciones para adecuar el cumplimiento de los supuestos del ANDEVA. Para cumplir con los supuestos de normalidad las variables: coliformes fecales, coliformes totales, pH, DBO₅ nitratos, fosfatos y temperatura fueron transformadas con logaritmos naturales. Para cada una de las variables estudiadas se tiene un tamaño muestral n=44.

Coliformes fecales: en esta variable el coeficiente de variación es 11.85. La variable coliformes fecales fue transformada con logaritmo natural para que se cumplan los supuestos distribucionales. No se encontró interacción sitio*mes ($p=0.4502$). Se encontraron diferencias de medias entre sitios ($p=0.0230$) y entre meses ($p < 0.0001$). En el Anexo 6 se presentan los resultados del análisis de la varianza.

En el Cuadro 9 se presentan las medias de la variable coliformes fecales para cada mes en que se analizaron las muestras de agua. Los meses con menor número de coliformes fecales son mayo y junio, le sigue julio y el que mayor contenido presentó fue agosto (2363 UFC/100 ml). Esto se debe a un aumento de la escorrentía superficial producto de una mayor precipitación en el mes de agosto (399 mm), mientras que en mayo se registraron en promedio 216 mm, en junio 285 mm y en julio 267 mm. Este mes presentó los valores de caudales más alto en cada estación de muestreo (Anexo 7). Se observó que a medida que aumentaron las lluvias los niveles de coliformes fecales se incrementaron por el lavado de las heces de origen humano y animal. Esto indica que a medida que aumentan los caudales se incrementan los niveles de coliformes fecales por el transporte de cargas contaminantes en la escorrentía superficial. En las Montañas Rocallosas, el contenido de bacterias (coliformes y coliformes fecales) que aparece en los cuerpos de agua depende especialmente de las altas precipitaciones, del derretimiento de la nieve y al exceso de riego, que originan un flujo superficial. También la concentración de animales de sangre caliente y de seres humanos cerca de las corrientes aporta coliformes (Brooks *et al.* 1991).

Cuadro 9. Medias de la variable coliformes fecales por mes en UFC/100 ml

Mes	Medias	Medias transf	n			
Junio	233.33	5.12	11	A		
Mayo	223.33	5.28	10	A		
Julio	853.33	6.40	11		B	
Agosto	2363.33	7.57	11			C

Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre medias ($p \leq 0.05$). Prueba LSD Fisher

En el Cuadro 10 se presentan las medias de la variable coliformes fecales para cada sitio conformado dentro de la microcuenca. Los sitios con menor número de coliformes fecales fueron el T1 y T2 respectivamente, le siguen T3 y H1 en su orden y el que mayor contenido presento es el sitio HT (1537 UFC/100 ml). La mayor cantidad de coliformes fecales se da en el sitio HT debido a la presencia de pequeños poblados cerca de sus márgenes, en donde las altas precipitaciones elevan el nivel freático lo que origina que las letrinas se derramen con facilidad, provocando el arrastre de las heces humanas hacia las corrientes de agua. Los niveles encontrados en este parámetro de calidad del agua impiden su consumo en forma natural ya que requiere de tratamiento. Las normas para agua potable en Panamá establecen que debe de existir 0 UFC/100 ml. En tanto que las normas para aguas residuales no permiten su uso para los diferentes tipos de riegos agrícolas y en acuicultura, ya que establecen un valor máximo menor de 200 UFC/ 100 ml para estos fines. Tampoco reúne las condiciones como agua destinada a recreación sin contacto directo dado que se exige la ausencia de coliformes fecales.

Cuadro 10. Medias de la variable coliformes fecales por sitio en UFC/100 ml

Sitios	Medias	Medias transf	n			
T1	337.50	5.33	8	A		
T2	650.00	5.96	4	A		B
H1	1066.67	6.30	11			B
HT	1537.50	6.40	8			B
T3	1000.00	6.47	12			B

Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre medias ($p \leq 0.05$). Prueba LSD Fisher

Se encontró la presencia de *Escherichia coli*, *Klebsiella s.p.* y *Enterobacter s.p.*; se consideran organismos exclusivamente fecales la *Escherichia coli*, coliformes fecales y estreptococos fecales. La presencia constante en el agua de *E. coli*, de coliformes y estreptococos fecales, es un indicador de una contaminación permanente, dando como resultado riesgos patológicos si se consume en forma directa. El número de bacterias patógenas para el hombre y los animales presentes en el agua es muy reducido y difícil de determinar. Por esto y dado que la mayoría de dichas bacterias viven en el intestino

del hombre y de los animales de sangre caliente, la determinación de una contaminación fecal representa una excelente señal de alarma de la calidad del agua en su forma natural (Seoánez 1999).

Coliformes totales: en esta variable el coeficiente de variación es 10.59. En el Anexo 8 se presentan los resultados del análisis de la varianza de la variable coliformes totales. Se encontró interacción entre sitio y mes ($p=0.0211$). A pesar de haber interacción se observa una diferencia importante entre media de sitios ($p=0.0211$) y de meses ($p=0.0001$). Los meses con menor número de coliformes totales fueron junio y mayo, luego sigue julio y el que mayor contenido presentó fue agosto (Cuadro 11). El mes de mayo presentó mayor contenido de coliformes totales que junio por la descarga de aguas residuales de la granja porcina en el sitio T2. A medida que aumentaron las lluvias e igualmente los caudales en la microcuenca los niveles de coliformes totales se incrementaron producto de la escorrentía superficial, que arrastra gran cantidad de sedimentos hacia su cauce con cargas contaminantes.

Cuadro 11. Medias de la variable coliformes totales por mes en UFC/100 ml

Mes	Medias	Medias transf	n		
Junio	2053.33	7.39	11	A	
Julio	7140.00	8.64	11		B
Agosto	31846.67	9.82	11		B
Mayo	75193.33	8.33	11		C

Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre medias ($p \leq 0.05$). Prueba LSD Fisher

Los sitios con menor número de coliformes totales fueron el T1 y H1 respectivamente, le siguen HT y T3 en su orden y el que mayor contenido presentó es el sitio T2 con 109,050 UFC/100 ml (Cuadro 12). Esto se debe a que en el mes de mayo se reportó el contenido más alto (37×10^4) UFC/100 ml de coliformes totales de todo el estudio en la estación ET-03 (sitio T2) producto de la descarga de aguas residuales de la granja porcina.

Cuadro 12. Medias de la variable coliformes totales por sitio en UFC/100 ml

Sitios	Medias	Medias Transf.	n		
T1	5425.00	7.99	8	A	
H1	7450.00	8.10	12	A	
HT	11275.00	8.28	8	A	
T3	12091.67	8.50	12	A	
T2	109050.00	9.86	4		B

Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre medias ($p \leq 0.05$). Prueba LSD Fisher

La Figura 6 muestra el comportamiento de la variable coliformes totales en función del sitio y el mes. La variable coliformes totales presenta interacción producto de la descarga de aguas residuales que se da en el sitio T2 en el mes de mayo, en donde se dio el contenido más alto con respecto a los otros sitios. Para los meses de junio y julio las medias de todos los sitios no presentan diferencias. En el mes de agosto a partir del sitio T2 los promedios presentan diferencias con respecto a los demás meses por un aumento en el volumen de escorrentía superficial producto de una mayor precipitación dentro de la microcuenca. El sitio T1 no presenta diferencias entre meses. El mes de agosto es el de mayor contenido en todos los sitios salvo en el T1 y sólo en T2 es superado por el mes de mayo por la descarga de aguas residuales provenientes de la granja porcina. Resultados de análisis de estas aguas residuales, realizados en junio de 2002 reportan valores de coliformes fecales de 10×10^6 UFC/100 ml, lo que prohíbe su descarga a cuerpos de aguas receptores por el alto contenido de este parámetro entre otros.

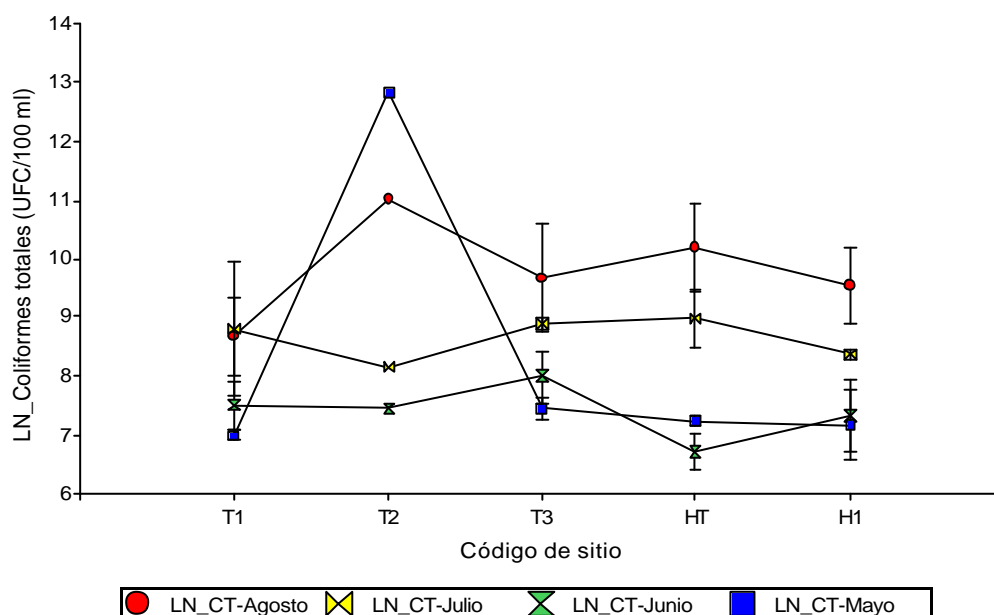


Figura 6. Comportamiento de la variable coliformes totales en función del sitio y el mes

Las normas para agua potable en Panamá establecen un valor máximo permisible de 3 UFC/100 ml para coliformes totales, esto hace inadecuadas las aguas de la microcuenca para consumo directo. Esto ha llevado a los comités de agua potable a utilizar las aguas subterráneas para consumo humano en época de invierno, con la finalidad de reducir los altos costos de tratamientos de las aguas crudas que son aprovechadas para este uso.

Potencial de hidrógeno (pH): para esta variable el coeficiente de variación es 3.02. En el Anexo 9 se presentan los resultados del análisis de la varianza de la variable pH. La variable pH fue transformada con logaritmo natural para que se cumplan los supuestos distribucionales. No se encontró interacción sitio*mes ($p=0.0762$). Se encontraron diferencias de medias entre sitios ($p=0.0179$) y entre meses ($p < 0.0001$).

Los meses con menor valor de pH fueron junio y agosto respectivamente, luego sigue julio y el que mayor valor presentó fue mayo con 6.59 (Cuadro 13). Se puede decir que las aguas de la microcuenca son ligeramente ácidas por los valores encontrados en el pH, donde el rango es de 5.47-6.59. En mediciones de pH y alcalinidad del agua, las variaciones encontradas en estas propiedades químicas se debieron a eventos naturales como la erosión y actividades humanas (MacDonald *et al.* 1991). Estos factores se encuentran presente en la microcuenca Los Hules-Tinajones y pueden explicar los cambios en el pH del agua durante estudio, debido a que se presentan fluctuaciones en los meses.

Cuadro 13. Medias de la variable potencial de hidrógeno por mes en unidades de pH

Mes	Medias	Medias transf	n		
Junio	5.47	1.70	11	A	
Agosto	5.53	1.71	11	A	B
Julio	5.77	1.75	11		B
Mayo	6.59	1.88	11		C

Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre medias ($p \leq 0.05$). Prueba LSD Fisher

En el Cuadro 14 se presentan las medias de la variable pH de los sitios conformados dentro de la microcuenca. Los sitios con menor valor en el pH fueron el T1, H1 y HT respectivamente, le siguen T3 (6.01) y T2 (6.17), siendo estos los de pH más alto. Los análisis de las aguas residuales de la granja porcina realizados en junio del 2002 reportan valores de $pH=8.0$, mientras que los resultados de este estudio dan valores de $pH=7.98$ en el sitio T2 en el mes de mayo y para el sitio T3 un $pH=6.62$ en promedio. Lo que indica que las aguas residuales provenientes de la granja porcina inciden sobre el pH del agua en estos sitios por ser alcalinas, pero no representan riesgo de contaminación sobre el recurso hídrico en base a este parámetro porque el pH adecuado o aceptado tiene un rango que va de 4.8-9.2, en donde los límites no se consideran tóxicos a los ecosistemas acuáticos (Brooks *et al.* 1991).

Cuadro 14. Medias de la variable potencial de hidrógeno por sitio en unidades de pH

Sitios	Medias	Medias transf	n		
T1	5.56	1.71	8	A	
H1	5.72	1.74	12	A	
HT	5.74	1.75	8	A	B
T3	6.01	1.79	12		B
T2	6.17	1.81	4		B

Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre medias ($p <= 0.05$). Prueba LSD Fisher

Los valores máximos permisibles según las normas para agua potable en Panamá, tienen un rango que va de 6.5 a 8.5 por lo que se requiere elevar el pH de las aguas de la microcuenca para consumo humano debido a los valores encontrados en los análisis. Las aguas de los sitios T2, T3 reúnen las condiciones para los diferentes tipos de riegos agrícolas y uso en acuicultura. Para ello se debe cumplir con valores que estén dentro del rango de 6.0-9.0 en el pH en base a lo establecido en la legislación de Panamá.

