

**UNIVERSIDAD DE ELSALVADOR**  
**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMATICAS**  
**ESCUELA DE BIOLOGIA**



**Universidad De El Salvador**  
Hacia la libertad por la cultura

**TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**“EVALUACION DEL EFECTO AGRÍCOLA SOBRE LA CALIDAD DEL  
AGUA DEL RIO SUCIO”**

**PRESENTADO POR:**

**DORA ALICIA ARMERO DURÁN**

**PARA OPTAR AL TITULO DE  
LICENCIADA EN CIENCIAS BIOLOGICAS**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, 26 DE MARZO DEL 2003**

**UNIVERSIDAD DE ELSALVADOR**  
**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMATICAS**  
**ESCUELA DE BIOLOGIA**



**Universidad De El Salvador**  
Hacia la libertad por la cultura

**TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**“EVALUACION DEL EFECTO AGRÍCOLA SOBRE LA CALIDAD DEL  
AGUA DEL RIO SUCIO”**

**PRESENTADO POR:**

**DORA ALICIA ARMERO DURÁN**

**PARA OPTAR AL TITULO DE**

**LICENCIADA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**ASESOR: Dr. RIGOBERTO AYALA**  
**ASESORA ADJUNTA: Ing. ROXANA FLORENCIA DE CASTILLO**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, 26 DE MARZO DEL 2003**

**UNIVERSIDAD DE ELSALVADOR**  
**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMATICAS**  
**ESCUELA DE BIOLOGIA**



**Universidad De El Salvador**  
Hacia la libertad por la cultura

**TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**“EVALUACION DEL EFECTO AGRÍCOLA SOBRE LA CALIDAD DEL  
AGUA DEL RIO SUCIO”**

**PRESENTADO POR:**

**DORA ALICIA ARMERO DURÁN**

**PARA OPTAR AL TITULO DE  
LICENCIADA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**ASESOR:** \_\_\_\_\_  
**Dr. RIGOBERTO AYALA**

**ASESORA  
ADJUNTA:** \_\_\_\_\_  
**Ing. ROXANA FLORENCIA DE CASTILLO**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, 26 DE MARZO DEL 2003**

**AUTORIDADES UNIVERSITARIAS**

**RECTORA**  
**Dra. MARIA ISABEL RODRÍGUEZ**

**SECRETARIA GENERAL**  
**Licda. LIDIA MARGARITA MUÑOZ VELA**

**FISCAL**  
**Lic. PEDRO ROSALIO ESCOBAR CASTANEDA**

**DECANA DE LA FACULTAD**  
**Licda. LETICIA NOEMÍ PAUL DE FLORES**

**DIRECTORA DE LA ESCUELA**  
**Msc. ANA MARTHA ZETINO CALDERON**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, 26 DE MARZO DEL 2003**

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi padre, Alfonso Armero Flores y a mi madre, Maria Isabel Durán de Armero, por su comprensión y estímulo a seguir adelante, a mis hermanos, Juan Carlos, por su ayuda en computación a Jenniffer y Cecilia, por su atención y ayuda.

A mis Asesores, Dr. Rigoberto Ayala por su tiempo e Ing. Roxana Rodríguez por su tiempo y apoyo en el desarrollo técnico de este trabajo.

A mis Jurados Lic. Rodolfo Menjivar, por su tiempo y opiniones, a Lic. Marina de Tobar, por su tiempo dedicado, por su orientación y apoyo en la elaboración de este documento.

A mis amigas, Karla Quintanilla, Sonia Delgado, Ruth Mangandy, Guisela Cordón y Mercedes Monjaraz, que siempre prestaron su ayuda cuando se la solicite y cuando no lo hice también y a mis amigos, René Morán, y Jeremías Yáñez por su colaboración y también apoyo moral, a Mario Sagastizado, por brindarme información del tema.

A Lic. Zulma Mena, por haberme permitido realizar los análisis físico-químicos en el Laboratorio de Calidad de Aguas del ahora Sistema Nacional de Estudios Territoriales (SNET).

A Ventura Guirola compañero de trabajo, durante el monitoreo del Río Sucio 2002, por su apoyo durante la fase de campo y colecta de muestras.

A mis compañeros de Trabajo del Instituto Tecnológico Centroamericano, por su atención, en la fase de elaboración de mi tesis.

Gracias a todos, por haber contribuido a la culminación de este proceso, ya que tan solo palabras de aliento eran suficientes para seguir adelante.

## INDICE DE CONTENIDOS

### INDICE DE TABLAS

### INDICE DE FIGURAS Y GRAFICOS

<b>1. RESUMEN.....</b>	<b>I</b>
<b>2. INTRODUCCION .....</b>	<b>III</b>
<b>3. FUNDAMENTO TEORICO .....</b>	<b>1</b>
3.1 ANTECEDENTES.....	1
3.2 GENERALIDADES DE LOS RECURSOS HÍDRICOS.....	8
3.3 HIDROLOGÍA DE LAS AGUAS SUPERFICIALES .....	10
3.4 CONTAMINACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS .....	11
3.4.1 Contaminación agrícola .....	12
3.4.1 Contaminación de origen doméstico.....	14
3.4.3 Contaminación de origen industrial.....	14
3.5 AUTODEPURACIÓN DE LAS AGUAS SUPERFICIALES .....	14
3.6 PARÁMETROS DE CALIDAD DE LAS AGUAS SUPERFICIALES .....	16
3.7 EVALUACIÓN FÍSICA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN EL SALVADOR .....	20
3.7.1 Río Lempa y tributarios.....	22
3.7.2.1 Usos del suelo en el Distrito de Riego de Atiocoyo.....	22
3.7.2.2 Usos del suelo del Distrito de Riego de Zapotitán.....	23
3.8 ÍNDICES AMBIENTALES .....	24
3.8.1 Antecedentes y clasificación de los Índices de Calidad del Agua 27	
3.8.1.1 Índices de Usos específicos.....	28
<b>4.0 METODOLOGÍA.....</b>	<b>30</b>
4.1 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	30
4.2 FASE DE CAMPO .....	31
4.2.1 Selección de las estaciones de muestreo.....	31
4.2.2 Frecuencia de muestreo .....	35
4.3 FASE EXPERIMENTAL .....	38

**5.0 ANÁLISIS MATEMÁTICO.....**

39

**6.0 RESULTADOS. .... 43**6.1 ESTACIONES DENTRO DEL DISTRITO DE RIEGO N<sup>0</sup>1 DE ZAPOTITÁN. .... 43

6.2 ESTACIONES DENTRO DE ZONAS EXPLOTADAS POR AGRICULTORES FUERA DE LOS DISTRITOS DE RIEGO DE ZAPOTITÁN Y ATIOCOYO (12,16 Y17)..... 44

6.3 CALIFICATIVO DEL ÍNDICE DE BROWN EN LAS ESTACIONES DENTRO DEL DISTRITO DE RIEGO N<sup>0</sup>2 DE ATIOCOYO. .... 45

6.4 VARIACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS-QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS, UTILIZADOS EN EL ÍNDICE DE BROWN DURANTE LOS MESES DE AGOSTO A NOVIEMBRE EN LAS ESTACIONES DE MUESTREO. .... 45

6.1 GRÁFICOS DE ÍNDICES DE CALIDAD DURANTE LOS MESES DE MUESTREO PARA CADA ESTACIÓN. AGOSTO-NOVIEMBRE 2002. .... 51

6.2 GRÁFICOS DE VARIACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS-QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICO, EN LAS ESTACIONES DURANTES LOS MESES DE AGOSTO-NOVIEMBRE, 2002. .... 55

**7.0 DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS ..... 66**

7.1 ANÁLISIS DEL ICA OBTENIDO, POR ZONAS AGRÍCOLAS Y LA TENDENCIA DEL ÍNDICE EN CADA ESTACIÓN, POR MES DE MUESTREO. .... 67

7.1.1 *Estaciones en la zona del Distrito de Riego de Zapotitán..... 67*7.1.2 *Estaciones dentro de la zona explotada por pequeños agricultores, no perteneciente a ninguno de las cooperativas de los Distritos de Riego. .... 70*7.1.3 *Estaciones dentro del Distrito de Riego de Atiocooyo, zona perteneciente a la desembocadura del Río Sucio. .... 71*

7.2 COMPARACIÓN Y ANÁLISIS DE PARÁMETROS REFERIDOS A LOS POSIBLES USOS DEL AGUA CON RESPECTO A LAS NORMAS OFICIALES. .... 72

7.2.1 *OXIGENO DISUELTO, DBO<sub>5</sub>, NITRATOS Y FOSFATOS ..... 72*7.2.2 *pH. .... 74*7.2.3.*SÓLIDOS TOTALES Y TURBIDEZ ..... 75*

7.2.4 COLIFORMES FECALES.....	77
7.2.5 TEMPERATURA.....	10
<b>8. CONCLUSIONES.....</b>	<b>79</b>
<b>9. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>81</b>
<b>10. LITERATURA CITADA .....</b>	<b>83</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>86</b>



**INDICE DE TABLAS.**

<b>TABLA 1. Uso del suelo en el Distrito de Riego de Aticoyo.....</b>	<b>23</b>
<b>TABLA 2. Uso del suelo en el Distrito de Riego de Zapotitán.....</b>	<b>24</b>
<b>TABLA 3. Estaciones de monitoreo para el Río Sucio, propuestas por el Programa Ambiental de El Salvador.....</b>	<b>34</b>
<b>TABLA 4. Estaciones consideradas para el estudio, que se encuentran en zonas agrícolas de la cuenca del Río Sucio.....</b>	<b>35</b>
<b>TABLA 5. Preservación de muestras.....</b>	<b>36</b>
<b>TABLA 6. Mediciones “in situ”, parámetros sugeridos por Brown.....</b>	<b>38</b>
<b>TABLA 7. Metodologías aplicadas para los análisis físicos-químicos y microbiológicos.....</b>	<b>39</b>
<b>TABLA 8. Porcentajes de la calidad ambiental del agua del Río Sucio en las estaciones de muestreo, según Brown.....</b>	<b>92</b>
<b>TABLA 9 y 10. Control de resultados en análisis físico-químicos y microbiológicos, en el mes de Agosto.....</b>	<b>93</b>
<b>TABLA 11 y 12. Control de resultados en análisis físico-químicos y microbiológicos, en el mes de Agosto.....</b>	<b>95</b>
<b>TABLA 13 y 14. Control de resultados en análisis físico-químicos y microbiológicos, en el mes de Agosto.....</b>	<b>97</b>
<b>TABLA 15 y 16. Control de resultados en análisis físico-químicos y microbiológicos, en el mes de Agosto.....</b>	<b>99</b>

## INDICE DE FIGURAS Y GRAFICOS

<b>FIGURA 1. Ubicación de los Distritos de Riego de Atiocoyo y Zapotitán.....</b>	<b>32</b>
<b>FIGURA 2. Cuenca del Río Sucio y estaciones seleccionadas.....</b>	<b>37</b>
<b>GRAFICOS 1-12. Índice de calidad por estaciones de muestreo.....</b>	<b>51</b>
<b>GRAFICOS 13-16. Resultados de OD y DBO de Agosto a Noviembre del 2002.....</b>	<b>55</b>
<b>GRAFICOS 17-20. Resultados de pH de Agosto a Noviembre del 2002.....</b>	<b>57</b>
<b>GRAFICOS 21-22. Resultados de Nitratos de Octubre y Noviembre del 2002.....</b>	<b>58</b>
<b>GRAFICOS 23-26. Resultados de Sólidos Totales de Agosto a noviembre del 2002.....</b>	<b>59</b>
<b>GRAFICOS 27-30. Resultados de turbidez de Agosto a Noviembre del 2002.....</b>	<b>60</b>
<b>GRAFICOS 31-34. Resultados de Coliformes Fecales de Agosto a Noviembre del 2002.....</b>	<b>61</b>
<b>GRAFICOS 35-38. Resultados de Fósforo Total de Agosto a Noviembre del 2002.....</b>	<b>63</b>
<b>GRAFICOS 39-42. Resultados de temperatura de Agosto a Noviembre del 2002.....</b>	<b>64</b>

## 1. RESUMEN

Este trabajo de investigación se enfoca en la problemática que los recursos hídricos en El Salvador están experimentando, en relación con la calidad que presentan las aguas superficiales, y el uso actual del cual pueda disponerse.

Se exponen a lo largo del contenido, una revisión de estudios previos acerca del Río sucio, generalidades acerca de las aguas superficiales, fuentes de contaminación, parámetros de calidad del agua, índices de calidad de agua, su importancia y aplicabilidad.

Se establece la metodología utilizada para el desarrollo del trabajo, que incluye: un muestreo de campo en las áreas agrícolas de Zapotitán, Atiocoyo y áreas intermedias, por un periodo de 4 meses abarcando desde Julio a Noviembre del 2002, el análisis experimental se desarrollo en el Laboratorio de Calidad de Aguas del Sistema Nacional de Estudios Territoriales (SNET), y Laboratorio de Bacteriología del Ministerio de Agricultura y Ganadería ambos situados en las instalaciones de este último, en el que se aplicaron metodologías del APHA et,al (1995) y HACH Methods (1997).

Posterior a esta etapa, los datos obtenidos se enmarcaron en la aplicación del Índice de Calidad de Agua de Brown, que es un Índice General, que involucra 9 parámetros entre físicos, químicos y microbiológicos, obteniendose un calificativo en porcentaje sobre la Calidad Ambiental del afluente en estudio, que varia entre 100% correspondiente a una excelente calidad y 0% a una pésima calidad.

La aplicabilidad de este Índice, proporcionó como resultados: caracterizar de manera general la calidad del agua del Río Sucio, considerándose como un afluente con variaciones entre aceptables y malas, la zona de la desembocadura presento los mejores porcentajes. En cuanto a los valores de los parámetros, según los resultados se excedieron, y al hacer una

comparación de los valores obtenidos con los límites establecidos por las Normas Oficiales consideradas (NSO13.07.01:99, NSO 13.07.03:02, NOM001-ECOL-1996) entre los parámetros que resultaron de mayor consideración por las cantidades encontradas fueron: Los Coliformes fecales, Sólidos Totales, Turbidez, OD y la  $DBO_5$ .

Se concluye, que las actividades agrícolas y agroindustriales están repercutiendo de manera significativa sobre la calidad del agua del Río Sucio, sin embargo la zona correspondiente a la desembocadura tiende a una autodepuración, por los índices mayores que se obtuvieron. Y la zona que recibe mayor influencia de contaminación y por ende sus índices resultaron menores, es la correspondiente a Zapotitán.

Por último se dan recomendaciones involucrando a diferentes entidades que están relacionadas con salud, agricultura y medio ambiente.

## 2. INTRODUCCION

Los recursos hídricos figuran significativamente entre los factores determinantes de la naturaleza y el grado de desarrollo económico incluyendo el bienestar social; el alto nivel de contaminación del agua en El Salvador, proviene de aguas servidas de casas particulares, municipalidades e industriales, de desechos sólidos, sedimentación y actividades agrícolas. La mayoría de los ríos en el país son inservibles para diversos usos (Greg & Platais, 1998).

La concentración de la población y la rápida urbanización son factores que se aúnan a una nueva dinámica de degradación ambiental, la expansión de la agricultura, en unión con la deforestación y erosión, incrementa la sedimentación en los ríos, la organificación y disminuye la calidad del agua. Convirtiéndose en un efecto negativo en cadena que alcanzan las zonas costeras (PRISMA, 1994)

La cuenca del Río Sucio cuya disponibilidad en suelos y abundancia de agua, le confieren importancia en cuanto a desarrollo económico, por la explotación que se hace de los recursos ya mencionados. En sus riberas se desarrollan los dos distritos de riego más grandes del país (Zapotitán y Atiocoyo), además el desarrollo de actividades agroindustriales, e industriales en sus riberas, todo esto tiene una repercusión sobre la calidad del efluente. Conocer el efecto de estas actividades sobre la calidad de las aguas es importante, para poder establecer las condiciones en las que el río se encuentra actualmente de tal manera que permitan, optimizar sus usos, actuales y futuros.

La presente investigación tiene como objetivos: evaluar la calidad del agua del Río Sucio, en apoyo al monitoreo ejecutado por el Programa Ambiental de El Salvador (PAES),2002, en estaciones dentro del áreas de mayor actividad agrícola en el canal principal y ríos secundarios: Colón, Talnique, Aguas Calientes, utilizando parámetros físico- químicos y microbiológicos

resumidos en el Índice de Calidad de Agua de Brown (ICA) y a la vez generar información que complementen la serie de datos ya existentes, y contribuir en la búsqueda de soluciones para mejorar la calidad del agua del Río Sucio.

Para alcanzar dichos objetivos se ejecutó una metodología de trabajo que comprende una fase de campo, posterior está una experimental, de la que se obtienen los resultados de los parámetros físicos-químicos y microbiológicos, a los que finalmente se les aplica el Índice de Calidad de Agua de Brown.

### **3. FUNDAMENTO TEORICO**

#### **3.1 Antecedentes**

El Río Sucio ha sido desde años atrás uno de los recursos hídricos de mayor explotación, por sus características que propician su utilización para obras actuales y futuras.

Un diagnóstico de la Oficina Especializada del Agua del Ministerio de Planificación y Coordinación del Desarrollo Económico y Social, sobre calidad de aguas de la cuenca del Río Sucio en 1983, incluye además de propuestas de utilización, una evaluación de la calidad físico- química del agua superficial y subterránea de la cuenca, necesarias para estudiar factibilidades de proyectos futuros, ya que existen antecedentes de problemas de calidad del agua interfiriendo con el uso pleno del recurso; en este documento se proponen proyectos de obras de abastecimientos y la expansión de áreas de riego; los resultados que obtuvieron de la calidad del agua por zonas de proyectos, fueron los siguientes:

-Para abastecimiento de agua a San Salvador.

Los datos reportaron una alta contaminación por coliformes, dureza, color y turbidez, una DBO (demanda bioquímica de oxígeno) cuyos valores indican baja contaminación orgánica, por lo que se considero que el uso del agua es factible por medio de un tratamiento convencional de percolación, coagulación, filtración y desinfección para potabilizarla.

En proyectos de riego, se dividió en 6 subzonas el Río Sucio que abarcan ríos secundarios de la cuenca, que presentaron los siguientes resultados y recomendaciones:

Zona1: Río Agua Caliente y aguas subterráneas altas en concentraciones de boro, recomendándose su uso sólo para regar cultivos semisensibles y tolerantes.

Zona 2: proponen la utilización de los ríos Talnique y Ateos, los que presentaron una calidad excelente para riego.

Zona 4: Consideran la utilización de los ríos Talnique, Aguas calientes, Aguas frías, además de aguas subterráneas de zonas altas de Zapotitán; y en esta zona se detectan problemas por la presencia de Boro en el río Aguas Calientes.

Zona 5 y 6 proponen la utilización combinada del Río Sucio para uso de agua potable y para riego, considerándose que no existen problemas de calidad con relación a los usos propuestos.

También se propone la utilización de las aguas para dilución de vertidos, sin embargo no se señalan lugares específicos porque es casi toda la cuenca del río la que se usa para transporte y diluidor de los vertidos; se encontró que en los sitios en donde se ha sobrepasado la capacidad autodepuradora, está relacionada a la contaminación bacteriológica, lo cual podría encarecer las posibilidades para consumo humano.

Al final plantean, que la utilización de las aguas del Río Sucio como diluidor de los vertidos contaminantes, tanto industriales como municipales, representan un grave riesgo para uso futuro, sobre todo para fines potables, siendo necesario adoptar medidas de protección especial para esta cuenca (Oficina Especializada del Agua, 1983)

Saca (1986), en una propuesta de un Plan de Ordenamiento y Protección Ecológica de la Cuenca del Río Sucio, efectuado para un desarrollo integral de los recursos naturales, menciona como medidas:

- Protección de suelos y corrección de inundaciones mediante la implementación de prácticas de conservación que permitan un uso adecuado de las tierras.
- Protección del recurso bosque
- Evaluar y controlar el nivel de contaminación de los cuerpos de agua ubicados en la cuenca.



Sobre la base de proyectos evaluados como el de PLANSABAR/ ANDA y el de Riego del Ministerio de Agricultura y Ganadería proponen un plan de solución enmarcado en un aspecto legal e institucional con la creación de una entidad formada por un equipo multidisciplinario e interinstitucional que planifique, coordine y desarrolle medidas protectoras, tendientes a la preservación de los recursos naturales; plantean que éste carácter jurídico permitirá dictar normas para la evaluación de los desechos líquidos y sólidos de origen doméstico industrial y agrícola a fin de asegurar que las aguas receptoras no sean contaminadas mas allá de los estándares establecidos y no interfieran en los usos actuales y futuros del río.

Saca (1986), justifica la implementación de un plan de ordenamiento, basándose en el análisis de calidad del agua, describe que el río Sucio presenta posibilidades para ser utilizado como alternativa de suministro de agua potable; los valores de dureza y sólidos disueltos así como las altas concentraciones de Hierro y Manganeso, detectadas en el Valle de Zapotitán, indican que su utilización para uso industrial requiere de un reacondicionamiento de acuerdo a las necesidades de cada industria, que en general las aguas del río pueden ser utilizadas para riego. Concluye que la carga de contaminación y las demandas futuras del Río Sucio están aumentando con la expansión de la población y la actividad industrial. Y que también puede limitar su utilización, el creciente deterioro del suelo por las prácticas agrícolas inadecuadas.

Recomienda que el servicio de Hidrología del Ministerio de Agricultura y Ganadería, efectúe un muestreo sistemático que incluya evaluación de parámetros físico- químicos, bacteriológicos y biológicos, incorporando las descargas industriales para evaluar el grado de contaminación.

Solano & Benavides (1997), en una investigación sobre “simulación de calidad de agua “ referido a los ríos Sucio Acelhuate y Cuaya, se dirigieron a determinar el riesgo de contaminación de acuíferos subterráneos y al modelaje de la

contaminación, generando herramientas para la planificación del aprovechamiento eficiente del recurso para el caso de las subcuencas: Sucio Acelhuate y Cuaya seleccionadas por estar directamente relacionadas con el suministro de agua potable al área metropolitana de San Salvador (AMSS), de los resultados se concluyen: que es de considerar el caso del río Sucio porque a lo largo de la cuenca existen una serie de fabricas que vierten sus desechos a estas aguas, además tienen poca velocidad, por lo que su capacidad auto depuradora no es muy efectiva, por ausencia de caídas de aguas que ayudaría a la reoxigenación del río, esto disminuiría la distancia necesaria para la depuración de la carga contaminante.

Los mismos autores, recomiendan proteger el acuífero de la subcuenca del río Sucio mediante la protección de sus áreas de recarga, partiendo de la regulación de urbanizaciones y desarrollos industriales en áreas de recarga y almacenamiento en la cuenca, darle tratamiento a los vertidos industriales, domésticos para disminuir el deterioro de la calidad del recurso hídrico, proteger los acuíferos, no solo incluyendo un monitoreo en la contaminación sino implementar en el sector industrial, domestico y de transporte, tecnologías limpias y productos biodegradables, en aguas superficiales monitorear los niveles de contaminación, caudal vertido y disminución del OD que ocasiona la descarga .

Esquivel & López (1998), en un estudio basado en usos potenciales del río y su cuenca, como agua para consumo, riego, recreación, soporte de vida acuática y otros, investigaron los contaminantes antropogénicos denominados metales pesados de acuerdo al Oxígeno Disuelto (OD), Nitrógeno amoniacal, etc. se estableció la calidad del agua por predicción de parámetros físicos, químicos y biológicos: temperatura, caudal, Nitrógeno total, nitrógeno amoniacal, nitratos, nitritos, cromo VI, cadmio, plomo, cobre, aluminio, zinc, níquel, bario, cianuro, sólidos totales, sólidos disueltos, sólidos suspendidos, sulfatos Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), y boro, emplearon metodologías recomendadas por la Environmental Protection Agency

(EPA) y métodos estándares para análisis de aguas. Del río se tomaron 29 muestras, incluyendo a 18 de pozos y el resto de los ríos Talnique, Colon, Las Cañas, (cuenca alta de Zapotitán), Lempa y Chuchucato.

El informe abarca encuestas y entrevistas a la comunidad y alcaldías de las poblaciones más próximas a quebradas, resultando que el 40.5% de la población opina que el principal contaminante de la cuenca del río Sucio lo constituyen los desechos industriales, el segundo lugar las aguas negras que se depositan debido al incremento poblacional y el tercer lugar los desechos de granjas avícolas, porquerizas y empresas que manejan ganado bovino, los que depositan sus desechos mediante canales que van directamente al río, en cuarto lugar lo constituye la basura.

En el informe se concluye que el 50% de la población de la cuenca del río Sucio y Acelhuate consumen agua no potable.

El Programa Ambiental de El Salvador (PAES 1997-2003), en su documento sobre análisis de resultados de un “Monitoreo Preliminar de las Subcuencas de los Ríos: Sucio, Acelhuate y Suquiapa”, mencionan que para evaluar el impacto que tienen las descargas de vertidos industriales en cada subcuenca de los ríos Sucio, Suquiapa y Acelhuate, es necesario considerar los tres componentes principales de una evaluación de la contaminación de los recursos hídricos. Los tres componentes básicos para enfocar la problemática son:

- La entrada de descargas puntuales.
- Las reacciones y transformaciones químicas y biológicas.
- La salida o concentraciones de resultantes de una sustancia.

La información que generó este monitoreo preliminar, permitió la identificación de zonas críticas por medio de la cual se elaboró una nueva red de monitoreo que se trabajará hasta finalizar el proyecto para establecer un sistema de modelaje para cada río. Con este monitoreo preliminar se concluyó que el río Sucio recibe un alto grado de contaminación por vertidos industriales de granjas, tenerías, textiles,

fábricas de papel, porquerizas, así como de aguas negras de zonas urbanas localizadas en la subcuenca. La zona crítica del río donde se imposibilita el desarrollo de vida acuática y actividades humanas es el canal Belén (en Zapotitán), y en los ríos Colón, Agua caliente y Agua Fría el desarrollo de vida acuática se ve limitada debido a los niveles de carga orgánica mayores a los niveles permisibles. Toda la cuenca alta está fuertemente contaminada por coliformes fecales lo que limita la utilización del mismo para actividades humanas.

Según Cruz & Martínez (2000), realizaron un estudio de la contaminación del recurso hídrico en la cuenca del río Sucio, según los resultados obtenidos concluyeron que el río posee aguas muy tranquilas y que en su trayecto final logra cierto grado de recuperación por la distancia recorrida y aumento del caudal llegando a alcanzar una calidad adecuada para permitir el desarrollo de vida acuática. Al río Sucio llega la contaminación, a través de ríos tributarios que arrastran aguas de vertidos industriales y que en algunas aunque tienen tratamientos de aguas residuales son descargadas contaminadas. Que tanto en parámetros físico- químicos como en microbiológicos se comprueba una alta contaminación orgánica superando un 90% de la normativa para la vida acuática de flora y fauna.

Al respecto, recomiendan: -Elaboración y aplicación de procedimientos de evaluación rápida para la determinación, inventario y cuantificación de las fuentes contaminantes.

- Elaboración y aplicación de tecnologías limpias de producción industrial y de productos biodegradables, además de tratamientos de las aguas residuales.

-Establecimiento de un programa nacional de vigilancia para la operación y mantenimiento de las instalaciones de control de la contaminación del agua.

-Protección de la salud pública mediante programas destinados a la identificación y control de vectores de enfermedades y organismos transmitidos por el agua dulce.

Sagastizado (2001), en un estudio en el río Talnique, tributario del río Sucio para conocer las características de la calidad de agua, en los drenajes de la subcuenca y el cauce principal y la dinámica del proceso de autodepuración de las corrientes durante el período seco Marzo-Junio del 2001, utilizó mediciones biológicas como una herramienta complementaria para conocer el estado de la calidad del agua de los ambientes acuáticos, los drenajes analizados recogen las aguas de escorrentías de zonas dedicadas al café bajo sombra, granos básicos, numerosas zonas urbanas y descargas de centros industriales. Las variables convencionales de calidad de agua indicaron en general problemas asociados a altas carga de sedimentos provenientes de zonas dedicadas a cultivos anuales en comparación con las tierras utilizadas para caficultura, el cauce principal mostró un agotamiento del oxígeno en los tramos inferiores, los riesgos de salinidad de las aguas dedicadas al riego es un problema permanente en sectores del distrito de Zapotitán, concluye además que las condiciones físico-químicas del río Talnique resultaron más favorables en comparación con análisis de otras fuentes cercanas como río Colón, Belén y Sucio.

Factores como mayor drenaje, tierras sin vegetación dedicadas a agricultura en laderas, entre otras facilitan el desprendimiento del suelo y alto contenido de sedimentos en el drenaje del río Ateos, la presencia de coliformes aún en bajas concentraciones representan un riesgo a la salud por la probabilidad de organismos patógenos, el contenido orgánico en sectores del río y tributarios están vinculados a descargas de origen doméstico.

Por lo que recomienda: -Realizar nuevos estudios sobre la capacidad de asimilación de contaminantes y poder de autodepuración de las corrientes de la cuenca del río Talnique y fuentes importantes.

-Evaluar la intensidad de aplicación de fertilizantes y agroquímicos.

-Establecer una red y mapeo básico de áreas críticas o sensibles a la contaminación, contribuyendo a la discusión sobre el ordenamiento territorial y protección de los recursos hídricos de la zona.

-Promover la participación de la comunidad en las tareas de saneamiento ambiental y manejo de desechos domésticos, concientizando sobre el vínculo entre el estado de la calidad del medio y la salud comunitaria.

-Proveer tecnologías de uso y reciclaje de materiales potencialmente contaminantes, además de medidas de control de erosión y conservación de aguas en fincas de café y áreas de cultivos agrícolas, todas estas importantes para la protección y suministro de agua.

Peña & Rivas (2002) en una investigación para conocer los niveles de Nitratos y Nitritos del río Sucio, se basaron, en puntos cercanos al río Belén (afluente del río Sucio) y en un pozo muy cercano a las riberas de la Cuenca en estudio, obtuvieron como resultado que los niveles de Nitratos, como componente único, no exceden de la Norma para agua potable variando entre sus valores de 0.096 ppm a 2.6212 ppm; la cantidad de Nitritos, estuvo entre 0.18 a 2 ppm, pero al hacer la combinación de ambos compuestos estos exceden la cantidad de 1 ppm, que es el límite permisible en la combinación de ambos compuestos que establece la Norma Salvadoreña, para agua potable.