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅): en esta variable el coeficiente de variación es 335.94. En el Anexo 10 se presentan los resultados del análisis de la varianza de la variable demanda bioquímica de oxígeno. La variable DBO₅ fue transformada con logaritmo natural para que se cumplan los supuestos distribucionales. No se encontró interacción entre sitio*mes ($p=0.2497$). Además, no se encontró diferencia de medias entre sitios ($p=0.1416$) y entre meses si existen diferencia de medias ($p=0.0154$).

Las aguas naturales con valores de DBO₅ menores a 4 mg/l se consideran razonablemente limpias, si los valores superan 10 mg/l las aguas se encuentran contaminadas con materia orgánica (Brooks *et al.* 1991). En el Cuadro 15 se presentan las medias de la variable DBO₅ por mes. Los meses con menor DBO₅ fueron junio, julio y agosto, mayo presentó la mayor DBO₅ (5.51 mg/l) producto de las aguas residuales descargadas en el sitio T2.

Cuadro 15. Medias de la variable DBO₅ por mes en mg/l

Mes	Medias	Medias transf	n		
Junio	0.65	-0.66	11	A	
Julio	0.82	-0.27	11	A	
Agosto	0.86	-0.22	11	A	
Mayo	5.51	0.51	11		B

Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre medias ($p <= 0.05$). Prueba LSD Fisher

Las medias de la variable DBO₅ por sitio se presentan en el Cuadro 16. Los sitios con menor DBO₅ fueron T1, HT, H1 y T3. El sitio con la mayor DBO₅ fue el sitio T2 (6.25 mg/l)

debido a la descarga de aguas residuales de la granja porcina en el mes de mayo. El valor de DBO₅ en el sitio T2 para el mes de mayo fue de 22.80 mg/l lo que indica que se dio una contaminación. Se observó un proceso de autodepuración en la primera estación de muestreo del sitio T3 (ET-04), la que se encuentra a 1.97 km de distancia, en donde resultados de laboratorio del estudio reportan valores de 2.09 mg/l para el 01 de mayo. Esto se confirma con los análisis de agua realizados por la ANAM el 05 mayo, ya que los resultados reportan 1.80 mg/l de en la segunda estación del sitio T3 (ET-05), a 7.44 km del sitio T2.

Cuadro 16. Medias de la variable DBO₅ por sitio en mg/l

Sitios	Medias	Medias Transf.	n		
T1	0.68	-0.59	8	A	
HT	0.83	-0.41	8	A	
H1	0.99	-0.27	12	A	B
T3	1.04	-0.02	12	A	B
T2	6.25	0.51	4		B

Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre medias ($p \leq 0.05$). Prueba LSD Fisher

A diferencia del sitio T2 en el mes de mayo, el agua en la microcuenca no presenta contaminación orgánica debido a que se encontraron valores de DBO₅ menores a 4 mg/l. Los valores de este indicador de calidad del agua permiten su uso sin ningún tratamiento para los diferentes tipos de riego agrícola y acuicultura, dado que las normas para agua residuales en Panamá establecen un valor máximo de DBO₅=20 mg. Además, puede ser usada para recreación sin contacto directo al tener la DBO₅ valores menores a 5 mg/l. Sin embargo, se requiere del análisis de los otros parámetros que definen los usos señalados en la legislación.

Nitratos: para esta variable el coeficiente de variación es 57.30. En el Anexo 11 se presentan los resultados del análisis de la varianza de la variable nitratos. No se encontró interacción entre sitio*mes ($p > 0.9999$). No existe diferencia significativa entre medias de meses ($p = 0.9549$) y hay diferencia entre medias de sitios ($p < 0.0001$). El promedio en el mes de mayo fue de 0.21 mg/l de nitratos, junio 0.27 mg/l, julio 0.28 mg/l y en agosto fue de 0.31 mg/l. Esto indica que no hay un uso excesivo de fertilizantes debido a los niveles encontrados. El nitrato se usa principalmente como fertilizante; sin embargo, la mayor parte de otros fertilizantes que contienen nitrógeno, se convertirán en nitrato al entrar en contacto con el suelo. El incremento en los niveles de nitratos en el agua se relaciona con la aplicación de fertilizantes nitrogenados (OPS 1987).

En Panamá las normas para agua potable establecen un valor máximo permitido de 10 mg/l en el contenido de nitrato. El agua en la microcuenca se puede utilizar para los diferentes tipos de riegos agrícolas y en acuicultura. En base a los niveles de nitratos encontrados y que permiten el uso del agua en las diferentes actividades, se puede decir que la contaminación debido a este indicador es mínima y no representa ningún riesgo a la salud humana. Los estándares en los Estados Unidos permiten una concentración máxima de 10 mg/l de nitratos en el agua para consumo humano (Brooks *et al.* 1991).

En el Cuadro 17 se presentan las medias de la variable nitratos para cada sitio conformado en la microcuenca. Los sitios con menor contenido de nitratos fueron el H1, T1 y HT, el contenido más alto lo presentaron el sitio T2 (0.55 mg/l) y T3 (0.50 mg/l). El promedio más alto se da en el sitio T2 por la descarga de agua residual que se dio en el mes de mayo. Además, la granja porcina al saturar la parcela de infiltración mediante el riego con aspersión de las aguas residuales, origina escorrentía superficial que transporta los nitratos hasta las corrientes de agua que llegan al sitio T2. Sin embargo, el contenido de nitratos en el sitio T3 empieza a disminuir, esto se observa también en el sitio HT, en donde el contenido de nitratos es de 0.20 mg/l. Esto indica que se da un proceso de dilución que disminuye la concentración de este parámetro a lo largo del cauce del río Tinajones, debido al aumento del caudal en cada estación de muestreo de agua (Anexo 7). Cuando se dan altas concentraciones de nitratos en el agua estimulan el crecimiento de algas y otras plantas acuáticas, pero si se tiene 0.01 mg/l de fósforo (P) solamente se necesitan 0.30 mg/l de nitratos para que las algas florezcan (Brooks *et al.* 1991).

Cuadro 17. Medias de la variable nitratos por sitio en mg/l

Sitios	Medias	Medias transf	n	
H1	0.03	-4.17	12	A
T1	0.05	-3.83	8	A
HT	0.20	-2.80	8	A
T3	0.50	-0.74	12	B
T2	0.55	-0.60	4	B

Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre medias ($p \leq 0.05$). Prueba LSD Fisher

Fosfatos: en esta variable el coeficiente de variación es 4.35. En el Anexo 12 se presentan los resultados del análisis de la varianza de la variable fosfatos. Se encontró interacción entre sitio y mes ($p < 0.0001$). A pesar de haber interacción se observa una diferencia importante entre medias de sitios ($p < 0.0001$) y meses ($p < 0.0001$).

Los meses con menor contenido de fosfatos fueron junio y julio, luego le sigue agosto. El mes de mayo fue el que mayor contenido presentó con 0.80 mg/l en promedio (Cuadro 18). Esto fue producto de la descarga de aguas residuales proveniente de la granja porcina y que incrementó los niveles de fosfatos en el sitio T2 (ET-03), el cual se encuentra dentro del área de crítica de esta fuente de contaminación puntual. En este sitio los análisis de laboratorio reportaron en el mes de mayo el nivel más alto en la concentración de fosfatos (3.30 mg/l) durante el estudio.

Cuadro 18. Medias de la variable fosfatos por mes en mg/l

Mes	Medias	Medias transf	n			
Julio	0.14	-1.94	11	A		
Junio	0.14	-1.94	11	A		
Agosto	0.18	-1.73	11		B	
Mayo	0.80	-1.18	11			C

Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre medias ($p \leq 0.05$). Prueba LSD Fisher

En el Cuadro 19 se presentan las medias de la variable fosfatos para cada sitio conformado. Los sitios con menor contenido de fosfatos fueron T1 y H1, luego le siguen HT y T3 respectivamente. El contenido más alto (0.95 mg/l) lo presentó el sitio T2 debido a la descarga de aguas residuales de la granja porcina que se dio en el mes de mayo. El contenido de fosfatos de estas aguas, cumple con las normas para aguas residuales establecidas por el Ministerio de Salud de Panamá porque al darse la descarga, el valor encontrado en las aguas del sitio T2 fue de 3.30 mg/l; se establece un valor máximo permisible de 5.0 mg/l para el parámetro fosfatos. Además, los análisis de estas aguas residuales realizados en junio de 2002 reportan una concentración de fosfatos de 1.5 mg/l. Cuando se dio la descarga de aguas residuales en el mes de mayo se observó un proceso de dilución en la concentración de fosfatos, el cual se reflejó en las concentraciones de este parámetro en las estaciones del sitio T3, en donde los valores encontrados fueron iguales o menores a 0.18 mg/l, debido al aumento del caudal en cada estación de muestreo de agua.

Cuadro 19. Medias de la variable fosfatos por sitio en mg/l

Sitios	Medias	Medias transf	n				
T1	0.14	-1.96	8	A			
H1	0.15	-1.89	12	A	B		
HT	0.16	-1.83	8		B		
T3	0.18	-1.75	12			C	
T2	0.95	-1.07	4				D

Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre medias ($p \leq 0.05$). Prueba LSD Fisher

En la Unión Europea los desechos ganaderos representan el 30 por ciento de la carga de fósforo en las aguas superficiales; otros usos agrícolas contribuyen con el 16 por ciento (Kiersch 2000). Se puede decir que las concentraciones de fosfatos encontradas en las aguas de la microcuenca se deben principalmente a las explotaciones ganaderas bovinas debido a que ocupan el 58% de su área y a la granja porcina. Los problemas de eutrofización frecuentemente están asociados con las cargas aceleradas de fósforo que llegan a las aguas, las cuales son naturalmente deficientes en este compuesto (Brooks *et al.* 1991). A partir de una concentración de fosfatos de 0.01 mg/l se promueve el crecimiento de malezas acuáticas. Esto indica que las aguas de la microcuenca contribuyen con el proceso de eutrofización que se da en el lago Gatún por los niveles de fosfatos en el sitio HT (0.18 mg/l) el más próximo a este.

En la Figura 7 se observa el comportamiento de la variable fosfatos en función del sitio y mes. Esta presenta interacción producto de la descarga de aguas residuales que se da en el sitio T2 en el mes de mayo, en este se da el contenido más alto (3.30 mg/l) del parámetro con respecto a los otros sitios. El sitio T3 no difiere en contenido a través de los meses.

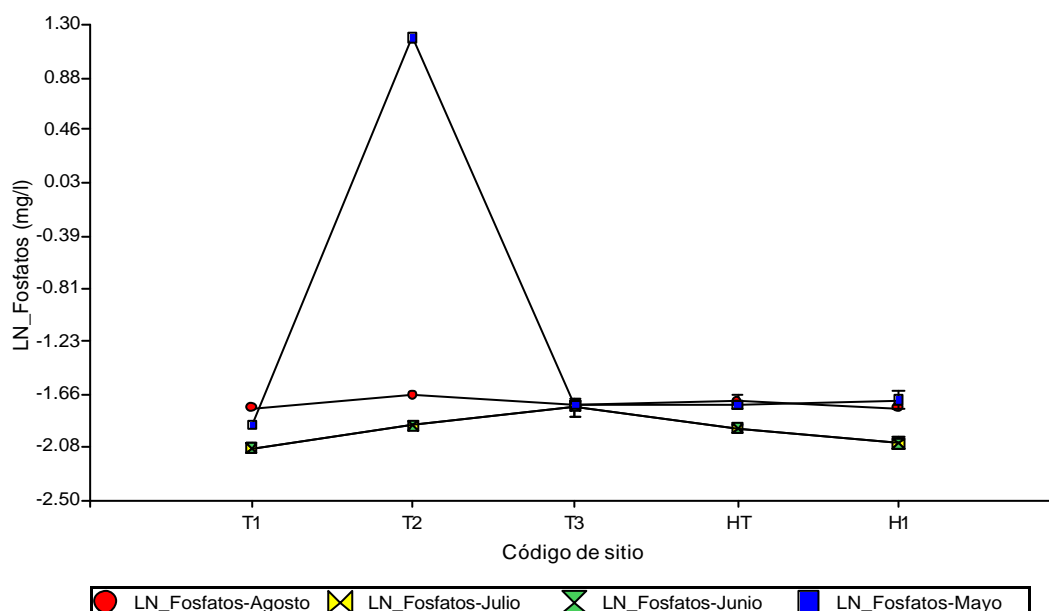


Figura 7. Comportamiento de la variable fosfatos en función del sitio y el mes

Temperatura: para esta variable el coeficiente de variación es 0.87. En el Anexo 13 se presentan los resultados del análisis de la varianza de la variable temperatura. La variable temperatura fue transformada con logaritmo natural para que se cumplan los supuestos distribucionales. No se encontró interacción sitio*mes ($p=0.1033$). Se encontraron diferencias entre medias de meses ($p=0.0092$) y no existen diferencias entre medias de sitios ($p=0.4973$). El rango de la temperatura promedio de los diferentes sitios fue de 26.79 a 27.44 °C, como se observa fue menor a un grado centígrado, por lo que no se presentan diferencias como lo demuestra el análisis estadístico realizado. Esto indica que no hay contaminación térmica por tener los diferentes sitios temperaturas parecidas.

En el Cuadro 20 se presentan las medias de la variable temperatura para cada mes. Los meses con la temperatura más baja fueron julio y junio, luego sigue agosto y mayo presentó el valor más alto. El mes de mayo presentó el promedio de temperatura más alto en el agua (27.68 °C). Esto se debe a que en este mes hay muchos días de verano porque se inician las lluvias. El día en que se realizó el muestreo en el mes de mayo se presentó el porcentaje de humedad relativa más bajo (68.18%) en comparación con las otras fechas de muestreo (Anexo 14). Además, en este mes se presentó el promedio de temperatura ambiental más alto (29.77 °C), debido a una mayor radiación solar en esta fecha que incide directamente sobre la temperatura del agua. Por otro lado, al tener las márgenes de los ríos Los Hules y Tinajones escasa vegetación, los rayos solares entran en contacto directo con el agua provocando su calentamiento. Estudios en el noreste y noroeste de los Estados Unidos reportaron anualmente, elevaciones máximas de temperaturas en la corriente principal tanto de 4 °C como de 15 °C cuando se cortó y removió la vegetación en pequeñas corrientes de aguas (Brooks *et al.* 1991).

Cuadro 20. Medias de la variable temperatura por mes

Mes	Medias	Medias transf	n			
Julio	26.52	3.28	11	A		
Junio	26.59	3.28	11	A	B	
Agosto	27.28	3.31	11		B	C
Mayo	27.68	3.32	11			C

Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre medias ($p \leq 0.05$). Prueba LSD Fisher

Oxígeno disuelto: en esta variable el coeficiente de variación es 27.18. En el Anexo 15 se presentan los resultados del análisis de la varianza de la variable oxígeno disuelto. La variable oxígeno disuelto no presentó interacción sitio*mes ($p=0.2239$). Se encontraron diferencias de medias entre sitios ($p=0.0044$) y entre meses ($p=0.0003$). En el Cuadro 21

se presentan las medias de la variable oxígeno disuelto para cada época del estudio. El mes con el contenido de oxígeno disuelto más bajo fue mayo (3.42 mg/l) luego le sigue junio, agosto y julio presentaron el valor más alto. En el mes de mayo se da el contenido de oxígeno disuelto más bajo debido a la descarga de aguas residuales proveniente de la granja porcina. Al darse la descarga de efluentes se incrementó la DBO₅ en el sitio T2 (ET-03) y redujo los niveles de oxígeno disuelto a 0.0 mg/l en este por la alta cantidad de materia orgánica en descomposición y la baja cantidad de oxígeno disponible. Cuando la materia orgánica tanto de aguas domésticas, desechos de ganado o material vegetal es depositada a un cuerpo de agua, las bacterias y otros microorganismos empiezan a descomponer ese material en compuestos más estables. Si el oxígeno está disponible en el momento y la carga orgánica mezclada es poca, la oxidación ocurre sin ninguna reducción perjudicial en el contenido de oxígeno disuelto. En caso de que el contenido de oxígeno sea limitado o la carga también sea alta pueden ocurrir procesos anaeróbicos, que resulta en una menor eficiencia del proceso de oxidación con efectos colaterales indeseables en el agua (Brooks *et al.* 1991). El efecto de esta reducción de oxígeno disuelto se observó con la muerte de peces en el sitio T2 para el mes de mayo.

A medida que subieron los caudales dentro de la microcuenca en cada mes producto de una mayor precipitación se observó un aumento en las concentraciones de oxígeno disuelto. En el caso de la estación ET-11 que está dentro del sitio HT, en el mes de mayo presentó un caudal de 1.53 m³ s⁻¹, en junio de 1.90 m³ s⁻¹, en julio de 2.2 m³ s⁻¹ y en agosto de 2.31 m³ s⁻¹ (Anexo 7), en todas las demás estaciones se dio un incremento. Este incremento favorece la cantidad de oxígeno disponible para la descomposición de la materia orgánica mediante procesos aeróbicos.

Cuadro 21. Medias de la variable oxígeno disuelto por mes en mg/l

Mes	Medias	n			
Mayo	3.42	11	A		
Junio	5.01	11		B	
Agosto	6.53	11			C
Julio	6.60	11			C

Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre medias (p <= 0.05). Prueba LSD Fisher

Los sitios con menor contenido de oxígeno disuelto son HT, T2 y H1, los que presentaron los contenidos más altos fueron T1 y T3 (Cuadro 22). Al estar ubicados los sitios HT y H1 en la parte baja de la microcuenca, las cargas de materia orgánica se concentran en estos puntos aumentando la demanda de oxígeno para su descomposición lo que

disminuye la cantidad de oxígeno disuelto. El sitio T2 presentó también un contenido de oxígeno disuelto bajo por la descarga de aguas residuales con alto contenido de materia orgánica que se dio en el mes de mayo, en donde los análisis de laboratorios reportaron valores de 0.0 mg/l en este punto. Los sitios HT (4.35 mg/l) y H1 (4.91 mg/l) pueden presentar problemas para la vida acuática, dado que se requiere una concentración mínima de 5 mg/l de oxígeno disuelto. En el sitio T2, si las aguas residuales de la granja porcina son descargadas y no cumplen con los valores máximos permisibles la fauna acuática será afectada por la falta de oxígeno en poco tiempo. Esto hace que el oxígeno disuelto sea una propiedad transitoria que puede fluctuar rápidamente en el tiempo y espacio. La descomposición de la materia orgánica en el agua es un proceso lento por eso los cambios en el estado del oxígeno responden bien lentamente (Brooks *et al.* 1991).

Cuadro 22. Medias de la variable oxígeno disuelto por sitio en mg/l

Sitios	Medias	n		
HT	4.35	8	A	
T2	4.43	4	A	
H1	4.91	12	A	
T1	6.57	8		B
T3	6.70	12		B

Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre medias ($p \leq 0.05$). Prueba LSD Fisher

Turbiedad: para esta variable el coeficiente de variación es 28.25. En el Anexo 16 se presentan los resultados del análisis de la varianza de la variable turbiedad. Se encontró interacción entre sitio y mes ($p=0.0045$). A pesar de haber interacción se observa una diferencia importante entre medias de sitios ($p=0.0006$) y de meses ($p<0.0001$). Los meses con los niveles de turbiedad más bajo fueron mayo y junio (Cuadro 23), aunque tuvieron comportamiento diferencial y se da una alta interacción con respecto a los sitios. El mes de agosto presentó el promedio de turbiedad más alto (45.87 NTU). Como la precipitación registrada es mayor en los meses de julio y agosto, originó un aumento en el volumen de escorrentía superficial que incidió directamente en un incremento en los niveles de turbiedad en casi todas las estaciones por el arrastre de sedimentos. El sobrepastoreo que se observó en la actividad ganadera bovina y la deficiencia en la construcción de caminos dentro de la microcuenca son las principales causas de la producción de sedimentos, los cuales son transportados durante los períodos de lluvias provocando niveles altos de turbiedad y la sedimentación de los cauces. En base a esto se puede decir que las aguas superficiales de la microcuenca presentan contaminación por el arrastre de sedimentos. El aporte de sedimentos puede representar una sustancia

contaminante tanto desde el punto de vista físico como químico. La contaminación física como resultado de los sedimentos es la turbiedad y la sedimentación (Kiersch 2000). La norma para agua potable en Panamá establece que el agua para consumo humano debe tener menos de 1.0 NTU de turbiedad (MINSA 1997). Mientras que las normas para aguas residuales exigen menos de 3.0 NTU para ser usada en los diferentes tipos de riegos agrícolas y en acuicultura.

Cuadro 23. Medias de la variable turbiedad por mesen NTU

Mes	Medias	n			
Mayo	9.27	11	A		
Junio	14.39	11	A		
Julio	34.87	11		B	
Agosto	45.87	11			C

Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre medias ($p \leq 0.05$). Prueba LSD Fisher

Los sitios T1 y T2 presentaron en promedio los valores más bajos de turbiedad que el resto a través de los meses (Cuadro 24). El sitio HT presentó el promedio de turbiedad más alto (37.78 NTU), le sigue el sitio T3 y luego el H1. Esto indica que la parte media y baja de la microcuenca se encuentra con los niveles más altos de turbiedad. El sitio HT y la estación EH-10 que forma parte del sitio H1, han perdido capacidad hidráulica en la conducción producto de la sedimentación de sus cauces, esto se observa en las crecidas que producen inundaciones afectando la actividad ganadera del área. Además, como la turbiedad se debe a la presencia de materias en suspensión las cuales absorben la radiación solar, esto también favorece el incremento de la temperatura del agua en la microcuenca. Con los niveles de turbiedad encontrados en los sitios, las aguas superficiales de la microcuenca para ser aprovechadas requieren de tratamientos con la finalidad de reducir los niveles de NTU.

Cuadro 24. Medias de la variable turbiedad por sitio en NTU

Sitios	Medias	n			
T1	19.03	8	A		
T2	19.60	4	A		B
H1	26.86	12			B
T3	27.24	12			B
HT	37.78	8			C

Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre medias ($p \leq 0.05$). Prueba LSD Fisher

La Figura 8 muestra el comportamiento de la variable turbiedad en función del sitio y el mes. La interacción se debe a que la estación ET-01 que forma parte del sitio T1 se encuentra dentro de una finca ganadera, el ganado se moviliza libremente dentro de las

corrientes de aguas mezclando los sedimentos y la materia orgánica presente, originando los niveles de turbiedad reportados. Esto explica porque en el mes de mayo se tiene un valor de turbiedad más alto que en el mes de junio en este sitio. Igualmente explica que julio presente una mayor turbiedad que el mes de agosto. La interacción se debe también a las descargas de aguas residuales provenientes de la granja porcina que se da en el sitio T2, las cuales originan que mayo tenga una turbiedad de 17.0 NTU y julio 8.40 NTU. Resultados de laboratorios de junio de 2002 reportan 224.0 NTU de turbiedad en estas aguas residuales y las normas en Panamá establecen un límite máximo permisible de 30 NTU para que puedan ser vertidas a un cuerpo de agua receptor. En los meses de julio y agosto se observa un pico en el sitio HT debido a que es uno de los sitios más bajo de la microcuenca en donde se produce acumulación de partículas en suspensión que determinan los niveles de turbiedad presentes en las aguas.

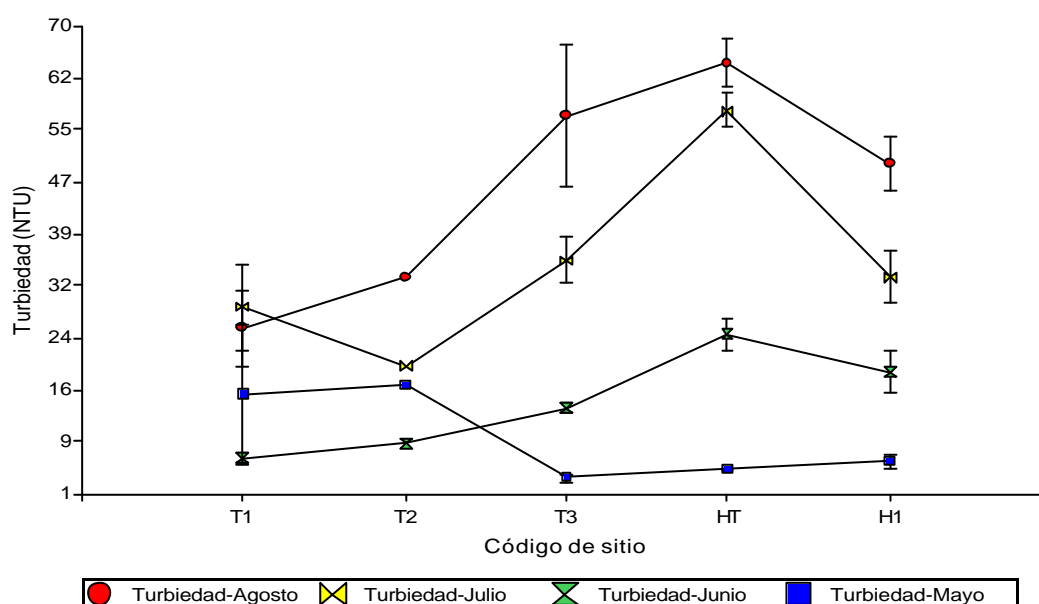


Figura 8. Comportamiento de la variable turbiedad en función del sitio y el mes

Con los niveles de turbiedad reportados la microcuenca Los Hules-Tinajones esta aportando cantidades considerables de sedimentos al lago Gatún, lo que reduce su capacidad de almacenamiento y eleva los costos de las plantas de tratamientos de agua potable que abastecen a grandes centros urbanos en la provincia de Panamá. Es

importante mencionar que a medida que aumentaron los caudales en cada estación de muestreo la turbiedad fue mayor en las aguas superficiales de la microcuenca.