### **3.2 Generalidades de los recursos hídricos**

El uso excesivo de los recursos hídricos y el incremento estimado para los años venideros conllevan a grandes amenazas para el funcionamiento de los ecosistemas de agua dulce y de su diversidad biológica, y para el bienestar humano. La evidencia disponible indica que se están perdiendo diariamente ecosistemas y especies de agua dulce. Las amenazas actuales varían según los lugares; la conversión de la tierra, la invasión de las especies exóticas y la contaminación de ríos son también causas importantes de la pérdida de diversidad biológica y la destrucción de ecosistemas de agua dulce. Sé esta

comenzando a entender que junto con esta destrucción, se están perdiendo valiosos servicios ecológicos (UICN, 1999).

Pocas personas fuera del ámbito académico y de la conservación reconocen la capacidad que tienen los sistemas naturales para purificar agua y regular los flujos de la misma; aun menos parecen darse cuenta de la importancia que tienen la anfluencia constante y suficiente de agua hacia esos ecosistemas para mantener sus funciones y servicios para la sociedad. Por el contrario, hasta los mismos flujos requeridos por las especies en los ríos son considerados con frecuencia un desperdicio de agua. A escala global sé esta poniendo mucho empeño en generar voluntad política y los instrumentos que puedan orientar a los gobiernos nacionales y a otras instituciones para que den una mayor prioridad al manejo de los recursos hídricos.

Los ecosistemas de agua dulce representan un área relativamente pequeña de la superficie terrestre, aunque albergan una cantidad desproporcionada de la diversidad biológica del mundo, esta diversidad biológica esta gravemente amenazada; en muchas partes del mundo hay ecosistemas ya degradados debido a actividades humanas como la extracción de agua, la contaminación y la alteración física, el aumento de la población y del consumo, están acelerando esta degradación (UICN, 1999).

Según la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE, 1997), los humedales de aguas dulces a escala mundial ocupan una superficie de aproximadamente 8,6 millones de Km<sup>2</sup>, es decir, el 6,4% de la superficie terrestre, contribuyen a la productividad primaria, al equilibrio ecológico y a la calidad general del medio ambiente en una proporción equivalente a su superficie total.

La importancia de los recursos hídricos, es porque aportan un amplio espectro de beneficios a la población local, a las poblaciones asentadas aguas abajo y al país en su conjunto, entre los beneficios directos que la población puede obtener de

ellos, se tienen: bosque y otros recursos vegetales, especies silvestres, pesca y acuicultura, recursos forrajeros, agropecuarios y abastecimiento de agua, entre los beneficios indirectos se tienen: estabilización de la erosión, retención de sedimentos, protección contra tormentas, estabilización de ecosistema del microclima y recreación turística.

Los recursos hídricos son sistemas dinámicos, se estima que desde 1900 el mundo puede haber perdido cerca del 50% de los recursos hídricos, no se dispone de cifras sobre el alcance de la desaparición de estos recursos, pero no cabe duda que su desecación para incrementar la producción agropecuaria, es causa principal.

Las causas directas de la desaparición de los recursos hídricos, se derivan a menudo de fuerzas sociales y económicas, como de decisiones políticas, el aumento de la población en conjunción con el reparto desigual de los recursos y desechos de acceso, se ha traducido en un aumento de la demanda de tierras para la agricultura y el desarrollo urbano e industrial y ha hecho recaer las presiones más fuertes sobre los humedales, a pesar de esto las políticas e incentivos en ciertos sectores contribuyen en este fenómeno fomentando la desecación (OCDE, 1997).

### **3.3 Hidrología de las aguas superficiales**

Cuando se considera la cantidad y calidad de las aguas superficiales, es importante comprender los procesos que crean la masa de las aguas superficiales (ríos, lagos, arroyos y similares). El agua superficial, se nutre de tormentas de lluvia que generan las aguas de escorrentías y del agua subterránea que vierte en ella. La lluvia puede infiltrarse en el terreno ser captada por la vegetación (captación inicial) u originar el agua de escorrentía. La lluvia, por tanto, puede evaporarse desde el suelo o masas de aguas, transpirar a través de la vegetación, pasar al agua subterránea. Los caudales de escorrentía fluyen aguas



abajo hasta riachuelos, arroyos, lagos y ríos y eventualmente hasta los océanos, la lluvia se infiltra en el subsuelo y se convierte en agua subterránea aflorando en cualquier otro lugar a la superficie; en este caso el agua superficial se denomina “cauce receptor” y la corriente de agua subterránea “caudal freático”. El caudal freático justifica el caudal de los arroyos, ríos, etc., cuando no existe escorrentía de lluvia. Una vez que la lluvia llega a los océanos, puede incorporarse a la atmósfera para volver a caer en forma de precipitación, y el ciclo vuelve a empezar, por ello este sistema se denomina “ciclo hidrológico”, debido a la naturaleza dinámica de los procesos que influyen en la calidad y cantidad, las variaciones naturales tienen lugar sobre el caudal y las características de la calidad (Canter, 1998).

### **3.4 Contaminación de los recursos hídricos**

Muchos tipos de proyectos, planes o programas producen impactos en las aguas superficiales, los impactos pueden ser representados por cambios en la calidad y cantidad de las aguas, produciendo alteraciones en los ecosistemas acuáticos; ejemplo de proyectos que ocasionan impactos relacionados con las aguas superficiales son: industrias o centrales hidroeléctricas que extraen aguas superficiales para utilizarlas como aguas de refrigeración, industrias que vierten aguas residuales de procesos de operación rutinarias, construcción de presas para abastecimiento de agua, deforestación y desarrollo agrícola, que dan como resultado una contaminación por exceso de nutrientes y pesticidas que retornan al caudal junto al agua de riego, residuos tóxicos, residuos sólidos urbanos, aguas residuales urbanas, Etc.

La contaminación a los recursos puede ser incorporada, en forma directa o indirecta o llamarles según Ongley (1997) fuentes localizadas y no localizadas. Como fuentes localizadas pueden proceder aquellas que están asociadas a las actividades en que el agua residual va a parar directamente a las masas receptoras ya sea por cañerías de descarga en las que puede ser fácilmente cuantificada y controlada, y no localizadas que es el resultado de un amplio grupo

de actividades humanas en las que los contaminantes no tienen un punto claro de ingreso.

Los contaminantes no localizados cualquiera que sea la fuente, se desplazan por la superficie o penetran en el suelo, arrastrados por el agua de lluvia, consiguen abrirse paso hasta las aguas subterráneas, tierras húmedas, ríos, y lagos.

### **3.4.1 Contaminación agrícola**

En la actualidad casi tres cuartas partes de la agricultura de irrigación se encuentran en el mundo en desarrollo; la contaminación agrícola es en gran medida considerada fuente de contaminación no localizada, por tanto no puede rastrearse a un punto concreto, por lo que resulta más difícil controlarla y darle seguimiento para su tratamiento, Repetto & Morán (1991), citado por Sagastizado, (2001).

Kiely (1999), menciona que aunque la agricultura comprende varios procesos y actividades, los contaminantes que producen las granjas son de gran importancia, se dividen en: contaminantes físicos, químicos y biológicos, las fuentes varían desde: residuos animales, escorrentías procedentes de zonas de corrales, pesticidas etc. El estiércol es el más significativo, si no son adecuadamente utilizados tiene un potencial significativo para causar contaminación. Los residuos de los animales tienen altas cantidades de materia orgánica y de especies inorgánicas reactivas (amoníaco), que ejercerán una demanda de oxígeno excesiva en las aguas superficiales; incluyen en sus residuos fósforo, nitrógeno y microorganismos patógenos.

Al incrementar la demanda agrícola, industrial y municipal, del agua como cuerpo receptor de las descargas que estos vierten, se vuelve cada vez menos factible la posibilidad de diluir los contaminantes para mitigar su impacto

En general los contaminantes agrícolas más significativos son tres: los sedimentos producidos por la erosión, que acarrearán las diversas sustancias químicas que se han absorbido, El segundo, es la pesada carga de nutrientes, sobre todo en nitrógeno y en fósforo procedente de la fertilización de cultivos o de áreas de crianza de animales, y el tercero son los pesticidas, aunado a estos están el alto nivel de agentes patógenos en las masas de aguas superficiales, y la deficiencia de servicios rurales de higiene contribuyen significativamente. Los sedimentos producen turbiedad obstruyendo la penetración de luz solar, inhibe el crecimiento de algas y plantas acuáticas con raíces, los depósitos en los lechos de grava en los ríos pueden afectar el desove de los peces y en las zonas costeras a conducido a la muerte de los arrecifes de coral, la sedimentación excesiva en lechos de ríos y lagos pueden conducir a inundaciones desmedidas o a la obstrucción de canales. Las partículas más pequeñas acarrearán fósforo, metales y agentes contaminadores orgánicos persistentes, que afectan sobre todo a organismos bentónicos y se acumulan en la cadena alimenticia, llegando a concentrarse eventualmente en los depredadores superiores ( Ongley,1997).

El uso de pesticidas esta especialmente relacionado con la intensiva agricultura moderna. En los países desarrollados se han pasado de los pesticidas tóxicos, persistentes y bioacumulados a otros que se degradan con rapidez y son menos tóxicos para los organismos. En los países en desarrollo, todavía se encuentran muchos pesticidas altamente tóxicos debido a razones de costo y eficacia, saturación del mercado por compañías agroquímicas y limitadas regulaciones. La acumulación de sustancias tóxicas en los tejidos adiposos de los animales pueden producir: muerte, lesiones, cáncer, problemas reproductivos y daños genéticos Repetto & Morán (1991), citado por Sagastizado, (2001).

La contaminación agrícola es causa tanto directa como indirecta de efectos en la salud humana, un ejemplo es la Metahemoglobinemia a la que están muy expuestos los lactantes y es ocasionada por los altos niveles de Nitrógeno, otros efectos de las actividades agrícolas se mencionan en el Anexo I.

### **3.4.1 Contaminación de origen doméstico**

Las aguas servidas domesticas es una mezcla de residuos que incluyen, sustancias presentes en el excremento humano que son una mezcla de compuestos orgánicos y minerales no disueltos en solución acuosa. Los compuestos orgánicos son las grasas, jabones, proteínas, glúcidos y los compuestos provenientes de la descomposición, detergentes aceites minerales y otros desperdicios de origen animal y vegetal. Si un agua de origen doméstico contamina aguas destinadas a consumo, puede transmitir su carga de bacterias y virus eventualmente presentes y causar enfermedades.

### **3.4.3 Contaminación de origen industrial**

Los contaminantes contenidos en aguas de origen industrial son innumerables dependiendo del tipo de producción, en general la contaminación puede ser debida a materia inorgánica que se encuentra en suspensión y en solución, y también a sustancias orgánicas como los desechos químicos fenólicos, orgánicos fermentables y desechos tóxicos. Los detergentes contenidos en las aguas naturales provienen en su mayoría de descargas industriales, Repetto & Morán (1991), citado por Sagastizado (2001).

## **3.5 Autodepuración de las aguas superficiales**

Las corrientes superficiales poseen mecanismos que les permiten recuperar algunas condiciones físico químicas luego de haber sido alteradas, en los ríos, los materiales incorporados se diluyen ya que se dispersan progresivamente en el agua sobre todo al aumento del caudal a medida que reciben nuevos afluentes. Este proceso es importante pues reduce la concentración de compuestos tóxicos que no están sujetos a descomposición y a la alteración en su naturaleza química.

Este proceso implica que la contaminación constituya la incorporación de materia extraña a la naturaleza del río, o ecosistema acuático y la depuración sería la

eliminación de estos compuestos extraños, si este proceso se efectúa con recursos propios del sistema, incluyendo la metabolización de compuestos biodegradables. La autodepuración debe entenderse como la sucesión de etapas ecológicas que van desde la incorporación de los desechos hasta la recuperación de las características originales del ambiente acuático, siempre que no sobrepase el umbral, Branco, (1984), citado por Sagastizado (2001).

Entre los factores involucrados en la autodepuración de las aguas se encuentran:

-Dilución: dispersa y reduce la concentración de los compuestos nocivos y disminuye la demanda biológica del oxígeno y baja probabilidad de incorporación a las cadenas tróficas.

-Gravedad: la sedimentación de partículas orgánicas e inorgánicas en una masa de agua contaminada representa un factor significativo en la reducción de la contaminación. El aumento de transparencia que provoca la sedimentación hace posible la remoción de importante proporción de la DBO de la masa del agua y permite la biodegradación por microorganismos anaerobios.

-Turbulencia: el grado de agitación del agua debido a su velocidad y a la acción del viento, constituye un importante factor de oxigenación del medio, los ríos que presentan caídas y resaltos suelen ser más oxigenados y tienden a depurarse con más rapidez debida a la transferencia de oxígeno del aire hacia el medio acuático, sin embargo la turbulencia puede provocar la elevación y mezcla de los sedimentos orgánicos, elevando la demanda de oxígeno.

-Luz: la acción de los rayos solares, ejerce una acción bactericida importante, actúan de forma directa sobre la capacidad fotosintética y la consiguiente producción de oxígeno por el fitoplancton y malezas acuáticas, lo que contribuye a compensar la DBO, saturando de oxígeno el medio acuático degradado, aunado a la fotodistribución de los microorganismos.

-Variación de Temperatura: al elevarse dentro del rango óptimo aumenta las reacciones metabólicas, acelerando la eliminación de los contaminantes orgánicos por heterótrofos.

-Acciones químicas y bioquímicas: interviene en procesos como la oxidación de compuestos y elementos,, especialmente por los quimiotrófos.

-Depredación: las actividades de depredación pueden ser relevantes en el proceso de declinación bacteriana que constituye uno de los aspectos claves de la autodepuración desde el punto de vista sanitario.

### **3.6 Parámetros de calidad de las aguas superficiales**

La contaminación del agua superficial puede definirse de muchas formas; sin embargo la mayoría de las definiciones contemplan las máximas concentraciones de sustancias concretas durante períodos de tiempo suficientes para provocar efectos adversos identificables. La calidad del agua puede definirse sobre la base de su caracterización física química y biológica.

Mantener y evaluar la calidad del agua son procedimientos en la sociedad moderna, los primeros métodos eran muy subjetivos, el hecho de que el agua sea un solvente tan eficaz, capaz de contener todo tipo de sustancias requiere métodos de evaluación más precisos, que se han desarrollado mediante técnicas analíticas hidroquímicas, a cada parámetro químico se le asocia una norma, y el agua es químicamente analizada como medida rutinaria para garantizar que reúne los requisitos de calidad requeridos en cada uno de los procesos de consumo (Kiely, 1999).

Los efectos de la contaminación sobre la calidad de los cauces receptores son diversos y dependen del tipo y concentración de contaminante. Los compuestos

orgánicos solubles representados por residuos con alta DBO, provocan el agotamiento del oxígeno en el agua superficial, esto puede ocasionar la muerte de los peces y la desaparición de organismos acuáticos y olores indeseables, debido a las condiciones anaerobias. Incluso cantidades trazas de ciertos compuestos orgánicos pueden ocasionar olores y sabores indeseables, y otros compuestos orgánicos pueden bioacumularse en cadena alimentaría acuática. El exceso de nutrientes (nitrógeno y fósforo) desencadenan el proceso de eutricación, principalmente en lagos, que comienza con un crecimiento desmesurado de algas lo que provoca el aumento de turbiedad en el agua, dificultando la fotosíntesis y por lo tanto se produce una muerte masiva de esas algas que dejan de producir oxígeno (Canter, 1998).

Controlar el estado de salud de los cuerpos hídricos superficiales en los cuales llegan descargas urbanas e industriales, es de importancia, por todas las utilidades que se le dan, este control puede ser hecho directo o indirectamente, en el sentido que se pueden utilizar análisis específicos en los cuales los resultados indican los varios contaminantes en juego cuantitativa y cualitativamente, o a través de las varias fuentes de contaminación. Entre los análisis se tienen, los microbiológicos que permiten la identificación de los varios tipos de bacterias, virus, mohos presentes en el cuerpo hídrico, también análisis físicos químicos que pueden permitir la individualización de contaminantes o la de parámetros definidos de manera arbitraria como DBO y DQO (Repetto & Rojas, 1991).

Los científicos descubrieron que el control biológico de los sistemas acuáticos, puede ser valioso para la evaluación de la calidad del agua y la detección de contaminación. No obstante, la mayoría de las técnicas biológicas presentan el inconveniente de no ser capaces de medir exactamente la cantidad precisa de contaminantes y la concentración de sustancias químicas (Kiely, 1999).

El proceso real de evaluación de la calidad del agua es una apreciación de la naturaleza fisicoquímica y biológica de esta en relación con la calidad natural, los efectos en el hombre y los usos a los que se piensa destinar.

*Parámetros físicos-químicos y microbiológicos utilizados en determinaciones analíticas.*

- **Temperatura:**

Es particularmente importante en el estudio de la contaminación por parte de descargas industriales, como el caso de temperaturas sensiblemente mayores que la del cuerpo hídrico, modifica el estado biológico del mismo, destruye todas las especies de fauna, cuyo ciclo vital necesita de temperaturas más bajas, en general disminuye la cantidad de oxígeno disuelto, al igual que su precisión parcial.

- **Turbiedad:**

Se debe a la presencia de materias en suspensión que, en caso de altas concentraciones crean problemas al paso de luz solar y por tanto reduciendo la zona fótica y su biota.

- **pH:**

Este parámetro indica la acidez si los valores están entre 0 a 7 y basicidad si los valores están entre 7 y 14 de pH en el agua, considerando 7 como neutro. El pH es definido como el logaritmo común negativo de la concentración de iones hidrógenos, el pH puede tener valores entre 0 y 14, este parámetro es importante para los procesos vitales, como por ejemplo la fotosíntesis y otros procesos oxido-reducción, generalmente este rango es determinado "in situ" (Repetto & Rojas 1991).



- Oxígeno disuelto:

La masa de agua de un río es capaz de absorber cierta cantidad de oxígeno proveniente de la atmósfera. Esta capacidad está en función directa de la calidad del agua del río y de la temperatura y se conoce como el valor de saturación. Es considerado en unión con la DBO; la determinación más efectiva para expresar el grado de limpieza de un cuerpo de agua y consecuentemente, la calidad de las aguas para aceptar o no formas de vida acuática necesarias para mantener el equilibrio ecológico del sistema así como para estimar la actividad fotosintética de la masa hídrica. La concentración mínima para garantizar la vida piscícola es de 5 ppm, Repetto & Morán (1991), citado por Sagastizado (2001).

- La Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO:

Es la cantidad de oxígeno requerido para la respiración de los microorganismos responsables de la estabilización de la materia orgánica a través de su actividad metabólica en medio aerobio. La DBO, representa indirectamente la medida de materia orgánica biodegradable contenida en el agua y está influenciada principalmente por los factores tiempo y temperatura. La DBO, es utilizada para conocer el grado de polución de la masa hídrica, indica los requerimientos de oxígeno molecular que las aguas deben suplir para que la descomposición pueda llevarse a cabo en condiciones aerobias. La reducción de su contenido presupone cierta eliminación parcial de la materia orgánica presente.

- Fosfatos:

La incidencia de fosfatos en cuerpos de agua se debe principalmente al arrastre de residuos de fertilizantes que no han sido absorbidos por los cultivos, así también por la presencia de detergentes que son ricos en fosfatos. Este proceso tiene consecuencias negativas en el medio ambiente, ya que su presencia incrementa la tendencia a permitir la proliferación de algas que posteriormente interfieren en la calidad del agua y propician la eutricación de los cuerpos de agua, especialmente los lénticos.

- Nitratos:

Son iones presentes en la naturaleza, que forman parte del ciclo del nitrógeno, en las aguas superficiales y subterráneas, ascienden a pocos miligramos por litro, las prácticas agrícolas pueden tender a un aumento en la cantidad de nitratos, experimentos realizados parecen indicar que tanto los nitratos como los nitritos son directamente carcinógenos para los animales, pero existe cierta inquietud acerca del aumento en riesgo de cáncer en los seres humanos debido a la formación endógena y exógena de compuestos nitrosos. Además la cantidad excesiva de compuestos nitrogenados a causado en algunos lugares una enfermedad, que afecta principalmente a los infantes, llamada metahemoglobinemia, o conocida comúnmente como “niño azul”.

- Microbiológicos:

El peligro más común y más difundido relativo a la calidad del agua es el de su contaminación debido al efecto de las aguas residuales, de otros desechos o de las excretas del hombre o de los animales. Esta contaminación del agua puede incorporar una variedad de diversos organismos patógenos intestinales-bacterianos, virales y parásitos cuya presencia esta relacionada con enfermedades y portadores de tipo microbiano que pueden existir en ese momento en la comunidad. El uso de organismos intestinales normales como indicadores de contaminación, en lugar de los organismos patógenos mismos, es el principio de aceptación universal en la vigilancia y evaluación de la seguridad microbiana del agua. Como indicadores se utilizan los organismos del grupo Coliformes total y fecal (Guerra, 2000).

### **3.7 Evaluación física de los recursos hídricos en El salvador**

El Salvador, tiene abundantes recursos hídricos a su disposición, gracias a las fuertes lluvias y la existencia de mantos acuíferos, el suministro de agua para uso de consumo humano utilizando estas fuentes a sido de gran importancia debido a

su abundancia, calidad y bajo costo, sin embargo al aumentar la población la demanda del agua aumenta (Greg & Platais, 1998).

El Salvador, se ha visto obligado a utilizar fuentes de aguas superficiales a mayores distancias, esto se ve reflejado en la ciudad de San Salvador en donde se ha hecho necesario extraer aguas superficiales del Río Lempa para lograr cubrir las necesidades de agua en la ciudad, debido a que se han reducido la cantidad de aguas subterráneas por la urbanización, deforestación y las fuentes de agua existentes cerca de la ciudad han sido contaminadas por la descarga de aguas servidas provenientes de las zonas urbanas e industriales.

El Salvador, contiene diez principales zonas hidrográficas: Río Lempa, Río Paz, Río Paz- San Pedro, San Pedro- Sensunapán, Bandera –Río Jiboa, Bahía de Jiquilisco, Río Grande de San Miguel, Río Grande de San Miguel- Océano Pacífico, Río Goascorán, considerando un volumen total de 20,725 Mm<sup>3</sup> (Greg & Platais, 1998).

A pesar de esta abundancia, el país ha entrado en un período crítico en donde la seguridad del suministro del agua se ve amenazada en su existencia y calidad, por la creciente demanda, contaminación y el pobre manejo de las tierras, se consideran dos tipos de contaminación según su impacto, en la salud y el desarrollo humano, la primera, causa grandes daños económicos generados por la diarrea y otras enfermedades gastrointestinales, relacionadas con el agua, esto enfocado a aquellas personas activas económicamente, ocasionando una pérdida anual de 89 millones de dólares.

Mucho de los análisis realizados en cuanto a uso y distribución de las aguas en el país coinciden en mencionar que existe una mala tendencia al importar agua a los centros poblacionales, quienes al mismo tiempo están exportando agua contaminada, indicando que solo un esfuerzo conjunto puede encontrar soluciones a los problemas ambientales.

### **3.7.1 Río Lempa y tributarios**

La principal importancia del río Lempa, además de ser el más largo en El Salvador, es que el Área Metropolitana de San Salvador se abastece de sus aguas superficiales para fines de consumo, ante esta utilidad se debe prestar atención en los ríos tributarios, que en su mayoría llevan una carga de contaminantes, entre los principales ríos tributarios se mencionan, Suquiapa, Sucio, Acelhuate, Quezalapa, desembocando en el embalse del Cerrón Grande.

PRISMA (1997), hace notar la problemática que los desechos industriales, urbanos están causando, en el Cerrón Grande cuya vida esta llegando a su término si no se pone un alto, además de los problemas en la capacidad de generar energía por el daño causado en las turbinas por el azolvamiento.

### **3.7.2 Río Sucio y Agricultura**

En las riberas del río Sucio se desarrollan los dos más grandes Distritos de Riego del país (Atiocoyo y Zapotitán), así también una gran cantidad de industrias.

Esquivel (1997), menciona que en la cuenca del río Sucio se pueden distinguir cinco grandes paisajes agropecuarios:

- 1- Tierras altas de café
- 2- Planicie central con caña de azúcar y el Distrito de Riego de Zapotitán.
- 3- Terrenos quebrados de producción cerealera.
- 4- Planicie de la zona baja, en el Distrito de Riego de Atiocoyo.

#### **3.7.2.1 Usos del suelo en el Distrito de Riego de Atiocoyo**

El Distrito de Riego y Avenamiento 2 de Atiocoyo fue creado el 15 de marzo de 1973, con una extensión de 5,770 Has, dividida en dos zonas. La tabla siguiente muestra el uso de suelo de acuerdo al tipo de cultivo.

**TABLA 1. USO DEL SUELO EN EL DISTRITO DE RIEGO DE ATIOCOYO.**

SECTOR	Nº DE AGRICUL.	ARROZ Ha	PASTO Ha	MAIZ Ha	SORGO Ha	HORTL.Ha
Época de Lluvia						
Atiocoyo	251	4,2	134,96	7,17	6,29	0,7
Sn. Isidro	210	18,34	269,84	12,71	4,44	0,17
Época de Riego						
Atiocoyo	251	406,46	334,02	43,96	14,47	6,64
Sn. Isidro	210	284,34	337,93	22,83	12,21	5,67

Fuente: Umaña (1990), citado por Esquivel (1997).

### 3.7.2.2 Usos del suelo del Distrito de Riego de Zapotitán

Zapotitán es una llanura grande, plana y fértil, antigua zona inundable cuya salida es el vertedero Río Sucio, ubicado entre los departamentos de La Libertad y Sonsonate.

Esquivel (1997), menciona que las actividades económicas principales son tanto de carácter urbano como rural, pues de la población de 10 años o más, ocupada, el 47.52% se dedica a la agricultura, el 12.86% a la industria manufacturera, el 10.32% al comercio por mayor y menor. El 5.05% al servicio domestico, el 4.99% a la construcción, el 4.05% a la administración publica y defensa y el 15.21% a otras actividades.

De las principales actividades industriales en la zona puede hacerse mención, en la cuenca alta se localizan 28 beneficios, siguiendo básicamente el patrón de distribución de las áreas cafetaleras. En la avicultura es donde el valle de San Andrés tiene su principal importancia. En los últimos años se ha convertido en la principal zona avícola del país, porque ahí se ubican las mayores granjas de producción de huevos y aves, incluyendo la de Pavos S.A, haciendo un aproximado de 36 granjas entre medianas y grandes.

Esquivel (1997), hace referencia a la cantidad de industrias presentes principalmente en la parte central de la cuenca formando dos núcleos, el primero entre Lourdes y Ateos y el segundo entre Lourdes y sitio de Niño, la mayoría de estos establecimientos se concentran en tres ramas: sustancias químicas del petróleo, caucho y plástico, dedicándose a la elaboración del jabón, velas, lejía, pinturas, agroquímicos, veterinarios y derivados del asfalto.

**TABLA 2. USO DEL SUELO EN EL DISTRITO DE RIEGO DE ZAPOTITAN**

Cultivo	Época de riego	Época de lluvia
Maiz	456,1	531,65
Sorgo	2,6	1,7
Arroz	69,6	1310
Frijol	175,15	53,27
Tomate	153,01	27,22
Chile dulce	34,5	10,7
Pepino	63,85	42,57
Ejote	0	18,39
Papas	377	0
Elote	23,4	142,68
Caña de Azucar	11	633,94
Tabaco	34,54	63,72
Pastos	84,01	180,03
Hortalizas	21,4	33,07
Frutales	18,96	65,96

Fuente: Umaña (1990), citado por Esquivel (1997).

### 3.8 Índices Ambientales

Un índice ambiental es un número o una clasificación descriptiva de una gran cantidad de datos o información ambiental cuyo propósito principal es simplificar la información para que pueda ser útil a los decisores y al público. Los índices pueden ser útiles, pues cumplen uno o más objetivos tales como:

1. Resumir los datos ambientales existentes.

2. Comunicar información sobre la calidad del medio ambiente afectado.
3. Evaluar la vulnerabilidad o susceptibilidad a la contaminación de una determinada categoría ambiental (Lobos, 2000)

### *Índices de Calidad del Agua (ICA)*

Comúnmente conocer el grado de contaminación que posee un determinado curso de agua resulta dificultoso al final de una campaña de monitoreo; las determinaciones analíticas de campo y de laboratorio llevadas a cabo, se utilizan para caracterizar espacial y temporalmente un río, este tipo de análisis se ve dificultado por las razones siguientes:

-De los resultados podría deducirse que algunas características son relativamente peores que otras, pero que al final no suele existir una total concordancia entre las apreciaciones efectuadas por los especialistas, indicado por los datos de largas series de parámetros.

-La relevancia e interpretación de los datos resultan difíciles de evaluar para los que implementan políticas de saneamiento de los recursos hídricos.

Una propuesta para encarar estos problemas, es el uso de una escala simple, relacionada con el grado de contaminación, éste valor es denominado “Índice de Calidad de Aguas” (ICA), engloba las características más importantes, resumiendo el valor de los parámetros respectivos y puede ser usado para definir mejor y cuantitativamente el difuso estado que indica el término contaminación.

Es importante considerar el uso al que se desea destinar el agua del curso en estudio, los requerimientos de calidad del agua varían en función de las necesidades, intensidad de uso, relevancia socioeconómica y política de la cuenca analizada. Estos usos entran en consideración para la selección de un ICA.

Los usos más comunes son:

- Provisión de agua potable

- Uso recreativo
- Piscicultura, protección de vida acuática
- Uso agrícola
- Provisión de agua para uso industrial.

#### Aplicaciones prácticas del ICA:

- Análisis de tendencias: los Índices pueden caracterizar el estado ambiental de diferentes estaciones a lo largo de un río. Además de su variación temporal durante determinados períodos de monitoreo, definen procesos de degradación o el mejoramiento del estado del curso de agua en estudio.
- Caracterizar el estado ambiental del recurso hídrico analizado; la aplicación regular del ICA permite a entes regionales de control responsables, evaluar la calidad del curso de agua, comparar las condiciones del mismo en diferentes puntos en el espacio y tiempo, entre si y respecto a niveles guías que se deseen preservar.
- Clasificación de sitios: los índices pueden utilizarse para comparar las condiciones ambientales de estaciones a lo largo de un río o de diferentes áreas de la cuenca (Lobos, 2 000).
- Evaluar el efecto de vertidos contaminantes al cuerpo de agua: analizando la eficiencia de los procesos de autodepuración que se producen en cada caso en particular y seleccionando tramos o secciones mas adecuadas para el vuelco de efluentes de tipo industrial o municipal.
- Identificar tramos o secciones del curso de agua en los que la alteración de la calidad del agua es significativa y amerita la



ejecución de estudios mas detallados y el relevamiento de una cantidad mayor de parámetros que los regularmente utilizados en el ICA.

- Información pública, los tramos constituyen una herramienta útil para informar al público en general acerca de las condiciones de calidad del agua del recurso hídrico y su evolución (Lobos,2 000).

### **3.8.1 Antecedentes y clasificación de los Índices de Calidad del Agua**

Los Índices pueden generarse utilizando ciertos elementos básicos en función de los usos del agua, el ICA, define la aptitud del cuerpo de agua respecto a los usos prioritarios que este pueda tener. Estos Índices son llamados de “Usos Específicos”.

Al evaluar la calidad del agua de la cuenca del río Sucio, se utilizó un ICA “General”, herramienta útil para informar al público en general, acerca de las condiciones de calidad del recurso hídrico y su evolución temporal y espacial. Asumiendo que la calidad de un cuerpo hídrico es un atributo inherente, independiente del uso para el cual sea destinada el agua.

El Índice de calidad de agua propuesto por Brown es una versión modificada del ICA que fue desarrollada por la Fundación de Sanidad Nacional de EE.UU.; se basa en 9 parámetros (Demanda Bioquímica de Oxígeno, Oxígeno Disuelto, pH, Turbidez, Sólidos totales, Nitratos, Fosfatos, Temperatura y Coliformes fecales) para su desarrollo (Lobos, 2000).

El ICA se basó en el resultado de las encuestas efectuadas en el tema calidad de agua en EE.UU., solicitando primeramente definir 35 contaminantes que acorde a su opinión deberían integrar el Índice, definir su relevancia en cuanto al efecto contaminante de cada uno de ellos y finalmente el rango de concentraciones

factibles y su posible efecto ambiental, se utilizó para ello escalas que reflejaran incidencias (óptimo 100%) hasta una situación crítica (pésima o mal 0%)

A partir de esto último se construyeron tablas y/o curvas, que definieran el impacto ambiental motivado por la presencia de determinada concentración del contaminante elegido. Al finalizar el proceso de depuración de respuestas, tabularlas y analizarlas, se seleccionaron nueve parámetros como base para desarrollar el Índice.

De igual manera se elaboraron las curvas o tablas ( $T_i$ ), que definen la aptitud de la calidad del agua (100 % a 0 %) versus la concentración del parámetro contaminante. El valor que se obtiene finalmente en la ordenada, acorde a la concentración del contaminante medido puede definirse como el subíndice "i". (Lobos, 2000)

#### 3.8.1.1 Índices de Usos específicos

La característica de esta variante de los ICA es que definen la "aptitud de la fuente" para un propósito determinado, asociado el aprovechamiento antrópico que se le da al consumo o uso de la fuente en cuestión, los requisitos de calidad son variables, dependiendo del uso que la población y las autoridades regionales consideran prioritario proteger, entonces los ICA deberán incluir variables representativas para cada caso.

El Índice de Dinnus, se propuso para evaluar principalmente los costos asociados al control de la contaminación de las aguas, emplea 11 parámetros y también posee una escala que va de 0 a 100%, los valores hallados decrecen con el incremento de la contaminación, este es específico para conocer el uso de agua para suministro de: agua para bebidas, uso recreativo, agrícola e industrial, navegación y transporte de desechos ya tratados.

Índice de Harkins, es un Índice de saneamiento en las cuencas de los ríos, incluye una serie de parámetros sobre los cuales incidirán favorablemente las medidas de saneamiento a efectuar en el cauce del río; su resultado varía de 100 a 1%, utiliza parámetros relevantes de contaminación orgánica (biodegradable) y tóxica.

#### 3.8.1.2 Indicadores Biológicos

Por lo general, estos índices se elaboran a partir de conjuntos bentónicos en ríos y cursos de agua. Estos índices representan la naturaleza de la respuesta béntica, sobre todo ante la contaminación orgánica( desechos domésticos y urbanos). No han resultado demasiado eficaces para la evaluación de los productos tóxicos (Ongley, 1997).

Algunos ejemplos son el Índice Biótico de Trent y el Índice Biótico de Chandler que se basan en invertebrados, los métodos que se centran en la contaminación se basan comúnmente en los Índices de estructura de la comunidad, ya sea en Índices de Diversidad y Similaridad.

El Índice de Diversidad expresa datos sobre la abundancia de especies en una comunidad mediante un número único. Un Índice de Similaridad se obtiene comparando dos muestras, una de las cuales es generalmente la muestra control. Algunos de los Índices de diversidad más usados son: Índice de Simpsom, Índice de Margalef, Índice de Shannon-Weiner (Canter, 1998).

## 4.0 METODOLOGÍA

### 4.1 Ubicación del área de estudio

La cuenca del Río Sucio está ubicada en el departamento de la Libertad y compartida con los departamentos de Santa Ana, Sonsonate y San Salvador, en un área comprendida de 830 Km. (figura 1)

La cuenca se localiza en el cuadrante sur –occidental del área denominada cuenca alta del río Lempa, geográficamente se ubica entre las coordenadas: 14° 2' 20" N 89° 35' 00"E; 14° 2' 30"N 89° 13' 30"E; 14° 38'00" N 89° 35' 00"E; 14° 38'00" N 89° 13' 30"E

Desemboca aguas arriba del Embalse Cerrón Grande aproximadamente a 21 Km.; en la margen derecha del río Lempa, el río nace de la confluencia de los afluentes Paso Hondo, Cañas y Santa Teresa en el Cerro de Plata, Distrito de Riego de Zapotitán (PAES 1997-2003). Desembocando en la zona del Distrito de Riego y Avenamiento No2 de Atiocoyo.

El valle de Zapotitán ( figura 1), se encuentra ubicado dentro de la cuenca del Río Sucio, al Sur de Santa Ana y al pie de la caldera de Coatepeque, aproximadamente entre las coordenadas 89° 20', 89° 28' Longitud Oeste y 13° 50', 13° 41' Latitud Norte con una extensión de 172 Km<sup>2</sup> constituye la zona de menor altura de la cuenca mencionada, con elevaciones generalmente por debajo de los 500 msnm. Es una zona considerada de buen potencial de infiltración y mediana escorrentía, debido a que son áreas formadas por sedimentos aluviales con intercalaciones de materiales piroclásticos poco consolidados que permiten buena infiltración.

Atiocoyo ( figura 1), es una extensa planicie aluvial localizada en la zona de la desembocadura del río Sucio, su altura es de 300 msnm y pertenece a las estructuras geomorfológicos llamadas valles interiores, los suelos son de tipo

grumosoles, con una extensión de 5,770 Has, pero con una incorporación efectiva de 2,909 Has.

Ubicada al norte del departamento de la Libertad y al sur de Chalatenango, dividido y regado en la desembocadura de los ríos Suquiapa y Sucio. Esta dividido en dos zonas, al norte esta Nueva Concepción y al Sur San Juan –San Isidro, abasteciéndose esta última con la presa denominada Las Cerezas, con una capacidad de 4,000 L/s (Esquivel,1997).

## **4.2 Fase de campo**

### **4.2.1 Selección de las estaciones de muestreo.**

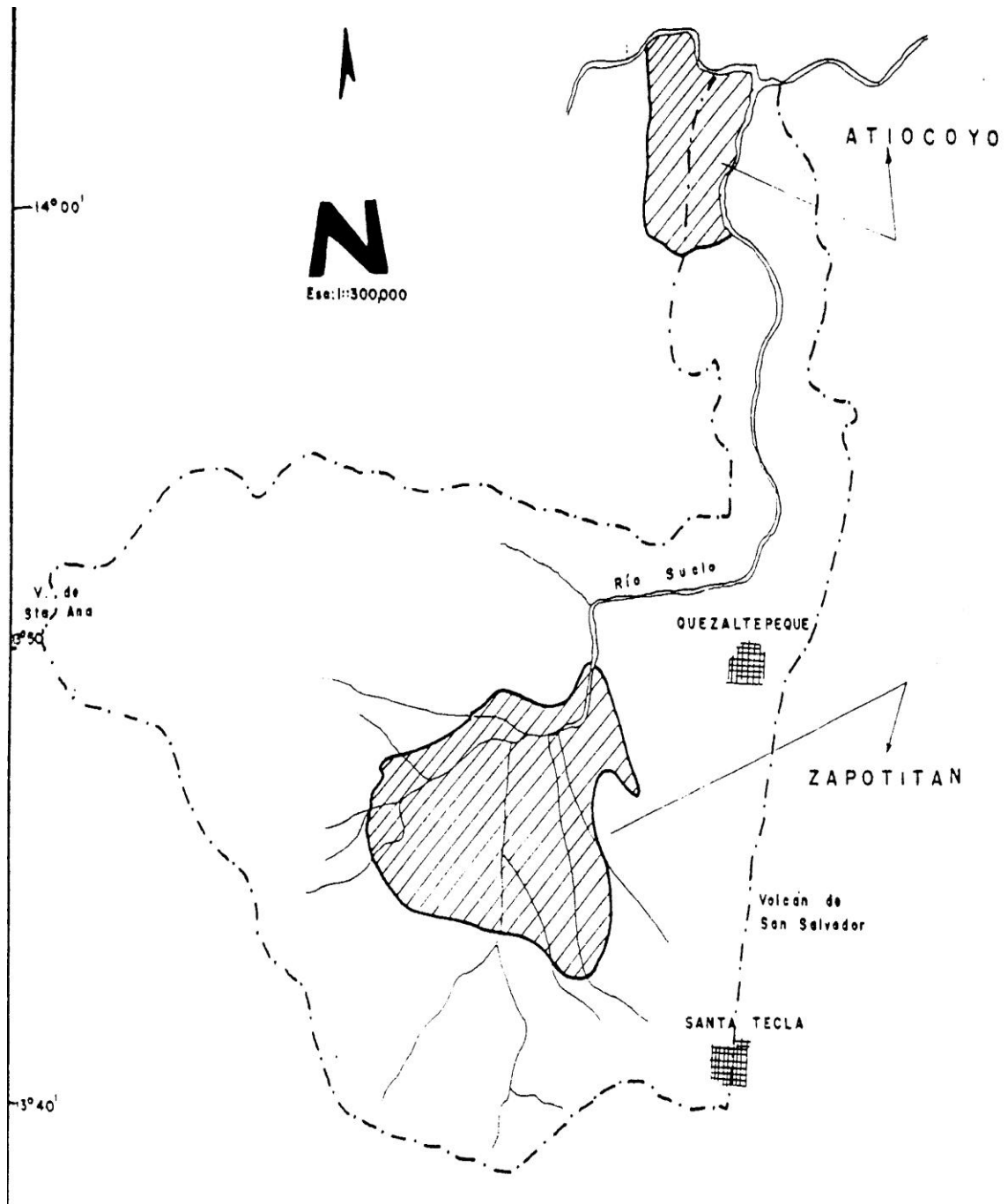
El Programa Ambiental de El Salvador (PAES), junto con el Ministerio de Agricultura y Ganadería con financiamiento de BID, ha establecido una red de monitoreo de calidad de aguas del Río Sucio para diseñar un programa de calidad de aguas que es una combinación de meta científica y proceso político, basado en consideraciones económicas, desarrollo industrial y agrícola y otros factores socio-económicos que se consideran relevantes ( Lobos, 2000).

De acuerdo a PAES (1997-2003), los lugares seleccionados deben ser siempre representativos y caracterizar la calidad de toda las aguas que circulan por la estación seleccionada, en un periodo de tiempo dado y basarse en un criterio de acuerdo a los objetivos establecidos. Definiendo como características en los lugares de muestreo lo siguiente:

- Las estaciones de muestreo deben estar situadas en puntos en los que las características del flujo sean tales que favorezcan al máximo las condiciones de mezcla de agua.

- El punto de toma en canales anchos debe de ir variando a lo largo del canal.

- La velocidad del flujo en el punto de toma deberá ser siempre lo suficiente alta como para asegurar que no se depositen los sólidos.



**FIGURA 1** Ubicación de los distritos de Riego de Atiococho y Zapotitán  
FUENTE: ESQUIVEL ,(1998).

-En el momento de recoger las muestras, es conveniente asegurar la ausencia de formación de excesivas turbulencias que pudieran liberar gases disueltos, lo que conduce a la toma de muestras no representativas.

-Las muestras se deben obtener, cerca del centro del recipiente o conducto y por debajo de la superficie del líquido. Se deben de usar sólo recipientes limpios y al momento de la toma de la muestra se debe enjuagar el recipiente varias veces con el agua que se está haciendo un muestreo, antes de la colecta.

Del muestreo y almacenamiento, depende en gran medida la validez del estudio. Los recipientes de muestreo deben ser de un material adecuado al tipo de muestras a coleccionar, en este caso se utilizarán tanto frascos de vidrio, como plástico de capacidades que varían entre 300ml- a 5 L de acuerdo al análisis químico o físico que posteriormente se le aplicará a dicha muestra además es importante eliminar cualquier interferencia que pueda ser ocasionada ya sea por los residuos de detergentes o de muestras anteriores que pueden repercutir en la etapa de análisis en los laboratorios.

-Tomar muestras tan cerca de la fuente de suministro como sea posible, para reducir efectos del sistema de distribución. Permitir que el agua corra durante un tiempo para que el sistema este enjuagado ( PAES 1997-2003).

La red propuesta por el PAES para el Río Sucio, consta de 24 estaciones, a lo largo de la cuenca del río.

En la tabla 3 se muestran las estaciones establecidas por el monitoreo realizado por PAES, en la tabla 4, se presentan las estaciones seleccionadas para el desarrollo del presente estudio, basados en la red de monitoreo dispuesta por PAES; se seleccionaron, aquellas estaciones que se encuentran en las principales zonas agrícolas ubicadas en la cuenca del río Sucio.(figura 2)

**TABLA 3. Estaciones de monitoreo para el Río Sucio propuestas por el Programa Ambiental de El Salvador( PAES)**

<b>Código de estación</b>	<b>Descripción</b>
01 SUCIO	R. Sucio entre R. Agua Caliente
02AGUAC	R. aguas Calientes antes R. Sucio
03SUCIO	R. Sucio antes R. Talnique
04TALNI	R. Talnique antes R. Sucio
05SUCIO	R. Sucio antes R.Colón
06COLON	R. Colon antes R. Sucio
07SUCIO	R. Sucio antes Canal Belén
08BELEN	Canal Belén antes R. Sucio
09SUCIO	R. Sucio antes Pte. CEDEFOR
10TEXTI	Descarga Textil
11SUCIO	R. Sucio antes R. Aguas Calientes
12AGUACA	R. Aguas Calientes antes R.Sucio
13SUCIO	R. Sucio Nuevo Sitio del Niño
14DESCA	Descarga industrial papelera e ing.
15SUCIO	R. Sucio Nva. Joya de Cerén.
16SUCIO	R. Sucio N.S de los Encuentros
17SUCIO	R. Sucio Hda. Sn. Lorenzo
18SUCIO	R. Sucio Pte. Ruta Quezaltepeque.
19SUCIO	R. Sucio est. Hidrom. El Jocote
20TACAC	R.Tacachico antes R. Sucio
21SUCIO	R. Sucio Hda. Rancho quemado
22SUCIO	R. sucio Hda. El Refugio
23SUCIO	R. Sucio Hda. Atiocoyo
24SUCIO	R. Sucio est. Hid. Sn. Fco. Dos Cerros

Fuente: Lobos (2000).



**TABLA 4. Estaciones consideradas para el estudio, que se encuentran en zonas agrícolas de la cuenca del Rio Sucio.**

<b>Código de estación</b>	<b>Ubicación en la zona</b>
● 01 SUCIO	Distrito de riego N <sup>o</sup> 1 de Zapotitán
● 02AGUAC*	Distrito de riego N <sup>o</sup> 1 de Zapotitán
● 03SUCIO*	Distrito de riego N <sup>o</sup> 1 de Zapotitán
● 04TALNI*	Distrito de riego N <sup>o</sup> 1 de Zapotitán
● 05SUCIO*	Distrito de riego N <sup>o</sup> 1 de Zapotitán
● 06COLON*	Distrito de riego N <sup>o</sup> 1 de Zapotitán
● 07SUCIO*	Distrito de riego N <sup>o</sup> 1 de Zapotitán
● 12AGUACA*	Escuela Nacional de Agricultura
● 16SUCIO*	Crio. Sn. Nicolás Los Encuentros
● 17SUCIO*	Hacienda Sn. Lorenzo
● 22SUCIO*	Distrito de Riego N <sup>o</sup> 2 de Atiocoayo
● 23SUCIO*	Distrito de Riego N <sup>o</sup> 2 de Atiocoayo

La ubicación de las estaciones se presentan en la figura 2.

#### **4.2.2 Frecuencia de muestreo**

La frecuencia del muestreo fue mensual en cada estación por un período de cuatro meses, partiendo del mes de Agosto 2002 y finalizando en Noviembre del mismo año.

En la fase de campo, al momento de la recolección de las muestras de agua inmediatamente en el sitio de muestreo, se obtiene la información de los parámetros físicos: pH, Temperatura y Turbidez. Colectando las cantidades necesarias de muestras para los análisis de Oxígeno Disuelto, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Nitratos, Fosfatos, Sólidos Totales y los microbiológicos que se analizaron por la Técnica de Tubos Múltiples, en los laboratorios situados en el Ministerio de Agricultura y Ganadería.

En la fase de campo, al momento de la colecta de las muestras de agua inmediatamente en el sitio de muestreo, se obtiene la información de los parámetros físicos: pH, Temperatura y Turbidez. Colectando las cantidades necesarias de muestras para los análisis de Oxígeno Disuelto, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Nitratos, Fosfatos, Sólidos Totales y los microbiológicos que se analizaron por la Técnica de Tubos Múltiples, en los laboratorios situados en el Ministerio de Agricultura y Ganadería.

En esta fase, es importante considerar los métodos de preservación de muestras que permitan mantenerlas inalterables en su composición, en el período que transcurre entre la toma, traslado y análisis de las muestras; esto permite retardar la hidrólisis de compuestos químicos, reducen la volatilización de algunos constituyentes y retardan la acción biológica. Al respecto las muestras para análisis físico- químicos se colectaron en recipientes de plásticos de diferentes capacidades volumétricas y se preservaron con refrigeración; las muestras microbiológicas, se colectaron en bolsas estériles ( tabla N<sup>o</sup> 5), cada muestra tomada en campo se identifico con la siguiente información: Código de la estación, día de colecta, temperatura ambiente, hora de colecta.

**TABLA 5. Preservación de muestras:**

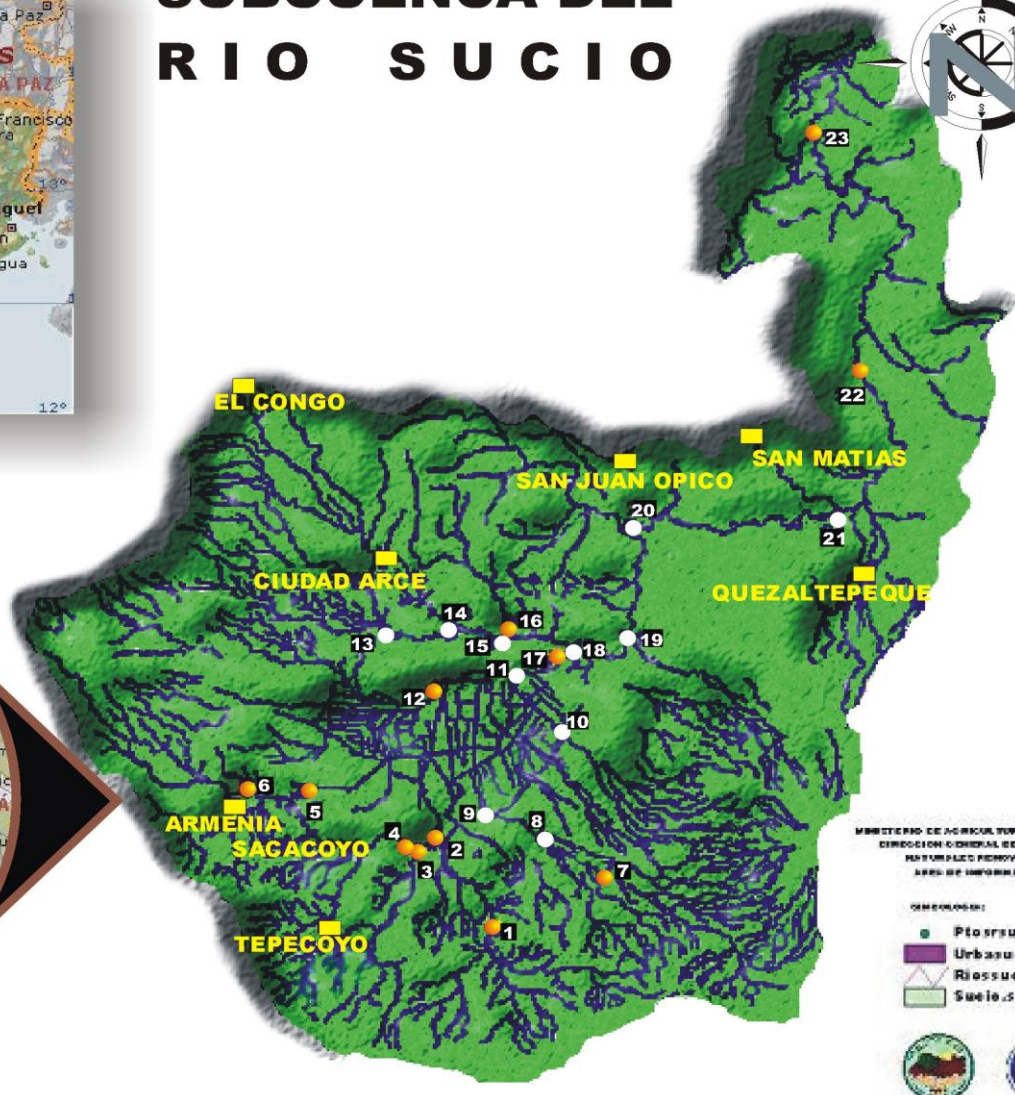
<b>Parámetros</b>	<b>recipiente</b>	<b>capacidad</b>	<b>Preservante</b>
DBO	Plásticos o vidrio	1000 ml	Refrig.. 6-48 h/ 4 C
OD	vidrio	300 ml	Analizar inediat.
Nitratos	Plástico o vidrio	100 ml	Refrig.48 h o 28 d
Sólidos totales	Plástico o vidrio	200 ml	Refrig. 2-7 días
Microbiológicas	Bolsas estériles	100 ml	6-8 horas T <sup>o</sup> 4C <sup>o</sup>
Temperatura	ninguno	ninguno	ninguno
pH	ninguno	ninguno	ninguno
turbidez	ninguno	ninguno	ninguno

\*Fuente: APHA, et.al. (1995)

Para la obtención de datos de los parámetros físicos: temperatura, pH y conductividad, no se necesita preservar las muestras, se toman las mediciones “in situ



# SUBCUENCA DEL RÍO SUCIO



MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA  
DIRECCIÓN GENERAL DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES  
SERVICIO DE INFORMÁTICA

LEGENDA:

- Ptosruc.shp
- Urbasuc.shp
- Riessuc.shp
- Suelo.shp

**FIGURA 2. CUENCA DEL RÍO SUCIO Y ESTACIONES SELECCIONADAS (●)**  
FUENTE: MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA Y PROGRAMA AMBIENTAL DE EL SALVADOR.

### 4.3 Fase Experimental

Esta fase comprende 2 tipos de mediciones:

#### *A-Mediciones In Situ*

Realizada en el lugar de muestreo, por lo que se le da el nombre “in situ”, la tabla siguiente contiene los parámetros comprendidos en esta medición.

**TABLA 6. Mediciones “In situ”, Parámetros sugeridos por Brown.**

Parámetros	Unidad	Metodología
Temperatura del curso	°C	Sensor de campo HORIBA U-10*
PH	pH	Sensor de campo HORIBA U-10
Turbidez	NUT	Sensor de campo HORIBA U-10

\*HORIBA U-10, equipo digital utilizado en campo, para muestreos en aguas superficiales.

#### *B-Mediciones en laboratorio.*

Previo a estas mediciones, se ha desarrollado la toma de muestra, preservación y traslado a los Laboratorios de Calidad de agua del SNET/MARN, para análisis físico (sólidos totales), químicos y a los Laboratorios de bacteriología para los análisis microbiológicos, ambos ubicados en el Ministerio de Agricultura y Ganadería. La tabla siguiente muestra los parámetros físico-químicos analizados en laboratorios

**TABLA 7. Metodologías aplicadas para los análisis físico-químico y microbiológico**

Parámetros	Unidades	Metodología
DBO <sub>5</sub>	mg DBO <sub>5</sub> / L	5210 B Standard Methods
Fósforo total	mg P-total /L	8190 HACH/ Método del Ácido Ascórbico
Nitratos	mg N-NO <sub>3</sub> / L	8039 HACH/ Método de Reducción del Cadmio
Sólidos Totales	mg Sol.Tol/L	2540 B Standard methods/ Método Gravimétrico
Coliformes totales	NMP	9222 B Standard methods/ Tubos Múltiples
Oxígeno Disuelto	mg/L	4500-OB Standard methods/ Método de Winkler

**Nota:** 1 mg/L= 1 ppm

Fuente: Lobos ( 2000).

Para mayor información de las marchas, ver anexo II

## 5.0 ANÁLISIS MATEMÁTICO

El Índice de calidad de agua (ICA) propuesto por Brown se basa en los siguientes 9 parámetros para su desarrollo:

- Oxígeno disuelto (OD en mg/L)
- Coliformes fecales (en nmp/100ml)
- PH ( en unidades de pH)
- Demanda Bioquímica de Oxígeno, a 5 días (DBO5 en mg/L)
- Nitratos (NO<sub>3</sub> en mg/L)
- Fosfatos (PO<sub>4</sub> en mg/L)
- Temperatura (en °C)
- Turbidez ( en Unidades de Nefelométricas de Turbidez, NUT)
- Sólidos Totales (en mg/L)

El peso relativo de cada parámetro: “Wi”, corresponde a los siguientes valores, cuya sumatoria es = 1

<u>Variable (i)</u>	<u>Valor Wi</u>
OD	0.17
Colif. Fec	0.15
PH	0.12
DBO5	0.10
NO <sub>3</sub>	0.10
PO <sub>4</sub>	0.10
Temp.	0.10
Turbidez	0.08
Solid. Tot.	0.08

Para calcular el Índice de Brown se puede utilizar una suma lineal ponderada de subíndices (ICA<sub>a</sub>) o una función ponderada multiplicativa (ICA<sub>m</sub>). Estas agregaciones se expresan matemáticamente como sigue:

$$ICA_a = \sum_{i=1}^n (W_i I_i) \quad \text{Ec.1}$$

$$ICA_m = \prod_{i=1}^n (I_i^{W_i}) \quad \text{Ec.2}$$

(Lobos, 2000)

Donde:

W<sub>i</sub>: Pesos relativos asignados cada parámetro (i) y ponderados entre 0 y 1, de tal forma que se cumpla que la sumatoria sea igual a uno.

I<sub>i</sub>: Subíndice del parámetro i

El cálculo de los ICA, mediante Técnicas Multiplicativas es superior a las Aritméticas, es decir que son mucho más sensibles a la variación de los parámetros, en este estudio se aplicó la Técnica Multiplicativa.

El valor de  $I_i$  se obtiene a partir de las curvas de valoración de calidad del agua en función de la presencia y concentración del parámetro "i" ( anexo III).

En estas curvas se define la aptitud de la calidad del agua (100% a 0%) versus la concentración del parámetro contaminante (i), donde la línea llena indica los valores promedio y la línea punteada las curvas medias inferidas con un intervalo de confianza del 80%. El valor que se obtiene finalmente en la ordenada, acorde a la concentración del contaminante medido puede definirse como el subíndice "i" ( $I_i$ )

Calculados los subíndices el paso matemático subsiguiente es su agrupamiento, que acorde a Brown y aplicando la Técnica Multiplicativa, corresponde a la ecuación 2, (Ec.2)

Un aspecto que se considera importante, es la posible escasez de datos completos en un monitoreo, por lo que en la estimación del ICA se considera que al faltar algún valor de los parámetros, su peso específico se reparte en forma proporcional entre los restantes, por último el ICA que arroja dicha ecuación es un número entre 0 y 100 que califica la calidad, que permite estimar el nivel de contaminación (Lobos, 2000).

Al aplicar el ICA de Brown que es de tipo general, asume un nivel mínimo de calidad inherente a todo curso de agua superficial, que debe ser "Aceptable" como para sostener un uso recreativo, para la piscicultura, aunque tiene restricciones, que se aplican cuando existe una elevación de algún parámetro fuera de lo que son las Normas que establecen los valores mínimos para un aprovechamiento del recurso.

La escala de valores sugerida para la fórmula de tipo multiplicativo es:

<u>Calidad de agua</u>	<u>valor del ICA</u>
Excelente	80 a 100
Buena	72 a 79
Aceptable	37 a 51
Mala	20 a 36
Pésima	0 a 19

En anexo IV se desarrolla un ejemplo para calcular el Índice de Brown.



## 6.0 RESULTADOS.

Al aplicar el Índice de Calidad de Agua de Brown a las muestras de las doce estaciones en la cuenca del río Sucio, durante un período de 4 meses: Agosto ( anexo V, resultados en tablas 9 y 10), Septiembre ( anexo V, resultados en tablas 11y 12), Octubre (anexo V, resultados en tablas 13 y 14) y Noviembre (anexo V, resultados en tablas 15 y 16), el calificativo obtenido varió entre 20% a 36% (mala calidad) y 37% a 51% (aceptable calidad), (porcentajes de ICA en tabla 8) como se describe a continuación:

### 6.1 Estaciones dentro del Distrito de Riego N<sup>o</sup>1 de Zapotitán.

Dentro de esta zona se encuentran siete de las doce estaciones, consideradas para este estudio.

Estación 01 (canal principal- Río Sucio).

El menor de los valores según el Índice de Brown fue en el mes de Octubre con un porcentaje de 38.96%, seguido por Agosto con 39.66%, Noviembre con 40.05% y Septiembre con 43.04% (Gráfico 1).

Estación 02 (Río Agua Caliente).

El mes de Noviembre se obtuvo el menor porcentaje con 34.63%, luego esta Agosto con 38.95%, Octubre con 43.15% y el porcentaje mayor en el mes de Septiembre con 43.15% (Gráfico 2).

Estación 03 (Canal principal – Río Sucio).

La tendencia que se presentó en esta estación es que en el mes de Agosto se obtuvo el menor valor de Calidad de Agua con 36.45%, los siguientes con 38.84% en Septiembre y 39.93% en Noviembre, y la mayor en Octubre con 42.06% (Gráfico 3).

#### Estación 04 (Río Talnique).

En Agosto el valor en cuanto al porcentaje de Índice de Calidad de Agua fue de 35.11% el menor de los cuatro meses; seguidos por 36.41% en Noviembre, 40.89% en Septiembre y el mayor en Octubre con 43.86% (Gráfico 4).