Sólidos totales: en esta variable el coeficiente de variación es 24.39. En el Anexo 17 se presentan los resultados del análisis de la varianza de la variable sólidos totales. Se encontró interacción entre sitio y mes ($p < 0.0001$) por la descarga de aguas residuales que se dio en el sitio T2. A pesar de haber interacción se observa una diferencia importante entre media de sitios ($p < 0.0001$) y de meses ($p < 0.0001$).

En el mes de junio se presentó el contenido de sólidos totales más bajo (49.67 mg/l), luego siguen los meses de julio y agosto. El mes de mayo fue el que mayor contenido presenta con 231.13 mg/l en promedio (Cuadro 25). Esto fue producto de la descarga de aguas residuales proveniente de la granja porcina y que incremento los niveles de sólidos totales en el sitio T2 (ET-03). En este sitio los análisis de laboratorio reportaron en el mes de mayo el nivel más alto en la concentración de sólidos totales (858.0 mg/l) mientras que en la estación ET-02 que forma parte del sitio T1, la cual es el punto monitoreado antes de esta fuente puntual de contaminación se reporto en los resultados de laboratorio una concentración de 75.0 mg/l, lo que indica que se dio una contaminación por los niveles encontrados de este parámetro. Las normas en Panamá establecen un límite máximo permisible de 500 mg/l en las aguas residuales provenientes de las granjas porcinas (MINSA 2000). Los análisis de laboratorio de estas aguas residuales realizados en junio de 2002 reportaron valores de 2980.0 mg/l en el contenido de sólidos totales.

Cuadro 25. Medias de la variable sólidos totales por mes en mg/l

Mes	Medias	n				
Junio	49.67	11	A			
Julio	85.60	11		B		
Agosto	150.43	11			C	
Mayo	231.13	11				D

Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre medias ($p \leq 0.05$). Prueba LSD Fisher

Los sitios que presentaron el menor contenido de sólidos totales fueron el T1 y H1, le siguen HT y T3 en su orden y el de mayor contenido es T2 (Cuadro 26). El sitio T2 presentó en promedio el contenido de sólidos totales más alto (300.75 mg/l) por la descarga de aguas residuales proveniente de la granja porcina en el mes de mayo. Mitchell *et al.* (1991) manifiestan que los sólidos totales incluyen a los sólidos disueltos y a los sólidos suspendidos. Mientras que Bruvold *et al.* citado por la OPS (1987) han

clasificado el buen sabor del agua potable según el nivel de sólidos disueltos en excelente cuando los valores son menores a 300 mg/l. En base a lo anterior los valores reportados en el contenido de sólidos totales no representan riesgo de contaminación a las aguas superficiales de la microcuenca porque son menores a 232.0 mg/l durante el estudio, excepto el contenido del sitio T2 para el mes de mayo.

Cuadro 26. Medias de la variable sólidos totales por sitio en mg/l

Sitios	Medias	n			
T1	57.75	8	A		
H1	86.75	12		B	
HT	92.38	8		B	
T3	108.42	12		B	
T2	300.75	4			C

Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre medias ($p \leq 0.05$). Prueba LSD Fisher

La Figura 9 muestra el comportamiento de la variable sólidos totales en función del sitio y el mes. La variable sólidos totales presenta interacción producto de la descarga de aguas residuales que se da en el sitio T2 en el mes de mayo, en este se da el contenido más alto con respecto a los otros sitios, a partir del T3 no se encuentran diferencias en los promedios de los sitios. Para los meses de junio y julio las medias de los sitios T1 y T2 no presentan diferencias.

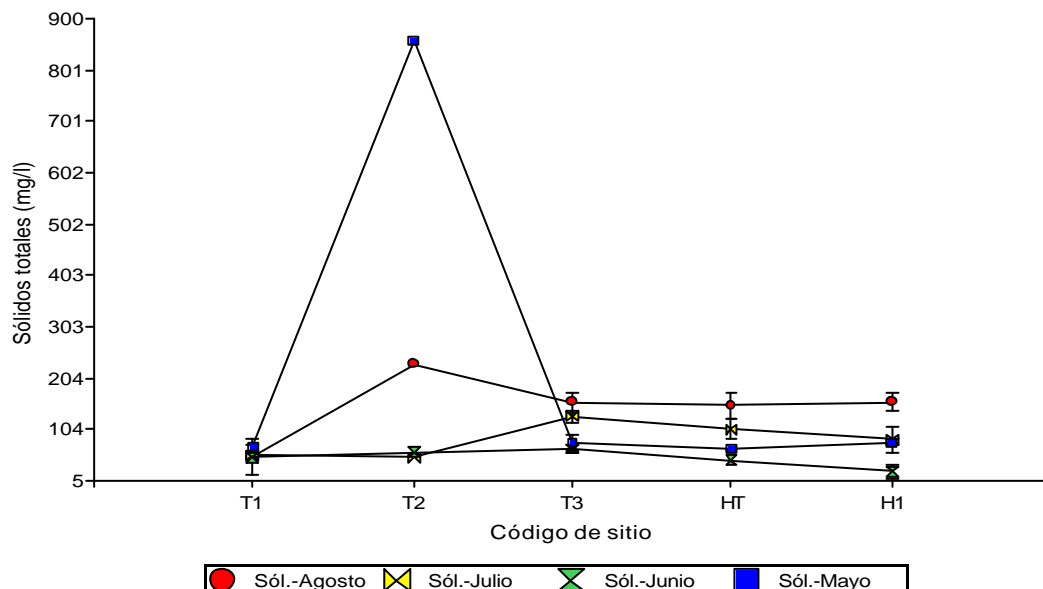


Figura 9. Comportamiento de la variable sólidos totales en función del sitio y el mes

En base a los niveles de los parámetros convencionales de calidad del agua, el sitio más contaminado en la microcuenca Los Hules-Tinajones es el HT (Figura 10), ubicado en la parte baja de la microcuenca en donde se produce acumulación de contaminantes. El sitio T2 presenta un riesgo muy alto por contaminación porque se encuentra dentro del área de influencia de la granja porcina. Los sitios T1, T3 y H1 tienen un riesgo alto debido a la presencia de fuentes no puntuales de contaminación como es la actividad ganadera bovina principalmente, la cual aporta cargas considerables de coliformes fecales y fosfatos a las corrientes superficiales.

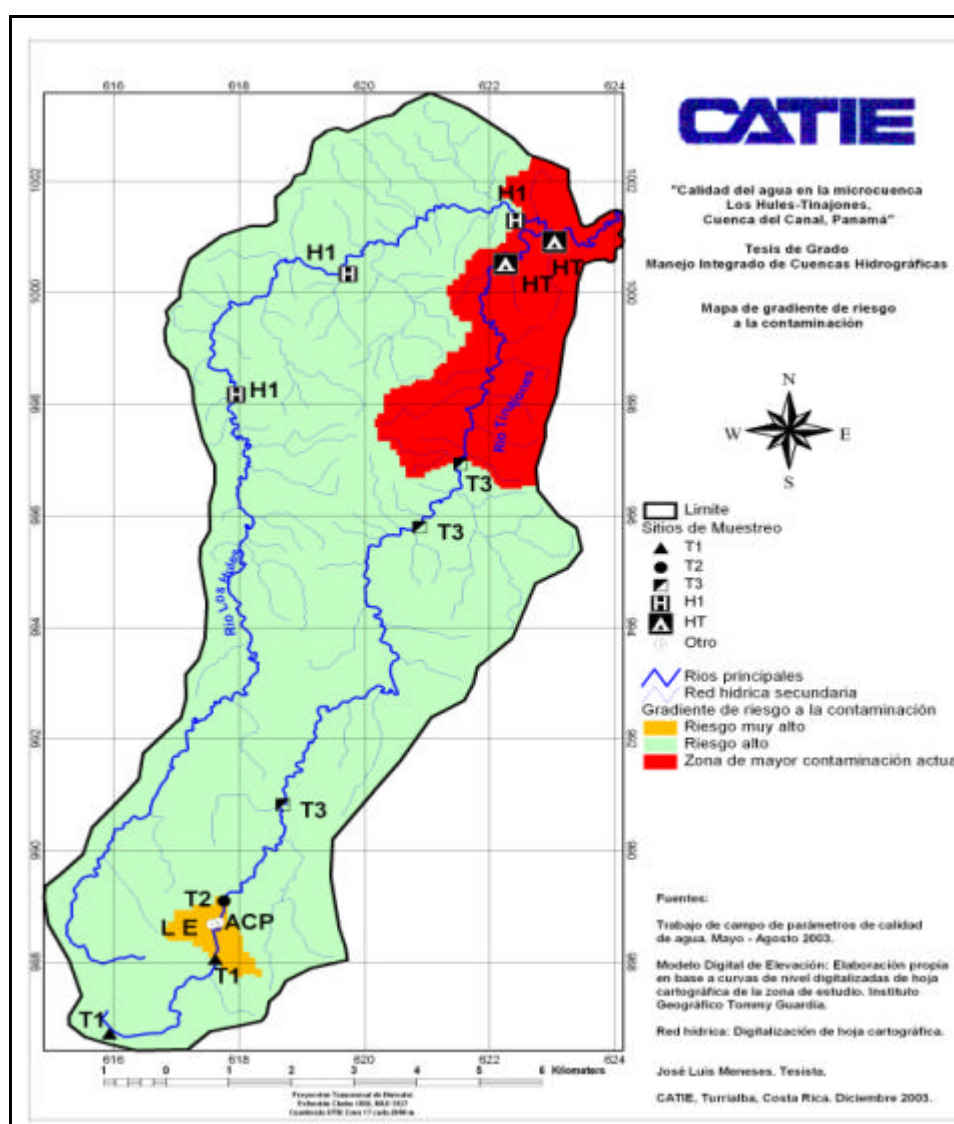


Figura 10. Mapa de gradiente de riesgo a la contaminación

4.2. Índice de calidad del agua como herramienta de monitoreo del recurso hídrico

Los resultados del análisis de la varianza del índice de calidad del agua (*ICA*) tienen un coeficiente de variación de 5.24, el modelo utilizado contempló el efecto tiempo y el efecto espacio. En el Anexo 18 se presenta el análisis de la varianza del *ICA*. Se encontró interacción entre sitio y mes ($p=0.0006$). A pesar de haber interacción se observa una diferencia importante entre medias de sitios ($p=0.0002$) y de meses ($p=0.0339$).

El mes de mayo presentó el *ICA* más bajo en promedio (65.66), luego le sigue agosto y junio. En julio se da el valor más alto en este índice (Cuadro 27). Para el mes de mayo se tiene el *ICA* más bajo por la descarga de aguas residuales que contaminaron el sitio T2. Debido a esta descarga se presentaron subíndices muy bajos en los siguientes parámetros del *ICA*: oxígeno disuelto, DBO_5 , fosfatos y sólidos totales en este sitio. Esto origina que en el sitio T2 en el mes de mayo, se encontrará el índice más bajo de todo el estudio (Cuadro 28), disminuyendo el promedio del mes de mayo. En base al rango numérico del *ICA* (51-70) el agua superficial de la microcuenca durante el desarrollo del estudio se clasifica como regular, lo que indica que se está dando un deterioro del recurso hídrico al quedar a bajo del rango de excelente y buena. La tendencia general que se presentó es que a medida que se incrementaron las lluvias los valores del *ICA* fueron menores producto de una mayor escorrentía superficial que aportó cargas considerables de contaminantes hacia los cuerpos de agua de la microcuenca.