#### Estación 05 (Canal principal-Río Sucio).

Los valores de Calidad de Agua, se describen como menor en el mes de Agosto con 37.88%, seguido de 38.81% en Noviembre, 40.32% en Octubre y 40.54 % en Septiembre (Gráfico 5).

#### Estación 06 ( Río Colón)

El menor de los valores para esta estación se observó en el mes de Septiembre con 34.41%, muy cercano al del mes de agosto con 34.92%, le siguen Noviembre con 39.92% y el mayor en Octubre con 40.71% (Gráfico 6).

#### Estación 07 (canal principal-Río Sucio).

En el mes de Septiembre el porcentaje fue el menor de los cuatro meses muestreados, siendo de 32.99%, le siguen los meses de Noviembre con 41.7%, Octubre con 41.77% y Agosto con 42.75% (Gráfico 7).

### **6.2 Estaciones dentro de zonas explotadas por agricultores fuera de los distritos de Riego de Zapotitán y Atiocoyo (12,16 y17)**

#### Estación 12 ( Río Agua Caliente).

Los valores de menor a mayor fueron los siguientes: en Agosto de 35.56%, 37.71 en Noviembre, 38.4% en Septiembre y 38.77% en Octubre (Gráfico 8).

#### Estación 16 (Canal principal-Río Sucio).

El mes de Septiembre se obtuvo el menor porcentaje con 30.08%, en forma ascendente se hace mención en el mes de Octubre de 41.81%, Noviembre de 42.85% y Agosto con 46.46% (Gráfico 9).

Estación 17 (Canal principal-Río Sucio).

El menor valor en Calidad de Agua dentro de los meses muestreados fue de 36.57% en Septiembre, seguido por 37.83% en Octubre, 39.12% En Noviembre, y de 47.19% en Agosto (Gráfico10).

### **6.3 Calificativo del Índice de Brown en las estaciones dentro del Distrito de Riego N°2 de Atiococho.**

Estación 22 (Canal principal- Río Sucio).

El menor de los valores en Calidad de Agua estuvo en el mes de Septiembre con 38.45%, los siguientes fueron de 41.41% en Octubre, 46.84% en Agosto y de 47.31% (Gráfico11).

Estación 23 (Canal principal-Río Sucio).

En el mes de Octubre se obtuvo el menor valor de los cuatro meses muestreados según el Índice de Brown siendo de 41.41%, luego están los meses de Septiembre con 43.89%, Noviembre con 45.19% y Agosto con 46.24% (Gráfico 12)

### **6.4 Variación de los parámetros físicos-químicos y microbiológicos, utilizados en el índice de Brown durante los meses de Agosto a Noviembre en las estaciones de muestreo.**

#### **Oxígeno Disuelto (OD)**

Los valores menores a 5 ppm en las estaciones durante el período de monitoreo fueron:

En Agosto: 3.40 ppm en la estación 12, 4.45 ppm en la 02 y de 4.80 ppm en la estación 17, haciendo un total de tres estaciones.

En el mes de Septiembre, los valores menores a 5 ppm fueron para las estaciones: 01 con 3.70 ppm, 4.05 ppm para la 03 y 4.95 ppm en la estación 17, con un número de tres estaciones con esos valores. La estación con un valor mayor a 7 ppm fue la 23 con 7.05 ppm

En el mes de Octubre, las estaciones con menos de 5ppm fueron: estación 02 con 4.05ppm, la 03 con 4.90 ppm, la 12 con 4.50 ppm y 17 con 4.45 ppm, haciendo un total de 4 estaciones.

Las estaciones que presentaron valores mayores a 7 ppm fueron: estaciones 22 y 23 con 7.25 ppm y 7.20 ppm respectivamente.

Durante el mes de Noviembre aumentó el número de estaciones con valores menores a 5 ppm, haciendo un total de 7 estaciones, donde la estación 01 presentó un valor de 4.45 ppm, la 02 con 3.80 ppm, la 03 con 4.25 ppm, la 04 y la 05 con un valor de 4.10 ppm, estación 12 con 3.60 ppm y la 17 con 4.30 ppm. Las dos estaciones con niveles por arriba de las 7 ppm se mantuvieron para las estaciones 22 y 23 con 7.20 ppm y 7.90 ppm respectivamente (Gráficos 13-16).

### **Demanda Biológica de Oxígeno.(DBO<sub>5</sub>)**

Con respecto a este parámetro en los meses de Agosto y Septiembre se presentó un aumento a más de 20 ppm en las estaciones que a continuación se nombran:

Durante el mes de Agosto: la estación 03 con 21 ppm, la 04 con 22 ppm, la 05 con 21 ppm, la 06 con 23 ppm y estación 12 con 28 ppm. En las restantes estaciones, los niveles de DBO fueron de: 2 ppm para la estación 23, seguida por la 22 con 3 ppm, hasta llegar a un valor de 14 ppm para la estación 02.

En el mes de Septiembre las estaciones con valores mayores o iguales a 20 ppm fueron: estación 06 con 21ppm, 07 con 20 ppm, 16 con 28 ppm, los menores valores fueron para las estaciones 22 y 23 con 4 ppm cada una.

Para los meses de Octubre y Noviembre el valor máximo alcanzado fue de 14 ppm, para ambos en la estación 16.

En el mes de Octubre los valores más bajos lo presentaron las estaciones 23 con 4 ppm, seguido por la 22 y 12 con 5 ppm, los restantes valores estuvieron entre 8 ppm para estación 05 y 12 ppm para la 17.

Durante Noviembre las estaciones que presentaron valores bajos fueron: estación 22 y 23 con 7 ppm y 6 ppm respectivamente. El resto de valores estuvieron entre 8 ppm para las estaciones 06, 07 y 17 ppm para la estación 02 y 12 ppm para la estación 12 (Gráficos 13-16).

### **pH.**

Los valores en su totalidad fueron levemente alcalinos.

En el mes de Agosto, los valores más altos fueron para las estaciones 22 y 23 con 8.22 y 8.28 respectivamente, seguidos por la estación 16 con 8.17 y 04 con 8 unidades de pH, el menor valor fue para la 02 con 7.56.

En Septiembre, nuevamente los valores más altos fueron para las estaciones 22 y 23 con 8.09 y 8.3 respectivamente, seguidos por la 06 y 16 con 8.08 unidades de pH y 8 para la estación 17, el menor valor en este mes fue de 7.6 para la estación 02.

El mes de Octubre, la estación 02 fue la que presentó el mayor valor de pH con 8.76, seguido por la 23 con 8.44 y 22 con 8.15, la estación 06 y la 12 con un valor de 8.02. El menor valor fue para la estación 04 con 7.57 unidades de pH.

En el mes de Noviembre, las estaciones con mayores unidades de pH fueron la estación 23 con 8.3, la 22 con 8.25, la 06 con 8.16, la 16 con 8.08 y estación 01 con 8.04, la estación que presentó menor pH fue la 02 con 7.42 (Gráficos 17-20).

### **Nitratos.**

Los Nitratos, no fueron reportados durante los meses de Agosto y Septiembre, por no disponerse de los reactivos necesarios para la identificación de este parámetro. Los resultados obtenidos son los correspondientes a los meses de Octubre y Noviembre.

Los resultados muestran que el valor máximo de este parámetro, durante el mes de Octubre fue de 17.10 ppm en la estación 04, los siguientes cuatro

valores arriba de 9.70 ppm fueron: en la estación 23 con 13.70 ppm, estación 17 con 12.80 ppm, estación 05 con 10.80 ppm y estación

22 con 10.50 ppm, para el resto de las estaciones los valores oscilaron entre 8.90 ppm para la estación 02 y 9.70 ppm para la estación 06.

Durante el mes de Noviembre, el valor máximo fue de 16.50 ppm para la estación 04, los siguientes tres valores por arriba de 9.40 ppm fueron: 11.30 ppm en la estación 05, 11.20 ppm en la 16, y 10.30 ppm para la 02. los valores del resto de las estaciones oscilaron entre 6 ppm para la 22 a 9.40 ppm para la estación 07 (Gráficos 21-22)

### **Sólidos Totales.**

En general los resultados muestran que durante el mes de Agosto se presentaron los niveles mayores de sólidos excediendo a más de 1000 ppm, seguidos por los obtenidos en el mes de Septiembre que llegan a un nivel máximo de 970 ppm, en Octubre el valor máximo fue de 932 ppm y durante Noviembre fue de 774 ppm. Para ampliar lo mencionado se hace referencia a cada mes por separado.

En el mes de Agosto el número de estaciones que presentaron mas de 1000 ppm fueron 3; la estación 06 con 1520 ppm, la 03 con 1112 ppm y la 05 con 1094 ppm, los valores arriba de 600 ppm lo presentaron las estaciones 01 con 886 ppm y la 04 con 832 ppm. La cantidad menor de sólidos encontrados durante este mes lo presento la estación 02 con 628 ppm.

Durante Septiembre, tres de las doce estaciones estuvieron por arriba de los 900 ppm pero menores a 1000 ppm, las que se mencionan: estación 06 con 978 ppm, la 12 con 970 ppm y la estación 940 ppm.

Los valores menores a 500 ppm estuvieron en las estaciones 01 con 496 ppm y en la 02 con 432 ppm.

En el mes de Octubre, dos estaciones estuvieron por arriba de los 600 ppm, estas fueron estación 01 con 932 ppm y estación 06 con 826 ppm, el mínimo valor lo presenta la estación 04 con 432 ppm

En Noviembre, los valores variaron entre 482 ppm que fue el menor valor durante ese mes, presentado por la estación 04, y la mayor cantidad fue para la 06 con 774 ppm. La tendencia para este parámetro durante este último mes se mantuvo entre las 500 ppm y 600 ppm (Gráficos 23-26).

### **Turbidez.**

Los valores más altos de turbidez se reflejaron en el mes de Septiembre llegando hasta 515 NUT para la estación 16, las siguientes dos estaciones con más de 100 NUT fueron: la 17 con 315 NUT y la 12 con 267 NUT, los valores mínimos se observaron en las estaciones 06 y 07 con 10 NUT.

El mes de Agosto se mostraron en 2 estaciones, valores arriba de 100 NUT; en la 01 con 268 NUT y la 16 con 168 NUT, y durante este mes se presentaron el mayor número de estaciones con valores menores de 10 NUT, las que fueron: estación 03, 06 con 9 NUT, la 04 con 7 NUT y la 12 con 6 NUT.

En el mes de Octubre la estación 01 presentó valores arriba de 100 NUT, el valor mínimo de turbidez fue de 13 NUT en la estación 02. Durante Noviembre los valores en toda las estaciones estuvieron por arriba de los 30 NUT, este valor se observó en la estación 04, la mayoría de los resultados durante este mes se mantuvieron en un rango de 30 a 43 NUT, las estaciones que estuvieron por arriba de estos niveles fueron: la 17 con 74 NUT, la 22 con 56 NUT (Gráficos 27-30).

### **Fósforo Total**

En el mes de Agosto, el máximo valor fue de 1.67 ppm en la estación 06, seguidos por dos estaciones con valores por arriba de 1 ppm que fueron: 01

con 1.26 ppm y 02 con 1.49 ppm, el valor mínimo fue de 0.06 ppm para la estación 12, el resto de los valores oscilaron ente 0.22 ppm a 0.95 ppm.

A partir del mes de Septiembre, los valores estuvieron por arriba de 1ppm, el valor más alto fue para la estación 16 con 2.95 ppm, seguido por tres estaciones por arriba de las 2 ppm, la 12 con 2.39 ppm, la 02 con 2.11 ppm y la 07 con 2.10 ppm. El valor mínimo correspondió a la estación 06 con 1.08 ppm.

Octubre, sé mostró con cinco estaciones con valores por arriba de las 2ppm, las que se mencionan: 06 con 2.68 ppm, 02 con 2.50 ppm, 12 con 2.37 ppm, 01 con 2.34 ppm y la 23 con 2.20 ppm. El valor más bajo fue para la estación 17 con 1.43 ppm.

El mes de Noviembre, fueron seis estaciones por arriba de las 2 ppm, la 06 con 4.12 ppm, la 07 con 2.49 ppm, la 02 con 2.20 ppm, 03 y 23 con 2.15 ppm, y la estación 16 con 2.01ppm, 0.96 ppm fue el valor mas bajo correspondiente a la estación 22 (Gráfico 35-38)

### **Temperatura.**

Con respecto a este parámetro, la Temperatura mayor fue de 30.3 grados Celsius que correspondió al mes de Agosto en la estación 12, y la menor lectura se registro en Noviembre con 22.9 grados Celsius para la estación 06. En general las Temperaturas se mantuvieron en un rango de 23 grados Celsius a 27 grados Celsius (Gráfico 39-42).

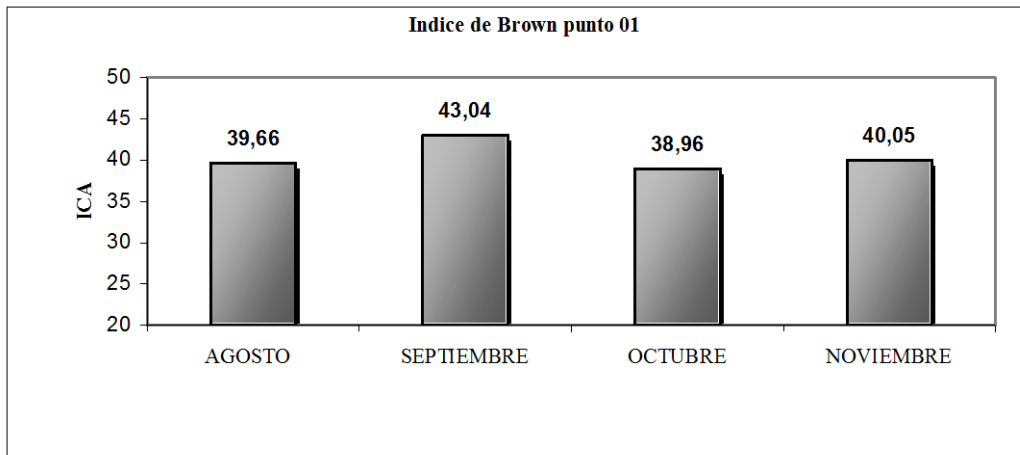
### **Coliformes Fecales.**

Durante todo el muestreo, los resultados mostraron valores arriba de 1000 NMP, llegando aun máximo de 5000 NMP. En los meses de Septiembre para la estación 07, y en el mes de Octubre en las estaciones 01 y 05 (Gráfico 31-34).

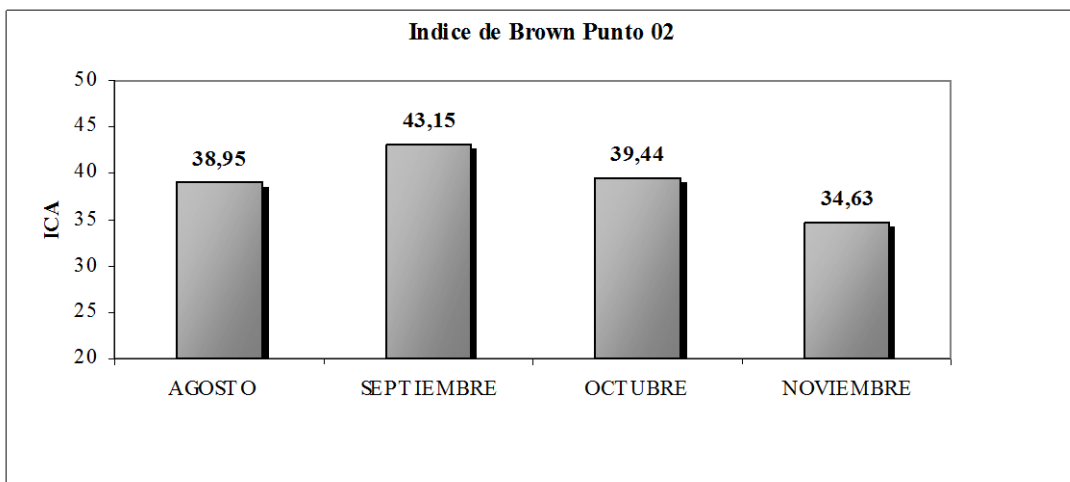


### 6.1 Gráficos de índices de calidad durante los meses de muestreo para cada estación. agosto-noviembre 2002.

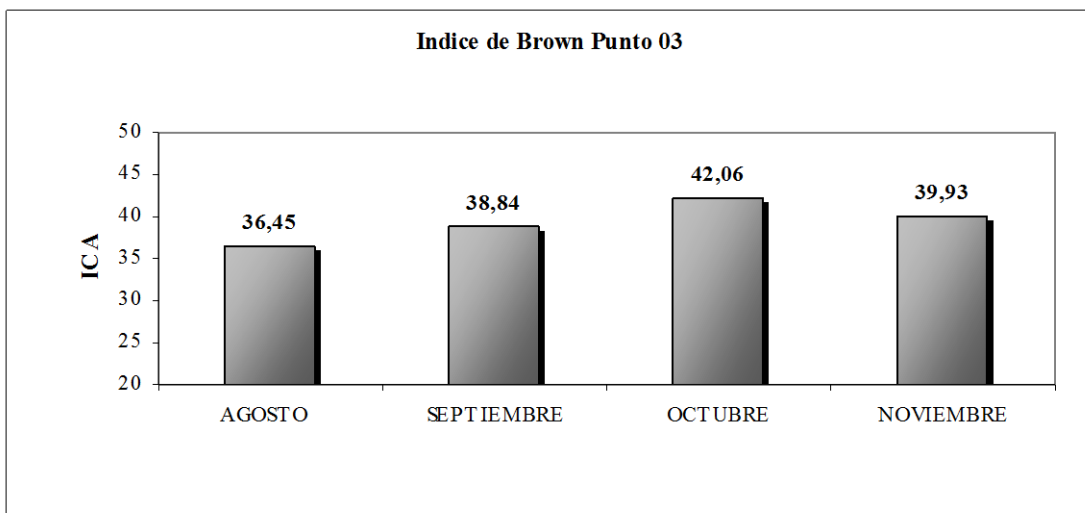
#### GRAFICO 1 INDICES DE CALIDAD POR CADA ESTACIÓN

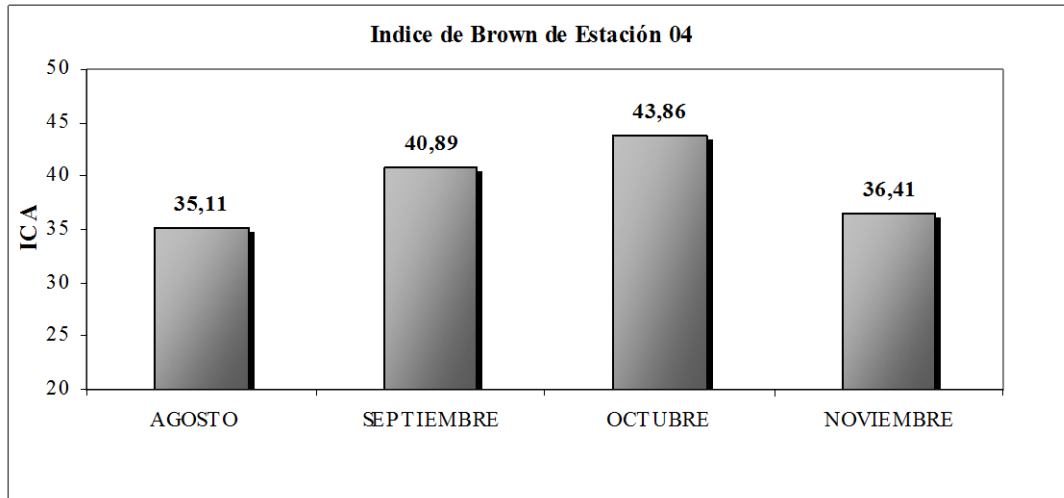
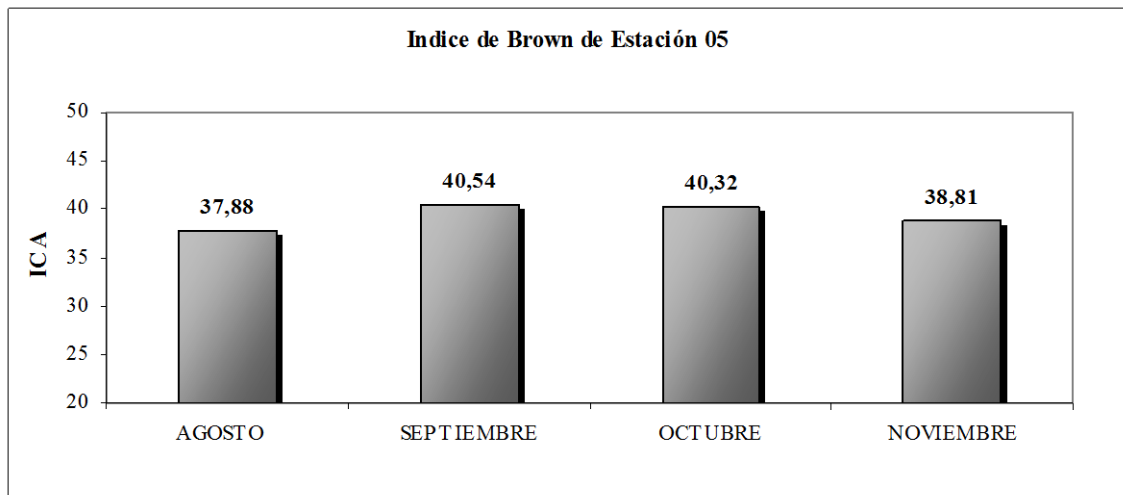
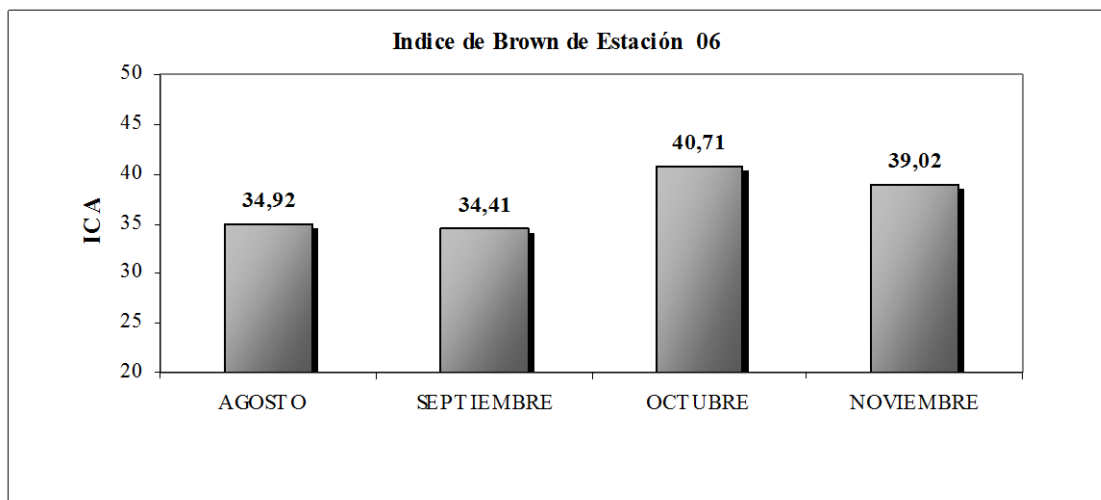


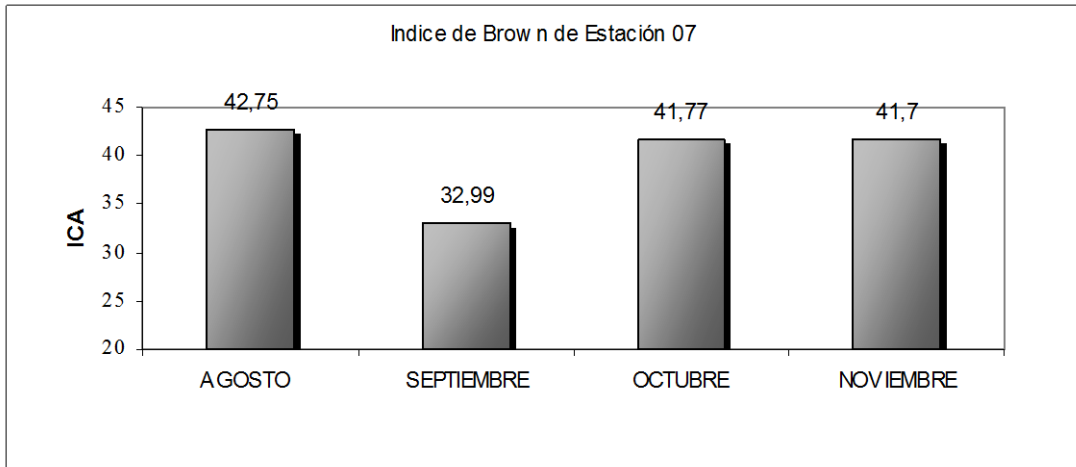
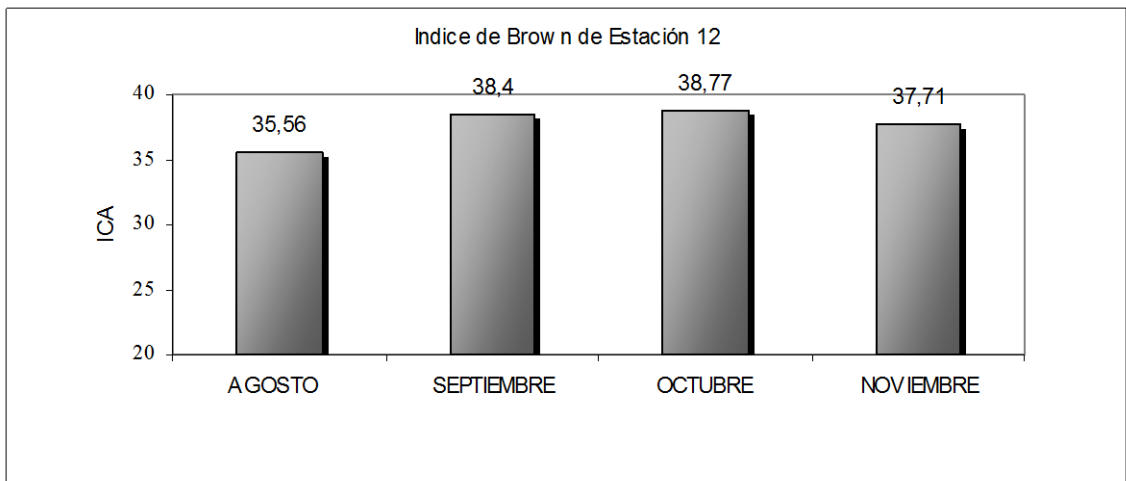
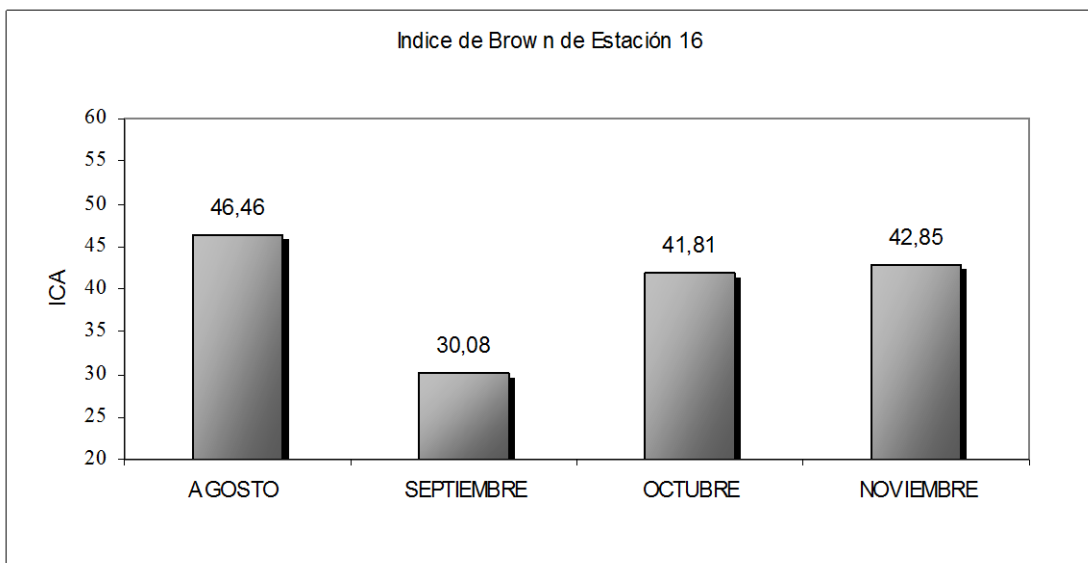
#### GRAFICO 2

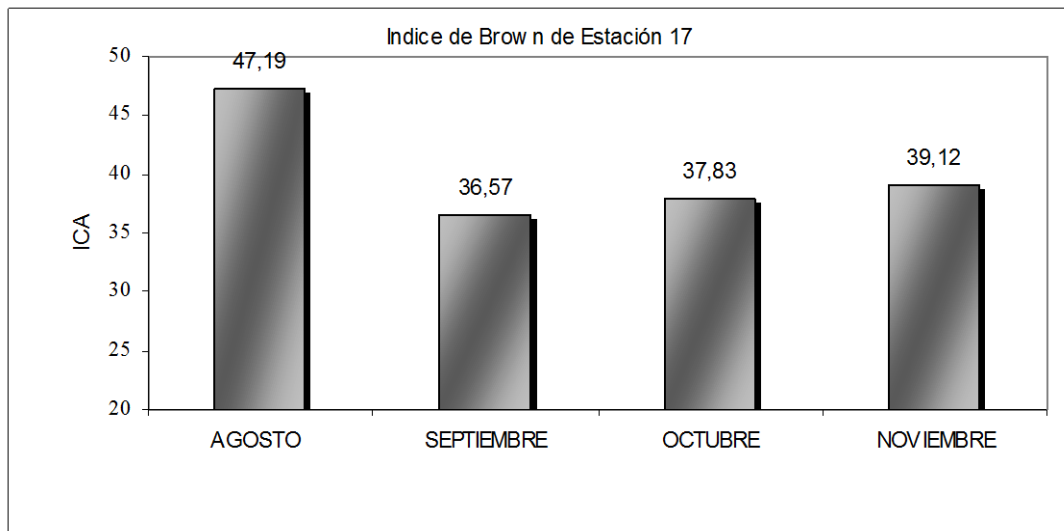
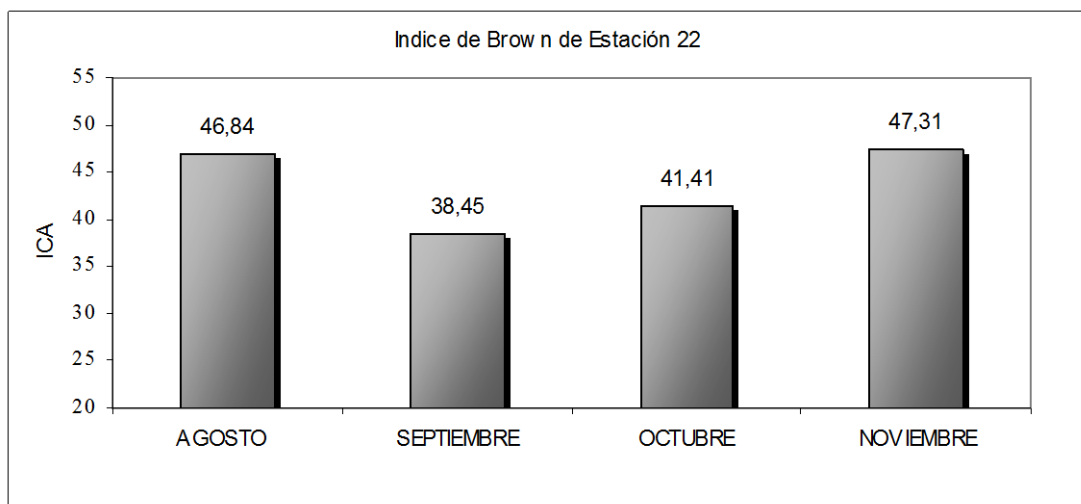
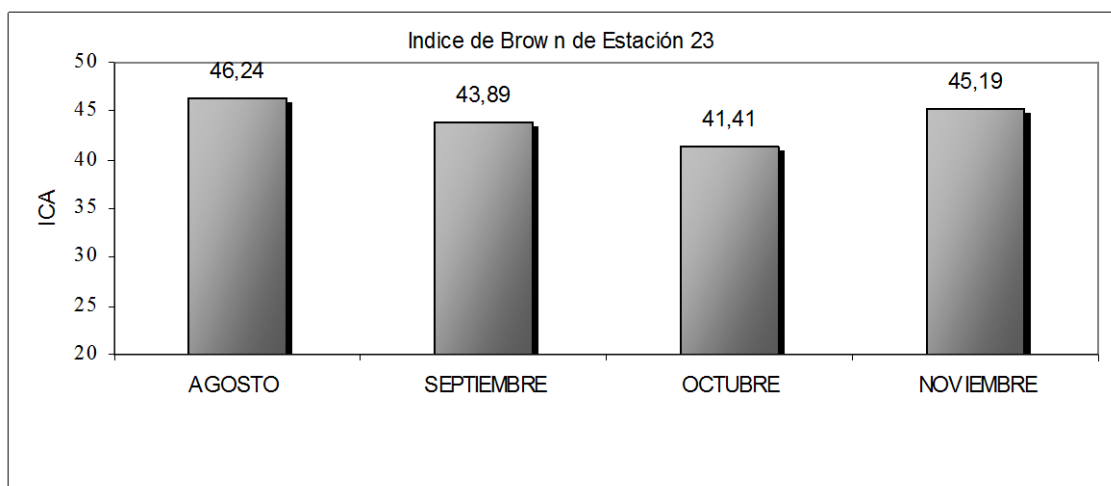


#### GRAFICO 3



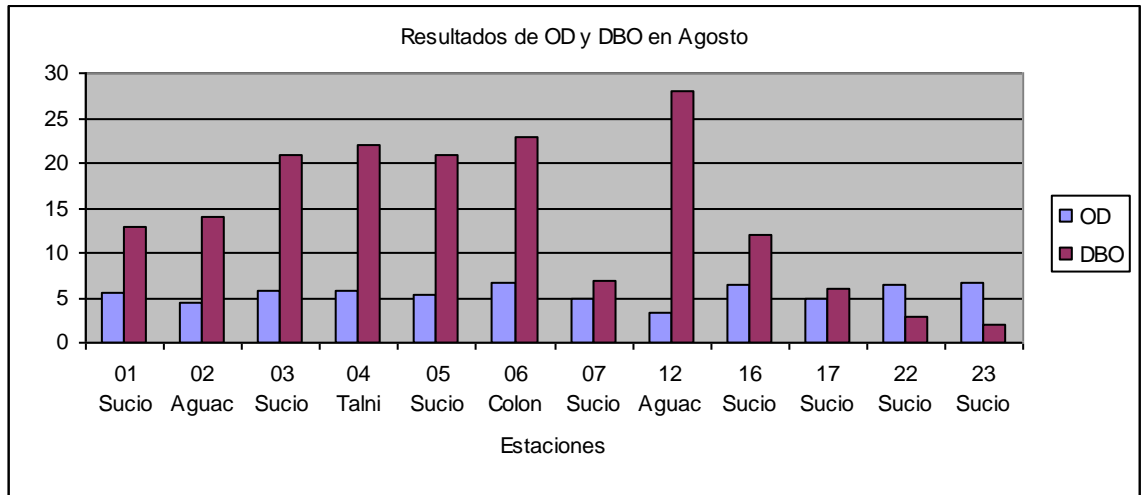
**GRAFICO 4****GRAFICO 5****GRAFICO 6**

**GRAFICO 7****GRAFICO 8****GRAFICO 9**

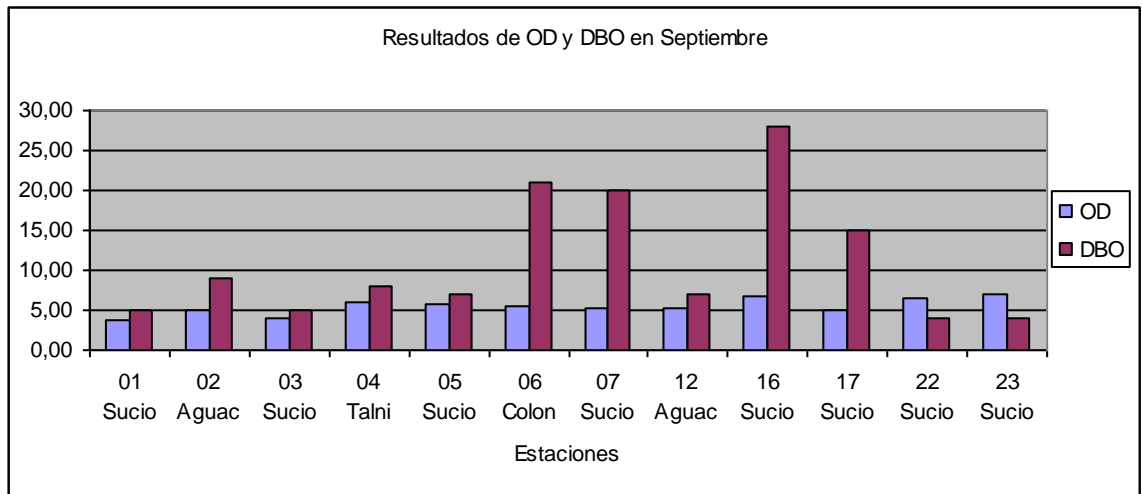
**GRAFICO 10****GRAFICO 11****GRAFICO 12**

**6.2 Gráficos de variación de los parámetros físicos-químicos y microbiológico, en las estaciones durante los meses de agosto-noviembre, 2002.**