Cuadro 27. Medias del *ICA* por mes (valor numérico)

Mes	Medias	n		
Mayo	65.66	11	A	
Agosto	67.52	11	A	B
Junio	69.78	11		B
Julio	70.44	11		B

Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre medias ($p \leq 0.05$). Prueba LSD Fisher

Cuadro 28. Medias del ICA sitio por mes

Sitios	Mes	Medias	n					
T2	Mayo	42.98	1	A				
HT	Junio	63.39	2		B			
HT	Julio	65.12	2		B	C		
HT	Agosto	65.90	2		B	C		
H1	Agosto	66.33	3		B	C		
H1	Junio	66.45	3		B	C		
HT	Mayo	66.72	2		B	C	D	
H1	Mayo	67.62	3		B	C	D	
T2	Agosto	67.90	1		B	C	D	E
T3	Agosto	68.39	3		B	C	D	E
T1	Agosto	69.09	2		B	C	D	E
T2	Julio	69.27	1		B	C	D	E
T1	Julio	71.30	2			C	D	E
T3	Junio	72.54	3			C	D	E
T3	Julio	72.71	3			C	D	E
T2	Junio	73.08	1			C	D	E
T1	Junio	73.45	2				D	E
H1	Julio	73.78	3					E
T1	Mayo	74.69	2					E
T3	Mayo	76.31	3					E

Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre medias ($p \leq 0.05$). Prueba LSD Fisher

En el Cuadro 29 se presentan las medias del ICA para cada sitio conformado. Los sitios con menor índice de calidad del agua fueron T2 (63.31) y HT (65.28), luego le sigue H1 (68.55). En los sitios T1 y T3 se dieron los valores promedios más altos. El sitio T2 presentó el ICA más bajo producto de la descarga de aguas residuales que se dio en el mes de mayo. Sin embargo, para los otros meses se incrementó su valor numérico en este sitio considerablemente (Anexo 19). Los sitios HT y H1 ubicados en la parte baja de la microcuenca presentan valores bajos debido a la acumulación de las cargas de contaminantes que son transportados por la escorrentía superficial cuando se dan las precipitaciones. El valor promedio que presentan los sitios T1 y T3, entra dentro del rango numérico del ICA que clasifica las aguas como buenas. Las aguas de los demás sitios entran a la categoría de regular. En base al índice de calidad del agua sólo la naciente y la parte media de la microcuenca presentan un agua de buena calidad. Es importante señalar que la ponderación de parámetros de calidad del agua dentro de un índice permite ver el estado del recurso hídrico en un tiempo y espacio determinado. Esto permite tener indicadores sobre los cuales se puede diseñar un programa de monitoreo del agua dentro de una región para evitar que se siga contaminando este vital recurso y buscar su recuperación en cuanto a calidad por medio de medidas adecuadas de mitigación a fin garantizar su sostenibilidad.

Estudios han determinado que se requiere de un rango mínimo (50-58) en el índice de calidad del agua para cumplir con gran parte de los estándares de calidad del agua en los Estados Unidos. Sin embargo, es importante mencionar que un cuerpo de agua puede tener un *ICA* mayor a este rango y no cumple con los estándares para natación, al tener el nivel de bacterias coliformes fecales arriba de 200 UFC (Mitchell *et al.* 1991). En el caso de las aguas de los diferentes sitios estudiados están dentro del rango establecido pero los niveles de coliformes fecales en su mayoría superaran las 200 UFC por lo que requieren de tratamientos a fin de garantizar su uso en las diferentes actividades en donde es aprovechada dentro de la microcuenca.

Cuadro 29. Medias del *ICA* por sitio (valor numérico)

Sitios	Medias	n			
T2	63.31	4	A		
HT	65.28	8	A	B	
H1	68.55	12		B	
T1	72.13	8			C
T3	72.49	12			C

Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre medias ($p \leq 0.05$). Prueba LSD Fisher

La Figura 11 muestra el comportamiento de la variable *ICA* en función del sitio y el mes. El *ICA* presenta interacción producto de la descarga de aguas residuales que se da en el sitio T2 en el mes de mayo, en este se encontró el valor más bajo (42.98) con respecto a los otros sitios. Para el mes de agosto hay una caída en los valores del *ICA* excepto en el sitio HT donde su índice subió con respecto a los meses de junio y julio. Los valores promedios del *ICA* disminuyeron en el mes de agosto producto de un aumento en el volumen de la escorrentía superficial la cual transporta cargas de contaminantes hacia las corrientes de aguas producto de una mayor precipitación en la microcuenca.

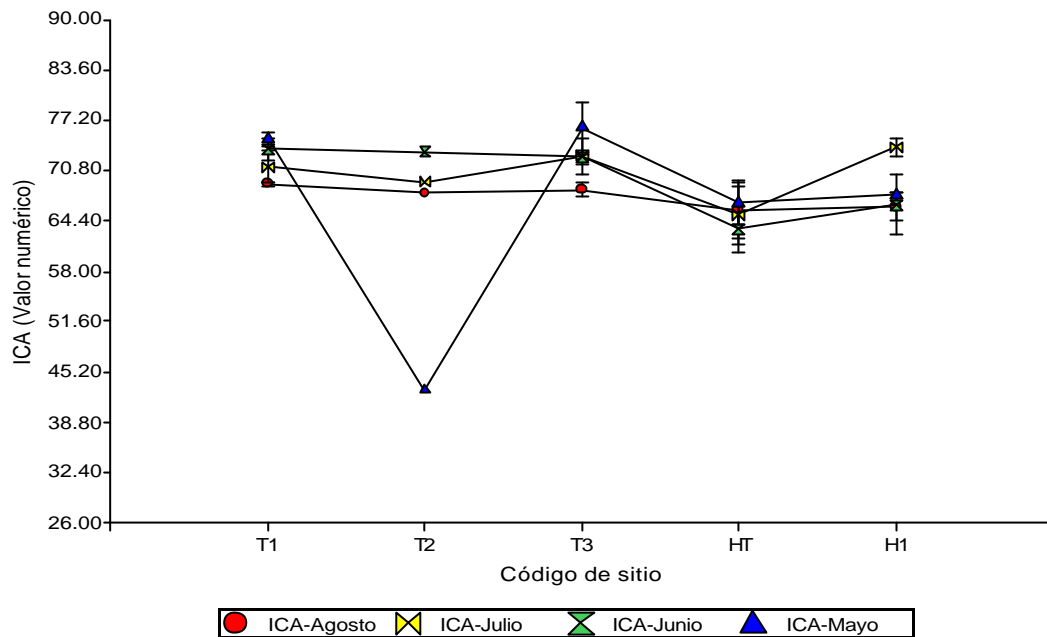


Figura 11. Comportamiento del ICA en función del sitio y el mes

En la Figura 12 se presentan los valores del índice de calidad del agua (*ICA*) para cada sitio conformado dentro de la microcuenca Los Hules-Tinajones, en donde los sitios T2, H1 y HT tienen valores que califican a sus aguas superficiales como regulares debido a que se encuentran comprendidos entre 51-70. En este sentido los valores de las aguas superficiales de los sitios T1 y T3 se encuentran dentro del rango 71-90 por lo que se consideran buenas.

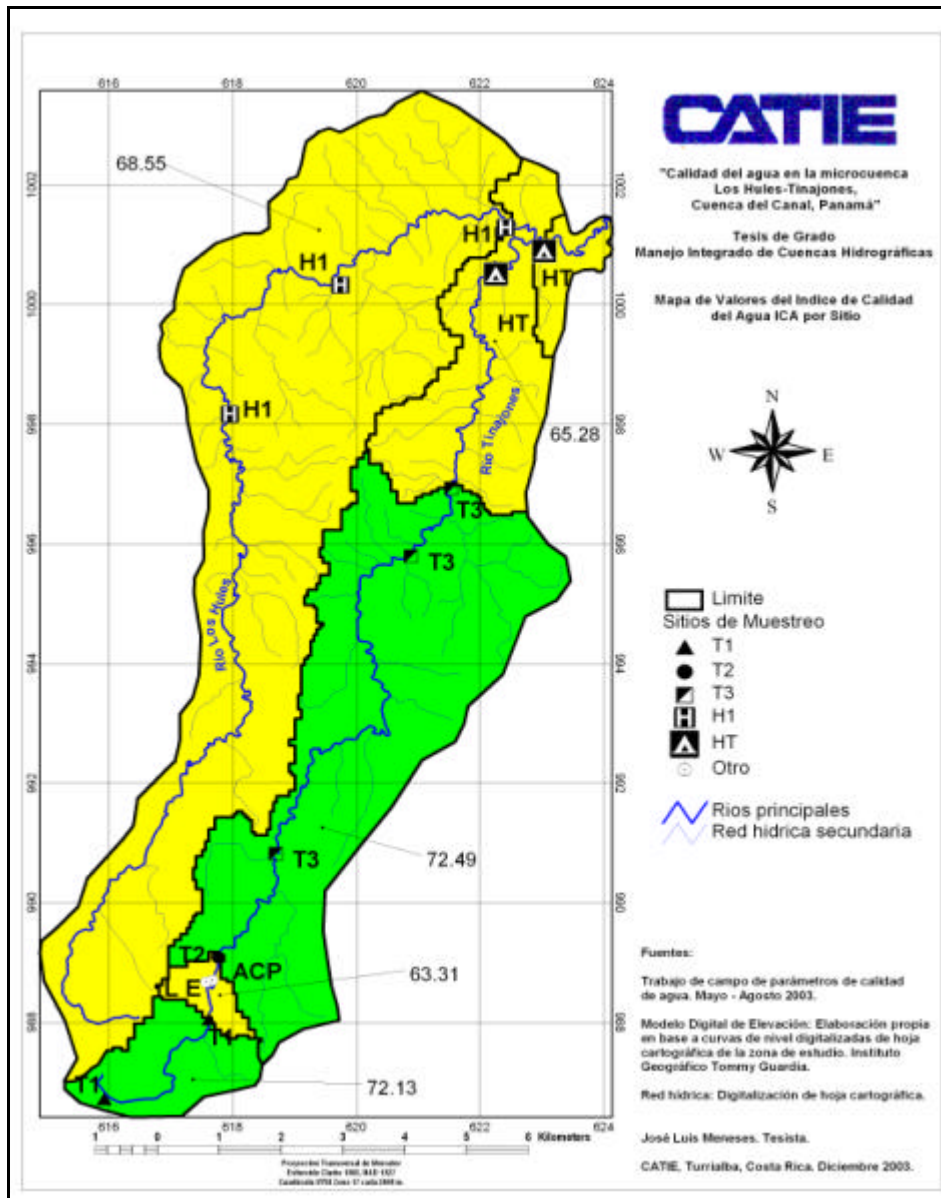


Figura 12. Mapa de valores del índice de calidad del agua (ICA) por sitio

4.3. Relacionar la calidad del agua con el manejo de la actividad porcina

En la microcuenca Los Hules-Tinajones solamente existe una granja porcina, Blue Ribbon Products, S.A., con número de registro 8 PO-C.2.239-06062002 e inicio sus actividades el 01 de agosto de 2000. Se dedica a la cría y ceba, manejando la raza de cerdo PIC-Cambrouht 22 la cual es genéticamente pura y originaria de Estados Unidos. Las

instalaciones se encuentran localizadas en el corregimiento de Arosemena, en las siguientes coordenadas (UTM): 617513 este y 988644 norte. La empresa emplea 48 trabajadores, 38 permanentes y 10 temporales, de los cuales 8 son mujeres. La mayoría de los trabajadores pertenecen a comunidades ubicadas dentro de la microcuenca, lo que constituye una fuente importante de empleos de forma directa e indirecta.

La granja porcina produce 7533 kg de excreta diaria, esto representa el 70% de los 10,762 kg de alimento que se consumen por día (Cuadro 30). Se consideró un 30% de digestibilidad en cerdos para los cálculos.

Cuadro 30. Consumo de alimento por fase en la empresa Blue Ribbon Products, S.A.

Fase	No. de animales	Peso (kg)	Consumo diario (kg)	Consumo por fase (kg)
Gestación	850	204.54	2.27-2.73	2125.00
Lactancia	50	204.54	4.54-6.82	284.00
Reemplazo	100	181.82	4.54	454.00
Reproductores	16	227.30	2.27	36.32
Ceba (Fase 1)	800	6.82-13.64	0.11-0.68	316.00
Ceba (Fase 2)	800	13.64-20.45	0.91-1.36	908.00
Ceba (Fase 3)	1000	20.45-27.30	1.36-1.60	1480.00
Ceba (Desarrollo)	1000	27.30-54.54	1.60-2.04	1820.00
Ceba (Finalización)	1400	54.54-100.00	2.04-2.73	3339.00
Total	6016	-----	-----	10,762.32

La cantidad de lisier que se produce es de 18,958 kg (Cuadro 31), este viene siendo la mezcla de las excretas sólidas y orines. Para los cálculos se tomó el 5% del peso vivo del animal (Tietjen, citado por Seoáñez 1999). Debido a la cantidad que se produce y a su composición físico-química, el lisier contenido en las aguas residuales es el desecho con mayor potencial de contaminación sobre el recurso hídrico que genera la granja porcina. Esto hace necesario establecer procesos de tratamientos adecuados para reducir los impactos negativos que pueden afectar la calidad del agua de la microcuenca.

Cuadro 31. Producción de lisier por fase en la empresa Blue Ribbon Products, S.A.

Fase	No. de animales	Peso (kg)	Lisier (kg)	Cantidad por fase (kg)
Gestación	850	204.54	10.23	8695.50
Lactancia	50	204.54	10.23	511.50
Reemplazo	100	181.82	9.09	909.00
Reproductores	16	227.30	11.37	181.92
Ceba (Fase 1)	800	6.82-13.64	0.51	408.00
Ceba (Fase 2)	800	13.64-20.45	0.85	680.00
Ceba (Fase 3)	1000	20.45-27.30	1.19	1190.00
Ceba (Desarrollo)	1000	27.30-54.54	2.05	2050.00
Ceba (Finalización)	1400	54.54-100.00	3.86	5404.00
Total	6016	-----	-----	18,958.92

Con la finalidad de disminuir el riesgo por contaminación el lisier es depurado por medio de dos tratamientos principales: separación de sólidos y líquidos (tamizado giratorio) y tratamiento biológico (lagunas de estabilización con aireación forzada).