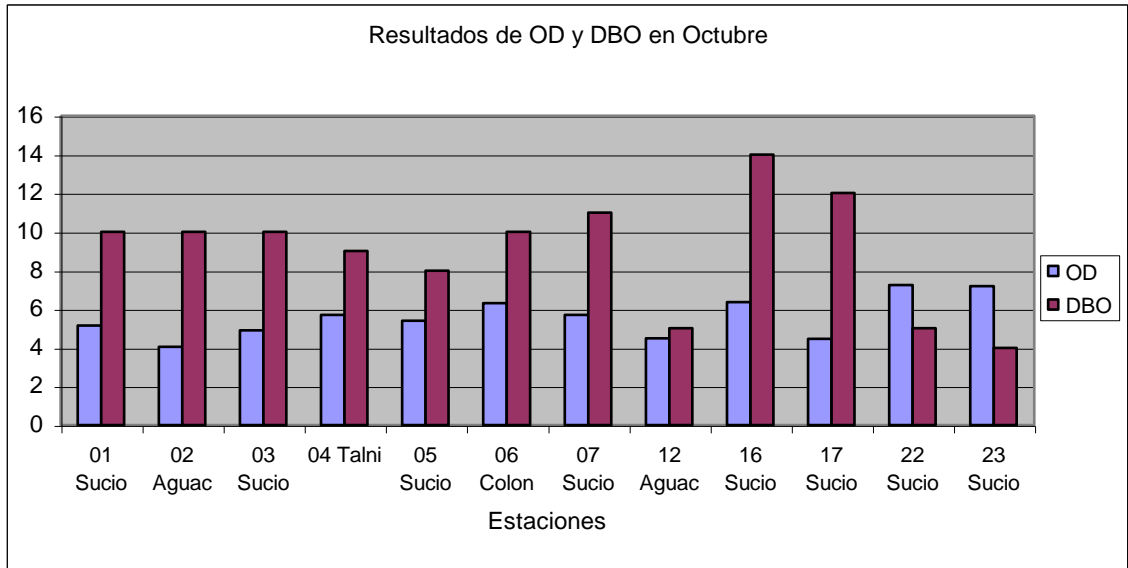
**GRAFICO 13**



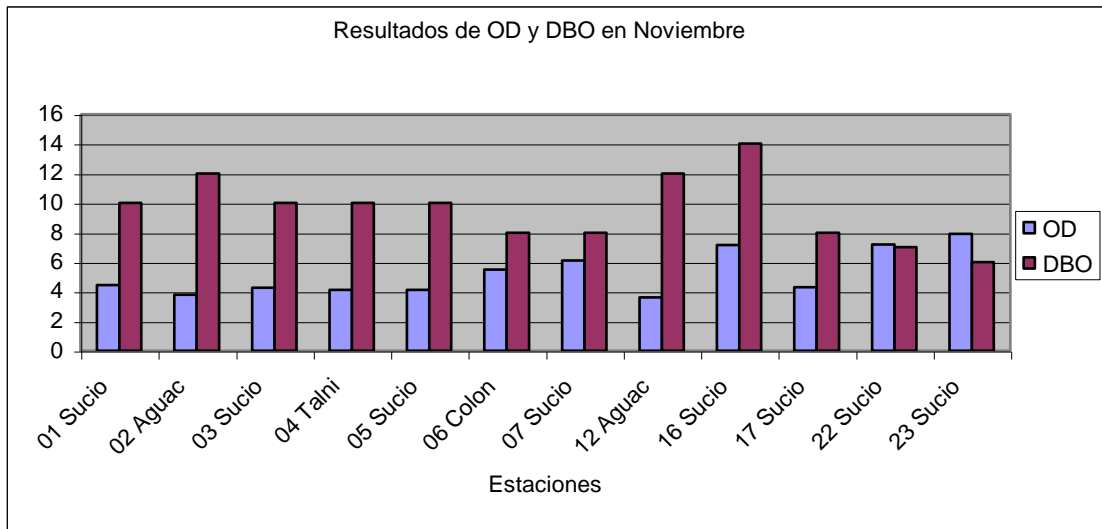
**GRAFICO 14**



**GRAFICO 15**

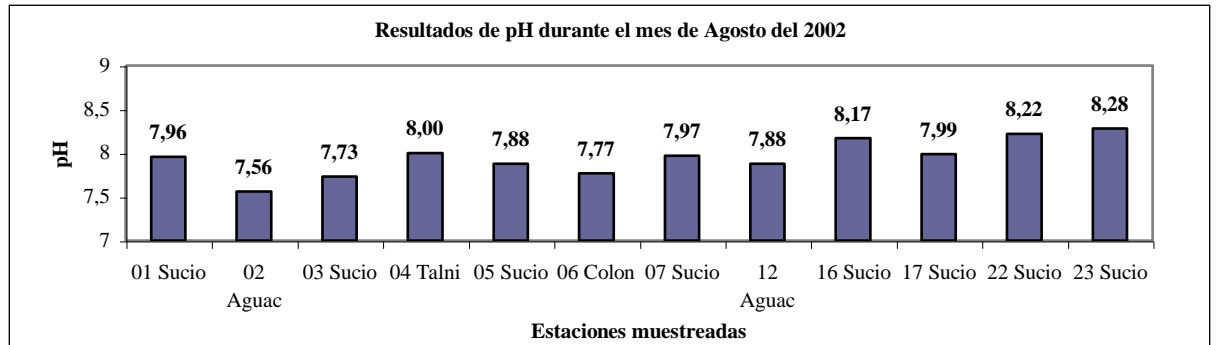


**GRAFICO 16**

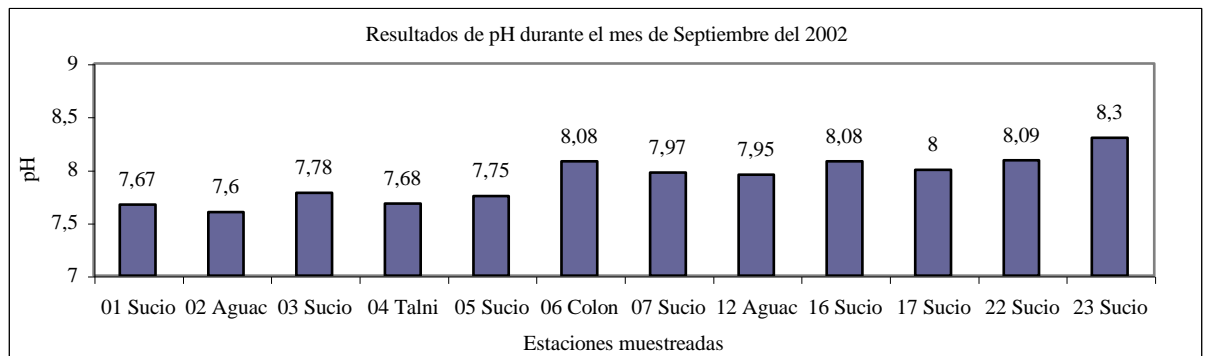


**Gráficos de variación de pH en las estaciones, durante los meses de Agosto-Noviembre, 2002.**

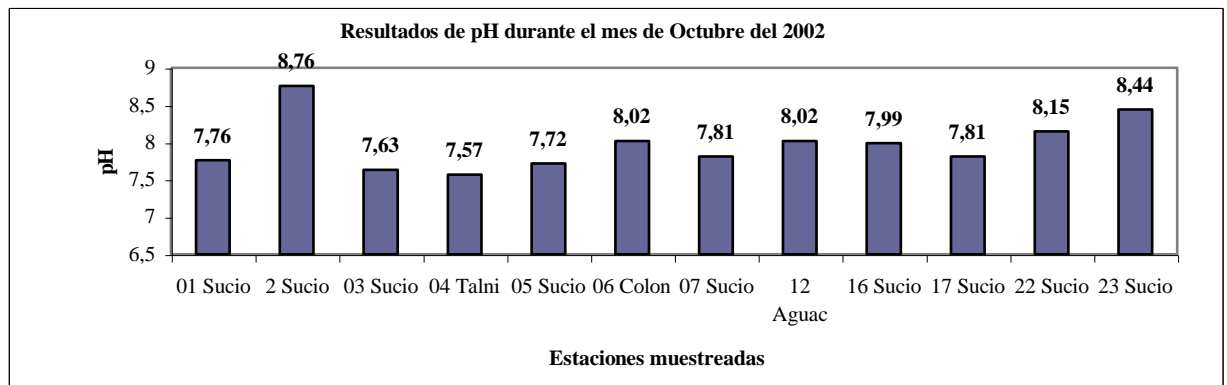
**GRAFICO 17**



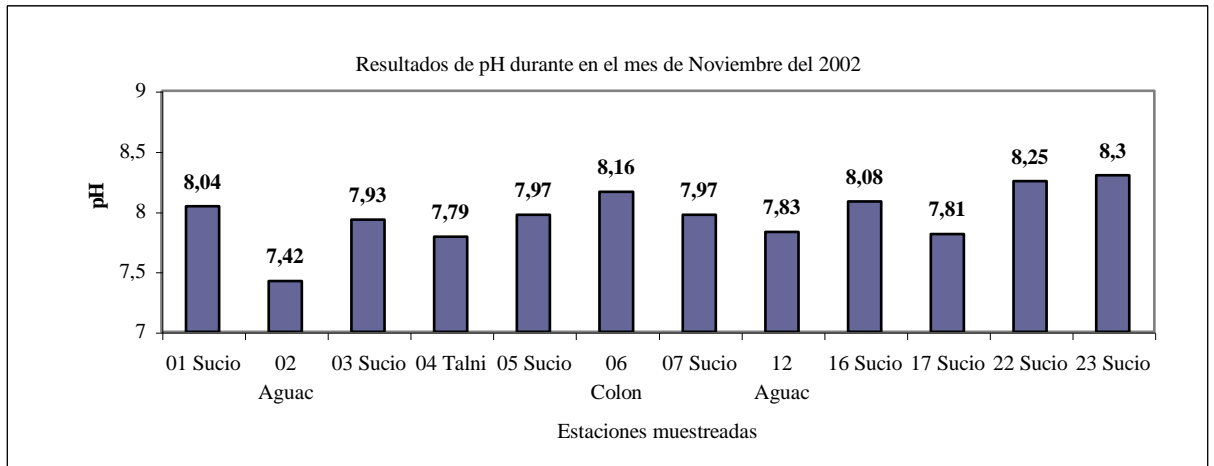
**GRAFICO 18**



**GRAFICO 19**

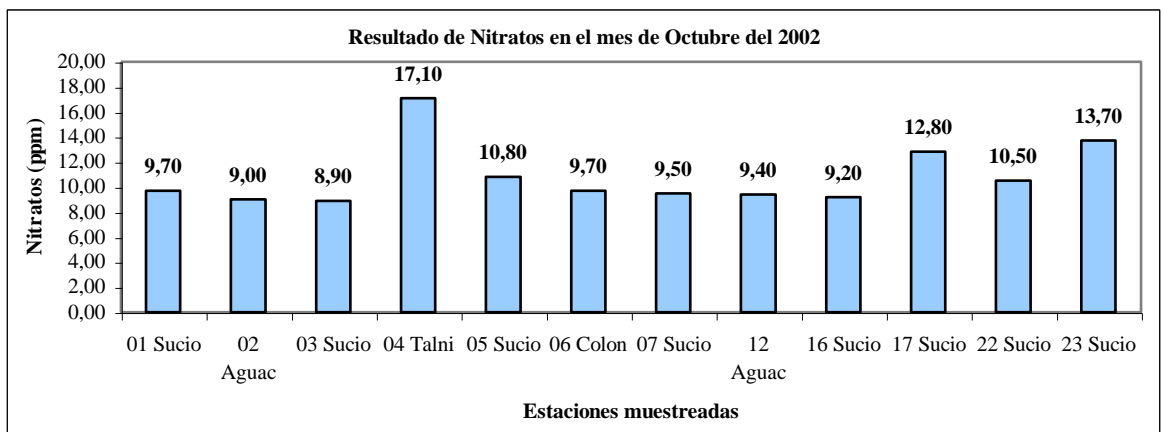


**GRAFICO 20**

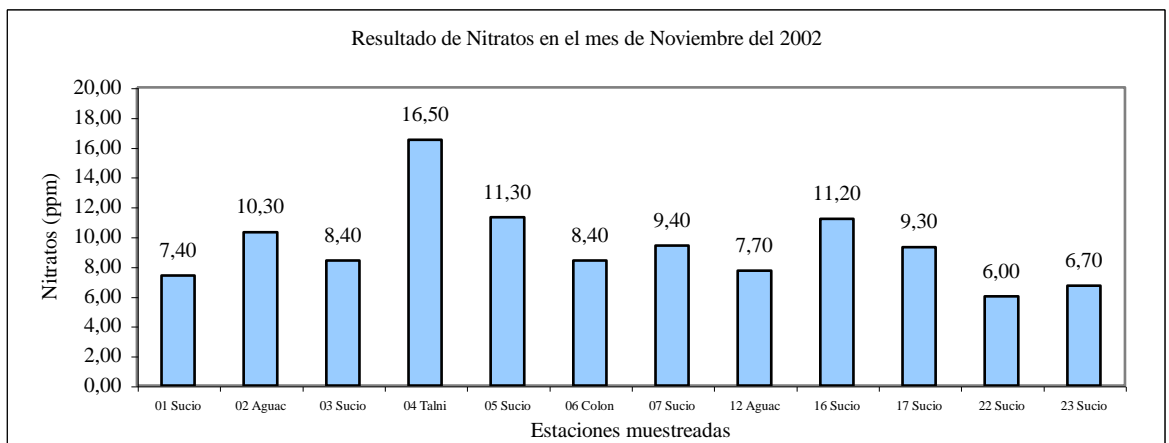


**Gráficos de variación de Nitratos de Octubre y Noviembre.**

**GRAFICO 21**



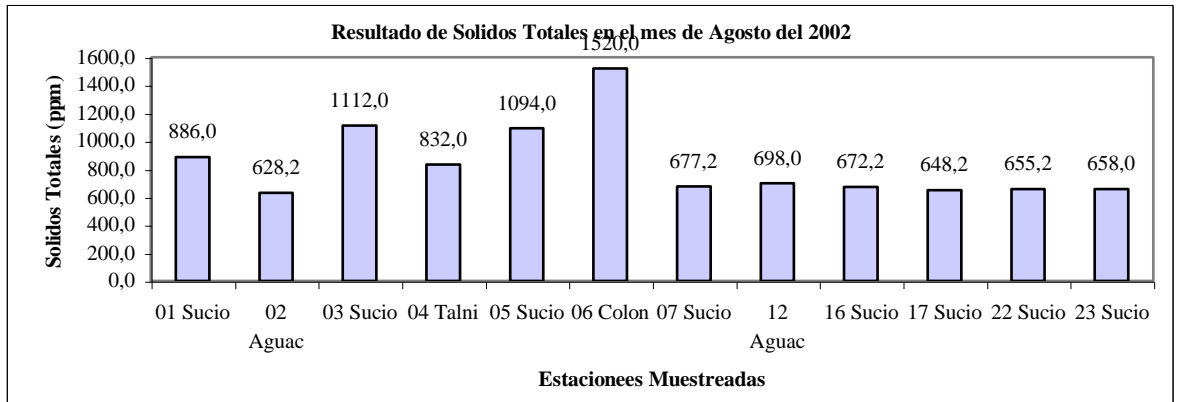
**GRAFICO 22**



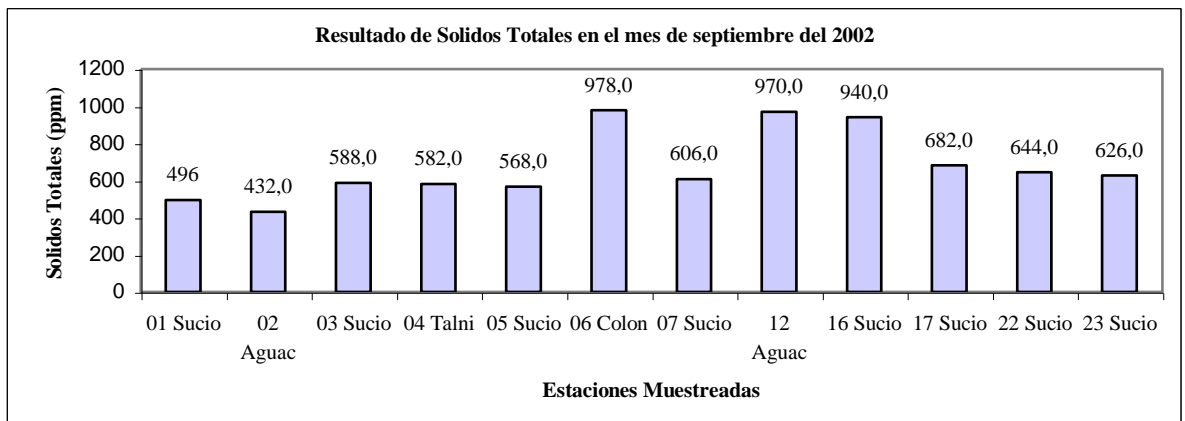


**Gráficos de variación de Sólidos Totales de Agosto a Noviembre**

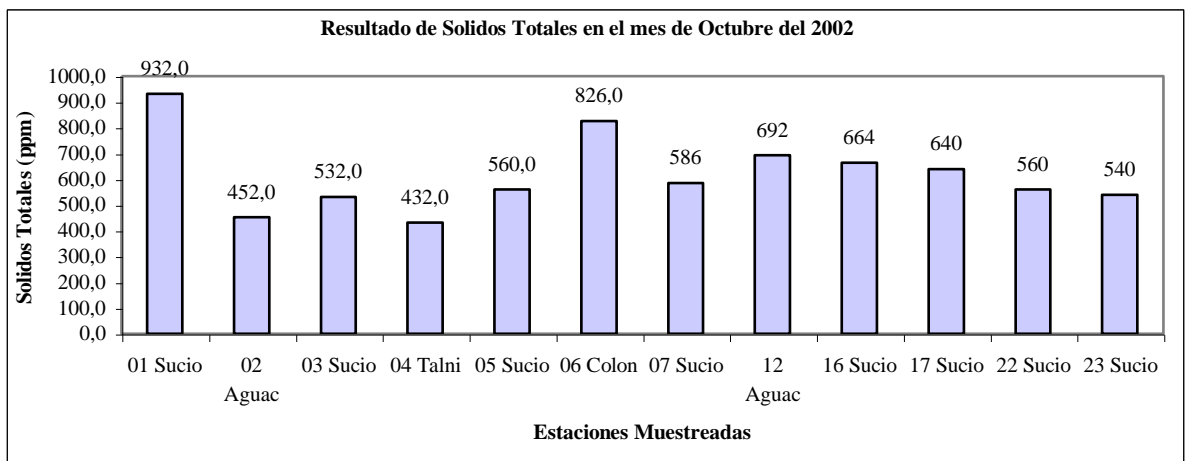
**GRAFICO 23**



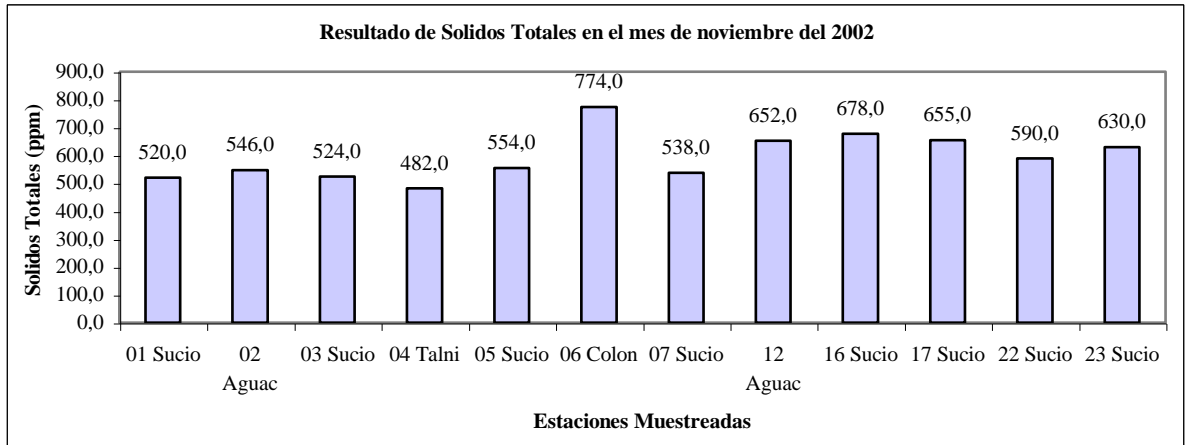
**GRAFICO 24**



**GRAFICO 25**

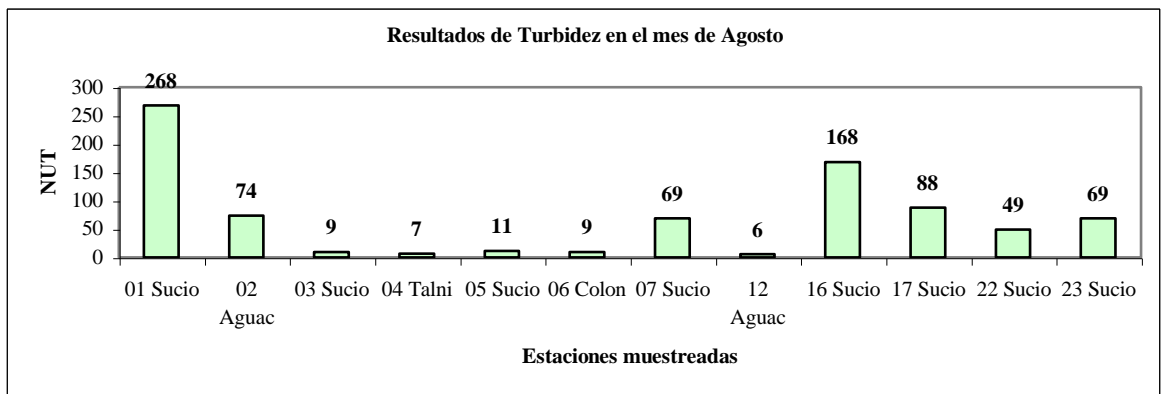


**GRAFICO 26**

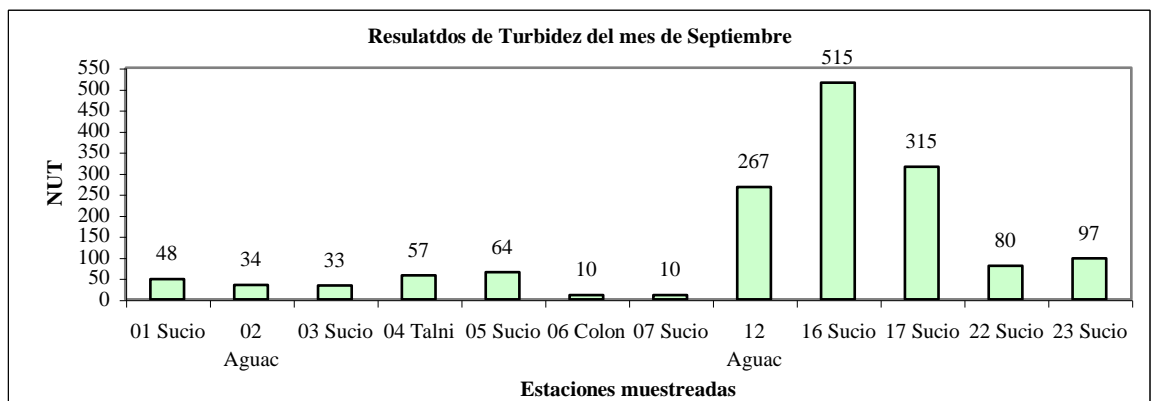


**Gráficos de variación Turbidez de Agosto a Noviembre.**

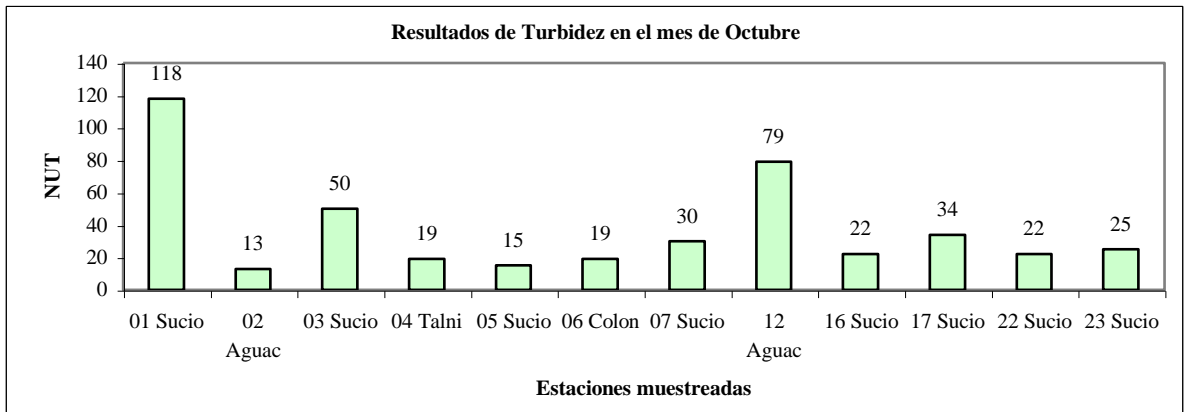
**GRAFICO 27**



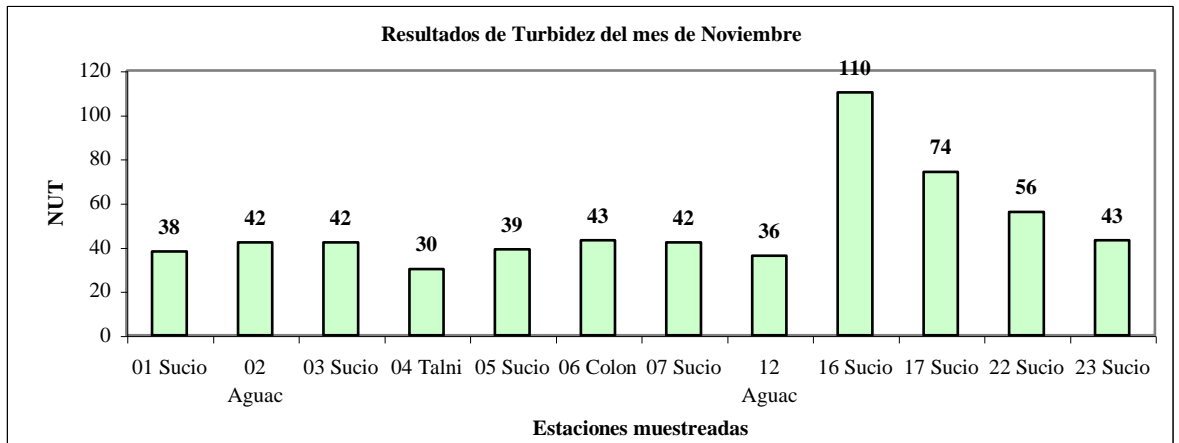
**GRAFICO 28**



**GRAFICO 29**

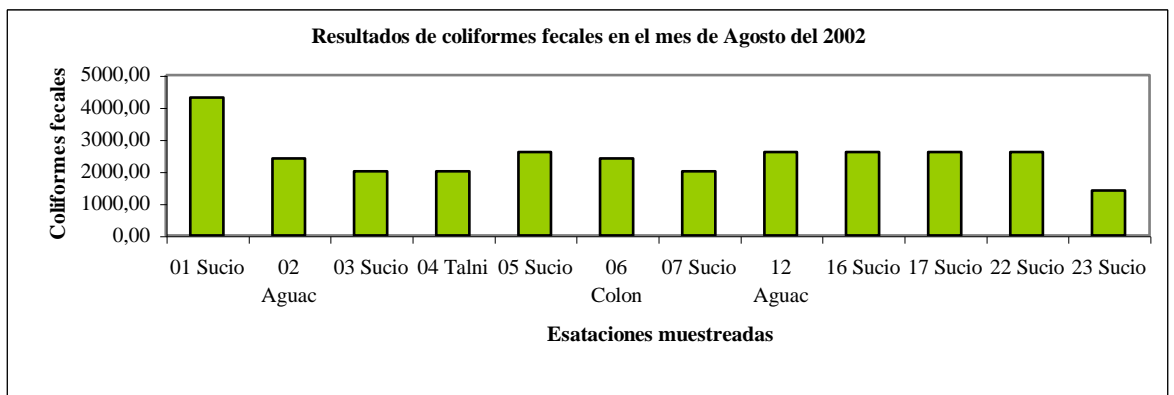


**GRAFICO 30**

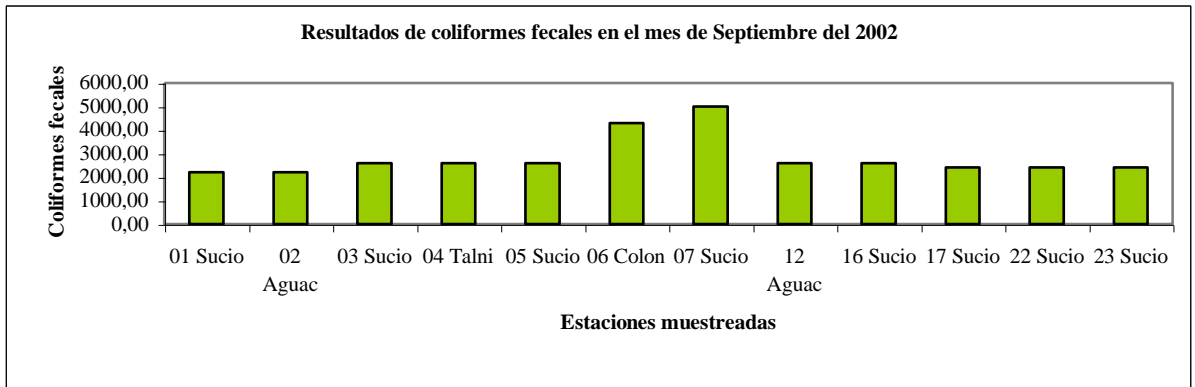


**Gráficos de variación de Coliformes Fecales de Agosto a Noviembre.**

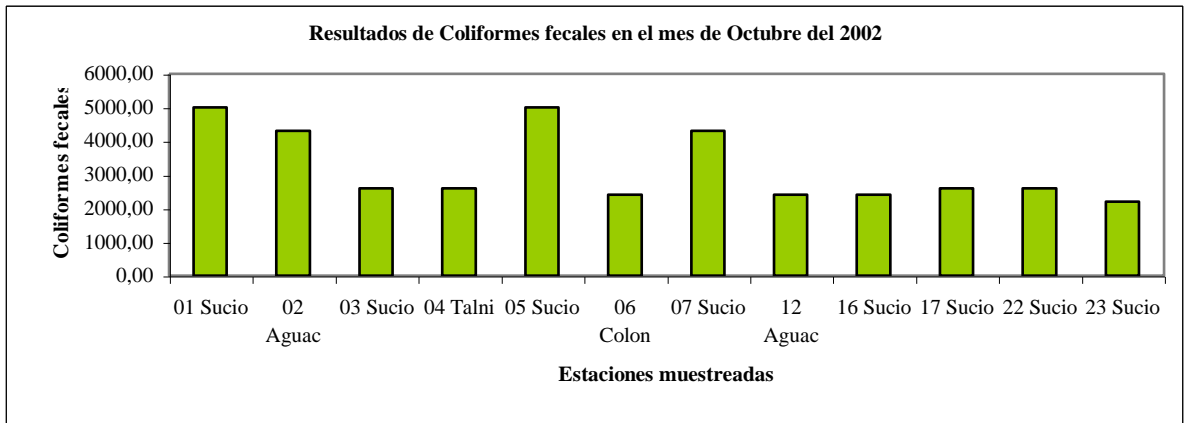
**GRAFICO 31**



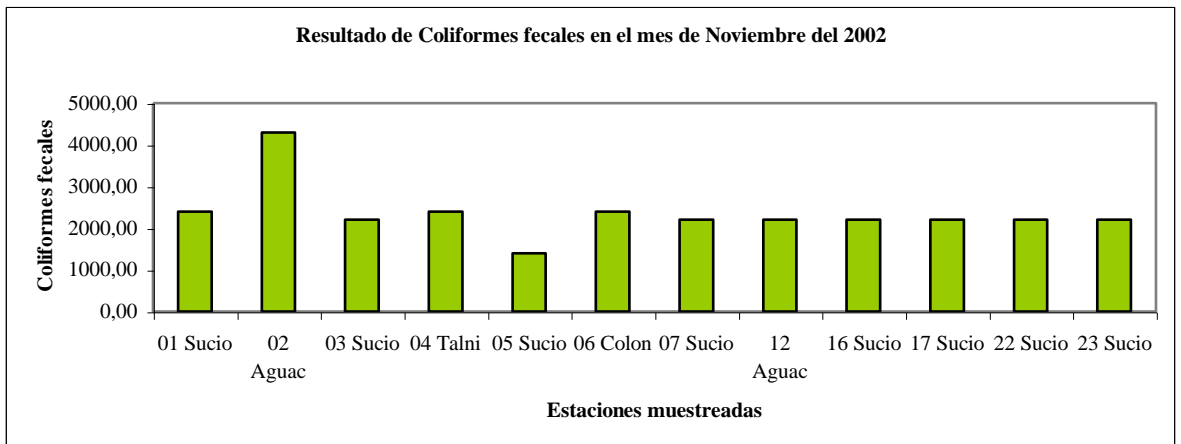
**GRAFICO 32**



**GRAFICO 33**

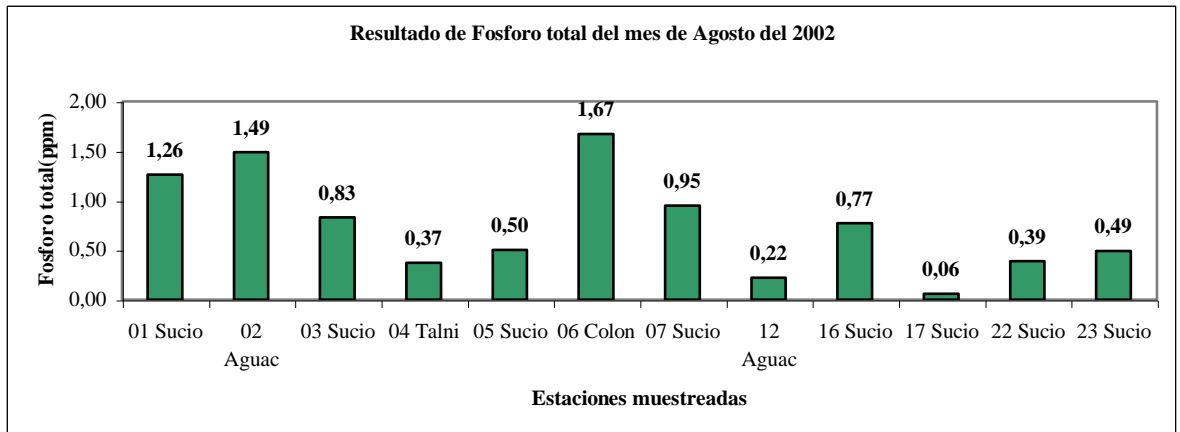


**GRAFICO 34**

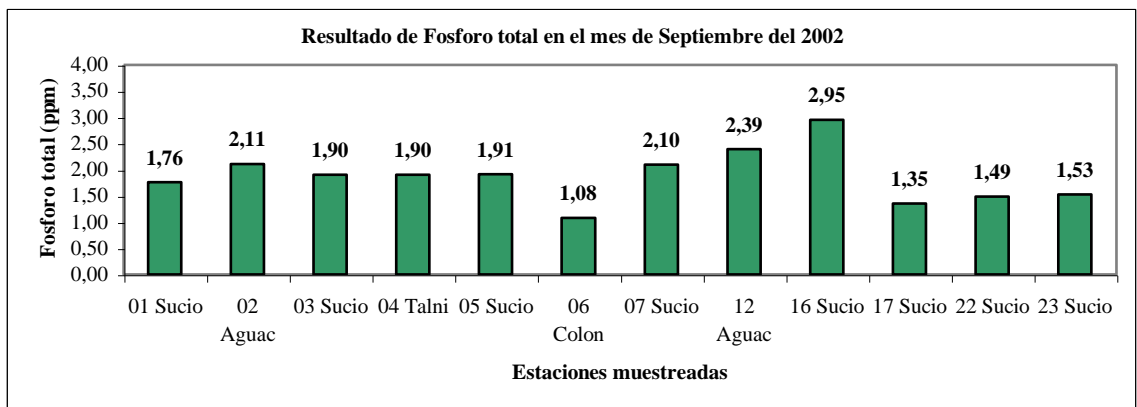


## Gráficos de variación de Fósforo Total de Agosto a Noviembre.

### GRAFICO 35



### GRAFICO 36



### GRAFICO 37

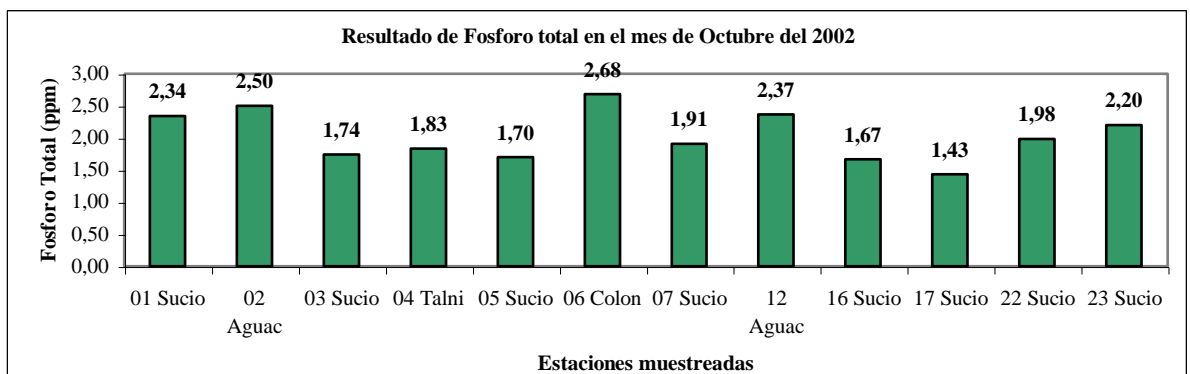
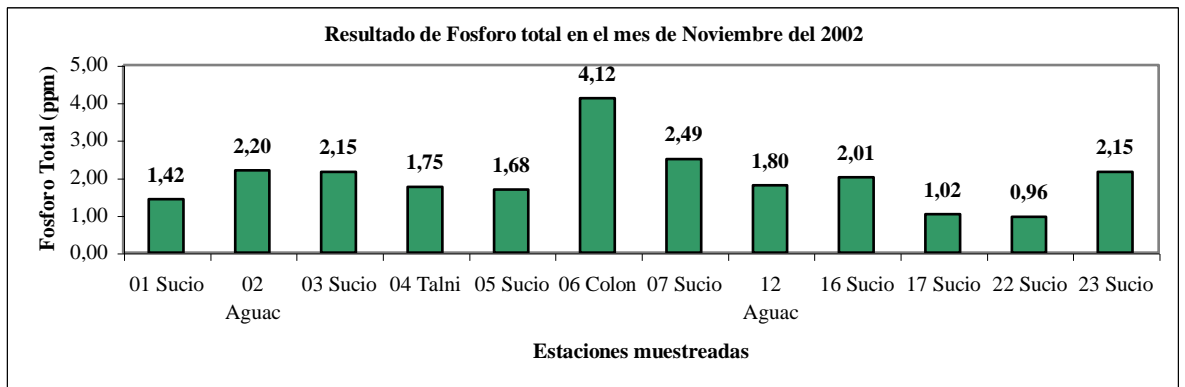


GRAFICO 38



Gráficos de variación de Temperatura de Agosto a Noviembre.

GRAFICO 39

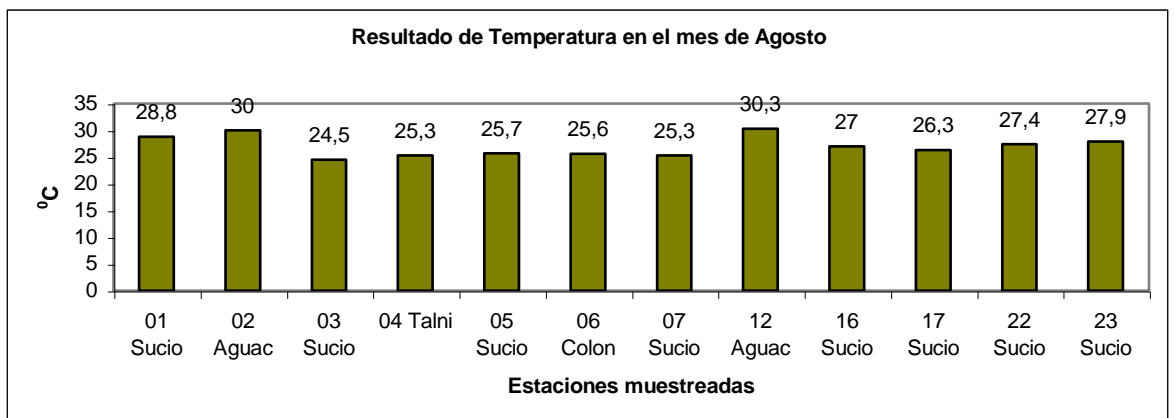


GRAFICO 40

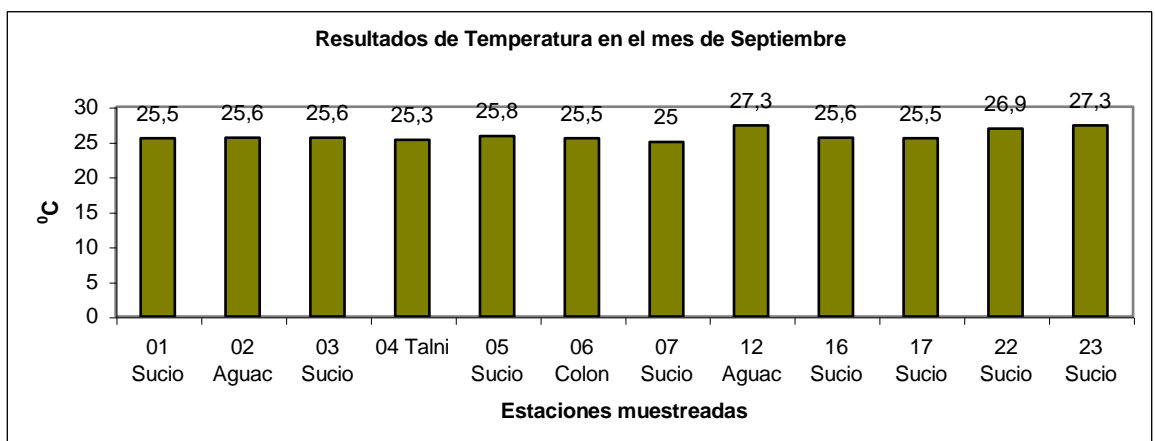


GRAFICO 41

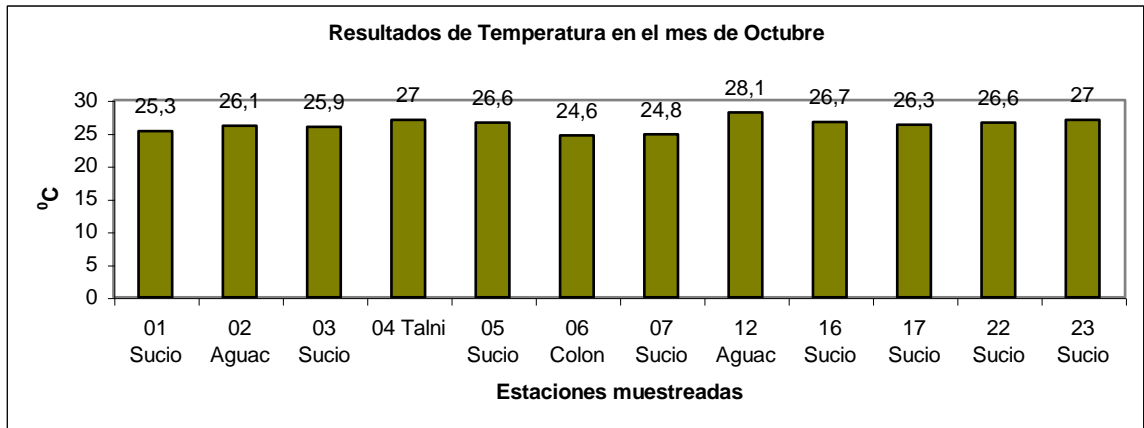
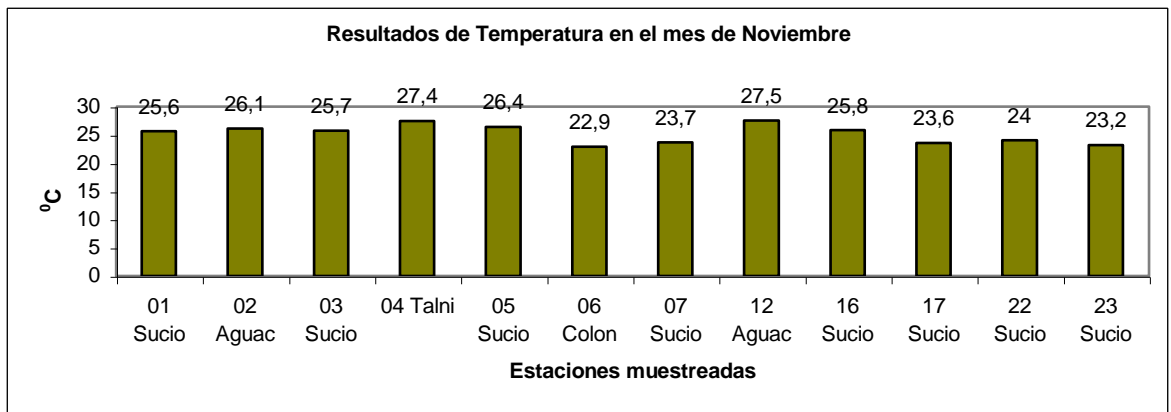


GRAFICO 42



## 7.0 DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

El Índice de Calidad de Agua de Brown, proporcionó un calificativo general de calidad ambiental del agua del Río Sucio entre las categorías de malo a aceptable lo que en términos generales según Brown, un calificativo de aceptable sería suficiente para la utilización del recurso para: consumo, riego y sostenibilidad de vida acuática. Es necesario hacer mención que Lobos (2000), al referirse a este Índice General establece que tiene una limitante para un uso determinado, siempre y cuando exista un exceso en la cantidad de contaminantes que superen los límites establecidos para cada parámetro según las Normas Oficiales en cada región o país, que indican las características necesarias o limitantes en cuanto a la calidad óptima que debe tener un efluente para poder destinarlo a un uso determinado. De acuerdo a esto, según los resultados obtenidos y al compararlos con las Normas vigentes en nuestro país, muchos de los parámetros tienden a exceder dichos límites establecidos; para hacer comparaciones de valores y para dar un posible uso del agua del río Sucio se consideraron: la Norma Salvadoreña NSO 13.07.01:99 referida al uso del agua para consumo humano, que establece el máximo admisible de los parámetros de Coliformes fecales que es de 1.1 NMP, el pH de 6.0-8.5, Turbiedad no mayor de 5 NUT y Nitratos no mayor de 45 ppm, en este estudio los valores máximos encontrados fueron de 5,000 NMP de Coliformes, 8.76 unidades de pH, 515 NUT y 17.10 ppm en Nitratos, lo que hace que el agua del río Sucio no se considere apta para consumo, aunque los niveles de Nitratos no exceda, pero ante esto, debe de ser considerados también la cantidad de Nitritos que podrían encontrarse y que afectarían la calidad del agua grandemente en unión con los Nitratos, más adelante se retomaran estos parámetros individualmente.

Para determinar el uso del agua como sustentador de vida acuática, se hicieron comparaciones con los niveles guías del Decreto N° 40 del Reglamento Especial de Normas Técnicas de Calidad Ambiental para uso del Agua en función de Protección de Vida Acuática, emitido por el gobierno de El Salvador en el año 2000; que considera los límites de coliformes totales de 1,000 NMP, niveles máximos de DBO de 5ppm y de OD menores a 5 ppm, pH de 6.5 a 7.5



o no alterar en 0.5 unidades el valor ambiental natural, Turbiedad de 5 NUT, Sólidos totales no mayor a 300 ppm y Temperatura con un rango de 20-30 grados Celsius, o no alterar a un nivel de 5 grados Celsius la temperatura del cuerpo receptor. Para el caso ya se ha hecho mención de los valores máximos obtenidos en Coliformes, Turbiedad y pH, los valores máximos alcanzados en cuanto a Sólidos los valores estuvieron por arriba de 500 ppm, los valores de DBO fueron de 28 ppm como máxima, y de 3.40 ppm como valor mínimo para OD, lo que provoca que el río presente dificultades para proporcionar un ambiente adecuado para sustentar la vida acuática, en cuanto a Temperatura se considera dentro del rango de lo normal, ya que generalmente no excedieron de 27 °C.

Para conocer los niveles máximos permisibles del uso de agua para riego se uso la Norma Oficial Mexicana, NoM-001-ECOL-1996 para hacer la comparación de los parámetros de Fosfatos y de DBO, que establece un limite permisible de 20 y de 150 ppm respectivamente, al compararlos con los resultados se tiene que ambos parámetros no excedieron esas cantidades, llegando a cantidades de 5 ppm de Fosfatos y de 28 ppm de DBO.

Habiendo mencionado los parámetros que excedieron los limites permisibles, puede tenerse un mejor enfoque de un uso potencial del agua, y debe de considerarse que estos valores han repercutido en el calificativo obtenido en el Índice de Brown.

## **7.1 Análisis del ICA obtenido, por zonas agrícolas y la tendencia del Índice en cada estación, por mes de muestreo.**

### **7.1.1 Estaciones en la zona del Distrito de Riego de Zapotitán.**

Se mencionan aquellas estaciones que obtuvieron un calificativo de mala calidad, y se hace referencia de aquellos parámetros que superaron de forma significativa su nivel, y que influyen en el porcentaje que se obtuvo del Índice de Brown, dándole un calificativo de malo en cuanto a calidad ambiental.

De las estaciones **01** a la **07**, ubicadas dentro del Distrito de Riego N°1 de Zapotitán, las estaciones que presentaron una mala calidad con valores entre 32% y 36% fueron: la estación 02 ( río Aguas Calientes) en el mes de

Noviembre, mostró valores de Oxígeno Disuelto menores del 50% al nivel de saturación normal, la estación 03 del canal principal, en el mes de Agosto presentó valores mayores a 20 ppm de  $DBO_5$ , la estación 04 (río Talnique) en los meses de Agosto el valor de  $DBO_5$  fue de 22 ppm y en Noviembre, el Oxígeno Disuelto fue menor del 50 % de saturación, en este río Talnique (estación 04), que presentó durante dos meses un ICA de mala calidad para el agua del río Sucio, obteniendo esos porcentajes de ICA en los periodos dentro de la época de lluvia (Agosto) y época seca (Noviembre), estos resultados pueden relacionarse con las actividades de las cuales se tienen conocimiento, y es que durante algunos meses de lluvia los agricultores se dedican a la fertilización de sus tierras (Agosto y Septiembre), esta actividad incorpora al afluente materia orgánica, por medio del arrastre de las escorrentías, favoreciendo el incremento de la  $DBO_5$ ; Otro factor que repercute en la calidad de las aguas es que en el área también existen, una fabrica de concentrado y otras de beneficio con período de producción de Octubre a Febrero en cada año (período seco), por la cantidad de materia orgánica descargada por estas fabricas se observa que influye en parámetros de Oxígeno Disuelto. También por estos descartes de materia orgánica, durante los meses de producción, hay aumento en turbiedad y sólidos; Sagastizado (2001), menciona que este río secundario aporta a la cuenca del Río Sucio una cantidad de sedimentos que varía entre 0.1-3.7 Kg-día, esto debido a la presencia de las fabricas ya mencionadas, lo que afecta la vida acuática, y procesos de fotosíntesis.

En la estación 06 (río Colón); en el mes de Agosto se obtuvo una  $DBO_5$  de 23 ppm y en Septiembre con una  $DBO_5$  de 21ppm; en esta estación, existe la presencia de empresas y establecimientos con actividades agroindustriales, como la granja avícola (Criaves), que incorpora desechos con cargas de nitrógeno, coliformes fecales y sólidos; también la presencia de un establo esta aportando aguas con los parámetros de  $DBO_5$ , Nitrógeno, Sólidos y Coliformes, fuera de la Norma de Aguas Residuales NSO 13.07.03:02, sé aún a estas actividades el hecho, que este río es transportador de las aguas negras de la ciudad de Santa Tecla, por lo que todo todos estos factores incrementan los niveles principalmente de materia orgánica, que por ende se

refleja en los niveles de la  $DBO_5$ , afectando la capacidad de los microorganismos de metabolizar la carga excesiva de materia en descomposición.

En la estación 07, del canal principal de la cuenca, los valores de  $DBO_5$  en Septiembre estuvieron en valores de 20 ppm, en esta área, entran aguas de la empresa Pavos S.A. de CV agregando aguas con altos niveles de  $DBO_5$ , nitrógeno, sólidos y coliformes fecales según NSO de aguas residuales, esto repercute en los niveles de los parámetros de Demanda Biológica de Oxígeno registrados.

La cantidad de Coliformes fecales encontrada en las estaciones antes mencionadas fue superior a 1000 NMP, esto es un indicador propio de las actividades que se desarrollan en este distrito, principalmente de la crianza de animales y la incorporación de las aguas residuales urbanas por los ríos secundarios. La cantidad de Sólidos totales, es también alta llegando a niveles superiores a 500 ppm, según PAES (1997-2003), antes de llegar a la estación 04 el río, recibe además de las descargas, cantidad de sedimentos y otros materiales que las escorrentías en las zonas agrícolas puedan arrastrar, aumentando los niveles de sólidos.