Antes del proceso de depuración se realiza la operación de lavado con manguera a presión de las deyecciones, las cuales se depositan en la fosa séptica que tiene cada una de las galeras de gestación y maternidad con piso de rejas (Anexo 1). En cada galera de destete las deyecciones se depositan en su respectiva fosa séptica; sin embargo, no se necesita lavado a presión debido a que estas con el pisoteo de los cerdos pasan a través del piso de rejas. Las galeras de finalización tienen piso de concreto con charcas, en donde se deposita el lisier cuando se realiza el lavado. La galera de los reproductores y la de las futuras reproductoras tienen piso de concreto, en donde el lavado se hace con manguera a presión (flushing) cada 1.5 días. Las fosas sépticas de las galeras de gestación se drenan cada 30 días, las de maternidad a los 12 días, las de destete a los 70 días y las charcas de las galeras de finalización cada 4 días. Las fosas sépticas y charcas ofrecen la ventaja de que reducen el volumen de aguas residuales que hay que tratar. Se emplean diariamente 189.25 m³ de agua para limpieza y consumo de los animales, de los cuales 128.89 m³ se usan en las operaciones de lavado. El volumen máximo de aguas residuales que se tiene en un día es de 553.64 m³, esto hace que el riesgo a contaminación del recurso hídrico sea alto sino se tratan adecuadamente estos efluentes.

Las aguas residuales provenientes del lavado de las fosas sépticas, de las charcas y de la limpieza de la galera de reproductores y de las futuras reproductoras son conducidas por medio de tuberías de pvc hasta el separador de sólidos y líquidos (Anexo 2), en donde se inicia su tratamiento o depuración del lisier. Una vez que separaban los sólidos el agua residual se conduce igualmente por tuberías hasta las lagunas de estabilización (Anexo 3). Este tratamiento funcionaba en forma muy deficiente ya que el tamizador solamente tiene capacidad para extraer un tercio de la cantidad de sólidos que contienen las aguas residuales, lo que origina el paso de estos hasta las lagunas. Al llegar demasiada cantidad de sólidos a las lagunas los valores de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) y de la demanda química de oxígeno (DQO) son altos, lo que impide el proceso de aireación por ende la depuración del agua. Esto hace que las aguas residuales se tengan que bombear hasta la parcela de infiltración con que cuenta la granja debido a que no cumplen con las normas para aguas residuales establecidas en la legislación de Panamá. Resultados de laboratorios de junio de 2002 muestran que los parámetros sólidos suspendidos, sólidos totales, turbiedad, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, cloro residual, coliformes fecales, coliformes totales, nitrógeno total y nitrógeno amoniacal de los efluentes líquidos de la granja porcina no cumplen con los valores máximos permisibles para las descargas a cuerpos receptores.

Las excretas de los cerdos contienen una proporción considerable de materiales sólidos. Esto hace que las aguas residuales de las granjas porcinas tengan un alto contenido de sólidos que deben ser separados de los líquidos mediante diversos procedimientos. Los tratamientos que se deben seguir para el manejo de las aguas residuales en su orden son: separación de sólidos y líquidos a través del tamizado, lagunas de estabilización con aireación forzada mediante turbinas flotantes, luego el efluente debe ser tratado en decantadores secundarios (Anexo 4) para eliminar materia sólida y bacterias y antes de ser vertido a un cuerpo de agua receptor se debe de tratar con cloro (Seoáñez 1999).

Las normas para aguas residuales establecidas en Panamá han regulado las descargas de los efluentes de la granja porcina a cuerpos de aguas receptores. Estas medidas tomadas por la empresa Blue Ribbon Products, S.A. en su Plan de adecuación y manejo ambiental (PAMA) complementada con la Auditoria ambiental que se le sigue, reducen el impacto negativo sobre la calidad del agua en la microcuenca. La empresa consciente de esto, busca una producción sostenible económica, social y ambientalmente. Sin embargo,

los derrames eventuales de las aguas residuales contenidas en las lagunas de estabilización ocasionan la contaminación de las aguas superficiales del río Tinajones específicamente dentro de su área de influencia, la que esta representada por la estación de muestreo de agua ET-03 (sitio T2). Estas aguas residuales como no cumplen con los valores máximos permisibles si son descargadas producen la contaminación del recurso hídrico como ocurrió el 01 de mayo de 2003, en donde los niveles de oxígeno disuelto en su área de influencia llegaron a 0.0 mg/l provocando la muerte de peces lo que refleja su potencial de contaminación. Además, del oxígeno disuelto se afectan los niveles de la demanda bioquímica de oxígeno, sólidos totales, turbiedad, fosfatos y coliformes totales cuando se produce el derrame de los efluentes de la granja porcina los que contribuyen también al deterioro de la calidad del agua.

En la granja porcina se producen otros desechos entre los que podemos mencionar plástico, sacos de polietileno, animales muertos y papel, los cuales son incinerados. También metales y vidrios los cuales son recolectados y transportados hasta el basurero municipal. Estos desechos no representan fuentes potenciales de contaminación al recurso hídrico porque se producen en pequeñas cantidades y el manejo se realiza en forma eficiente.

Es importante mencionar que dentro de la microcuenca existen otras actividades productivas que producen gran cantidad de desechos provocando contaminación no puntual, lo que agrava cada día el deterioro del recurso hídrico. Esto ha originado que la Comisión Interinstitucional de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá (CICH) elaborara un Plan de Acción para las subcuencas de los ríos Los Hules-Tinajones y Caño Quebrado con la finalidad de mitigar los efectos negativos que se están produciendo sobre los recursos naturales.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

1. Las aguas superficiales del río Los Hules en general presentaron una condición físico-química y bacteriológica más favorable que la del río Tinajones por lo que los procesos de monitoreos de la calidad del agua deben tener presente estos factores.
2. La turbiedad con valores promedios que van de 9.27 NTU a 45.87 NTU, es uno de los indicadores de calidad del agua que más está contribuyendo al deterioro del recurso hídrico en la microcuenca Los Hules-Tinajones, la cual se incrementa a medida que se establecen las lluvias por el arrastre de sedimentos hacia los cauces.
3. Los niveles de coliformes fecales se incrementan considerablemente durante la estación lluviosa, producto de una mayor escorrentía superficial que transporta las heces de origen humano y del ganado bovino hacia las corrientes superficiales de la microcuenca, alcanzando un valor promedio de 2363 UFC en el mes de agosto. Esto representa un riesgo a la salud humana por la presencia de bacterias patógenas como *Escherichia coli*, *Klebsiella s.p.* y *Enterobacter* si las aguas no son tratadas.
4. Los valores de la demanda bioquímica de oxígeno, nitratos, temperatura y sólidos totales inciden en menor grado sobre el deterioro de la calidad del agua en la microcuenca Los Hules-Tinajones.
5. El sitio más contaminado dentro de la microcuenca Los Hules-Tinajones es el HT, ubicado en la parte baja de la microcuenca, en donde el contenido de oxígeno es menor a 5 mg/l dificultando la vida acuática. Mientras que el sitio T2 presenta el mayor riesgo de contaminación por estar ubicado dentro del área influencia de la granja porcina.
6. En la microcuenca Los Hules-Tinajones se da un proceso de eutrofización debido al contenido de fosfatos en las aguas superficiales, el cual también incide de forma directa en el crecimiento de plantas acuáticas en el lago Gatún, lo que se observa en la desembocadura de la microcuenca.

7. En base a los parámetros convencionales de calidad del agua analizados y a los valores del *ICA* encontrados, las aguas de la microcuenca Los Hules-Tinajones presentan una condición regular tanto espacial como temporal que podía llegar a niveles críticos sino se aplican medidas de mitigación en el corto plazo.

8. El índice de calidad del agua integra parámetros convencionales relacionados con la calidad del agua para abastecimiento público pero puede ser utilizado para considerar condiciones generales del estado de las aguas naturales.

9. Las aguas residuales de la granja porcina producen contaminación cuando se presentan derrames en las lagunas de estabilización, afectando la calidad del agua y la fauna acuática dentro de su área de influencia porque no cumplen con los valores máximos permisibles para ser descargadas a un cuerpo de agua receptor.

10. La producción de sedimentos en la microcuenca y los factores que contribuyen a este proceso deben ser analizados, debido a que el transporte de partículas en el medio constituye el mecanismo de difusión de otros contaminantes como materias fecales y nutrientes.

11. Las metodologías de muestreo de las aguas se deben afinar para tener un mayor acercamiento a los procesos de contaminación y sus causas mediante la aplicación de enfoques más integrales y participativos. Los estudios centrados en problemas específicos de calidad permiten obtener resultados en menor tiempo y más acorde con las necesidades de los usuarios.

5.2. Recomendaciones

1. Es necesario implementar acciones interinstitucionales concretas entre el MIDA, ANAM y la ARI a fin de lograr un ordenamiento territorial en esta microcuenca, basado en el Plan Regional para el Desarrollo de la Región Interoceánica y el Plan General de Uso, Conservación y Desarrollo del área del Canal, contenidos en la Ley 21 del 2 de julio de 1997. Estas acciones deben ser coordinadas por la Comisión Interinstitucional de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá (CICH) en forma conjunta con la Autoridad del

Canal de Panamá (ACP), quien es la responsable de la administración, uso y conservación del recurso hídrico en la cuenca del Canal.

2. La ANAM dentro de sus responsabilidades en la aprobación, seguimiento y control de estudios de impacto ambiental debe procurar que en el plan de manejo de las diferentes actividades productivas se garantice el tratamiento adecuado de los desechos generados para reducir los niveles de contaminación que estos originan en los cuerpos de agua.

3. Se hace necesario la capacitación y el fortalecimiento de los comités de agua, en los aspectos relacionados con el manejo y conservación del recurso hídrico porque el deterioro de este recurso es uno de los principales problemas ambientales presente en la microcuenca Los Hules-Tinajones.

4. Se debe implementar un programa de letrización y de manejo de los desechos generados por la producción de ganado bovino para reducir los niveles de coliformes fecales en las aguas superficiales de la microcuenca Los Hules-Tinajones.

5. Realizar evaluaciones de los parámetros físico-químicos estudiados en época de verano con finalidad de generar información de calidad del agua para este período. Igualmente se deben seguir monitoreando los sitios conformados para determinar si se dan cambios considerables en los niveles de los parámetros estudiados para el período en que se realizaron los análisis de calidad del agua.

6. Este estudio realizado debe ser complementado mediante la aplicación de un índice biológico para la ampliar la información generada y poder realizar comparaciones sobre el estado del recurso hídrico dado que el índice utilizado responde al momento en que se tomo la muestra de agua.

7. Se debe elaborar un programa de monitoreo del recurso hídrico a corto plazo tomando en cuenta los parámetros analizados, con la finalidad de reducir el deterioro del recurso hídrico debido a que es utilizado principalmente para el abastecimiento de agua potable en las principales comunidades que conforman la microcuenca. Este programa de monitoreo debe ser ejecutado por los comités de agua bajo la supervisión de la Autoridad del Canal de Panamá (ACP) y CICH.

8. Como la Autoridad de Canal de Panamá (ACP) es la responsable del recurso hídrico en la microcuenca, este estudio puede ser utilizado como base para medir en el futuro los impactos de los proyectos que se implementarán dentro del Plan de Acción que ha elaborado la CICH para garantizar el uso sostenible del recurso suelo así como también la conservación del agua en calidad y cantidad.

9. Se hace necesario tomar en cuenta el efecto tiempo y espacio que rigen los niveles de contaminación del recurso hídrico en la microcuenca Los Hules-Tinajones, con la finalidad de que se tomen las medidas adecuadas para su prevención o corrección, debido a que el deterioro de este recurso puede ser irreversible o de alto costo en su tratamiento.

10. La implementación de medidas de conservación de suelos como lo es el control de cárcavas en potreros y en caminos sin taludes, en conjunto con la protección de la vegetación secundaria en los bordes de las corrientes superficiales podrían disminuir la pérdida de suelo y la alteración de la calidad del agua superficial en la microcuenca Los Hules-Tinajones, debido a que el transporte de sedimentos durante la época lluviosa incrementa los niveles de turbiedad.

11. Para reducir el contenido de sólidos totales en las aguas residuales, la empresa porcina debe adquirir un separador de sólidos y líquidos de mayor capacidad, con la finalidad de disminuir la demanda bioquímica de oxígeno en lagunas de estabilización y lograr un mejor proceso de aireación. Además, se debe poner en funcionamiento el decantador construido por donde debe pasar los efluentes antes de llegar a la última laguna. Estas medidas contribuirán a un mejor tratamiento de las aguas residuales de la granja porcina.