Por otra parte es importante mencionar aspectos como: en el Distrito de Riego de Zapotitán, se utiliza principalmente el sistema de riego por aspersión, predominan los pequeños agricultores con cultivos variados, incluyendo hortalizas, que se trabajan durante todo el año, y se incrementa la extensión de cultivos en época seca, en la que hacen uso del sistema de riego, utilizando las aguas superficiales del Río Sucio, se hace mención del sistema de riego, ya que algunos autores explican que cuando se aplican aguas contaminadas con este sistemas a los cultivos, principalmente las hortalizas, se corre el riesgo de incorporar fácilmente al fruto las posibles bacterias presentes en las aguas. La ganadería es bastante explotada, variando en cantidades que van desde las 25 a 100 o más cabezas, esta cantidad de ganado aunque no sea extensa es fuente de contaminación, ya que las excretas de estas, son arrastradas hacia el canal del río.

### **7.1.2 Estaciones dentro de la zona explotada por pequeños agricultores, no perteneciente a ninguno de las cooperativas de los Distritos de Riego.**

Las estaciones **12**, **16** y **17**, son áreas cercanas al Distrito de Riego de Zapotitán, principalmente la estación 12, las dos siguientes no cuentan con un sistema de riego a gran escala, haciendo uso de pozos y surcos.

La estación 12, cerca de la Escuela Nacional de Agricultura, presentó baja calidad en el mes de Agosto, el parámetro más variable con respecto a los otros meses fue la  $DBO_5$  con 28 ppm; la estación 16, en el mes de Septiembre, presentó valores de  $DBO_5$  y Turbidez altos, con respecto a los otros meses, en la estación 17 se obtuvieron valores aceptables durante los cuatro meses, aunque en Septiembre su ICA fue de 36.57% muy cercano a la categoría de mala, estas dos estaciones se ven influenciadas por la presencia de pequeños agricultores en sus riberas, en los tres puntos mencionados los niveles de Coliformes fecales y Sólidos totales fueron elevados, superando los 1000 NMP y 500 ppm respectivamente.

Según PAES (1997-2003), cercanos a estas estaciones (12, 16 y 17) esta ubicada la agroindustria Avícola Salvadoreña, porquerizas y una empresa papelera de las más grandes (Kimberly Clark), con fuertes repercusiones sobre el canal principal, integrando aguas residuales con altos niveles de Nitrógeno, Coliformes fecales y Totales, grasa y  $DBO_5$ , según la Norma Salvadoreña de Aguas Residuales.

El incremento de los parámetros, se observa en época de Lluvia, la que favorece, como ya se menciono el arrastre de sedimentos y materia orgánica. En estas zonas agrícolas no existen mecanismos de retención de suelo, lo que causa mucha pérdida del mismo.

### **7.1.3 Estaciones dentro del Distrito de Riego de Atiococho, zona perteneciente a la desembocadura del Río Sucio.**

En las estaciones **22** y **23**, ubicadas dentro del Distrito de Riego N<sup>o</sup> 2 de Atiococho, el Índice de Calidad Agua califica sus aguas durante los cuatro meses como aceptables, fueron las estaciones que presentaron mejores niveles de saturación de Oxígeno Disuelto de 80-97% con respecto a los niveles normales, esto lleva implícito que se estableciera una baja DBO<sub>5</sub>, estos parámetros favorecen la estabilidad de vida acuática, la que es visible en esta zona. Aunque los altos los niveles de Coliformes fecales y Sólidos totales se mantuvieron altos, dando 1000 NMP, para el primer parámetro y arriba de 500 ppm, para el segundo.

El sistema de riego en este Distrito es por gravedad, utilizando canales para la introducción del agua, para los cultivos que según Umaña (1990) citado por Esquivel (1997), los propietarios de estas tierras son pequeños agricultores, el tamaño de estas no excede de tres hectáreas y los cultivos principales son: arroz, pasto y maíz; los canales de riego cuando son abiertos para la entrada de la corriente, también son utilizados por los lugareños, principalmente los niños como balneario, en este sentido debe considerarse el hecho de la cantidad de bacterias patógenas encontradas en el río, ya que pueden afectar de forma directa sobre la población, causando alguna enfermedad transmitida por medio del agua. Sobre la base de los resultados se determina que en estos tramos los altos niveles de Oxígeno Disuelto indican una recuperación del río, siendo éstos mayores a 7 ppm, esto favorece a la estabilidad de vida acuática y a la degradación de materia orgánica, Esquivel (1998), demuestra en su estudio que en los tramos cercanos a la desembocadura es donde existe una mayor recuperación del Oxígeno Disuelto. Este aumento se relaciona también con el recorrido que existe desde la zona de Zapotitán que tiene mayor influencia urbana e industrial, a estos dos puntos (22 y 23), permitiendo un mayor recorrido entre esa zona y los puntos mencionados.

## **7.2 COMPARACIÓN Y ANÁLISIS DE PARÁMETROS REFERIDOS A LOS POSIBLES USOS DEL AGUA CON RESPECTO A LAS NORMAS OFICIALES.**

### **7.2.1 OXIGENO DISUELTO, DBO<sub>5</sub>, NITRATOS Y FOSFATOS**

Son parámetros referidos, a la estabilización de la vida acuática en un cuerpo de agua, además están relacionados con la limpieza de un afluente, cantidad de materia orgánica y actividades agrícolas.

Aquellos valores menores o cercanos al 60% de saturación de oxígeno, están reflejando inmediatamente la presencia de contaminación, con valores de Oxígeno Disuelto menores de 5ppm, esta cantidad es el límite permisible para la sostenibilidad de vida acuática, según el Decreto N<sup>o</sup> 40 del Reglamento Especial de Normas Técnicas de Calidad Ambiental. El mayor número de estaciones con niveles mínimos se dio en el mes de Noviembre, haciendo referencia al aumento de la concentración de materia orgánica por ser época seca que provoca una disminución en el caudal del río; debe recordarse que todo organismo viviente necesita una adecuada oxigenación para sus procesos metabólicos, los valores de Oxígeno están relacionados con un aumento en la DBO<sub>5</sub>, al relacionarla con los microorganismos encargados de la degradación de la materia orgánica, estos tendrán una mayor exigencia de oxígeno, los resultados muestran que los valores más altos en cuanto Oxígeno Disuelto son de las estaciones 22 y 23 con una saturación de oxígeno de 82-97%, esto indica niveles mayores a 7 ppm.

Según el Decreto N<sup>o</sup> 40 del Reglamento Especial de Normas Técnicas de Calidad Ambiental, los valores de DBO<sub>5</sub> necesarios para la estabilización de la vida acuática deben ser menores o iguales a 5 ppm. En la mayoría de estaciones sobrepasaron tales niveles, fue en el mes de Agosto en donde se observó más pronunciado el aumento en los niveles de este parámetro, llegando a más de 20 ppm, se da principalmente en el área del distrito de riego de Zapotitán, la lluvia hace un mayor arrastre de nutrientes, de suelo y de excretas; en los restantes meses este fenómeno disminuye, llegando a la

época seca donde se ve minimizado el arrastre, pero aún se mantienen los procesos de descarte por parte de las agroindustrias, que producen un aumento en este parámetro. Las estaciones 22 y 23 cuyo valor máximo fue de 7 ppm en  $\text{DBO}_5$  presentado en el mes de Noviembre, dan un indicativo de autodepuración de la cuenca, los valores altos obtenidos de este parámetro según la Norma Oficial Mexicana no tienen repercusión para el uso del agua en riego cuyo valor límite es de 150 ppm.

Debe hacerse énfasis que los microorganismos en un sistema dinámico como lo es el río, tendrían la capacidad para metabolizar los desechos, si no existieran inconvenientes como: el aumento excesivo de los desechos vertidos por las industrias cualquiera sea su naturaleza, ya que pueden descargar componentes orgánicos de difícil degradación o incorporar aquellos fácilmente degradados pero en cantidades que sobrepasan la capacidad que los microorganismos tienen. Ejemplo de la eliminación excesiva de vertidos en esta cuenca son las industrias avícolas y granjas que descargan desperdicios que contienen Nitrógeno; además es comúnmente utilizado el estiércol como fuente de abono incorporando de esta manera además de Nitrógeno, Fósforo, ambos compuestos son fácilmente movilizados tanto a las aguas superficiales como a las aguas subterráneas.

Según la Ongley (1997), la agricultura de engorde en la crianza de animales eliminan hacia las aguas superficiales Fósforo, Nitrógeno, al observar los resultados de los parámetros de Nitratos y  $\text{DBO}_5$ , tiende a existir una proporcionalidad directa entre el aumento de una con respecto a la otra en los meses que se reportaron Nitratos (Octubre- Noviembre); haciendo referencia a niveles de materia orgánica; Los Nitratos no excedieron de 20 ppm, se puede decir que no tienen repercusión negativa para el uso de consumo humano, ya que según la Norma de Agua para Consumo, el límite es de 45 ppm, esto no es del todo cierto y debe considerarse ya que el Nitrógeno sufre cambios a lo largo de su ciclo, por lo que también es necesario conocer los niveles de Nitritos que en combinación con los ya mencionados no debe exceder a 1 ppm, y además conocer los niveles de Nitrógeno total.

Las cantidades de Fósforo Total no excedieron de las 5ppm. En el mes de Noviembre, se determinaron seis estaciones con valores arriba de 2 ppm, con un máximo de 4.12 ppm, reflejando que los valores tienden a incrementarse en la época seca, donde los niveles del caudal disminuyen provocando una mayor concentración de los parámetros. El valor máximo, aunque no sobrepasa es muy cercano al límite establecido por la Norma Mexicana de 5 ppm para Protección de Vida Acuática y de 20 ppm para uso de riego, En este caso el Decreto N<sup>o</sup> 40 del Reglamento Especial de Normas Técnicas de Calidad Ambiental, no hace alguna consideración de este parámetro referido a protección de vida acuática.

### **7.2.2 pH.**

El agua presentó generalmente rangos levemente alcalinos variando de 7.42 a 8.44, según el Decreto N<sup>o</sup> 40 del Reglamento Especial de Normas Técnicas de Calidad Ambiental, el rango debe estar entre 6.5 a 7.5 para la protección de vida acuática; para uso de consumo, la Norma Salvadoreña establece un rango entre 6.0-8.5, la tendencia general se puede observar en los gráficos en donde los valores tienden a incrementarse a medida se acercan a la desembocadura; el pH en las aguas se ve afectado por los arrastres de suelos hacia la cuenca, debe recordarse que los suelos en la mayor parte del territorio Salvadoreño tienden a la alcalinidad.

El pH es una variable que también está relacionada con la solubilidad de ciertos metales, aunque esto según Calvo (1999) es más factible si el pH tiende a una acidez o a ser menor de 6.5. datos que no han sido apreciados durante el monitoreo. Otro factor que influye en los cambios de la concentración de iones Hidrógenos, es el tipo de vertido, que las empresas hacen de acuerdo a los procesos que realizan.



### 7.2.3.SÓLIDOS TOTALES Y TURBIDEZ

La cantidad de sólidos según los resultados del monitoreo, se presentan como excesivos, superando los niveles permisibles tanto para agua de consumo cuyo valor mínimo es de 300 ppm según la NSO 13.07.01:99, y para aguas de riego; Sagastizado (2001), menciona que la EPA establece que niveles por arriba de 500 ppm de sólidos en aguas las califican como ligeramente salinas, que pueden afectar a cultivos de hortalizas. Los valores obtenidos fueron mayores a estos, llegando a niveles por arriba de 1,000 ppm en el mes de Agosto, que es época Lluviosa y cercanos a esta cantidad en Septiembre, datos obtenidos principalmente en la zona perteneciente al Distrito de Riego de Zapotitán, esto indica que hay un mayor arrastre de materia que puede ser suelo, o materia orgánica en la época lluviosa, este aspecto se ve favorecido, porque los suelos no tienen ninguna barrera protectora que minimice el arrastre, y la vegetación existente son los cultivos, como el arroz y maíz o el pasto utilizado para el ganado.

Algunos de los efectos que se reportan por el exceso de sólidos de las aguas superficiales utilizadas para riego son: afectan el crecimiento de las plantas y su calidad, dificulta la emergencia de las plántulas por la formación de costras, con riego por aspersión se forma una película en las hojas que reduce la actividad fotosintética y el intercambio gaseoso, debe de recordarse que la zona de Zapotitán es donde se utiliza este sistema de riego, estando propensos a estos efectos.

Según Ongley (1997), la contaminación causada por la pérdida de la capa arable del suelo y la erosión como consecuencia de la degradación de la tierra son puntos que favorecen la contaminación por sedimentos, dando lugar a niveles altos en turbidez; la erosión como tal significa a la vez para el agricultor, pérdida de tierra productiva, de nutrientes y materia orgánica, que deben ser sustituidos con fertilizantes. Los sedimentos también son transportadores de productos químicos que son absorbidos por algunas partículas; los sólidos no sólo se refieren a la carga orgánica que los cultivos pueden aportar, sino también aquellos materiales orgánicos e inorgánicos que

las agroindustrias principalmente en este río pueden administrar a las aguas, esto trae inmerso el transporte de compuestos como el Nitrógeno y el Fósforo.

Según Ongley (1997), los altos niveles de sedimentación en los ríos dan lugar a la perturbación física de las características hidráulicas del cauce, esto puede favorecer las inundaciones por la reducción de la capacidad de flujo de agua, los sedimentos provenientes de suelos cultivados son básicamente incorporados a las aguas por los procesos de escorrentía que puede ser producto de los sistemas de riego o de la precipitación misma, la comparación de los resultados de sólidos con respecto a los niveles de turbidez son proporcionales. Durante los meses de Agosto y Septiembre, se obtuvieron los valores más altos (arriba de 100 NUT en cuanto a turbidez y arriba de 1000 ppm en sólidos totales) exceptuando los valores del punto 06 que presentan niveles altos de sólidos durante los 4 meses de muestreo, pero no en turbidez, lo que indica que el tamaño de las partículas en esas áreas tienden a ser mayores de  $10^{-4}$  mm, las que no entran en la categoría de turbidez.

De los resultados del monitoreo en turbidez y la comparación con algunas de las Normas se establece que los niveles encontrados superan los niveles establecidos para agua de consumo que es de 1 NUT registrándose en este estudio valores mayores a 10 NUT, que a su vez también están fuera de los niveles permitidos para la protección de vida acuática como lo establece el Decreto N<sup>o</sup>40 del Reglamento Especial de Normas Técnicas de Calidad Ambiental que sugiere un límite de 5 NUT.

Debe hacerse mención con lo referido a la protección de vida acuática que los altos niveles de turbidez limitan la penetración de luz solar en la columna de agua, lo que puede impedir el crecimiento de algas, plantas acuáticas enraizadas y hasta el desove para algunos peces. A su vez la excesiva turbidez favorece la multiplicación de bacterias patógenas, convirtiéndose en una barrera protectora.

Por lo tanto estos niveles son el resultado de toda la descarga de materia orgánica, en la que van implícitos agentes patógenos. También puede hacerse referencia de la estética que el río pierde, Glynn (1999), indica que con valores mayores a 10 NUT permiten que la turbidez sea apreciable a simple vista, esto se constata al ver las aguas del Río Sucio que en todo su recorrido sea época lluviosa o seca, el color de sus aguas permanece café.

#### **7.2.4 COLIFORMES FECALES**

Los niveles de Coliformes fecales, son un parámetro importante, principalmente en el ámbito de salud, según los resultados obtenidos estuvieron por arriba de 1,000 NMP en todos los puntos de muestreo, aumentando durante septiembre y Octubre, llegando hasta 5000 NMP, en estaciones dentro de la zona de Zapotitán, eso podría relacionarse con los meses de mayor producción de las agroindustrias en esta zona, que son una de las primeras fuentes de incorporación de materia fecal al afluente, estos valores según el Decreto N<sup>o</sup>40 superan los límites permisibles para protección de vida acuática que es de 1000 NMP, y para consumo humano que debería ser menor de 1.1 NMP, otra fuente que incrementan los niveles encontrados en este río es la incorporación de aguas negras de las ciudades de Santa Tecla, Lourdes, Colón y zonas aledañas (puntos de descarga en las estaciones 6 y antes de la estación 4) convirtiéndose en una influencia directa de los lugareños.

En esta zona, por ser destinada principalmente a los cultivos, es necesario conocer la influencia que las bacterias patógenas ejercen sobre los mismos primordialmente en las hortalizas; Calvo (1999), plantea que hay evidencias en salud, de que las verduras frescas, regadas con aguas contaminadas han provocado numerosos brotes epidemiológicos, las bacterias, los quistes de protozoos y los huevos de helmintos, se adhieren tenazmente a la superficie de las plantas y quedan así protegidos del ambiente externo. La concentración de coliformes, no guarda relación con respecto a la altura que los vegetales tengan en relación con el suelo, solo en los casos que exista un contacto directo con el suelo.

Los sistemas de riego, también tienen influencia en la contaminación por coliformes fecales sobre los cultivos, el riego por aspersión provoca una contaminación más efectiva y persistente, mientras que los riegos por surcos no contaminan significativamente las cosechas. Esto permite deducir diferencias entre la posible contaminación de los cultivos por Coliformes en los Distritos de Atiocoyo, cuyo sistema de riego es por canaletas y el Distrito de Zapotitán que lo hace principalmente por aspersión y es en este distrito donde se producen vegetales como tomate, pepino, chile, mayormente en época seca, que es cuando utilizan el sistema de riego.

### **7.2.5 TEMPERATURA**

La temperatura es uno de los factores que tienen importancia principalmente para la sostenibilidad de vida acuática, por lo que el Decreto N<sup>o</sup>40 indica un valor mínimo entre 20 y 30 °C; al respecto fueron pocos los puntos que arribaron estos valores, sobresaliendo mención el mes de agosto en la estación 12, con 30.3 grados Celsius; en general los valores no excedieron de 27 grados Celsius, Las temperaturas en este afluente son altas ya que la temperatura ambiental repercute inicialmente en ella, y la zona que recorre el afluente permanece con altas temperaturas; Calvo (1999), indica que la elevación de temperaturas en el agua produce alteraciones como: aproximación al nivel térmico de ciertas especies, disminución del oxígeno disuelto, acción mecánica y de presión sobre el plancton, aumento de toxicidad de algunas sustancias, aumento de la degradación de la materia orgánica, en general el metabolismo de los seres vivos aumenta con la temperatura. En este caso también deben considerarse las especies que existen en este río, que están adaptadas a las temperaturas que el agua natural del río presenta, y una alteración drástica podría aunarse a los aspectos que impidan la sobrevivencia de las especies que aun lo habitan.

## 8. CONCLUSIONES.

- ❖ Según los resultados de los ICAs obtenidos, las aguas del Río Sucio, abarcando desde el canal principal y ríos secundarios, en su totalidad pueden clasificarse con una calidad ambiental **aceptable**, esto indica que existe una perturbación significativa en su naturaleza por causa de la contaminación indirecta o directa, que esta recibiendo a lo largo de su trayecto, que puede en un futuro no muy lejano llevarla a una calidad de mala.
- ❖ La zona perteneciente al Distrito de Riego N° 1 de Zapotitán (puntos 01-07), fue la que resultó con valores más bajos del Índice de Brown, esto se debe a la presencia de agroindustrias que existen en las riberas del Río Sucio y que utilizan las aguas del mismo, como diluidor de vertidos, incrementando por los desechos descargados, los niveles de Sólidos, Turbidez, Coliformes fecales en mayor proporción, y en menor cantidad Nitrógeno y Fósforo.
- ❖ La influencia antropogénica en sus diferentes actividades puede observarse en los puntos 04 y 06, (ríos secundarios), de la zona de Zapotitán que es donde desembocan las aguas negras, y domésticas de las áreas urbanas, que tienen una extensa población, en algunas de estos proyectos, no existe una planta de tratamiento de las aguas antes de descargarlas al río y en otras que si la tienen, no reciben mantenimiento, o no están funcionando; También en esa área es donde hay mayor presencia de industrias.
- ❖ Uno de los principales parámetros para que un río logre la autodepuración de las aguas es el Oxígeno Disuelto, que se ve afectado por la excesiva contaminación de materia orgánica, este parámetro es incorporado de la atmósfera, al agua por movimientos turbulentos, En este caso el Río Sucio no tiene en su recorrido caídas de agua o movimientos rápidos, principalmente en la zona de Zapotitán que es una planicie, lo cual no favorece el incremento de este parámetro que presentó valores por debajo de los 50% de saturación.

- ❖ Es notable observar que los ICAs, por puntos de muestreo según se recorre la cuenca hacia la desembocadura (puntos 22 y 23) los valores van incrementándose, lo que permite inferir que el río puede autodepurarse, proceso que es favorecido por la distancia que recorre después de recibir la descarga de contaminantes, a los puntos cercanos a la desembocadura.
- ❖ Por los resultados que se obtuvieron de los parámetros: Coliformes Fecales, Sólidos, Oxígeno Disuelto, DBO<sub>5</sub>, Turbidez, y al hacer una comparación de estos datos con los niveles permisibles por las Normas, Las aguas del Río Sucio pueden considerarse no aptas para consumo humano y con muy poca probabilidad de proporcionar sostenibilidad de vida acuática.
- ❖ La cantidad elevada de Coliformes fecales que se presenta, permite que se le dé un enfoque con respecto a la salud, por ser utilizada el agua superficial de este río para riego de verduras frescas, como balneario y para consumo; considerando los coliformes presentes como motivo de importancia para la restricción en la utilización del agua para los usos ya mencionados.
- ❖ La cantidad de sólidos presentes en las aguas, se debe a la erosión que las áreas de cultivo están experimentando, y en las que no se consideran medidas para evitarla, además los niveles son incrementados por la descarga de agroindustrias.
- ❖ En general Zapotitán y Atiocoyo, por ser áreas dedicadas a la agricultura ejercen una gran repercusión sobre la calidad de las aguas del Río Sucio; que por ser fuentes de contaminación no puntuales es difícil establecer puntos exactos de contaminación al referirse al área de producción agrícola explotada por las personas que pertenecen a ambas cooperativas (Atiocoyo, Zapotitán), por otro lado están las fuentes puntuales que son las agroindustrias, de las que sería más fácil su monitoreo.

## 9. RECOMENDACIONES.

- ❖ Dar seguimiento a este tipo de estudios que brindan una evaluación de la calidad de las aguas de la cuenca a investigar, incorporando en su desarrollo diversos parámetros, que brinde información acerca de la naturaleza físico- química y microbiológica del agua.
- ❖ Incluir en proyectos futuros, Índices de Calidad de Agua Específicos, para conocer con certeza el uso que las aguas del Río Sucio puedan tener, ya que se han hecho propuestas basadas en un Índice de Calidad General.
- ❖ Las instituciones involucradas en Medio Ambiente, deben velar por la seguridad de la sostenibilidad de vida acuática en este sistema hídrico que puede ser recuperado, comenzando por exigir el cumplimiento de los límites permitidos por la Norma de Aguas Residuales, y proporcionando seguimiento por monitoreos.
- ❖ El Ministerio de Agricultura, como ente responsable de las áreas destinadas a uso agrícolas, debe preocuparse por conocer las técnicas agrícolas utilizadas, los tipos de abonos y fertilizantes que los propietarios de parcelas están usando, proporcionar asesorías en educación ambiental y técnicas para la conservación de los suelos, ya que actualmente según información de la Unidad de Riego y Avenamiento del Ministerio de Agricultura y Ganadería, sólo tiene inventariados cierto número de personas que están haciendo uso de las tierras en los Distritos de Riego pertenecientes a esta cuenca.
- ❖ Aplicar técnicas de tratamiento a las aguas superficiales del Río Sucio utilizadas en riego, que disminuyan la cantidad excesiva de algunos parámetros descritos en esta investigación y otros que no han sido considerados y que pueden afectar tanto a los suelos y por ende a los cultivos.
- ❖ Entidades involucradas en el ámbito de salud deben permanecer alertas de las condiciones que los afluentes del país están experimentando, ya que el agua para consumo, riego y otras actividades cotidianas que se

realizan se sostienen de los ya mencionados afluentes contaminados, los cuales tienen una repercusión sobre la calidad de vida de la población, tanto por el uso directo como el indirecto; convirtiéndolos en focos de infecciones epidemiológicas. Por lo que se hace necesario el monitoreo y la mitigación de problemas de la salud.



## 10. LITERATURA CITADA

APHA et,al. 1995. Standard Methods. 19<sup>a</sup> Ed.

CALVO, S, M. 1999. Aguas Residuales Urbanas, Tratamientos Naturales de Bajo Costo y Aprovechamiento. Colección Ingeniería Medio Ambiental. 364pp.

CANTER, L.1998. Manual de Evaluación de Impacto Ambiental, Técnicas para la elaboración de estudios de impactos. Madrid. 841pp.

CRUZ, H, R, & MARTINEZ, D. 2000. Evaluación del Grado de Contaminación del Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Sucio. Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, Departamento de Química, Tesis para optar al grado de Licenciatura en Química.

Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA). 2000. Decreto N<sup>o</sup> 40 del Reglamento Especial de Normas Técnicas de Calidad Ambiental, Capitulo IV Calidad del Agua.

ESQUIVEL, O, A & LOPEZ, A. 1998. Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos, en las Cuencas Sucio y Acelhuate y Protección de Márgenes del Río Sucio. UCA-FIAES. 115pp.

ESQUIVEL, O, A. 1997. Investigación Aplicada sobre el Impacto Ambiental de la Contaminación de Agua en las Cuencas de los Ríos Sucio, Acelhuate y Cuaya. UCA-FIAES.

GLYNN, J,E, HEINKE, G. 1999. Ingeniería Ambiental, 2<sup>a</sup> Ed. Prentice may. 778pp.

GREG, M, R & PLATAIS, G. 1998. Aguas Salvadoreñas, Capital del Trabajo para la Nación. PROMESA (Proyecto de Protección del Medio Ambiente). GOES/USAID.55PP.

GUERRA, H. 2000. Investigación de la Contaminación del Río Lempa y sus efluentes, Río Suquiapa, Acelhuate y Quezalapa. FUSADES/FIAES. 27 pp.

HACH, 1997. Company, Hand Boock Spectrophotometer Procedures Manual. HACH/2010.

Kiely, G, 1999. Ingeniería Ambiental. Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión. Ed. Mc. Graw Hill. España. 1331 pp.

LOBOS, J, E. 2000. Monitoreo de la Contaminación Hídrica de los Efluentes del Cerrón Grande. Informe Final. Fase I de Consultaría. 123pp.

Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE). 1997, Directrices sobre la Ayuda y El Medio Ambiente. OECD Publications. Paris. 82 pp.

Oficina Especializada del Agua, Ministerio de Planificación y Coordinación del Desarrollo Económico y Social. 1983. Diagnostico de la Calidad del Agua en Sitios de Aprovechamiento del Río Sucio. Documento N-5/83. 14pp.

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) .1999. Norma Salvadoreña para Agua Potable. NSO13.07.01:99.

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). 2002. Norma Salvadoreña para Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor. NSO13.07.03:02.

\_\_\_\_\_ . 1996. Norma Oficial Mexicana NOM001-ECOL-1996 Que Establece los Limites Máximos Permisibles de Contaminación en las Descargas de Aguas Residuales en Aguas y Bienes Nacionales.

ONGLEY, E, D. 1997. Lucha Contra la Contaminación Agrícola de los Recursos Hídricos. Estudio FAO Riego y Drenaje. 116 pp.

Programa Ambiental de El Salvador (PAES). 1997-2003. Análisis de Resultados del Monitoreo Preliminar de Contaminantes de las Subcuencas de los Ríos Sucio, Suquiapa y Acelhuate. Subcomponente de Monitoreo de Recursos Hídricos.

PEÑA, C, C, & RIVAS, O, L. 2002. Determinación de Nitratos y Nitritos en aguas de desecho. Trabajo final para optar al título de Técnico en Laboratorio Químico. Instituto Tecnológico Centroamericano. Santa Tecla.

Programa Salvadoreño de Investigación Sobre Desarrollo y Medio Ambiente (PRISMA). 1994. Degradación Ambiental y Gestión de Desarrollo en El Salvador.

Programa Salvadoreño de Investigación Sobre Desarrollo y Medio Ambiente (PRISMA). 1997. Hacia una Estrategia Ambiental para la Región Metropolitana de San Salvador. 11pp.

REPETTO, G & ROJAS, P. 1991. Apuntes Sobre Aguas Negras. Cooperación Italiana/ Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. 78pp.

SACA, L, S 1986. Propuesta de un Plan para el Ordenamiento y Protección Ecológica de la Cuenca del Río Sucio. Universidad José Simeón Cañas. Tesis para optar al grado de Ingeniera Química.

SAGASTIZADO, M. 2001. Caracterización e Impactos sobre la Calidad de la Cuenca del Río Talnique y las Implicaciones para su uso. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Costa Rica.

SOLANO, F, & BENAVIDES, F. 1997. Simulación de la Calidad de Recursos Hídricos en el Río Sucio y Río Acelhuate y Mapeo de Vulnerabilidad a la Contaminación en Subcuencas Sucio, Acelhuate y Cuaya. Universidad José Simeón Cañas. Tesis para optar al grado de Ingeniería Química.

SALGADO, S, V & COTO, C, J. 2001. Calidad de las Aguas de los Principales cauces de las Micro cuencas I, II, y III de la Cuenca Alta del Río Virilla. Informe Final. Universidad Nacional de Costa Rica, Laboratorio de Manejo del Recurso Hídrico.

Unión Mundial para la Naturaleza (UICN). 1999. El Reto de Agua Dulce, Revista Conservación Mundial. 31pp.

## ANEXOS

### ANEXO I EFECTOS DE LAS ACTIVIDADES AGRÍCOLAS EN LA CALIDAD DEL AGUA.

ACTIVIDAD AGRICOLA	EFECTOS EN AGUAS SUPERFICIALES
Labranza/arado	Sedimentos/turbidez: los sedimentos transportan fósforo y plaguicidas absorbidos a las partículas de los sedimentos, pérdida de hábitat, desovaderos
Aplicación de fertilizantes	Escorrentías de nutrientes, especialmente fósforo que da lugar a la eutricación y produce mal gusto y mal olor en el abastecimiento de agua al público, crecimiento excesivo de algas y mortandad de peces.
Aplicación de estiércol	Esta actividad se produce como medio de aplicación de fertilizantes; la aplicación sobre terreno provoca en las aguas receptoras elevados niveles de contaminación por agentes patógenos, metales, fósforo y nitrógeno, lo que da lugar a la eutricación y a una posible contaminación.
Granjas/parcelas de engorde	Contaminación del agua superficial con numerosos agentes patógenos (bacterias, virus) lo que da problemas crónicos de salud pública. Contaminación de metales contenidos en la orina y las heces.
Riego	Escorrentías de sales, que da lugar a la salinización de las aguas superficiales; escorrentías de fertilizantes y plaguicidas hacia las aguas superficiales, con efectos ecológicos negativos, bioacumulación en especies icticas, comestibles, pueden registrarse cantidades levadas de oligoelementos, con graves daños ecológicos y posible efectos en la salud humana.
Talas	Erosión de la tierra, lo que da lugar a elevados niveles de turbidez en los ríos,, perturbación y cambio del régimen hidrológico, muchas veces con perdidas de cursos de agua perennes; el resultado es problemas de salud pública debido a la pérdida de agua potable.

Fuente: Ongley, (1997)

## ANEXO II MARCHAS ANALITICAS

### DETERMINACION DE LA DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO<sub>5</sub>)

#### Procedimiento

1. Preparación de agua de dilución en Frascos de DBO directamente.

Solución de Sulfato de Magnesio

Solución de Cloruro de Calcio

Solución de Cloruro Férrico

2. Técnica de dilución

a-La producción de Oxígeno disuelto debe ser menor de 2 mg/L después de cinco días de incubación. Hacer replica por cada una de las diluciones.

b-Adicionar a cada frasco de DBO una cantidad de muestra, de acuerdo al % de dilución a utilizar

c-Llenar frascos con agua de dilución, determinar inmediatamente el Oxígeno Inicial por el electrodo de membrana

d-Sellar herméticamente cada frasco e incubar por 5 días a una temperatura de 20 °C. Leer nuevamente el Oxígeno después de transcurrido este periodo

e-Recordar enjuagar el electrodo de Oxígeno después de cada determinación, para prevenir contaminación entre cada muestra. Usar blanco (solo agua de dilución)

**DETERMINACION DE OXIGENO DISUELTO***Metodo de Winckler**APHA et,al. Standard Methods 4500-OB*

Procedimiento:

a-300 ml de muestra colectada, añadir 1 ml de Sulfato Manganeso y 1ml de Azida,

b-Mezclar por inversión del frasco por varias veces, se observara la formación de precipitado.

c-Esperar el asentamiento del precipitado, y agregar 1 ml de Ácido Sulfúrico concentrado.

d-Cerrar el frasco y mezclar como se indico anteriormente.

e-Tomar 200 ml de muestra previamente tratada, titulando primeramente con Tiosulfato de Sodio hasta aclarar el color amarillo de la muestra.

f-Agregar 1 ml de Almidón (indicador), seguir titulando, hasta viraje del color azul del almidón a incoloro.

**DETERMINACION DE SOLIDOS TOTALES***Metodo Gravimétrico**APHA et, al. Standard Methods 2540-B*

Procedimiento

a-Secar una cápsula entre 103-105 °C por 1 Hora, enfriar y pesar.

b-Medir 50 ml de muestra, agregar a la cápsula (secada y pesada), colocar en estufa a una temperatura de 105 °C, enfriar y pesar.

Llevar duplicado Fuente: APHA. et,al. 1995.

**DETERMINACION DE NITRATOS***Método de Reducción de Cadmio****HACH Methods 8039***

Procedimiento:

a-Programa # 355 y Longitud de onda de 500nm.

b-Llenar celda con 25 ml de muestra, agregar Nitrover 5, agitar vigorosamente por 1 minuto.

c-Dejar reaccionar por un periodo de 5 minutos, la formación de un color amarillo indica la presencia de Nitratos.

d-Transcurrido el tiempo, leer lectura en espectrofotómetro.

e-Llevar blanco, con agua desionizada.

Fuente: Hach Company 1997.

**DETERMINACION DE FOSFATOS***Método del Ácido Ascórbico****HACH Methods 8048***

Procedimiento:

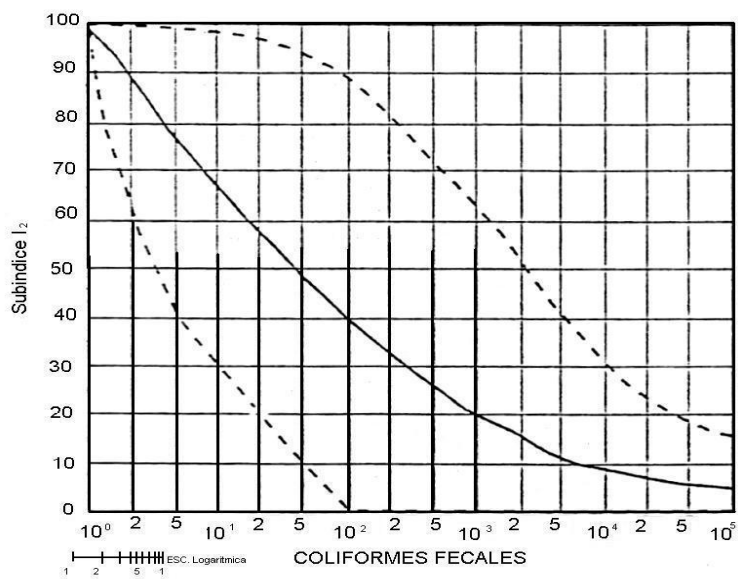
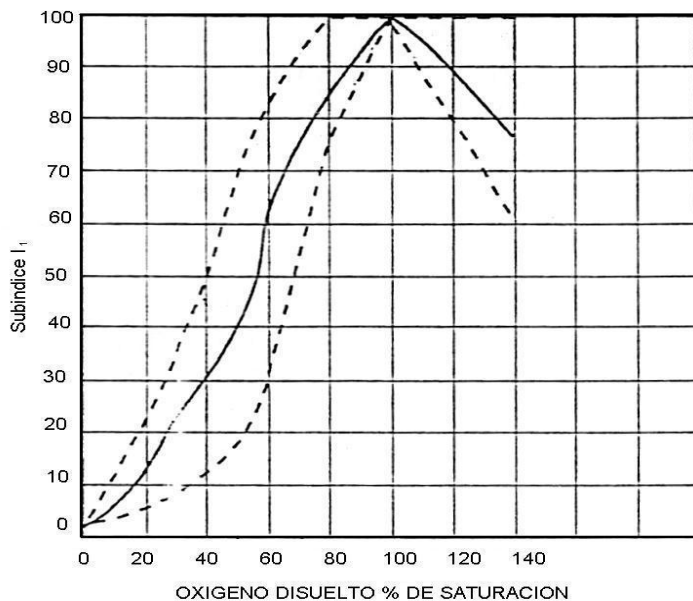
a-Programa # 490 a una Longitud de onda de 890 nm

b-Llenar celda con 10 ml de muestra y agregar reactivo Fosfover 3, agitar.

c-Formación de un color azul, indica la presencia de Fosfatos.

e-Esperar un tiempo de reacción de 10 minutos, Hacer lectura en espectrofotómetro. Llevar un blanco con agua desionizada

**ANEXO III  
EJEMPLO DE CURVAS DE CALCULO PARA EL SUBÍNDICE  $i$ , DE CADA  
PARÁMETRO CORRESPONDIENTE EN EL INDICE DE BROWN.**



fuelle: Canter (1998).



## ANEXO IV

Ejemplo de cálculo del Índice de Brown para la Estación 01 utilizando datos de las tablas 09,10,13 y 14 correspondientes a los meses de Agosto y Octubre, de la estación seleccionada.

### Cálculo del Índice de Brown, con falta de un parámetro.

ESTACION 01	AGOSTO			
PARAMETROS	MEDIDA	$I_i$	$W_i$	$I_i^{W_i}$
% de Saturación de oxígeno	72	75	0,1825	2,20
Coliformes Fecales	4300	11	0,1625	1,48
pH	7,96	87	0,1325	1,81
DBO <sub>5</sub>	13	22	0,1125	1,42
Fósforo Total	1,26	38	0,1125	1,51
Desviación de Temperatura	3,2	60	0,1125	1,59
Turbidez	6	90	0,0925	1,52
Sólidos Totales	886	20	0,0925	1,32

39,66

Esta tabla muestra el calculo de ICA, faltando un parámetro, se muestra que, los valores de  $W_i$  varían por la sumatoria del valor que le correspondía al parámetro de Nitratos.

### Cálculo del Índice de Brown, con parámetros completos.

ESTACION 01	OCTUBRE			
PARAMETROS	MEDIDA	$I_i$	$W_i$	$I_i^{W_i}$
% de Saturación de oxígeno	63	70	0,17	2,06
Coliformes Fecales	5000	10	0,15	1,41
pH	7,76	93	0,12	1,72
DBO <sub>5</sub>	10	30	0,1	1,41
Nitratos	9,7	52	0,1	1,48
Fósforo Total	2,34	23	0,1	1,37
Desviación de Temperatura	3,7	56	0,10	1,50
Turbidez	6	90	0,08	1,43
Sólidos Totales	932	20	0,08	1,27

38,96

## ANEXO V

**TABLA 8. PORCENTAJES DE LA CALIDAD AMBIENTAL DEL AGUA OBTENIDO, EN LAS ESTACIONES DE MUESTREO, APLICANDO EL INDICE DE BROWN.**

ESTACION	ICA <sub>AGOSTO</sub>	ICA <sub>SEPTIEMBRE</sub>	ICA <sub>OCTUBRE</sub>	ICA <sub>NOVIEMBRE</sub>
1	39,66 (a)	43,04 (a)	38,96 (a)	40,05 (a)
2	38,95 (a)	43,15 (a)	39,44 (a)	34,63 (m)
3	36,45 (m)	38,84 (a)	42,06 (a)	39,93 (a)
4	35,11 (m)	40,89 (a)	43,86 (a)	36,41 (m)
5	37,88 (a)	40,54 (a)	40,32 (a)	38,81 (a)
6	34,92 (m)	34,41 (m)	40,71 (a)	39,02 (a)
7	42,75 (a)	32,99 (m)	41,77 (a)	41,7 (a)
12	35,56 (m)	38,4 (a)	38,77 (a)	37,71 (a)
16	46,46 (a)	30,08 (m)	41,81 (a)	42,85 (a)
17	47,19 (a)	36,57(m)	37,83(a)	39,12 (a)
22	46,84 (a)	38,45 (a)	41,41 (a)	47,31 (a)
23	46,24 (a)	43,89 (a)	41,41 (a)	45,19 (a)

Calidad del Agua, según porcentaje obtenido para la formula de tipo Multiplicativo: 32 % a 36 % malo (m), 37% a 51 % aceptable(a).

**CONTROL DE RESULTADOS OBTENIDOS EN ANÁLISIS REALIZADOS A MUESTRAS DE AGUAS SUPERFICIALES DEL RIO SUCIO, PROVENIENTES DEL PROGRAMA AMBIENTAL DE EL SALVADOR, MES DE AGOSTO.**

**TABLA 9**

<b>PARAMETROS</b>	<b>Numero Muestra</b>	<b>Unidad de Medida</b>	<b>Muestra</b>	<b>Muestra</b>	<b>Muestra</b>	<b>Muestra</b>	<b>Muestra</b>	<b>Muestra</b>
Identificacion de Muestra			<b>01 Sucio</b>	<b>02 Aguac</b>	<b>03 Sucio</b>	<b>04 Talni</b>	<b>05 Sucio</b>	<b>06 Colon</b>
Procedencia			Sucio	Sucio	Sucio	Sucio	Sucio	Sucio
Fecha de Muestreo			08/07/2002	08/07/2002	08/08/2002	08/08/2002	08/08/2002	08/08/2002
Hora Toma de Muestra			12:15 PM	1:10 PM	8:30 AM	9:20 AM	9:50 AM	10:30 AM
Temperatura de Muestra		°C	5°C	4°C	4°C	2°C	4°C	2°C
Temperatura campo		°C	28,8	30	24,5	25,3	25,7	25,6
Temperatura ambiental		°C	32	33	31	30	29,6	30
Desviacion de Temperatura		°C	3,2	3	6,5	4,7	3,9	4,4
pH		unidades pH	7,96	7,56	7,73	8	7,88	7,77
Turbidez		NUT	268	74	9	7	11	9
Oxigeno Disuelto	1	ppm	5,55	4,45	5,75	5,75	5,25	6,60
% de Saturacion de oxigeno			72	59	70	70	65	82
DBO <sub>5</sub>	1	ppm	13,00	14,00	21,00	22,00	21,00	23,00
Solidos Totales	1	ppm	886,0	628,2	1112,0	832,0	1094,0	1520,0
Fosforo Total	1	ppm	1,26	1,49	0,83	0,37	0,50	1,67
Nitratos	1	ppm	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Coliformes fecales	1	NMP	4300,00	2400,00	2000,00	2000,00	2600,00	2400,00

NOTAS: Los Nitratos no fueron realizados (NR), por la falta de Reactivos.

Los Coliformes fecales fueron analizados en los Laboratorios de Bacteriología del Ministerio de Agricultura y Ganadería.

**CONTROL DE RESULTADOS OBTENIDOS EN ANÁLISIS REALIZADOS A MUESTRAS DE AGUAS SUPERFICIALES DEL RIO SUCIO, PROVENIENTES DEL PROGRAMA AMBIENTAL DE EL SALVADOR. MES DE AGOSTO.**

**TABLA 10**

<b>PARAMETROS</b>	<b>Numero Muestra</b>	<b>Unidad de Medida</b>	<b>Muestra</b>	<b>Muestra</b>	<b>Muestra</b>	<b>Muestra</b>	<b>Muestra</b>	<b>Muestra</b>
Identificacion de Muestra			<b>07 Sucio</b>	<b>12 Aguac</b>	<b>16 Sucio</b>	<b>17 Sucio</b>	<b>22 Sucio</b>	<b>23 Sucio</b>
Procedencia			Sucio	Sucio	Sucio	Sucio	Sucio	Sucio
Fecha de Muestreo			08/09/2002	08/09/2002	08/13/2002	08/14/2002	08/16/2002	08/16/2002
Hora Toma de Muestra			8:35 AM	11:50 AM	12:10 AM	9:20 AM	9:10 AM	10:30 AM
Temperatura de Muestra		°C	5°C	2°C	1°C	2°C	1°C	7°C
Temperatura campo		°C	25,3	30,3	27	26,3	27,4	27,9
Temperatura ambiental		°C	29,6	33	29	30	34	34
Desviacion de Temperatura		°C	4,3	2,7	2	3,7	6,6	6,1
pH		unidades pH	7,97	7,88	8,17	7,99	8,22	8,28
Turbidez		NUT	69	6	168	88	49	69
Oxigeno Disuelto		ppm	5,00	3,40	6,55	4,80	6,50	6,65
% de Saturacion de oxigeno			61	45	82	59	82	85
DBO <sub>5</sub>		ppm	7,00	28,00	12	6,00	3,00	2
Solidos Totales		ppm	677,2	698,0	672,2	648,2	655,2	658,0
Fosforo Total	1	ppm	0,95	0,22	0,77	0,06	0,39	0,49
Nitratos		ppm	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Coliformes fecales		NMP	2000,00	2600,00	2600,00	2600,00	2600,00	1400,00

NOTAS: Nitratos no realizados (NR) por falta de reactivos.

Coliformes fecales: analizados en los laboratorios de Bacteriología del Ministerio de Agricultura y Ganadería

**CONTROL DE RESULTADOS OBTENIDOS EN ANÁLISIS REALIZADOS A MUESTRAS DE AGUAS SUPERFICIALES DEL RIO SUCIO PROVENIENTES DE PROGRAMA AMBIENTAL DE EL SALVADOR. MES DE SEPTIEMBRE.**

**TABLA 11**

PARAMETROS	Numero	Unidad de	Muestra	Muestra	Muestra	Muestra	Muestra	Muestra
	Muestra	Medida						
Identificacion de Muestra			<b>01 Sucio</b>	<b>02 Aguac</b>	<b>03 Sucio</b>	<b>04 Talni</b>	<b>05 Sucio</b>	<b>06 Colon</b>
Procedencia			Sucio	Sucio	Sucio	Sucio	Sucio	Sucio
Fecha de Muestreo			09/10/2002	09/10/2002	09/10/2002	09/10/2002	09/10/2002	09/11/2002
Hora Toma de Muestra			9:20 AM	9:40 AM	10:15 AM	10:50 AM	11:50 AM	9:50 AM
Temperatura de Muestra		°C	3°C	3°C	3°C	2°C	2°C	3°C
Temperatura campo		°C	25,5	25,6	25,6	25,3	25,8	25,5
Temperatura ambiental		°C	29	31	29,8	29,3	31,5	30
Desviacion de Temperatura		°C	3,5	5,4	4,2	4	5,7	4,5
pH		unidades pH	7,67	7,6	7,78	7,68	7,75	8,08
Turbidez		NUT	48	34	33	57	64	10
Oxigeno Disuelto		ppm	3,70	5,10	4,05	6,05	5,65	5,40
% de Saturacion de oxigeno			46	63	50	73	70	67
DBO <sub>5</sub>		ppm	5,00	9,00	5,00	8,00	7,00	21,00
Solidos Totales		ppm	496	432,0	588,0	582,0	568,0	978,0
Fosforo Total	1	ppm	1,76	2,11	1,90	1,90	1,91	1,08
Nitratos		ppm	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Coliformes fecales		NMP	2200,00	2200,00	2600,00	2600,00	2600,00	4300,00

NOTA: Nitratos no fueron realizados (NR) por falta de reactivos.

Coliformes analizados en los laboratorios de Bacteriología del Ministerio de Agricultura y Ganadería.

**CONTROL DE RESULTADOS OBTENIDOS EN ANÁLISIS REALIZADOS A MUESTRAS DE AGUAS SUPERFICIALES DEL RIO SUCIO, PROVENIENTES DEL PROGRAMA AMBIENTAL DE EL SALVADOR. MES DE SEPTIEMBRE.**

**TABLA 12**

PARAMETROS	Numero	Unidad de	Muestra	Muestra	Muestra	Muestra	Muestra	Muestra
	Muestra	Medida						
Identificacion de Muestra			<b>07 Sucio</b>	<b>12 Aguac</b>	<b>16 Sucio</b>	<b>17 Sucio</b>	<b>22 Sucio</b>	<b>23 Sucio</b>
Procedencia			Sucio	Sucio	Sucio	Sucio	Sucio	Sucio
Fecha de Muestreo			09/11/2002	09/12/2002	09/12/2002	09/12/2002	09/12/2002	09/13/2002
Hora Toma de Muestra			10:20 AM	8:40 AM	12:20 PM	9:35 AM	11:00 AM	12:15
Temperatura de Muestra		°C	2°C	4°C	2°C	2°C	3°C	1°C
Temperatura campo		°C	25	27,3	25,6	25,5	26,9	27,3
Temperatura ambiental		°C	29	32	30,6	30	33	33
Desviacion de Temperatura		°C	4	4,7	5	4,5	6,1	5,7
pH		unidades pH	7,97	7,95	8,08	8,00	8,09	8,30
Turbidez		NUT	10	267	515	315	80	97
Oxigeno Disuelto		ppm	5,30	5,15	6,65	4,95	6,60	7,05
% de Saturacion de oxigeno			64	65	84	61	83	89
DBO <sub>5</sub>		ppm	20,00	7,00	28,00	15,00	4,00	4,00
Solidos Totales		ppm	606,0	970,0	940,0	682,0	644,0	626,0
Fosforo Total	1	ppm	2,10	2,39	2,95	1,35	1,49	1,53
Nitratos		ppm	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Coliformes fecales		NMP	5000,00	2600,00	2600,00	2400,00	2400,00	2400,00

NOTA: Nitratos no realizados (NR) por falta de reactivos.

Coliformes fecales analizados en el Laboratorio de bacteriología del Ministerio de Agricultura y Ganadería.

**CONTROL DE RESULTADOS OBTENIDOS EN MUESTRAS DE AGUAS SUPERFICIALES DEL RIO SUCIO PROVENIENTES DEL PROGRAMA AMBIENTAL DE EL SALVADOR. MES DE OCTUBRE.-**

**TABLA 13**

PARAMETROS	Numero	Unidad de	Muestra	Muestra	Muestra	Muestra	Muestra	Muestra
	Muestra	Medida						
Identificacion de Muestra			<b>01 Sucio</b>	<b>02 Aguac</b>	<b>03 Sucio</b>	<b>04 Talni</b>	<b>05 Sucio</b>	<b>06 Colon</b>
Procedencia			Sucio	Sucio	Sucio	Sucio	Sucio	Sucio
Fecha de Muestreo			10/10/2002	10/10/2002	10/10/2002	10/10/2002	10/10/2002	10/11/2002
Hora Toma de Muestra			9:30 AM	10:10 AM	10:55 AM	11:10 AM	1:12 PM	9:15 AM
Temperatura de Muestra		°C	2	2	3	3	3	2
Temperatura campo		°C	25,3	26,1	25,9	27	26,6	24,6
Temperatura ambiental		°C	29	30	29,6	31	30,7	27,5
Desviacion de Temperatura		°C	3,7	3,9	3,7	4	4,1	2,9
pH		unidades pH	7,76	7,55	7,63	7,57	7,72	8,02
Turbidez	1	NUT	118	13	50	19	15	19
Oxigeno Disuelto	1	ppm	5,15	4,05	4,90	5,70	5,40	6,30
% de Saturacion de oxigeno			63	50	61	72	68	76
DBO <sub>5</sub>	1	ppm	10,00	10,00	10,00	9,00	8,00	10,00
Solidos Totales	1	ppm	932,0	452,0	532,0	432,0	560,0	826,0
Fosforo Total	1	ppm	2,34	2,50	1,74	1,83	1,70	2,68
Nitratos	1	ppm	9,70	9,00	8,90	17,10	10,80	9,70
Coliformes fecales	1	NMP	5000,00	4300,00	2600,00	2600,00	5000,00	2400,00

NOTA: Coliformes fecales realizados en laboratorios de Bacteriología del Ministerio de Agricultura y Ganadería.

**CONTROL DE RESULTADOS OBTENIDOS EN ANÁLISIS REALIZADOS A MUESTRAS DE AGUAS SUPERFICIALES DEL RÍO SUCIO PROVENIENTES DEL PROGRAMA AMBIENTAL DE EL SALVADOR. MES DE OCTUBRE.**

**TABLA 14**

PARAMETROS	Numero Muestra	Unidad de Medida	Muestra	Muestra	Muestra	Muestra	Muestra	Muestra
Identificación de Muestra			<b>07 Sucio</b>	<b>12 Aguac</b>	<b>16 Sucio</b>	<b>17 Sucio</b>	<b>22 Sucio</b>	<b>23 Sucio</b>
Procedencia			Sucio	Sucio	Sucio	Sucio	Sucio	Sucio
Fecha de Muestreo			10/11/2002	10/15/2002	10/15/2002	10/16/2002	10/17/2002	10/18/2002
Hora Toma de Muestra			10:00 AM	9:40 AM	12:20 PM	9:45 AM	11:30 AM	12:25 PM
Temperatura de Muestra		°C	2	3	3	3	2	1
Temperatura campo		°C	24,8	28,1	26,7	26,3	26,6	27
Temperatura ambiental		°C	27	31,5	31	30	32	32
Desviación de Temperatura		°C	2,2	3,4	4,3	3,7	5,4	5
pH		unidades pH	7,81	8,02	7,99	7,81	8,15	8,44
Turbidez	1	NUT	30	79	22	34	22	25
Oxígeno Disuelto	1	ppm	5,70	4,50	6,35	4,45	7,25	7,20
% de Saturación de oxígeno			69	58	80	55	91	91
DBO <sub>5</sub>	1	ppm	11,00	5,00	14,00	12,00	5,00	4,00
Sólidos Totales	1	ppm	586	692	664	640	560	540
Fósforo Total	1	ppm	1,91	2,37	1,67	1,43	1,98	2,20
Nitratos	1	ppm	9,50	9,40	9,20	12,80	10,50	13,70
Coliformes fecales	1	NMP	4300,00	2400,00	2400,00	2600,00	2600,00	2200,00

NOTAS: Análisis de Coliformes fecales realizados en Laboratorios de Bacteriología del Ministerio de Agricultura y Ganadería.



**CONTROL DE RESULTADOS OBTENIDOS EN ANÁLISIS REALIZADOS A MUESTRAS DE AGUAS SUPERFICIALES DEL RIO SUCIO, PROVENIENTES DEL PROGRAMA AMBIENTAL DE EL SALVADOR. MES DE NOVIEMBRE.**

**TABLA 15**

<b>PARAMETROS</b>	<b>Numero</b>	<b>Unidad de</b>	<b>Muestra</b>	<b>Muestra</b>	<b>Muestra</b>	<b>Muestra</b>	<b>Muestra</b>	<b>Muestra</b>
	<b>Muestra</b>	<b>Medida</b>						
Identificacion de Muestra			<b>01 Sucio</b>	<b>02 Aguac</b>	<b>03 Sucio</b>	<b>04 Talni</b>	<b>05 Sucio</b>	<b>06 Colon</b>
Procedencia			Sucio	Sucio	Sucio	Sucio	Sucio	Sucio
Fecha de Muestreo			11/13/2002	11/13/2002	11/13/2002	11/13/2002	11/13/2002	11/14/2002
Hora Toma de Muestra			11:00 AM	11:20 AM	11:40 AM	12:00 M	12:35 PM	9:25 AM
Temperatura de Muestra		°C	4	3	3	3	3	2
Temperatura campo		°C	25,6	26,1	25,7	27,4	26,4	22,9
Temperatura ambiental		°C	28,2	30,5	29	31	30,8	26
Desviacion de Temperatura		°C	2,6	4,4	3,3	3,6	4,4	3,1
pH		unidades pH	8,04	7,42	7,93	7,79	7,97	8,16
Turbidez	1	NUT	38	42	42	30	39	43
Oxigeno Disuelto	1	ppm	4,45	3,80	4,25	4,10	4,10	5,50
% de Saturacion de oxigeno			55	47	52	52	51	64
DBO <sub>5</sub>	1	ppm	10,00	12,00	10,00	10,00	10,00	8,00
Solidos Totales	1	ppm	520,0	546,0	524,0	482,0	554,0	774,0
Fosforo Total	1	ppm	1,42	2,20	2,15	1,75	1,68	4,12
Nitratos	1	ppm	7,40	10,30	8,40	16,50	11,30	8,40
Coliformes fecales	1	NMP	2400,00	4300,00	2200,00	2400,00	1400,00	2400,00

NOTA: Coliformes fecales analizados en los Laboratorios de Bacteriología del Ministerio de agricultura y Ganadería




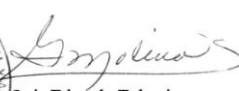

**CONTROL DE RESULTADOS OBTENIDOS EN ANÁLISIS REALIZADOS A MUESTRAS DE AGUAS SUPERFICIALES DEL RÍO SUCIO, PROVENIENTES DEL PROGRAMA AMBIENTAL DE EL SALVADOR. MES DE NOVIEMBRE.**

**TABLA 16**

PARAMETROS	Numero	Unidad de	Muestra	Muestra	Muestra	Muestra	Muestra	Muestra
	Muestra	Medida						
Identificación de Muestra			<b>07 Sucio</b>	<b>12 Aguac</b>	<b>16 Sucio</b>	<b>17 Sucio</b>	<b>22 Sucio</b>	<b>23 Sucio</b>
Procedencia			Sucio	Sucio	Sucio	Sucio	Sucio	Sucio
Fecha de Muestreo			11/14/2002	11/15/2002	11/15/2002	11/19/2002	11/20/2002	11/20/2002
Hora Toma de Muestra			10:00 AM	9:10 AM	9:25 AM	9:25 AM	9:40 AM	11:15 AM
Temperatura de Muestra		°C	3	1	3	2	1	1
Temperatura campo		°C	23,7	27,5	25,8	23,6	24	23,2
Temperatura ambiental		°C	26,6	32	29	26,6	30	30
Desviación de Temperatura		°C	2,9	4,5	3,2	3	6	6,8
pH		unidades pH	7,97	7,83	8,08	7,81	8,25	8,30
Turbidez	1	NUT	42	36	110	74	56	43
Oxígeno Disuelto	1	ppm	6,10	3,60	7,15	4,30	7,20	7,90
% de Saturación de oxígeno			73	46	88	51	86	92
DBO <sub>5</sub>	1	ppm	8,00	12,00	14,00	8,00	7,00	6,00
Sólidos Totales	1	ppm	538,0	652,0	678,0	655,0	590,0	630,0
Fósforo Total	1	ppm	2,49	1,80	2,01	1,02	0,96	2,15
Nitratos	1	ppm	9,40	7,70	11,20	9,30	6,00	6,70
Coliformes fecales	1	NMP	2200,00	2200,00	2200,00	2200,00	2200,00	2200,00

NOTA: Coliformes fecales, analizados en Laboratorios de Bacteriología del Ministerio de Agricultura y Ganadería

**ANEXO VI.  
HOJA DE RESULTADOS PRESENTADOS POR EL LABORATORIO DE  
BACTEREOLOGIA DEL MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA.**

 Ministerio de Agricultura y Ganadería		 DIRECCION GENERAL DE SANIDAD VEGETAL Y ANIMAL	
<b>MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA</b> DIRECCION GENERAL DE SANIDAD VEGETAL Y ANIMAL LABORATORIOS DE DIAGNOSTICO VETERINARIO Y CONTROL DE CALIDAD <small>Textistepeque 470-0212 Sonsonate 451-1037 Laboratorio Central Cantón El Matizano, Soyapango, Tel/fax 294-0584 San Miguel 667-0558</small>			
LABORATORIO DE: BACTERIOLOGIA			
CASO: 412		No. DE PAGINAS: 1	
PROPIETARIO: DORA ALICIA ARMERO	PROPIEDAD: S/N		
DIRECCION:	TELEFONO:		
DEPARTAMENTO: SAN SALVADOR	MUNICIPIO : CIUDAD DELGADO		
CANTON:	CASERIO:		
ANALISIS SOLICITADO: BACTERIOLOGICO	No DE MUESTRAS: 1 AGUA		
FECHA DE RECIBIDO: 16 DE OCTUBRE DE 2002	FECHA DE ANALISIS: 16-18 DE OCTUBRE DE 2002		
ENVIADA POR: EL PROPIETARIO	ESPECIE:		
RESULTADO: 18 DE OCTUBRE DE 2002  AGUA R- 10  Número de mesofílicos aerobios de colonias por ml = Incontables Pruebas Confirmativas = <b>Positiva</b> Número más probable de coliformes fecales en 100 ml = 2600 <b>AGUA NO POTABLE</b>			
 Lic. Dora Alicia Cardona Técnico Responsable		  Dr. Luis Edgardo Tolentino Jefe de Laboratorios	