VI. LITERATURA CONSULTADA

- Adriaanse, A. 1993. Environmental policy performance indicators. A study on the development of indicators for environmental policy in the Netherlands. Sdu Uitgeverij Koninkinnegracht. The Netherlands. 83 p.
- Agrawal, GD; Lunkad, SK; Malkhed, T. 1997. Diffuse agricultural nitrate pollution of ground-waters in India. Institute of Environmental Science. Kurukshetra, India. 14 p.
- ANAM (Autoridad Nacional del Ambiente, PA). 1999. Cuencas hidrográficas, suelos y aguas de Panamá: análisis de la situación actual. Estrategia Nacional del Ambiente. 55 p.
- _____. 2002. Cronogramas de cumplimiento para la caracterización y adecuación a los reglamentos técnicos para descargas de aguas residuales DGNTI-COPANIT 35-2000 y DGNTI-COPANIT 39-2000. Resolución AG-0026-2002 (de 30 de enero de 2002). Gaceta Oficial 24,490 del 8 de febrero de 2002. 14 p.
- _____. 2002. Catastro de fuentes de contaminación. 150 p.
- ANCON (Asociación Nacional para la Conservación de la Naturaleza, PA). 1995. Evaluación ecológica de la cuenca hidrográfica del Canal de Panamá. Sibauste, S.A., Panamá. 98 p.
- ARI (Autoridad de la Región Interoceánica, PA). 1996. Plan regional de la región interoceánica. Plan de acciones a tomar. 103 p.
- Basterrecha, M; Molina, M; Molina, S; Beltrán, E. 1987. Causas de la contaminación de siete tributarios de la subcuenca del Lago Amatitlán. *In* Simposium estudios recientes sobre la contaminación del Lago Amatitlán. Guatemala. IGA-CATIE. p. 123-148.
- Branco, SM. 1984. Limnología sanitaria: estudio de la contaminación de aguas continentales. OEA (Organización de Estados Americanos). 120 p.
- Brooks, KN; Ffolliott, PF; Gregersen, HM; Thames, JL. 1991. Hydrology and de management of watersheds. Iowa State University Press/Ames. 392 p.
- Buckman, H; Brady, N. 1985. Naturaleza y propiedad de los suelos. Limusa, S.A. México, D.F. 590 p.
- Campbell, R. 1987. Ecología microbiana. Editorial Limusa. México. 268 p.
- Canter, LW. 1998. Manual de impacto ambiental: técnicas para la elaboración de estudios de impacto. Madrid, España. 841 p.
- Carrizo, R. 1999. Metodologías para diseño de redes de monitoreo, estadísticas, precisión de las determinaciones analíticas, control de calidad. 122 p.
- CICH (Comisión Interinstitucional de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá). 2002. Diagnóstico técnico: subcuencas de los ríos Los Hules-Tinajones y Caño Quebrado. International Resources Group, LTD. (IRG). 25 p.
- Condit, R. 1998. Tropical forest census plot: methods and results from Barro Colorado Island, Panama and comparison with other plots. 211 p.
- Contraloría General de la República de Panamá. 2000. Lugares poblados de la república. Censo de población y vivienda de 2000. Dirección de Estadística y Censo. Tomo 1. 601 p.

- Córdoba N, AT. 2002. Calidad del agua y su relación con los usos actuales en la subcuenca del río Jucuapa, Matagalpa, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 143 p.
- De Cardoso, M del C; Rojas de Hernández, AM; Caicedo, G. 1993. Indicadores ambientales de calidad de agua en la cuenca del río Cauca. AINSA 13(2):17-28.
- Dinius, SH. 1972. Social accounting system for evaluating water resources. *Water Resources Research* 8(5):1159-1177.
- Elosegi, A; Arana, X; Basaguren, A; Pozo, J. 1995. Self-purification processes along a medium-size stream. *Environmental management* 19(6):931-939.
- FAO. 1993. Prevención de la contaminación del agua por la agricultura y actividades afines. Informes sobre temas hídricos 1. Santiago, Chile. 385 p.
- Gallego, R. 2000. El agua, vehículo de contaminación (en línea). Consultado 06 oct. 2003. Disponible en <http://www.babad.com/no01/agua.html>.
- Gilbert, RO. 1987. Statistical methods for environmental pollution monitoring. Van Nostrand Reinhold Co. New York. 320 p.
- Heckadon M, S; Espinosa G, J; Barrow, LC; Castillo, E. 1986. La Cuenca del Canal de Panamá. Acta de los Seminarios-Talleres. Panamá. Imprentes S. A. 380 p.
- _____; Ibáñez D, R; Condit, R. 1999. La Cuenca del Canal: deforestación, contaminación y urbanización. STRI, Panamá. 120 p.
- Kiersch, B. 2000. Impactos del uso de la tierra sobre los recursos hídricos: una revisión bibliográfica. Dirección de Fomento de Tierra y Aguas-Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma, Italia. 30 p.
- Lobo, JE. 2000. Monitoreo de la contaminación hídrica de los afluentes del Embalse Cerrón Grande. Informe final-Fase I de Consultoría. 122 p.
- MacDonald, LH; Smart, AW; Wissmar, RC. 1991. Monitoring guidelines to evaluate effects of forestry activities on streams in the Pacific Northwest and Alaska. Environmental Protection Agency, Seattle, Washington, under EPA. 166 p.
- Maguire, D; Goodchild, M; Rhind, DW. 1991. Geographical Information systems. Applications. Essex, Inglaterra. Longman Scientific and Technical. 2 ed. 447 p.
- Malina, JF. 1996. Water quality. In Mays, Water resources Handbook. USA. McGraw-Hill. p. 8.3-8.49.
- McCutcheon, SC; Martín, JL; Barnwell, TO. 1992. Water quality. In Maidment, Handbook of hydrology. McGraw-Hill, NY. p. 11.12-11.20.
- Mendoza, ME. 1996. Impacto del uso de la tierra, en la calidad del agua de la microcuencas río Sábalos, cuenca del río San Juan, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 81 p.
- Mitchell, M; Stapp, W; Bixby, K. 1991. Manual de campo de Proyecto del Río: una guía para monitorear la calidad del agua en el Río Bravo. 2 ed. Proyecto del Río. NET México, USA. 200 p.
- MIDA (Ministerio de Desarrollo Agropecuario, PA). 2001. La producción de piña y su relación con la calidad del agua en la cuenca alta del lago Gatún. Primera Feria del Agua de Centroamérica y el Caribe. Panamá. 8 p.

- MINSA (Ministerio de Salud, PA). 1997. Normas de calidad de agua. Panamá. 55 p.
- _____. 2000. Normas para aguas residuales. Panamá. 91 p.
- Müller, S; Núñez, J; Ramírez, L. 1998. Indicadores para el uso de la tierra: el caso de la cuenca del río Reventado. Proyecto IICA/GTZ sobre Agricultura, Recursos Naturales y Desarrollo Sostenible. San José, CR. 58 p.
- OMS (Organización Mundial de la Salud). 1998. Guías para la calidad del agua potable: vigilancia y control de los abastecimientos de agua a la comunidad. 2 ed. Volumen 3. Ginebra. 255 p.
- Ongley, ED. 1997. Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos. Roma, Italia. Estudio FAO Riego y Drenaje 55.116 p.
- OPS (Organización Panamericana de la Salud). 1987. Guías para la calidad del agua potable. Criterios relativos a la salud y otra información de base. Washington, DC, 20037, EUA. 350 p.
- Ott, WR. 1978. Environmental indices: theory and practice. Ann Arbor Science Publishers, Inc., Ann Arbor, Michigan. 300 p.
- Ramos, C; Ocio A, JA. 1992. La agricultura y la contaminación de las aguas por nitrato. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España. Hojas divulgadoras. n 7/92. 32 p.
- Repetto, G; Morán, AC. 1991. Apuntes sobre calidad de las aguas de uso potable. CI (Cooperación Italiana)/MSPAS (Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social). 66 p.
- Rinaldi, S; Soncini-Sessa, R; Stehfest, H; Tamura, H. 1979. Modeling and control of river quality. McGraw -Hill. 380 p.
- Romero R, JA. 1999. Tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilización. 3 ed. Alfa Omega Grupo Editor, S.A. de C.V., México, D.F. 281 p.
- Sagastizado, M. 2001. Impacto del uso de la tierra sobre la calidad del agua en la cuenca del río Talnique, El Salvador. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 143 p.
- Seoáñez, M. 1999. Ingeniería del medioambiente aplicada al medio natural continental. 2 ed. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 702 p.
- UICN (Unión Mundial para la Naturaleza). 2000. Visión del agua y la naturaleza. 52 p.
- Villegas, J. 1995. Evaluación de la calidad del agua en la cuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica, bajo el enfoque de indicadores de sostenibilidad. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 146 p.
- Villón B, M. 2002. Hidrología. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Agrícola, Comité Regional de Recursos Hidráulicos. 433 p.
- Wong, JEC; Chan, CWY; Cheung, KC. 1997. Nitrogen and phosphorus leaching from fertilizer applied on golf course: lysimeter study. Water, Air and Soil Pollution 107:335-345.

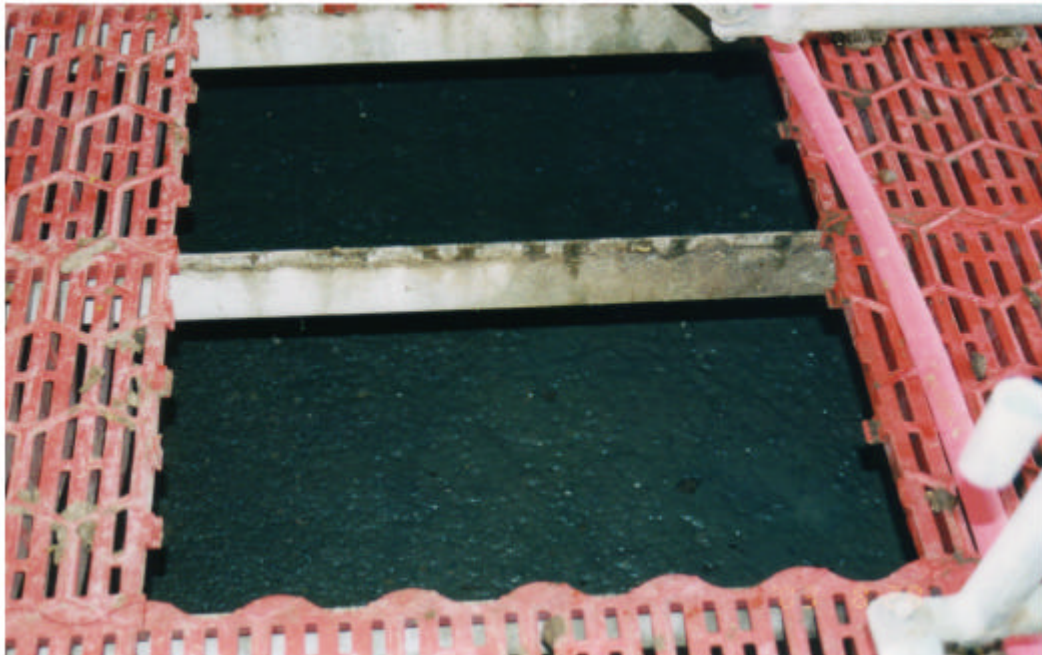
VII. ANEXOS

Anexo 1. Operación de lavado y fosa séptica

Lavado con manguera

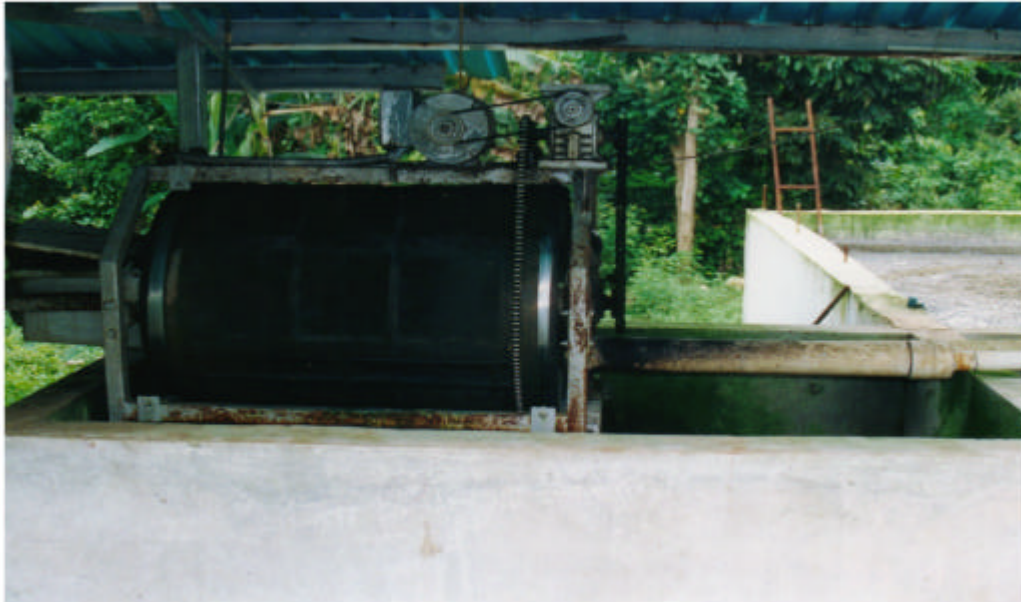


Fosa séptica



Anexo 2. Separador de sólidos y líquidos

Modelo tambor giratorio



Subproducto alimenticio para el ganado bovino (cerdasa)



Anexo 3. Lagunas de estabilización con aireadores

Laguna No. 1



Laguna No. 2



Anexo 4. Decantador para retener materia sólida

Decantador a base de grava



Decantador a base de grava



Anexo 5. Resultados físico-químicos y bacteriológicos de los parámetros estudiados

Estación	Coliformes fecales (UFC/100 ml)				Coliformes totales (UFC/100 ml)			
	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Mayo	Junio	Julio	Agosto
ET-01	100	100	100	400	1000	1200	21000	11200
ET-02	100	300	200	1400	1200	2700	2100	3000
ET-03	200	100	700	1600	370000	1700	3500	61000
ET-04	500	900	500	1400	1200	1800	6100	4400
ET-05	200	200	2700	2100	2000	7100	8600	93000
ET-06	100	400	800	2200	2100	2000	7300	9500
ET-07	600	100	1300	3200	1500	1100	4900	12800
EH-08	400	100	1600	2000	2000	1700	3700	50000
EH-09	200	600	700	4000	2700	4200	4500	7800
EH-10	0	100	200	2900	400	500	4900	7000
EH-11	100	100	1200	5700	1300	600	13000	55000

Estación	Oxígeno disuelto (mg/l)				Potencial de hidrógeno (pH)			
	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Mayo	Junio	Julio	Agosto
ET-01	6.22	5.40	11.00	6.20	5.00	5.80	5.20	5.00
ET-02	4.31	6.00	6.40	7.00	6.45	5.40	5.70	5.10
ET-03	0.00	5.80	5.50	6.40	7.98	5.40	5.60	5.70
ET-04	5.21	6.40	6.00	6.00	6.62	5.60	5.20	5.70
ET-05	7.82	7.40	7.20	8.00	6.65	5.60	6.50	5.60
ET-06	6.01	6.00	7.00	7.40	6.60	5.30	6.70	6.00
ET-07	2.00	4.40	5.40	7.80	6.16	5.50	6.00	5.70
EH-08	3.61	6.00	6.90	6.40	6.16	5.80	5.90	5.50
EH-09	3.61	4.80	6.70	6.80	6.28	5.20	5.80	5.50
EH-10	0.40	0.90	8.20	4.60	5.93	5.30	5.70	5.60
EH-11	3.91	1.70	4.20	5.40	6.06	5.30	5.70	5.50

Estación	Demanda bioquímica de oxígeno (mg/l)				Nitratos (mg/l)			
	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Mayo	Junio	Julio	Agosto
ET-01	1.35	0.75	1.10	0.90	0.038	0.110	0.110	0.110
ET-02	0.45	0.15	0.45	0.30	0.008	0.005	0.005	0.005
ET-03	22.80	0.45	0.70	1.05	0.500	0.500	0.500	0.500
ET-04	2.09	0.45	0.75	1.20	0.500	0.500	0.500	0.500
ET-05	1.35	0.90	0.90	0.90	0.210	0.500	0.500	0.500
ET-06	0.75	1.05	1.10	1.03	0.270	0.500	0.500	0.500
ET-07	0.30	0.15	0.45	0.75	0.050	0.500	0.500	0.500
EH-08	0.60	1.35	0.90	0.45	0.020	0.090	0.090	0.090
EH-09	0.30	0.45	0.45	0.60	0.010	0.005	0.005	0.005
EH-10	4.00	0.90	1.03	0.90	0.010	0.010	0.010	0.010
EH-11	1.35	1.10	1.35	1.20	0.030	0.010	0.010	0.010

Estación	Fosfatos (mg/l)				Temperatura (°C)			
	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Mayo	Junio	Julio	Agosto
ET-01	0.15	0.12	0.12	0.17	28.40	27.80	28.00	27.80
ET-02	0.15	0.13	0.13	0.17	27.20	26.30	26.20	26.30
ET-03	3.30	0.15	0.15	0.19	28.20	26.40	26.10	26.40
ET-04	0.18	0.16	0.16	0.18	26.80	26.00	26.20	26.00
ET-05	0.18	0.20	0.20	0.17	27.10	26.20	26.40	26.20
ET-06	0.17	0.16	0.16	0.18	27.10	25.90	26.10	25.90
ET-07	0.18	0.15	0.15	0.17	27.30	26.40	26.40	26.40
EH-08	0.17	0.12	0.12	0.17	27.10	26.70	26.60	26.70
EH-09	0.17	0.14	0.14	0.17	27.60	26.50	26.60	26.50
EH-10	0.21	0.13	0.13	0.17	28.00	27.20	26.80	27.20
EH-11	0.17	0.14	0.14	0.19	28.40	26.90	26.60	26.90

Estación	Turbiedad (NTU)				Sólidos totales (mg/l)			
	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Mayo	Junio	Julio	Agosto
ET-01	26.00	5.70	35.00	20.00	65.0	57.0	58.0	18.0
ET-02	5.40	7.10	22.00	31.00	75.0	49.0	53.0	87.0
ET-03	17.00	8.40	20.00	33.00	858.0	61.0	52.0	232.0
ET-04	4.30	12.00	31.00	36.00	109.0	51.0	106.0	120.0
ET-05	3.10	14.00	33.00	64.00	63.0	70.0	149.0	159.0
ET-06	2.50	15.00	42.00	70.00	68.0	79.0	134.0	193.0
ET-07	4.70	22.00	60.00	61.00	66.0	45.0	124.0	129.0
EH-08	4.50	17.00	27.00	52.00	69.0	46.0	40.0	192.0
EH-09	5.00	25.00	32.00	55.00	79.0	20.0	130.0	137.0
EH-10	7.80	15.00	40.00	42.00	94.0	2.0	86.0	146.0
EH-11	4.50	27.00	55.00	68.00	68.0	45.0	87.0	175.0

Anexo 6. Análisis de la varianza de la variable coliformes fecales

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	54.73	19	2.88	5.39	0.0001
Sitio	7.45	4	1.86	3.48	0.0230
Mes	35.90	3	11.97	22.39	<0.0001
Sitio*Mes	6.65	12	0.55	1.04	0.4502
Error	12.29	23	0.53		
Total	67.02	42			

Anexo 7. Caudales de las estaciones de muestreo de agua en m³ s⁻¹

Estación	Meses			
	Mayo	Junio	Julio	Agosto
ET-01	0.0016	0.0020	0.0022	0.0023
ET-02	0.0310	0.0384	0.0440	0.0469
ET-03	0.0395	0.0490	0.0560	0.0596
ET-04	0.1072	0.1329	0.1520	0.1619
ET-05	0.3600	0.4464	0.5100	0.5355
ET-06	0.4000	0.4960	0.5200	0.5616
ET-07	0.5732	0.7108	0.8130	0.8658
EH-08	0.3744	0.4643	0.5310	0.5655
EH-09	0.8178	1.0141	1.1600	1.2354
EH-10	0.8813	1.0928	1.2500	1.3312
EH-11	1.5300	1.8972	2.1662	2.3070

Anexo 8. Análisis de la varianza de la variable coliformes totales

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	69.60	19	3.66	4.65	0.0003
Sitio	11.13	4	2.78	3.53	0.0211
Mes	28.13	3	9.38	11.89	0.0001
Sitio*Mes	24.88	12	2.07	2.63	0.0211
Error	18.92	24	0.79		
Total	88.53	43			

Anexo 9. Análisis de la varianza de la variable pH

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.28	19	0.01	5.21	0.0001
Sitio	0.04	4	0.01	3.68	0.0179
Mes	0.20	3	0.07	23.23	<0.0001
Sitio*Mes	0.07	12	0.01	1.97	0.0762
Error	0.07	24	2.8E-03		
Total	0.35	43			

Anexo 10. Análisis de la varianza de la variable demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	15.81	19	0.83	1.58	0.1436
Sitio	3.97	4	0.99	1.88	0.1461
Mes	6.70	3	2.23	4.24	0.0154
Sitio*Mes	8.61	12	0.72	1.36	0.2497
Error	12.63	24	0.53		
Total	28.45	43			

Anexo 11. Análisis de la varianza de la variable nitratos

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	100.99	19	5.32	2.40	0.0223
Sitio	99.47	4	24.87	11.21	<0.0001
Mes	0.72	3	0.24	0.11	0.9549
Sitio*Mes	0.39	12	0.03	0.01	>0.9999
Error	53.22	24	2.22		
Total	154.21	43			

Anexo 12. Análisis de la varianza de la variable fosfatos

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	9.82	19	0.52	86.60	<0.0001
Sitio	2.47	4	0.62	103.56	<0.0001
Mes	3.68	3	1.23	205.26	<0.0001
Sitio*Mes	5.86	12	0.49	81.79	<0.0001
Error	0.14	24	0.01		
Total	9.97	43			

Anexo 13. Análisis de la varianza de la variable temperatura

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.03	19	1.7E-03	2.09	0.0443
Sitio	2.9E-03	4	7.2E-04	0.87	0.4973
Mes	0.01	3	4.0E-03	4.81	0.0092
Sitio*Mes	0.02	12	1.5E-03	1.82	0.1033
Error	0.02	24	8.3E-04		
Total	0.05	43			

Anexo 14. Datos de humedad relativa y temperatura del ambiente

Estación	Humedad relativa del ambiente (%)				Temperatura del ambiente (°C)			
	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Mayo	Junio	Julio	Agosto
ET-01	58.0	73.0	77.0	70.0	36.0	31.0	35.0	31.0
ET-02	61.0	73.0	75.0	70.0	30.0	28.0	28.0	30.0
ET-03	57.0	70.0	72.0	79.0	33.0	30.0	30.0	30.0
ET-04	62.0	66.0	71.0	79.0	30.0	30.0	29.0	30.0
ET-05	63.0	63.0	77.0	75.0	30.0	31.0	30.0	31.0
ET-06	84.0	84.0	77.0	73.0	25.0	26.0	28.0	30.0
ET-07	72.0	76.0	75.0	69.0	28.0	29.0	28.0	30.0
EH-08	67.0	73.0	73.0	72.0	28.0	29.0	29.0	30.0
EH-09	72.0	80.0	73.0	75.0	27.0	27.0	30.0	29.0
EH-10	74.0	73.0	76.0	73.0	28.0	31.0	30.0	30.0
EH-11	80.0	82.0	75.0	80.0	25.0	25.0	27.0	26.5

Anexo 15. Análisis de la varianza de la variable oxígeno disuelto

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	144.71	19	7.62	3.34	0.0030
Sitio	45.70	4	11.42	5.01	0.0044
Mes	63.67	3	21.22	9.31	0.0003
Sitio*Mes	38.82	12	3.24	1.42	0.2239
Error	54.69	24	2.28		
Total	199.39	43			

Anexo 16. Análisis de la varianza de la variable turbiedad

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	15593.23	19	820.70	14.25	<0.0001
Sitio	1656.77	4	414.19	7.19	0.0006
Mes	8322.73	3	2774.24	48.17	<0.0001
Sitio*Mes	2406.07	12	200.51	3.48	0.0045
Error	1382.35	24	57.60		
Total	16975.58	43			

Anexo 17. Análisis de la varianza de la variable sólidos totales

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	668431.02	19	35180.58	50.83	<0.0001
Sitio	176183.89	4	44045.97	63.64	<0.0001
Mes	178760.34	3	59586.78	86.10	<0.0001
Sitio*Mes	418647.40	12	34887.28	50.41	<0.0001
Error	16610.17	24	692.09		
Total	685041.18	43			

Anexo 18. Análisis de la varianza del ICA

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1286.11	19	67.69	5.15	0.0001
Sitio	465.16	4	116.29	8.85	0.0002
Mes	134.10	3	44.70	3.40	0.0339
Sitio*Mes	748.05	12	62.34	4.75	0.0006
Error	315.24	24	13.14		
Total	1601.36	43			

Anexo 19. Valores del Índice de calidad del agua por estación de muestreo

Estación	Meses			
	Mayo	Junio	Julio	Agosto
ET-01	75.52	74.82	69.39	68.82
ET-02	73.86	72.02	73.23	69.35
ET-03	42.98	73.08	69.27	67.70
ET-04	69.83	71.75	68.30	66.50
ET-05	80.91	74.16	74.61	69.37
ET-06	79.19	71.70	75.23	69.31
ET-07	64.02	66.32	68.71	69.52
EH-08	67.97	73.51	72.55	68.25
EH-09	68.12	65.56	73.03	67.83
EH-10	66.76	60.29	75.77	62.92
EH-11	69.42	60.46	61.53	62.28